

## ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.7

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА И ВЫБОР РЕЖИМОВ СЕЛЕКТИВНОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЛЮМИНОФОРСОДЕРЖАЩЕЙ ЭМУЛЬСИИ НА АЛМАЗАХ

**В. А. Чантурия<sup>1</sup>, Г. П. Двойченкова<sup>1,2</sup>, В. В. Морозов<sup>1,3</sup>,  
О. Е. Ковальчук<sup>4</sup>, Ю. А. Подкаменный<sup>1,2</sup>, В. Н. Яковлев<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН,  
E-mail: dvoigr@mail.ru, Крюковский тупик, 4, 111020, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Мирнинский политехнический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета  
им. М. К. Аммосова, ул. Тихонова, 5/1, 678174, г. Мирный, Россия

<sup>3</sup>Национальный исследовательский технологический университет (“МИСиС”),  
Ленинский проспект, 6, 117049, г. Москва, Россия

<sup>4</sup>Научно-исследовательское геологическое предприятие АК “АЛРОСА” (ПАО),  
Чернышевское шоссе, 16, 678170, г. Мирный, Россия

<sup>5</sup>Институт “Якутнипроалмаз” АК “АЛРОСА” (ПАО), ул. Ленина, 6, 678174, г. Мирный, Россия

Представлен эффективный метод модификации процесса рентгенолюминесцентной сепарации на основе использования минеральных и органических люминофоров для корректировки спектрально-кинетических характеристик аномально люминесцирующих алмазов. Подтвержден механизм закрепления люминофоров на изученных алмазах и гидрофобных минералах, включающий стадию взаимодействия органической составляющей эмульсии с гидрофобной поверхностью обрабатываемого объекта и концентрирование нерастворимых зерен люминофоров на границе органической и водной фазы. Селективное закрепление люминофорсодержащей органической фазы эмульсии на поверхности алмазов достигается за счет применения фосфатных реагентов-диспергаторов. Использование тринатрийфосфата и гексаметафосфата натрия в составе эмульсии позволяет уменьшить закрепление люминофорсодержащей органической фазы на поверхности минералов кимберлита. Показано, что при концентрации фосфатов 1.0–1.5 г/л удается модифицировать и стабилизировать спектрально-кинетические параметры минералов кимберлита на уровне исходных значений. При данном режиме достигается необходимый уровень модифицирования спектрально-кинетических характеристик аномально люминесцирующих алмазов, который обеспечивает их извлечение в концентрат.

*Алмаз, минералы, кимберлит, эмульсия, люминофоры, извлечение, люминесценция, сепарация, спектрально-кинетические характеристики*

DOI: 10.15372/FTPRI20200111

Рентгенолюминесцентный метод обогащения в промышленном исполнении предполагает облучение потока материала рентгеновским излучением и регистрацию люминесцентного отклика с помощью элемента, преобразующего оптический сигнал люминесценции в электриче-

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 1–48 под руководством академика РАН В. А. Чантурия.

ский. Фиксируемые потери алмазов в действующих схемах рентгенолюминесцентной сепарации, как правило, обусловлены тем, что данные кристаллы не обладают требуемыми спектрально-кинетическими характеристиками, позволяющими отделить их от минералов кимберлита [1–3]. Перспективным путем повышения эффективности процессов рентгенолюминесцентной сепарации является применение минеральных и органических люминофоров для корректировки соотношения регистрируемых параметров сигнала детектирования аномально люминесцирующих алмазов [4, 5]. Применение данного метода основано на использовании люминесцирующих веществ, способных избирательно закрепляться на алмазной поверхности и корректировать параметры светимости кристаллов до значений, позволяющих детектировать их как алмазы в действующих схемах рентгенолюминесцентной сепарации [6–8].

Цель настоящей работы — исследование механизма взаимодействия люминофоров с поверхностью алмазных кристаллов и оптимизация состава люминофорсодержащей эмульсии, обеспечивающего условия ее селективного закрепления на алмазах для последующего отделения слабосветящихся или нелюминесцирующих кристаллов от минералов кимберлита в действующих схемах рентгенолюминесцентной сепарации [9, 10].

Селективное закрепление люминофоров на алмазах основано на применении специальных реагентов, корректирующих энергию раздела минеральной, органической и водной фаз до значений, обеспечивающих условия максимального закрепления люминофорсодержащей эмульсии на алмазных кристаллах и минимального — на зернах рудного материала.

#### **МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В качестве объектов исследований изучены процессы закрепления люминофоров в органической части эмульсий; процессы закрепления люминофорсодержащей эмульсии на поверхности алмазных кристаллов и сопутствующих минералов; процессы детектирования исходных и обработанных минералов с использованием сепаратора “ПОЛЮС-М”.

В качестве предметов исследований взяты образцы люминофоров: органический — антрацен химически чистый CAS 120-12-7, неорганический — ФЛ-530 (аналог К-35); гидрофобизаторы, обеспечивающие закрепление люминофоров в органической фазе эмульсии (растворы олеата натрия, ксантогената); диспергаторы (гексаметафосфат натрия и тринатрийфосфат), предупреждающие закрепление люминофоров на кимберлитовой породе; люминофорсодержащие эмульсии различного состава; образцы алмазных синтетических кристаллов марки АСМ 1000/630, технических кристаллов, минералов кимберлитовых пород и минералов, сопутствующих алмазам в составе концентрата тяжелосредней сепарации (ТСС).

Изучение спектральных и спектрально-кинетических параметров исследуемых объектов выполнено несколькими этапами в лабораториях институтов ИПКОН РАН, МПТИ(ф)СВФУ и “Якутнипроалмаз” АК “АЛРОСА”(ПАО).

Методика приготовления люминофорсодержащей эмульсии включает последовательные операции диспергирования неорганического и органического люминофоров в дизельном топливе, органической люминофорсодержащей фазы в водном растворе поверхностно-активных веществ (ПАВ), компоненты которого обеспечивают необходимую устойчивость композиционных составляющих. На первой стадии проходит совместное диспергирование люминофоров: органического антрацена и неорганического ФЛ-530 в дизельном топливе. Затем полученная люминофорсодержащая органическая фаза диспергируется в водной фазе, куда заранее добавляются необходимые реагенты-регуляторы.

Устойчивость полученной эмульсии контролировалась визуально по количеству осадка люминофора в водной фазе через определенное время отстаивания [6]. На данной стадии экспериментов использованы зерна минералов кимберлита и синтетические алмазы с нестандартной спектрально-

кинетической характеристикой, аналогичной параметрам кристаллов, не извлекаемых в процессе действующей рентгенолюминесцентной сепарации алмазосодержащего сырья. Зерна минералов кимберлита извлекали из концентрата тяжелосредней сепарации путем выделения класса крупности  $-3+2$  мм грохочением. В настоящих исследованиях использован материал класса  $-1.2+0.5$  мм.

Согласно методике проведения экспериментов, на первой стадии в готовую эмульсию загружали отдельные зерна минералов кимберлита и кристаллы алмазов одинаковой крупности. Вторая стадия включала использование массовых проб навесок минералов кимберлита массой 250 мг в аналогичных условиях. После соответствующей обработки эмульсией кристаллы алмазов и зерна кимберлита промывались на сите для отделения водной фазы и выполнения последующих исследований.

Изучение механизма закрепления люминофоров на поверхности алмазов и минералов кимберлита проводили путем анализа изображений в ультрафиолетовом освещении. Изображения синтетических кристаллов алмаза в водной фазе получены с помощью люминесцентного микроскопа “Микромед-3 ЛЮМ” [11], изображения сухих кристаллов алмаза и зерен минералов кимберлита — в ультрафиолете люминоскопа “Луч-1Ф”. Спектрально-кинетические характеристики алмазов и минералов кимберлита получены на сепараторе “Полюс-М” [12].

При исследовании влияния реагентов-диспергаторов на селективность закрепления люминофорсодержащей эмульсии в рассматриваемых условиях приготовления за основной переменный фактор принят расход тринатрийфосфата и гексаметафосфата натрия. Расходы поверхностно-активных веществ, применяемых для стабилизации эмульсии, не изменялись.

#### ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМА ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЛЮМИНОФОРСОДЕРЖАЩЕЙ ЭМУЛЬСИИ НА АЛМАЗАХ И МИНЕРАЛАХ КИМБЕРЛИТА

С целью выявления механизма закрепления люминофоров на поверхности алмазов изучены изображения обработанных люминофорсодержащей эмульсией кристаллов алмаза на микроскопе “Микромед-3 ЛЮМ” (рис. 1). Анализ полученных данных показал, что органическая фаза эмульсии закрепляется на поверхности кристаллов алмаза, погруженных в люминофорсодержащую эмульсию, в виде капель (рис. 1а). При этом неорганический люминофор концентрируется на границе раздела органической и водной фаз эмульсии.

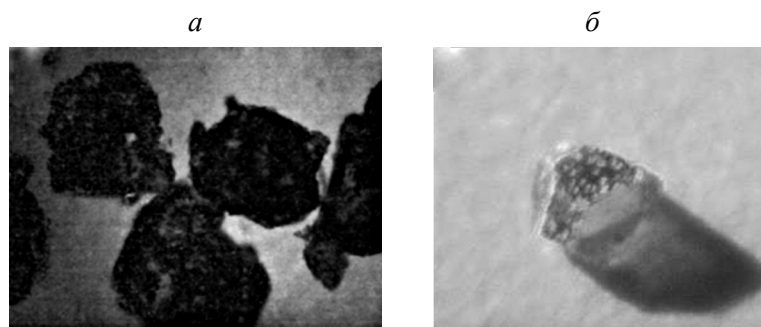


Рис. 1. Изображения под микроскопом (в УФ-свете) синтетических алмазов, обработанных люминофорсодержащей эмульсией до (а) и после (б) высушивания

После высушивания обработанных кристаллов органическая и неорганическая фазы люминофора устойчиво удерживаются на отдельных участках поверхности алмаза (рис. 1б) за счет неиспарившихся фракций дизельного топлива, используемых в качестве органической фазы эмульсии.

Механизм закрепления люминофоров на поверхности алмазных кристаллов и зерен минералов кимберлита, смоделированный с учетом результатов анализа изображений кристаллов алмаза, поясняется на рис. 2, где показано распределение фаз люминофорсодержащей эмульсии в процессе обработки (а), после удаления избытка эмульсии на сите (б, в) и последующего подсушивания (г).

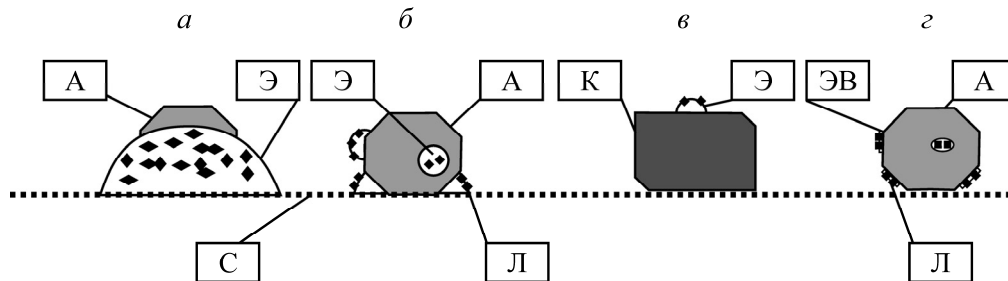


Рис. 2. Схема взаимодействия алмаза и минералов кимберлита с органической фазой люминофорсодержащей эмульсии после последовательных процессов обработки (а), удаления избытка эмульсии (б, в) и высушивания (г), где: А — алмаз; К — минерал кимберлита; Л — люминофор; Э — органическая фаза эмульсии; ЭВ — высокомолекулярная фракция эмульсии; С — сито

Согласно полученным результатам, органический люминофор (антрацен) частично растворяется в дизельном топливе и частично концентрируется на поверхности капель органической фазы, диспергированных в водной фазе. Неорганический люминофор ФЛ-530 не растворяется в дизельном топливе и полностью концентрируется на поверхности капель органической фазы в водной фазе. При обработке кристаллов алмазов и минералов кимберлита эмульсией капли органической фазы с растворившимся и не растворившимся люминофорами закрепляются на поверхности алмазных кристаллов и в меньшей мере на поверхности зерен минералов кимберлита, привнося на алмазы люминофоры, способствующие коррекции спектрально-кинетических характеристик.

В соответствии с механизмом взаимодействия алмаза, минералов кимберлита и органической фазы люминофорсодержащей эмульсии условиями эффективного закрепления люминофоров (органических и неорганических) на поверхности алмаза являются как концентрирование и удерживание их внутри органической фазы или на границе раздела органической и водной фаз (в режиме масляной флотации), так и сохранение люминофоров на кристаллах алмаза при промывке и сушке пробы.

Для обеспечения этих условий необходим правильный выбор люминофоров и применение физико-химических методов повышения их смачиваемости органическим компонентом эмульсии. Также необходим правильный выбор органической фазы, которая, с одной стороны, должна селективно закрепляться на поверхности алмаза, а с другой — обеспечивать сохранение частичек люминофоров на алмазах после высушивания. Важное условие закрепления люминофорсодержащей органической фазы на поверхности кристаллов алмаза — сохранение или восстановление требуемой гидрофобности его поверхности [13].

В экспериментах по определению оптимального состава люминофорсодержащей эмульсии использованы следующие критерии: технологические свойства компонентов эмульсии (вязкость, температура застывания); степень удержания органического и неорганического люминофора в органической фазе водоорганической эмульсии; степень закрепления люминофоров используемых композиций на синтетических алмазах и рудных минералах.

Данные задачи во многом решены в исследованиях [3, 4]. В качестве органической фазы эмульсии выбрано летнее дизельное топливо. Такому выбору способствовал опыт его применения в качестве собирателя при флотации и пенной сепарации мелких классов алмазов [14]. Объективная причина выбора дизельного топлива — его приемлемые технологические свойства (вязкость, температура застывания) и наличие в составе достаточного количества высокомолекулярных фракций (нефтяных масел), обеспечивающих удержание люминофоров на поверхности кристаллов алмаза после сушки [15]. Для получения эмульсии с требуемыми технологическими свойствами разработаны составы, повышающие устойчивость эмульсии и ее удерживающую способность по отношению к используемым люминофорам.

На данном этапе исследований ставилась задача определения характера закрепления люминофоров на поверхности алмазов и выбора пути снижения их количества, закрепляющегося на поверхности зерен минералов кимберлита. Для оценки распределения между органической и водной фазой люминофоров, а также степени их закрепления на рудных минералах использовалась методика визуального контроля по светимости в ультрафиолетовом излучении как минеральных объектов, так и водоорганических фаз эмульсии.

В экспериментах участвовали синтетические алмазы и зернистая фракция гипергенно измененных кимберлитов преимущественно карбонатно-силикатного состава с преобладанием карбонатов кальция и магния, железосодержащих алюмосиликатов, оксидов железа и хрома. Для данного материала характерна наибольшая флотуемость и максимальная склонность к адсорбции органической фазы люминофорсодержащей эмульсии [16].

Визуальным анализом установлено, что алмазы и кимберлитовые минералы при обработке эмульсией образуют с каплями органической фазы конгломераты, а находящиеся в дизельном топливе люминофоры светятся зелено-голубым светом, характерным для смеси обоих люминофоров (рис. 3а). При переносе на сито вода и избыток органической фазы удаляются, а на поверхности остаются слабо смоченные кристаллы алмазов с аналогичным свечением и породные минералы (рис. 3б).

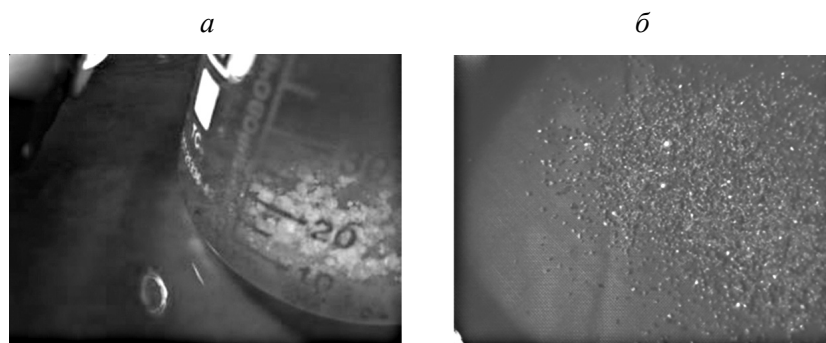


Рис. 3. Свечение смеси синтетических алмазов и породообразующих минералов после обработки люминофорсодержащей эмульсией на дне колбы (а) и на сите (б)

Подсчет светящихся кристаллов алмазов и зерен минералов кимберлита показал следующее. В зависимости от концентрации люминофоров в органической фазе исходной эмульсии доля светящихся алмазов в условиях эксперимента составляет 25–66 % (табл. 1). При подсушивании алмазов происходит осыпание люминофоров, и доля светящихся алмазов снижается до 15–50 %.

ТАБЛИЦА 1. Результаты обработки смеси синтетических алмазов и кимберлита в люминофорсодержащей эмульсии на основе ФЛ-530 и антрацена в ДТ, %

Номер опыта	Расход люминофора, мг	Доля светящихся алмазов		Доля светящихся минералов кимберлита	
		на сите	в сухом виде	до подсушивания	после подсушивания
1	ФЛ-530 – 50 Антрацен – 5	25	15	2	1
2	ФЛ-530 – 100 Антрацен – 10	33	25	5	2
3	ФЛ-530 – 150 Антрацен – 15	66	50	10	5

Доля светящихся зерен минералов кимберлита в тех же условиях существенно ниже и составляет 2 – 10%. После подсушивания также происходит осыпание люминофоров и уменьшение доли светящихся зерен (табл. 1). Таким образом, в условиях эксперимента данного этапа закрепление люминофоров отмечается не на всех алмазах, и при этом определенная доля зерен минералов кимберлита адсорбирует люминофорсодержащую органическую фазу, что в последующем может привести к их диагностированию в качестве алмаза.

На следующем этапе исследований алмазы вместе с отобранными минералами кимберлита, промытые на сите водой и просушенные, переносили в приемное пространство люминескопа “Луч-1 Ф” и анализировали в УФ-свете (рис. 4).

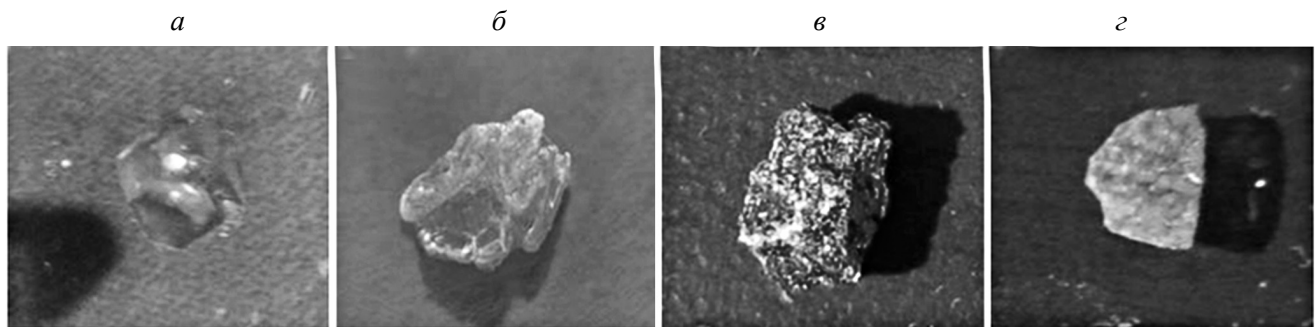


Рис. 4. Характер распределения люминофора на алмазах (а) и рудных минералах тяжелосредней сепарации (б — флогопит; в, з — пироп)

Результаты показали, что люминофорсодержащая органическая фаза закрепляется в основном на алмазах и в гораздо меньшей степени на минералах кимберлита. На кристаллах алмазов люминофор закрепляется как на поверхности, так и на неровных участках, где, видимо, удерживаются капли эмульсии. На алмазах степень покрытия поверхности достигает 40% (рис. 4а). Минералы кимберлита в неодинаковой степени адсорбируют люминофорсодержащую фазу эмульсии. В наибольшей мере к закреплению эмульсии склонен флогопит, на кристаллах которого органическая фаза эмульсии вместе с люминофором достаточно интенсивно адсорбирована в трещинах и на нарушенных поверхностях минерала (рис. 4б). На пиробах люминофорсодержащая органическая фаза закрепляется с разной интенсивностью (рис. 4в, з): на неровных кристаллах достаточно интенсивно, а на гладких поверхностях лишь точечно. Люминофорсодержащая органическая фаза эмульсии стремится закрепиться на природно гидрофобных минералах (алмаз, флогопит), а также частично на отдельных участках гидрофильных минералов, что характерно для распределения органического собирателя по поверхности минералов алмазосодержащих кимберлитов, например, в процессе пенной сепарации.

Далее ставилась задача разработки режимов наиболее эффективного закрепления люминофорсодержащей эмульсии на алмазах при минимальном закреплении на зернах минералов кимберлита. Решение ее предложено выполнить за счет применения селективных реагентов, используемых в процессе пенной сепарации алмазов.

В качестве регулятора адсорбции нефтепродуктов на поверхности минералов выбраны соли фосфорной кислоты, обладающие эффективной диспергирующей способностью по отношению к аполярным реагентам [17, 18]. При проведении исследований апробированы тринатрийфосфат и гексаметафосфат натрия с использованием синтетических алмазов и рудных минералов из пробы концентрата тяжелосредней сепарации. Выбор синтетических алмазов обусловлен необходимостью решения задачи фиксации и измерения только собственного сигнала от закрепившихся люминофоров, без сигнала, характерного природному алмазу.

#### ВЫБОР РЕЖИМОВ СЕЛЕКТИВНОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЛЮМИНОФОРСОДЕРЖАЩЕЙ ЭМУЛЬСИИ НА АЛМАЗАХ

Эффективность закрепления люминофора на зернах кимберлитовых минералов оценивалась путем анализа их изображений в ультрафиолетовом освещении. После обработки эмульсией, приготовленной на основе дизельного топлива и содержащей люминофор ФЛ-530 с добавками в водную фазу реагентов-стабилизаторов, люминофор идентифицируется на рудных минералах по характерному зеленому свечению, обусловленному его способностью излучать вторичное световое излучение с длиной волны 525 нм (рис. 5б).

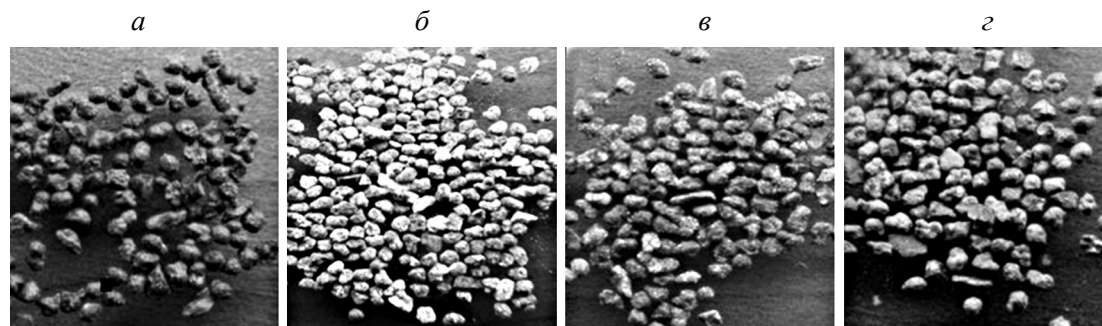


Рис. 5. Вид проб концентрата тяжелосредней сепарации исходной (а) и после обработке (б, в, з) люминофорсодержащей эмульсией при различных концентрациях тринатрийфосфата, г/л: б — 0; в — 1.0; з — 1.5

При подаче в водную фазу тринатрийфосфата количество закрепившейся на минералах кимберлита эмульсии существенно сокращается (рис. 5в) и при концентрации тринатрийфосфата в водной фазе 1.5 г/л минералы кимберлита практически не содержат на поверхности люминофоров (рис. 5з).

Количественная оценка по результатам визуального анализа, заключающегося в подсчете светящихся и несветящихся зерен минералов кимберлита в ультрафиолете (табл. 2), позволила определить концентрацию тринатрийфосфата в 1.5 г/л, необходимую для предотвращения адсорбции люминофорсодержащей органической фазы натрия. Добавки тринатрийфосфата при концентрациях до 1.0 г/л способствовали лучшему закреплению люминофоров на алмазах (табл. 2). При больших расходах эффективность закрепления люминофоров на алмазе снижается.

Аналогичные исследования проведены с использованием в качестве диспергатора органической фазы эмульсии гексаметафосфата натрия. Как следует из табл. 2, гексаметафосфат натрия является более сильным диспергатором, что вполне соответствует известным литературным данным [19].

ТАБЛИЦА 2. Доля рудных минералов и алмазов концентратов тяжелосредной сепарации, содержащих люминофор после обработки в люминофорсодержащей эмульсии, %

Номер опыта	Вид и концентрация фосфата, г/л	Доля кристаллов алмаза, содержащих люминофор	Доля зерен минералов кимберлита, содержащих люминофор
1	Без добавок фосфатов	75	70
2	Тринатрийфосфат, 0.5	90	85
3	Тринатрийфосфат, 1.0	95	40
4	Тринатрийфосфат, 1.5	90	10
2	Гексаметафосфат, 0.5	90	75
3	Гексаметафосфат, 1.0	90	30
4	Гексаметафосфат, 1.5	85	5

Полученные результаты устанавливают возможность использования тринатрийфосфата и гексаметафосфата натрия в качестве регуляторов закрепления люминофорсодержащей эмульсии на поверхности минералов кимберлита с целью увеличения селективности ее действия.

Следующий этап исследований — определение влияния добавок реагентов-диспергаторов класса фосфатов на спектрально-кинетические характеристики алмазов и минералов кимберлита. Ставилась задача предотвратить сближения спектрально-кинетических характеристик кристаллов алмаза и зерен кимберлитовых минералов. В процессе испытаний отдельные зерна или представительные пробы зерен минералов кимберлита пропускались через рабочую зону сепаратора “Полюс-М” и диагностировались по спектрально-кинетическим характеристикам как алмаз (сигнал “извлечено”) или порода (сигнал “не извлечено”).

Применение тринатрийфосфата позволило решить задачу снижения количества закрепляющегося люминофора на зернах минералов кимберлита без существенного изменения приобретенных алмазом спектрально-кинетических характеристик. Добавление в водную фазу тринатрийфосфата привело к уменьшению закрепления люминофора на поверхности кимберлитовых минералов (табл. 3). В частности, средняя величина свертки снизилась до 0.05–0.07, что практически не отличается от исходной (0.06) и лежит в интервале значений (менее 0.1), по которым исследованные минералы диагностируются как порода [20]. Аналогичным образом в разрешенном диапазоне удалось сохранить значение параметра времени затухания  $\tau_3$  (1.0–1.2). Данный критерий остается равным исходным значениям, существенно различающимся для отдельных минералов кимберлита.

ТАБЛИЦА 3. Усредненные спектрально-кинетические характеристики минералов кимберлита при обработке люминофорсодержащей эмульсией в присутствии реагента-диспергатора — тринатрийфосфата (ТНФ)

Номер опыта	Антрацен, мг	ФЛ-530	ТНФ	Свертка	$\tau_3$ , мс	МК	БК	Соотношение компонентов	Результат сепарации (извлечение %)
		мг				мВ			
1		Исходная		0.06	1.0	387	1254	2.2	15.0
3	5		0	0.26	2.9	724	2695	2.4	87.7
4	5		0.5	0.27	3.0	629	2418	1.9	45.2
5	5		1.0	0.17	2.6	318	1353	1.8	15.9
6	5		1.5	0.07	1.2	282	1391	1.4	13.0
7	10	150	0	0.26	2.6	649	4117	7.2	89.9
8	10		0.5	0.15	1.8	420	3254	6.5	54.4
9	10		1.0	0.11	1.1	409	2253	4.2	17.3
10	10		1.5	0.05	1.0	219	1297	3.8	13.5



Эксперименты показали, что без использования диспергаторов класса фосфатов (тринарийфосфата) массовая проба минералов кимберлита идентифицируется на 88–90 % как алмаз. При концентрации тринатрийфосфата 1 г/л доля идентифицируемых как алмаз минералов кимберлита снижается до уровня исходной пробы (15.9–17.3 %). При максимальном расходе тринатрийфосфата доля светящихся минералов уменьшается ниже уровня исходной пробы (табл. 3). Такое явление, вероятно, обусловлено удалением шламов природно-светящихся минералов кимберлита с поверхности крупных зерен.

#### ВЫВОДЫ

Вскрыт механизм и определены условия селективного закрепления люминофорсодержащей эмульсии на алмазах в процессе модифицирования спектрально-кинетических характеристик аномально или слабо люминесцирующих алмазов с целью их более полного извлечения в процессах рентгенолюминесцентной сепарации.

Установлено, что после высушивания обработанных алмазосодержащих продуктов неорганические люминофоры удерживаются на поверхности кристаллов алмаза тонким слоем высокомолекулярных фракций нефтепродуктов, не испаряющихся в процессе сушки. Закрепившиеся на поверхности кристаллов люминофоры обуславливают требуемое изменение спектрально-кинетических характеристик сигнала люминесценции алмаза.

Использование тринатрийфосфата и гексаметафосфата натрия в составе люминофорсодержащей эмульсии позволяет при концентрации 1.5 г/л предотвратить закрепление люминофоров на поверхности минералов кимберлита и поддерживать спектрально-кинетические характеристики минералов кимберлита (свертку, время запаздывания, отношение быстрой и медленной компонент) на природном уровне.

В установленном режиме достигается селективное закрепление органической фазы люминофорсодержащей композиции на кристаллах слабо или аномально люминесцирующих алмазов и поддерживается достаточный уровень модифицирования их спектрально-кинетических характеристик, обеспечивающий извлечение в алмазный концентрат.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Монастырский В. Ф., Макалин И. А., Новиков В. В., Плотникова С. П., Никифорова Т. М.** Повышение эффективности рентгенолюминесцентной сепарации алмазосодержащего сырья // Наука и образование. — 2017. — № 3. — С. 86–90.
2. **Макалин И. А.** Исследование закономерностей распределения характеристик рентгеновской люминесценции алмазосодержащего сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Екатеринбург, 2013. — 140 с.
3. **Мартынович Е. Ф., Миронов В. П.** Рентгенолюминесценция алмазов и ее использование в алмазодобывающей промышленности России // Изв. вузов. — 2009. — 12 с.
4. **Чантурия В. А., Двойченкова Г. П., Морозов В. В., Ковальчук О. Е., Подкаменный О. Е., Яковлев В. Н.** Экспериментальное обоснование состава люминофоров для индикации алмазов в условиях рентгенолюминесцентной сепарации кимберлитовых руд // ФТПРПИ. — 2018. — № 3. — С. 112–120.
5. **Чантурия В. А., Двойченкова Г. П., Морозов В. В., Яковлев В. Н., Ковальчук О. Е., Подкаменный Ю. А.** Экспериментальное обоснование состава люминофорсодержащих композиций для извлечения нелюминесцирующих алмазов // ФТПРПИ. — 2019. — № 1. — С. 128–136.
6. **Смирнова Т. Д.** Методы люминесцентного анализа: метод. указания. — Саратов: СГУ, 2012. — 46 с.

7. **Menshikova A. Yu., Pankova G. A., Evseeva T. G., Shabsels B. M., and Shevchenko N. N.** Lumino-phore-containing polymer particles: Synthesis and optical properties of thin films on their basis, *Nanotechnologies in Russia*, April 2012, Vol. 7, Issue 3–4. — P. 188–195.
8. **Pron A., Gawrys P., Zagorska M., Djurado D. and Demadrille R.** Electroactive materials for organic electronics: preparation strategies, structural aspects and characterization techniques, *Chem. Soc. Rev.*, 2010, Vol. 39, No. 7. — P. 2577–2632.
9. **Ковальчук О. Е., Двойченкова Г. П., Яковлев В. Н.** Повышение извлечения аномально люминесцирующих алмазов методом модифицирования свойств их поверхности // Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в 21 веке (Плаксинские чтения-2019). — Иркутск, 2019. — С. 253–255.
10. **Владимиров Е. Н., Казаков Л. В., Колосова Н. П.** Повышение эффективности работы сепаратора алмазов за счет цифровой обработки сигналов // *Совр. электроника*. — 2008. — № 2. — С. 64–69.
11. <https://micromed.nt-rt.ru/images/manuals/3%20LYuM.pdf>
12. <http://ovespb.ru/catalog/item/Separator-POLYuS-M/>
13. **Chanturiya V. A., Dvoychenkova G. P., and Kovalchuk O. Ye.** Mechanism of fine dispersed mineral formation on the surface of diamonds and their removal by water system electrolysis products // *IMPC 2016: XXVIII Int. Mineral Processing Congress Proceedings* — ISBN: 978-1-926872-29-2.
14. **Махрачев А. Ф., Двойченкова Г. П., Лезова С. П.** Исследование и оптимизация состава компаундных собирателей для пенной сепарации алмазов // *ГИАБ*. — 2018. — № 11. — С. 178–185.
15. **Кувыкин В. И., Кувыкина Е. В.** Вязкость смеси углеводородов // *Естественные и математические науки в современном мире*. — 2016. — № 1 (36). — С. 46–51.
16. **Верхотуров М. В., Амелин С. А., Коннова Н. И.** Обогащение алмазов // *Международ. журн. экспериментального образования*. — 2012. — № 2. — С. 61.
17. **Zhang J., Kouznetsov D., and Yub M.** Improving the separation of diamond from gangue minerals // *Min. Eng.*, Vol. 36–38, October 2012. — P. 168–171.
18. **Pestriak I., Morozov V., and Erdenetuya O.** Modelling and development of recycled water conditioning of copper-molybdenum ores processing, *Int. J. of Min. Sci. and Technology*, 2019, Vol. 29. — P. 313–317.
19. **Брагина В. И., Брагин В. И.** Технология обогащения полезных ископаемых. — Красноярск: СФУ, 2011. — 380 с.
20. **Пат. РФ № 2271254.** Способ разделения минералов по их люминесцентным свойствам и способ определения порога разделения / Владимирова Е. Н., Казаков Л. В., Пахомов М. О., Райзман В. Ш., Шлюфман Е. М. // *Опубл. в БИ*. — 2006. — № 7.

*Поступила в редакцию 23/1 2020*

*После доработки 28/1 2020*

*Принята к публикации 04/II 2020*