

## ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.7

### ВЫБОР ЛЮМИНОФОРСОДЕРЖАЩИХ РЕАГЕНТОВ-МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛМАЗОВ

**В. А. Чантурия, В. В. Морозов, Г. П. Двойченкова, Е. Л. Чантурия,  
О. Е. Ковальчук, Ю. А. Подкаменный**

*Институт проблем комплексного освоения недр РАН,  
E-mail: dvoigr@mail.ru, Крюковский тупик, 4, 111020, г. Москва, Россия*

Разработана методика модифицирования спектрально-кинетических характеристик аномально люминесцирующих алмазов с применением люминофоров, которая обеспечивает одновременное увеличение амплитуд медленной и быстрой компонент сигнала рентгенолюминесценции в заданном соотношении (1 : 1). Установлено, что аномально и слабо люминесцирующие алмазы после модифицирования люминофорами увеличивают значения амплитуд спектрально-кинетических характеристик и распознаются как природные кристаллы с требуемой интенсивностью люминесценции. При выбранном подходе достигается одновременное увеличение свертки и постоянной времени затухания сигнала рентгенолюминесценции, вследствие чего у аномально и слабо люминесцирующих алмазов возрастают значения данных характеристик, и они диагностируются как природные алмазы с последующим извлечением в процессе рентгенолюминесцентной сепарации.

*Алмазы, рентгенолюминесцентная сепарация, люминофоры, композиция, спектрально-кинетические характеристики, модифицирование*

DOI: 10.15372/FTPRPI20210410

Важным резервом повышения технико-экономических показателей обогащения алмазосодержащих кимберлитов является снижение потерь алмазов крупностью – 5 + 2 мм, которые достигают 5 – 6 %, что в стоимостном выражении превышает 50 млн долл/год [1, 2].

Потери алмазов в процессе рентгенолюминесцентной сепарации (РЛС) связаны с тем, что часть алмазных кристаллов имеет аномальную или слабую рентгенолюминесценцию и не извлекаются при работе сепараторов существующих моделей. Применяемая для доизвлечения алмазов из хвостов РЛС липкостная сепарация — весьма затратный технологический процесс, затрудняющий цикл доводки из-за необходимости удаления остатков липкостной мази с по-

верхности кристаллов [3, 4]. Метод рентгенографической сепарации, который получил развитие в последние годы [5, 6], требует существенного изменения конструкции действующих сепараторов и технологических схем.

С учетом недостаточной эффективности существующих и разрабатываемых технологий задача снижения потерь алмазов со слабой или аномальной светимостью остается весьма актуальной [7, 8].

Для извлечения теряемых в процессе РЛС алмазов коллективом ученых ИПКОН РАН под руководством акад. В. А. Чантурия предложена обработка алмазосодержащего сырья люминофорсодержащими композициями, обеспечивающая приближение спектрально-кинетических характеристик алмазов к параметрам природных кристаллов, что обуславливает их извлечение в концентрат с использованием стандартных схем и настроек РЛС [9, 10].

Основной причиной, сдерживающей применение люминофорсодержащих реагентов для повышения извлечения слабо и аномально люминесцирующих алмазов, является недостаточная теоретическая и экспериментальная изученность процесса, в частности отсутствие методик выбора состава люминофорсодержащих композиций. Цель настоящих исследований — обоснование научного подхода для выбора комбинации люминофоров, обеспечивающей необходимый уровень модифицирования люминесцентных характеристик слабо и аномально люминесцирующих алмазных кристаллов и, соответственно, их селективное извлечение в концентрат РЛС при минимальном выходе попутных минералов кимберлита.

#### МЕТОДИКИ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В экспериментах использовались двадцать коллекций, состоящих из кристаллов алмаза и зерен основных сопутствующих минералов кимберлита (рис. 1). Крупность алмазов и минералов кимберлита составляла – 5 + 3 мм.



Рис. 1. Кристалл алмаза и попутные минералы кимберлита: 1 — аномально люминесцирующий алмаз; 2 — магнизиальный ильменит; 3 — флогопит; 4 — циркон; 5 — оливин; 6 — пироп; 7 — лейкократовая порода; 8 — меланократовая порода; 9 — халькопирит; 10 — пирит

Методика эксперимента включала операции приготовления эмульсии заданного состава, обработки смеси минералов, дренирования эмульсии, анализа спектральных характеристик минералов при их активации рентгеновским излучением [11].

Производимые рентгенолюминофоры имеют различные свойства и характеристики: длину волны сигнала люминесценции, продолжительность и форму сигнала, растворимость в воде и органических веществах, олеофильность и др. [12, 13]. Для корректировки спектральных характеристик алмазов применялись неорганический люминофор ФЛ-530 с интенсивной медленной составляющей и органический люминофор антрацен с интенсивной быстрой составляющей сигнала рентгенолюминоесценции [8].

Сигнал рентгеновской люминесценции алмазов и минералов проводился по следующим параметрам: амплитуде медленной компоненты сигнала ( $A_{мк}$ ), постоянной времени затухания сигнала ( $\tau_3$ ), нормированной корреляционной функции — свертке сигнала ( $Sv$ ); отношению компонент амплитуд сигнала ( $K_A$ ).

Для получения спектрально-кинетических характеристик алмазов и определения их соответствия требуемым для извлечения в процессе РЛС применялся лабораторный сепаратор “Полус-М” ЗАО “Буревестник” [14]. Исходные минералы и их смеси анализировались в селективном режиме, характеризующемся следующими настройками:  $A_{мк} \geq 0.2$  В,  $Sv \geq 0.1$ ,  $\tau_3 = 1.0 - 18$  мс,  $K_A = 1 - 12$ , используемыми в промышленном процессе РЛС [15].

#### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЛЮМИНОФОРСОДЕРЖАЩИХ РЕАГЕНТОВ-МОДИФИКАТОРОВ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛМАЗОВ

Совокупность спектрально-кинетических характеристик, используемая в процессе РЛС, обеспечивает эффективное отделение алмазов с характерным природным сигналом рентгенолюминоесценции от большинства попутных минералов. Анализ причин потерь алмазов по выбранным разделительным признакам показал, что более 5% кристаллов алмаза имеют аномально низкую или высокую амплитуду быстрой и медленной компонент сигнала, которые, как и их соотношение  $K_A$ , выходят за пределы функционального интервалов критериев в настройках сепаратора, что обуславливает потери кристаллов в процессе РЛС [10, 11].

Выбранный принцип модифицирования спектрально-кинетических характеристик с использованием люминофоров предполагает одновременное увеличение  $A_{мк}$  и  $A_{бк}$  в таком соотношении, при котором спектральные характеристики алмазов смещаются в область их обнаружения (идентификации в качестве алмазов) по отдельным параметрам, соответствующим выбранным значениям критериев в настройках сепараторов.

Выбор направления смещения значений амплитуд компонент сигнала люминесценции алмазов после обработки люминофорсодержащими композициями поясняется рис. 2.

При увеличении  $A_{мк}$  область характерных значений спектральных характеристик алмаза смещается вправо вдоль оси абсцисс (рис. 2, область 5), при этом только часть алмазов с низкой  $A_{мк}$  переходит в область положительной идентификации. При увеличении  $A_{бк}$  характеристики сигнала смещаются вверх вдоль оси ординат (область 6) и часть алмазов с низкой  $A_{бк}$  переходит в область положительной идентификации. Наилучшие результаты достигаются при одновременном увеличении  $A_{мк}$  и  $A_{бк}$ , когда область характерных значений этих характеристик для алмазов смещается под углом относительно оси абсцисс (рис. 2, область 7). При этом аномально люминесцирующие алмазные кристаллы с высокой  $A_{бк}$  или с низкой  $A_{мк}$  переходят в область их положительной идентификации как по  $A_{мк}$ , так и по соотношению амплитуд компонент  $K_A$ .

Таким образом, предлагаемый принцип выбора люминофоров для модифицирования амплитуд сигнала рентгенолюминоесценции слабо и аномально люминесцирующих алмазов заключается в решении задачи одновременного увеличения медленной и быстрой компонент

в соотношении, обеспечивающем как аномально люминесцирующим алмазам с высокой амплитудой быстрой компоненты, так и слаболюминесцирующим алмазам положительную диагностику (идентификацию в качестве алмазов) по амплитуде медленной компоненты и соотношению компонент.

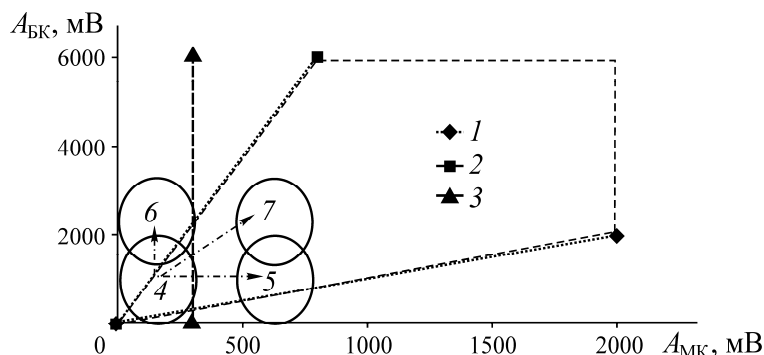


Рис. 2. Обоснование принципа модифицирования спектрально-кинетических характеристик алмаза  $A_{МК}$  и  $A_{БК}$ : 1, 2 — нижняя и верхняя границы области идентификации по соотношению амплитуд компонент; 3 — граница области идентификации алмазов по  $A_{МК}$ ; 4–7 — области значений спектральных характеристик алмазов, где 4 — исходная, 5 — при наращивании  $A_{МК}$ ; 6 — при наращивании  $A_{БК}$ ; 7 — при одновременном наращивании  $A_{МК}$  и  $A_{БК}$ ;  $\square$  — область положительной идентификации (обнаружения) алмазов

Выбор направления изменения свертки  $Sv$  и постоянной времени затухания  $\tau_3$  сигнала рентгенолюминесценции алмазов после модифицирования люминофорсодержащими композициями с учетом абсолютных изменений параметров представлен на рис. 3.

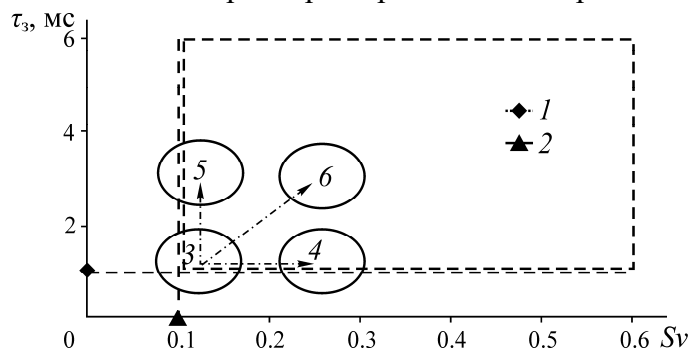


Рис. 3. Обоснование принципа модифицирования спектрально-кинетических характеристик алмаза  $Sv$  и  $\tau_3$ : 1 — нижняя граница области положительной идентификации по  $Sv$ ; 2 — нижняя граница области идентификации по  $\tau_3$ ; 3–6 — области значений спектральных характеристик, где 3 — исходная, 4 — при увеличении  $Sv$ ; 5 — при увеличении  $\tau_3$ ; 6 — при одновременном увеличении  $Sv$  и  $\tau_3$ ;  $\square$  — область положительной идентификации (обнаружения) алмазов

При увеличении  $Sv$  область характерных значений спектральных характеристик алмазов смещается вправо вдоль оси абсцисс (рис. 3, область 4), при этом только часть алмазов с низкой  $Sv$  переходит в область положительной идентификации. При увеличении  $\tau_3$  область характерных значений смещается вверх вдоль оси ординат (область 5) и лишь часть алмазов с небольшим уровнем  $\tau_3$  переходит в область их положительной идентификации. Требуемый результат — придание аномально и слабо люминесцирующим алмазам характеристик нормальных природных кристаллов достигается при одновременном увеличении обеих характеристик. При одновременном увеличении  $Sv$  и  $\tau_3$  в определенном соотношении область характерных

значений этих характеристик смещается под углом относительно оси абсцисс (рис. 3, область б), алмазы с малыми значениями  $Sv$  и  $\tau_3$  переходят в область их обнаружения по этим характеристикам.

Требуемый результат — смещение характеристик слабо и аномально люминесцирующих алмазных кристаллов в зону положительной диагностики может быть достигнуто пропорциональным увеличением  $Sv$  и  $\tau_3$ , когда алмазы наращивают значения данных характеристик и диагностируются как природные алмазы и извлекаются в процессе РЛС.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выбранная методика модифицирования спектрально-кинетических характеристик слабо и аномально люминесцирующих алмазов с использованием люминофоров требует экспериментальной проверки, что обусловлено следующими факторами: во-первых, необходимо установить, возможно ли одновременное смещение в необходимом направлении всех спектрально-кинетических характеристик; во-вторых, необходимо иметь расчетные зависимости, позволяющие определить смещение спектрально-кинетических характеристик в процессе обработки алмазов композицией люминофоров при варьировании их состава; третьей задачей является определение реакции сопутствующих минералов кимберлита, неизбежно изменяющих свои характеристики при попутном закреплении на них люминофорсодержащих композиций.

При проведении исследований использовалось двадцать коллекций минералов, включающих алмазы и сопутствующие минералы. Обработка алмазов и минералов проводилась эмульсией с люминофорсодержащей композицией переменного состава.

Методика эксперимента, описанная в [8, 9], включала приготовление композиции, состоящей из смеси люминофоров и органического растворителя; смешивание с водой и приготовление люминофорсодержащей эмульсии, обработку алмазов, обеспечивающую закрепление композиции на поверхности алмазов.

Выбранный состав эмульсии включал в качестве органической фазы (носителя люминофоров) дизельное топливо. Для стабилизации органической фазы применялись добавки в водную фазу регулятора дисперсности эмульсии — алкилсульфоната и реагента — депрессора минералов кимберлита — гексаметафосфата натрия. При проведении эксперимента пробу, состоящую из алмазов и минералов кимберлита, обрабатывали в течение 1 мин, после чего эмульсия смывалась технической водой. План эксперимента представлял собой матрицу из 20 опытов. Концентрации люминофоров в органической фазе композиции составили: для антрацена — 0, 0.5, 0.75, 1.25 и 2.5 г/л; для ФЛ-530 — 0, 25, 37.5 и 50 г/л. Другие условия эксперимента (расход реагентов-регуляторов и депрессоров) сохранялись постоянными.

Обработка результатов опытов проводилась методом регрессионного анализа полученных данных и заключалась в расчете регрессионных уравнений зависимостей отдельных критериев — спектрально-кинетических характеристик от концентраций люминофоров в композиции и в определении значимости уравнений [16].

Полученные результаты показали, что увеличение концентрации антрацена в композиции приводит к росту амплитуды быстрой компоненты  $A_{БК}$  (рис. 4а), а увеличение концентрации ФЛ-530 — к росту амплитуды медленной компоненты  $A_{МК}$  (рис. 4б). Рост соотношения концентраций ФЛ-530 и антрацена способствует уменьшению соотношения амплитуд быстрой и медленной компонент  $K_A$  сигнала рентгенолюминесценции алмазов (рис. 5).

Анализ зависимости соотношения амплитуд компонент  $K_A$  от соотношения концентраций люминофоров в органической фазе композиции (дизельном топливе) показал, что при выдерживании соотношения концентраций люминофоров ФЛ-530 и антрацена 50:1 достигается снижение  $K_A$  аномально люминесцирующих алмазов до 11, что обеспечивает их обнаружение в процессе РЛС (рис. 5).

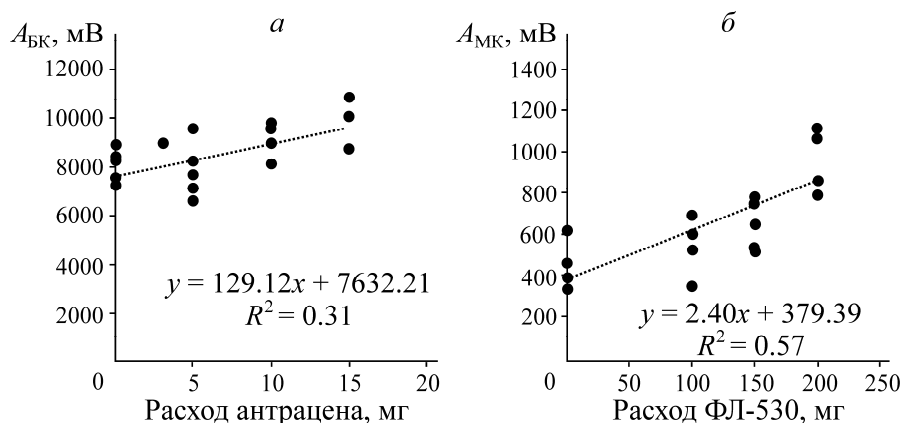


Рис. 4. Зависимость амплитуд быстрой (а) и медленной (б) компонент anomalно люминесцирующих алмазов от концентрации люминофоров в композиции

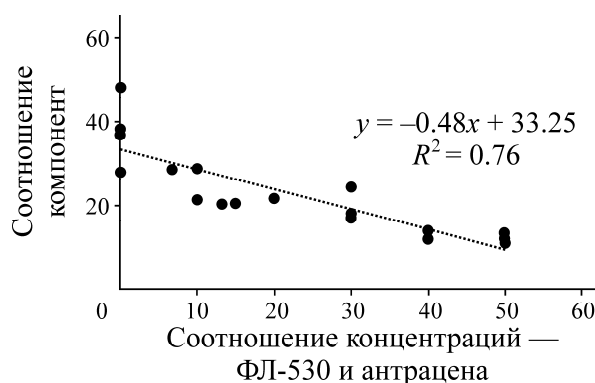


Рис. 5. Зависимость соотношения амплитуд компонент от соотношения концентраций люминофоров в люминофорсодержащей композиции

Полученные регрессионные уравнения подтвердили устойчивую связь амплитуд компонент, их отношения, свертки и постоянной времени затухания с концентрациями антрацена ( $C_A$ ) и ФЛ-530 ( $C_{ФЛ}$ ) (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Регрессионные уравнения и статистические характеристики связей спектрально-кинетических характеристик anomalно люминесцирующих алмазов от концентраций люминофоров в композиции

Уравнение связи	$R$	$R^2$	$F/F_{кр}$	Оценка
$A_{МК} = 371.3 - 5.5 C_A + 9.68 C_{ФЛ}$	0.917	0.841	59.48/3.59	Значимое
$A_{БК} = 7920.7 + 380.6 C_A - 6.08 C_{ФЛ}$	0.557	0.310	3.75/3.59	Значимое
$K_A = 48.3 + 2.34X_1 - 0.64 C_{ФЛ}$	0.770	0.593	12.38/3.59	Значимое
$Sv = 0.359 + 0.0185 C_A + 0.00093 C_{ФЛ}$	0.568	0.322	3.94/3.59	Значимое
$\tau_3 = 0.632 + 0.176 C_A + 0.0304 C_{ФЛ}$	0.585	0.341	4.41/3.59	Значимое

Аналогичные регрессионные уравнения, связывающие изменение спектрально-кинетических характеристик с концентрациями люминофоров, получены и для попутных минералов кимберлита. Анализ статистических параметров зависимостей спектрально-кинетических характеристик алмазов и минералов от концентраций люминофоров ( $R^2$ ,  $F/F_{кр}$ ) позволил рассматривать полученные зависимости как значимые. Регрессионные уравнения позволили рассчитать отдельные параметры спектрально-кинетических характеристик алмазов и минералов кимберлита после их обработки люминофорсодержащей эмульсией различного состава.

Анализ изменения амплитуд сигнала люминесценции алмазов и минералов кимберлита под действием люминофорсодержащей эмульсии показал, что алмазы характеризовались приростом компонент 500–1600 мВ. Для сопутствующих минералов, в силу меньшей адсорбции люминофорсодержащей композиции, характерен прирост амплитуд компонент 63–245 мВ.

Благодаря полученным регрессионным зависимостям определено соотношение концентраций люминофоров, при котором амплитуды быстрой и медленной компонент были бы равны. Так, при использовании композиций, содержащих люминофоры в соотношении 50:1 (например, 37.5 г/л ФЛ-530 и 0.75 г/л антрацена), достигается прирост амплитуды сигнала на алмазах по медленной компоненте на 490 мВ и по быстрой компоненте — 450 мВ (рис. 6). Соотношение прироста компонент близко к 1, что позволяет устойчиво диагностировать аномально и слабо люминесцирующие алмазы после их соответствующей обработки. Такой прирост компонент вызывает смещение отношения компонент с 14.7 до 10.3, что обеспечивает обнаружение аномально люминесцирующих алмазов по данному критерию.



Рис. 6. Изменение спектральных характеристик алмазов и попутных минералов кимберлита  $A_{МК}$  и  $A_{БК}$  после обработки в люминофорсодержащей эмульсии: 1, 2 — нижняя и верхняя границы области идентификации алмазов по  $K_A$ ; 3 — граница области идентификации алмазов по  $A_{МК}$ , где 4, 5 — аномально и слабо люминесцирующего алмаза; 6 — магнетиальный ильменит; 7 — флогопит; 8 — циркон; 9 — оливин; 10 — пироп; 11 — лейкократовой породы; 12 — меланократовой породы; 13 — халькопирита; 14 — пирита;  $\cdots$  — область положительной идентификации (обнаружения)

При обработке эмульсией с выбранным составом и концентрациями люминофоров аномально и слабо люминесцирующие алмазы увеличивают значения  $A_{МК}$  и  $A_{БК}$  и распознаются как алмазы с нормальными спектральными характеристиками (рис. 6, векторы 4, 5). Большинство минералов кимберлита, характеризующихся малыми значениями  $A_{МК}$  и  $A_{БК}$ , не достигают области идентификации. В наибольшей мере приближаются к этой области и даже располагаются в приграничной части области идентификации магнетиальный ильменит и флогопит (векторы 6 и 9). Минералы с большим значением  $A_{БК}$  (пироп) изменяют значения компонент в малой степени и их характеристики не достигают значений, в которых минералы будут распознаваться как алмазы (рис. 6, вектор 10). Характеристики минералов кимберлита с высокой  $A_{МК}$  и низкой  $A_{БК}$  (циркон) не достигают зоны положительной идентификации (рис. 6, вектор 8).

Полученные результаты исследований подтверждают возможность требуемого изменения спектральных характеристик алмазов при соотношении изменений амплитуд сигналов  $\Delta A_{БК}$  и  $\Delta A_{МК}$ , близком к 1:1. При выбранном соотношении приростов амплитуд сигнала обеспечива-

ется смещение характеристик аномально люминесцирующего алмаза (с большой  $A_{BK}$ ) в область положительной идентификации. При выбранных концентрациях люминофоров минералы кимберлита в существенно меньшей степени изменяют свои характеристики и не достигают области, в которой они могли бы распознаваться как алмазы.

Результаты измерений показали, что после обработки люминофорсодержащей эмульсией аномально люминесцирующие алмазы увеличивают значение параметра  $S_V$  с 0.36 до 0.49 (рис. 7). Слабо люминесцирующие алмазы после обработки еще более существенно увеличивают значение  $S_V$  (с 0.07 до 0.31). Для минералов кимберлита после обработки в люминофорсодержащей эмульсии характерно значительно меньшее увеличение  $S_V$  (на 0.03 – 0.08).

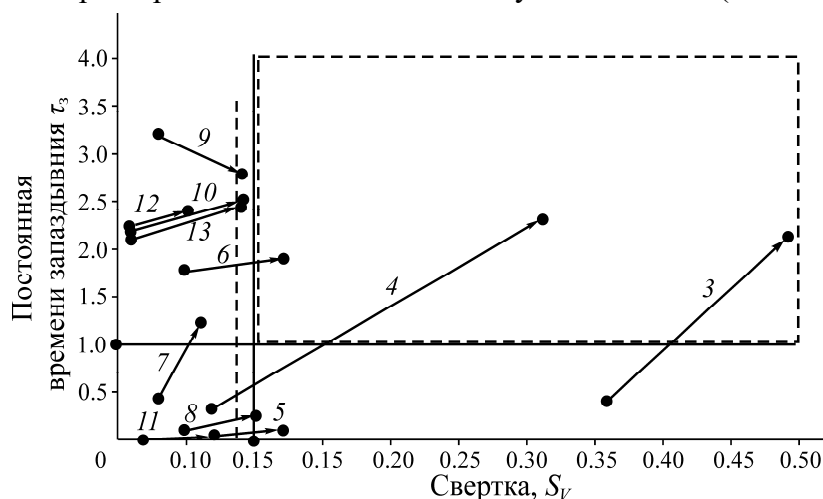


Рис. 7. Изменение спектральных характеристик алмазов и минералов кимберлита  $S_V$  и  $\tau_3$  после обработки в люминофорсодержащей эмульсии: 1 — граница области идентификации алмазов по  $\tau_3$ ; 2 — верхняя граница области идентификации алмазов по  $S_V$ ; 3–13 — изменение спектральных характеристик, где 3, 4 — аномально и слабо люминесцирующего алмаза; 5 — магнетитового ильменита; 6 — флогопита; 7 — циркона; 8 — оливина; 9 — пироба; 10 — лейкократовой породы; 11 — меланократовой породы; 12 — халькопирита; 13 — пирита;  $\dots$  — область положительной идентификации (обнаружения)

Установлено, что после обработки люминофорсодержащей эмульсией при соотношении в композиции концентраций ФЛ-530 и антрацена 50:1 аномально люминесцирующий алмаз увеличивает  $\tau_3$  с 0.63 до 2.1, а слабо люминесцирующий алмаз — с 0.35 до 2.3. Такое изменение характеристик сигнала люминесценции будет положительно сказываться на показателях РЛС, поскольку исследованный алмаз с аномальной спектрально-аналитической характеристикой без обработки имеет  $\tau_3$  меньше необходимой для его обнаружения в процессе РЛС (рис. 7). Увеличение  $\tau_3$  зерен минералов кимберлита после обработки эмульсией существенно меньше, чем у алмаза (0.15–0.7). Для минералов с высоким исходным значением  $\tau_3$  (пироп) наблюдается небольшое снижение значения параметра.

Согласно данным статистического анализа, для предотвращения извлечения сопутствующих минералов в концентрат необходимо при выдерживании соотношения концентраций люминофора ФЛ-530 и антрацена 50:1 применить их средние концентрации в исследованном диапазоне. В соответствии с полученными результатами теоретических и экспериментальных исследований рекомендовано использование для модифицирования спектрально-кинетических характеристик алмазов композиции люминофоров с концентрацией в органической фазе люминофоров: антрацена — 0.75 г/л, ФЛ-530 — 37.5 г/л. При использовании композиции такого состава достигается необходимое изменение спектрально-кинетических характеристик аномально и слабо люминесцирующих алмазов, обеспечивающее их обнаружение и извлечение в процессе РЛС.



Проверка предложенного состава проводилась на массовых пробах, состоящих из не извлекаемых РЛС алмазов (10 кристаллов) и зерен кимберлита (10 г) крупностью 3–5 мм. Процесс сепарации выполнен в сепараторе “Полюс-М” в потоке при стандартных настройках селективного режима. Результаты сепарации показали, что все алмазы после обработки приобрели необходимые характеристики и были извлечены в алмазосодержащий концентрат (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. Результаты диагностики массовых проб алмазов и минералов кимберлита до и после обработки люминофорсодержащей композицией оптимального состава

Режим	Свертка	Отношение компоненты $K_A$	$\tau_3$ , мс	$A_{МК}$ , мВ	$A_{БК}$ , мВ	Результат идентификации (сепарации)
Слабо люминесцирующие алмазы						
До обработки	0.015	9.9	50.0	128.0	2742.0	Не обнаружены
После обработки	0.045	9.2	0.8	327.5	4346.0	Обнаружены
Аномально люминесцирующие алмазы						
До обработки	0	41.2	50.0	303.0	14091.5	Не обнаружены
После обработки	0.105	13.2	1.8	2127.0	14534.0	Обнаружены
Попутные минералы кимберлита						
До обработки	0	41.2	50.0	303.0	14091.5	Выход 1.3 %
После обработки	0.105	13.2	1.8	2127.0	14534.0	Выход 1.5 %

Изменения спектрально-кинетических характеристик сопутствующих минералов вследствие попутного закрепления композиции люминофоров не привели к существенному увеличению их выхода в концентрат РЛС при выбранных настройках сепаратора. Полученные результаты позволили рекомендовать выбранный состав люминофорсодержащей композиции для применения в условиях технологического процесса.

#### ВЫВОДЫ

Разработана методика выбора состава люминофорсодержащей композиции для модифицирования спектрально-кинетических характеристик слабо и аномально люминесцирующих алмазов, заключающаяся в обеспечении прироста амплитуд медленной и быстрой компонент сигнала рентгенолюминесценции в соотношении, близком к 1:1. При выполнении данных условий неизвлекаемые алмазы с недостаточно большими значениями свертки и постоянной времени затухания сигнала рентгенолюминесценции наращивают значения данных параметров и в процессе РЛС диагностируются как природные алмазы с нормальными природными характеристиками.

Научно обоснован и разработан состав композиции люминофоров с концентрациями антрацена 0.75 г/л, ФЛ-530 — 37.5 г/л. При использовании композиции данного состава обеспечивается требуемое смещение спектрально-кинетических характеристик аномально и слабо люминесцирующих алмазов и, как следствие, их извлечение в концентрат при действующих настройках сепараторов. При этом изменение характеристик сопутствующих минералов не приводит к существенному увеличению их извлечения в концентрат РЛС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чантурия В. А. Современное состояние алмазодобывающей отрасли России и основных алмазодобывающих стран мира // Горн. журн. — 2015. — № 3. — С. 67–74.
2. Монастырский В. Ф., Макалин И. А. Повышение эффективности рентгенолюминесцентной сепарации алмазосодержащего сырья // Наука и образование. — 2017. — № 3. — С. 86–90.
3. Отчет независимых экспертов о запасах и ресурсах месторождений алмазов группы компаний “АЛРОСА”. — Майкон Интернэшнл Ко Лимитед, 2013. — 468 с.

4. **Островская Г. Х., Двойченкова Г. П., Тимофеев А. С.** Повышение извлечения алмазов класса –5 мм в концентраты рентгенолюминесцентной сепарации доводочных операций // ГИАБ. — 2015. — № 9. — С. 114–122.
5. **Рахмеев Р. Н., Чикин А. Ю., Федоров Ю. О., Войлошников Г. И.** Результаты испытаний рентгенорадиометрического сепаратора для обогащения алмазосодержащих концентратов // Изв. вузов. Горн. журн. — 2017. — № 5. — С. 80–88.
6. **Пат. RU 2715374.** Рентгенографический сепаратор минералов / Владимиров Е. Н., Жогин И. Л., Волк Е. Б. // Опубл. в БИ 02.26. 2020.
7. **Макалин И. А.** Исследование закономерностей распределения характеристик рентгеновской люминесценции алмазосодержащего сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Екатеринбург, 2013. — 140 с.
8. **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.
9. **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 не люминесцирующих алмазов // ФТПРПИ. — 2019. — № 1. — С. 128–136.
10. **Чантурия В. А., Двойченкова Г. П., Морозов В. В., Ковальчук О. Е., Подкаменный Ю. А., Яковлев В. Н.** Исследование механизма и выбор режимов селективного закрепления люминофорсодержащей эмульсии на алмазах // ФТПРПИ. — 2020. — № 1. — С. 104–113.
11. **Demchenko A. P.** Introduction to fluorescence sensing, Vol. 1, Materials and Devices, New York: Springer. 3<sup>rd</sup> ed., 2020. — 673 p.
12. **Lakowicz J. R., Gryczynski I., Gryczynski Z., Tolosa L., Rao G., Dattelbaum J., and Elchorn L.** Novel Methods in fluorescence sensing, Cambridge University Press: 02 July 2020.
13. **Tsy-pin E. F., Ovchinnikova T. I., Efremova T. A., and Elizarov D. B.** Technological aspects of ore pre-concentration with x-ray fluorescence separation, Izvestiya vuzov. Mining Magazine, 2019, No. 7. — P. 101–112.
14. **Авдеев С. Е., Махрачев А. Ф., Казаков Л. В., Левитин А. И., Морозов В. Г.** Рентгенолюминесцентные сепараторы НПП “Буревестник” — аппаратная основа российской технологии обогащения алмазосодержащего сырья // Горн. журн. — 2005. — № 7. — С. 105–107.
15. **Мартынович Е. Ф., Миронов В. П.** Рентгенолюминесценция алмазов и ее использование в алмазодобывающей промышленности России // Изв. вузов. — 2009. — 12 с.
16. **Samprit Chatterjee and Jeffrey S. Simonoff** handbook of regression analysis. Ed. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2013. — 236 p.

*Поступила в редакцию 31/V 2021*

*После доработки 15/VI 2021*

*Принята к публикации 30/VI 2021*