




Применение люминофора из фосфогипса в качестве люминесцентного наполнителя для полимеров

Роман П. Медведев ¹	rstal555@gmail.com	 0000-0003-2599-0373
Юлия С. Подковырина ²	yuliya.podkovyrina@bk.ru	 0000-0001-5464-7481
Алина А. Скорынина ²	alinaskorynina@gmail.com	 0000-0001-9844-0220




¹ ООО АН Полимер, ул. Просвещения, 155, г. Новочеркасск, 346428, Россия

² Международный исследовательский институт интеллектуальных материалов Южного федерального университета, ул. А. Сладкова, 178/24, Ростов-на-Дону, 344090, Россия

Аннотация. В современной России и странах СНГ актуальной экологической проблемой являются отходы фосфогипса. Данный продукт получается при производстве фосфорной кислоты и является многотоннажным малоперерабатываемым отходом. По данным открытых источников, его перерабатывают в 20 раз меньше чем производят. Попытки применения при производстве цемента, в строительстве, в сельскохозяйственном назначении не приводят к кардинальному перелому и он по-прежнему накапливается. В связи с этим является актуальной тема переработки и использования фосфогипса. В современном мире есть спрос на яркие люминесцентные цвета, краски, товары народного потребления. Анализ литературы показал, что люминофоры можно изготавливать из разных химических веществ, в том числе из сульфидов металлов. Цель работы – изучить возможность получения люминофора из фосфогипса и применения его в качестве наполнителя-пигмента для полимерных изделий. Получен люминофор из фосфогипса методом восстановления фосфогипса органическим веществом. Данный люминофор изучали в полиэтиленовой, полипропиленовой, полистирольной и других полимерных матрицах. Показано, что он совместим с полиолефинами, полистиролом, поливинилхлоридом, нитроцеллюлозными матрицами; не совместим с эпоксидными матрицами. Показано, что при температуре плавления полимеров данный люминофор не разлагается, своих свойств не теряет. В результате работы сделаны выводы о возможности получения дешёвого люминофорного наполнителя, который совместим со многими промышленными полимерами. Данный люминофор можно использовать в игрушках, при изготовлении специальной люминесцентной краски и товаров народного потребления.

Ключевые слова: полимеры, композиты, фосфогипс, люминофор, люминесценция, отходы

The use of the phosphor of phosphogypsum as a filler for fluorescent polymers

Roman P. Medvedev ¹	rstal555@gmail.com	 0000-0003-2599-0373
Yulia S. Podkovyrina ²	yuliya.podkovyrina@bk.ru	 0000-0001-5464-7481
Alina A. Skorynina ²	alinaskorynina@gmail.com	 0000-0001-9844-0220

¹ AN Polymer, Prosveshcheniya st., 155, Novocherkassk, 346428, Russia

² The Smart Materials Research Institute Southern Federal University, Sladkova st. 178/24, Rostov-on-Don, 344090, Russia

Abstract. In modern Russia and the CIS countries, phosphogypsum waste is an urgent environmental problem. This product is obtained in the production of phosphoric acid and is a large tonnage of low-recyclable waste. According to open sources, it is processed 20 times less than it is produced. Attempts to use it in cement production, in construction, in agricultural purposes do not lead to a cardinal fracture and it is still accumulating. In this regard, the topic of processing and use of phosphogypsum is an urgent topic. In the modern world there is a demand for bright luminescent colors, paints, consumer goods. An analysis of the literature showed that phosphors can be made from various chemicals, including metal sulfides. The purpose of the work is to study the possibility of obtaining a phosphor from phosphogypsum and its use as a filler-pigment for polymer products. The phosphor was obtained from phosphogypsum by the reduction of phosphogypsum with an organic substance. This phosphor was studied in polyethylene, polypropylene, polystyrene and other polymer matrices. It is shown to be compatible with polyolefins, polystyrene, polyvinyl chloride, nitrocellulose matrices; not compatible with epoxy matrices. It is shown that at the melting temperature of polymers this phosphor does not decompose, does not lose its properties. As a result of the work, conclusions were drawn about the possibility of obtaining a cheap phosphor filler, which is compatible with many industrial polymers. This phosphor can be used in toys, in the manufacture of special luminescent paint and consumer goods.

Keywords: polymers, composites, phosphogypsum, phosphor, luminescence, waste.

Введение

В современном мире высок спрос на яркие и необычные цвета. Данные цвета получают с использованием органических и неорганических веществ. Активное использование приостанавливают цены на данное сырьё. По данным открытых источников цена органического люминофора составляет 5000–10000 р/кг, неорганического – от 4500 р/кг. Данные цены

обусловлены не коммерческим спросом и не торговой маркой, а сложностью изготовления и дороговизной сырья. Поэтому для развития отечественной люминесцентной отрасли, для реализации стратегического направления импортозамещения необходимо искать более дешёвые компоненты, которые могут быть одновременно люминофорами и дешёвыми наполнителями для удешевления килограмма продукции.

Для цитирования

Медведев Р.П., Подковырина Ю.С., Скорынина А.А. Применение люминофора из фосфогипса в качестве люминесцентного наполнителя для полимеров // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 1. С. 219–224. doi:10.20914/2310-1202-2020-1-219-224

For citation

Medvedev R.P., Podkovyrina Yu.S., Skorynina A.A. The use of the phosphor of phosphogypsum as a filler for fluorescent polymers. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2020. vol. 82. no. 1. pp. 219–224. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2020-1-219-224

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Но несмотря на дороговизну люминесцентных красителей, они находят широкое применение в декоративных и технических целях. Их применяют для создания светодиодов и светящихся дисплеев [1, 2], для технического анализа и контроля качества [3, 4]. Ведутся работы по фундаментальным исследованиям люминесцентных полимерных композиций [5–7].

В [8, 9] описано применение люминесцентного наполнителя для преобразования УФ-диапазона в видимый цвет. Данное направление востребовано и ряд фирм, продающих наполнители для полимеров, предлагает данные люминофоры. Одно из направлений применения люминофоров – это введение их в плёнки для теплиц.

Для более эффективного использования парниковых плёнок необходимо, чтобы пленки преобразовывали УФ-диапазон в видимый, что достигается применением люминофоров.

Люминофоры используют в качестве оптических отбеливателей ПВХ. Многие промышленные продавцы, например, Барс-2, выпускают промышленные люминесцентные отбеливатели для ПВХ и полиолефинов.

Ряд фирм выпускает флуоресцентные игрушки. Фирма Пандао.ру продаёт светящиеся игрушки, компания Люминофор.ру продаёт разные светящиеся полимерные игрушки, полимерные смеси для лепки и др.

Анализируя эти и другие данные, авторы статьи пришли к следующим выводам:

- необходимо синтезировать люминофор, который светится при облучении мягким УФ;
- данный люминофор должен быть экологически нейтральным и для человека не представлять опасности;
- смешиваться с полимерными материалами без изменения своих свойств или полимера (чтоб полимерная матрица или люминофор не разрушались, люминесценция не пропадала, механические свойства полимера не ухудшались);
- должен стоить не более 100 р. за 1 кг люминофора (стоимость люминофора, а не композиции из люминофора и полимера).

В настоящее время в качестве неорганических люминофоров применяются:

- сульфиды 2-й группы подгрупп А и Б элементов таблицы Менделеева и др.;
- вольфраматы и молибдаты ЩЗМ и некоторых других металлов;
- алюминаты металлов;
- производные борной кислоты;
- фосфаты 2-й группы подгрупп А и Б и др.;
- силикаты и др.

Рассмотрев химическое строение вольфраматов, молибдатов, алюминатов, пришли к выводу что они априори не могут быть дешёвыми наполнителями (и люминофорами тоже), так как содержат ионы дорогих металлов.

Рассмотрев строение и свойства производных борной кислоты, пришли к выводу, что они химически неустойчивы, но легко получаемы. Из-за химической неустойчивости велика вероятность негативного влияния на полимер. Например, они могут инициировать распад ПВХ. Дело в том что катализаторами разложения ПВХ являются ионы H^+ [11, 12]. Боратные люминофоры нестойкие и могут распадаться с образованием свободных ионов водорода. По цене они достаточно дороги. Техническая борная кислота с содержанием не менее 95% стоит от 52 р. (есть и более дешёвые по состоянию на 26.08.2019, но там содержание менее 90%, такая для люминофора не пригодится). Для люминофоров [12, 13] необходимо, чтобы реактивы были очень чисты. Борная кислота ОСЧ стоит 1640 р/кг, а ХЧ 160 р/кг.

Силикатные люминофоры обладают хорошей химической стойкостью, но они получают при температурах более 1200 °С градусов и иногда необходимо вводить в реактор водяной пар, что затрудняет техническое оформление процесса [15].

Поэтому решено было работать с фосфатными или сульфидными люминофорами. В пользу фосфатных люминофоров говорит тот факт, что соединения фосфора применяются в качестве антипиренов для полимеров, что очень важно для наполнителя. Но соединения фосфора надо ещё добыть, а вот соединения серы являются промышленным отходом. Например, при производстве фосфорных удобрений образуется сульфат кальция, загрязнённый остатками фосфорной кислоты и поэтому носящий название «фосфогипс». Данные загрязнения не позволяют его использовать в качестве строительного материала и в качестве наполнителя для полимеров/лкм. Но поскольку он дешёвый, 1 кг стоит 80–90 коп., то было решено получать сульфидные люминофоры из него.

Материалы и методы

Был взят фосфогипс производства «Невинномысский азот». ТУ 113–08–418–94. Размер частиц 0,01 мм -1,00 мм (рисунок 1).

Далее его смешали с сахаром, нагрели до 800 °С в течение 60 мин, медленно охладили, получили люминофор. Более подробно процесс описан в [14].

В результате получается белый порошок. Если его облучать УФ-излучением, то он начинает светиться (рисунок 2).

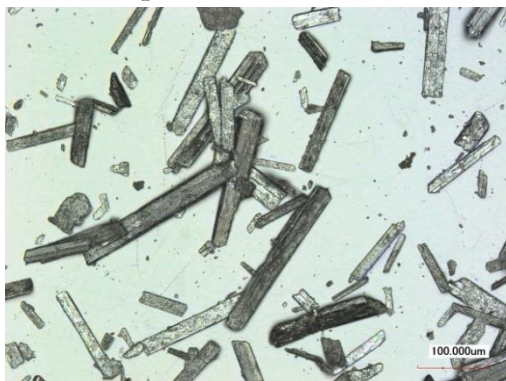


Рисунок 1. Оптическая микроскопия фосфогипса просушенного, необработанного

Figure 1. Optical microscopy of dried and untreated phosphogypsum



Рисунок 2. Внешний вид порошка люминофора при дневном (а) и УФ освещении лампой Camelion FT5 BLACK LIGHT (б)

Figure 2. Appearance of phosphor powder in daylight (a) and UV lighting with Camelion FT5 BLACK LIGHT (b)

После получения люминофора-наполнителя его ввели в разные полимерные материалы.

В качестве полипропилена (ПП) был взят литьевой полипропилен марки LR7175–35.P, производства «Киянлынский завод» полимеров. В качестве полиэтилена низкого давления был взят ПНД ПЭНТ22–12 ТУ 2243–176–00203335–2007, в качестве полиэтилена высокого давления был взят ПВД 11503–070, ГОСТ 16337–77. В качестве представителя полистирольной группы (ПС) был взят вторичный полистирол от переработки одноразовой посуды. Актуальность использования вторичных полимеров большая, и поэтому мы решили попробовать и вторичный полимер, а именно ПС. Данные полимеры смешали с люминофором в количестве 85% полимера 15% люминофора по массе. Специально не добивались гомогенности, чтобы увидеть распределение люминофора в полимере и светится он или нет, не влияет ли полимер на люминофор. Далее из смеси методом литья на ручной литьевой машине отлили квадраты размером 30×30×3 мм.

Приготовили смесь состава поливинилхлорид (ПВХ) марки С-7059 М, ТУ 2212–012–46696320–2008, 100 м.ч.:

- пластификатор – диоктилфталат (ДОФ), по ГОСТ 8728–88, 50 м.ч.;
- стабилизатор – стеарат кальция (CaSt), ТУ 2232–002–57149839–07, 5 м.ч.;
- люминофор 50 м.ч. Из данной смеси получали стренгу, стренгу разрезали и получали гранулу.

Далее смешали люминофор с эпоксидным двухкомпонентным клеем марки ЭДП производства ООО НПК «СИНТЕК» по ТУ 20.52.10–003–90352719–2017. Соотношение смола / отвердитель 10:1 по массе. Процент люминофора 10, 20, 30% по массе.

Было решено испытать люминофор в качестве наполнителя для красок. Для этого в качестве плёнкообразующего был взят бесцветный лак «Цапон» по ТУ 6–21–090502–2–90. Лак и люминофор смешали в количестве 80:20 по массе (данное соотношение было взято как среднее значение количества наполнителей в краске). Полученную смесь смешали до гомогенности и нанесли слоем 0,1 мм на стекло.

Испытали в качестве плёнкообразующего материала лак для ногтей марки JEANMISHEL производства NAIL POLISH. Его смешали с люминофором в соотношении 50:50 по массе и нанесли на искусственные ногти в один и два слоя.

Результаты и обсуждение

На рисунке 3 представлены образцы композита из люминофора и ПП № 1, ПНД № 2, ПВД № 3. Как видно, люминофор чётко светится в полимерной матрице. Цвет свечения не изменился.

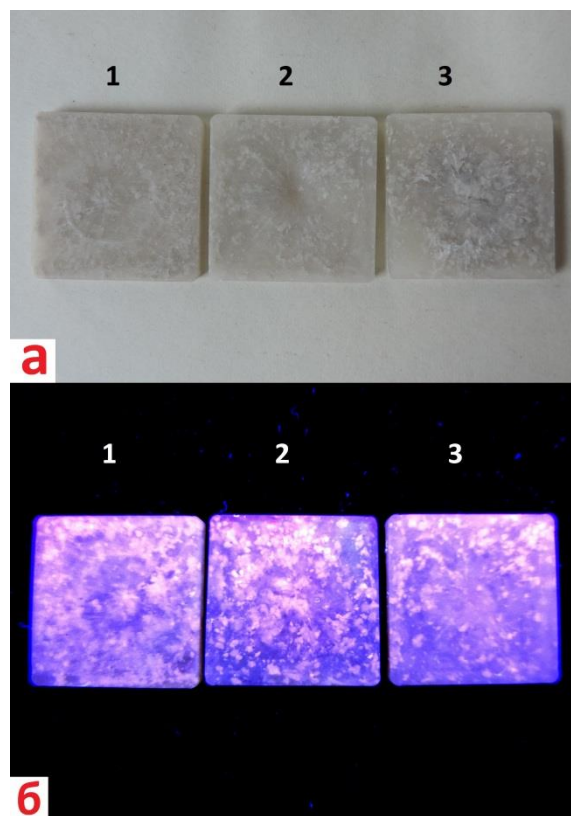


Рисунок 3. Внешний вид композита из люминофора и полиолефиновой матрицы: а – при дневном освещении; б – при освещении лампой Camelion FT5 BLACK LIGHT; № 1 – матрица ПП; № 2 – матрица ПНД; № 3 – матрица ПВД

Figure 3. Appearance of a composite of phosphor and polyolefin matrix: a – in daylight; b – in Camelion FT5 BLACKLIGHT; №1 – matrix PP; №2 – matrix HDPE; №3 – matrix LDPE

Это ожидаемо, так как полиолефины химически малоактивны и поэтому не вступили во взаимодействие с люминофором. На рисунке 4 представлен композит с полистирольной матрицей.

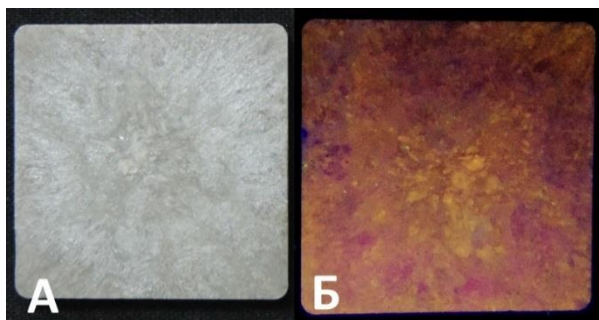


Рисунок 4. Внешний вид композита из люминофора и полистирольной матрицы: *a* – при дневном освещении; *b* – при освещении лампой Camelion FT5 BLACK LIGHT

Figure 4. Appearance of a composite of phosphor and polystyrene matrix: *a* – in daylight; *b* – in Camelion FT5 BLACK LIGHT

Полистирол не вступил в реакцию с люминофором, и мы получили изделие, обладающее люминофорными свойствами.

Рассмотрим композицию люминофора и ПВХ матрицы. На рисунке 5 данная композиция в дневном свете белого цвета, а при облучении УФ начинает светиться жёлтым, жёлто-малиновым цветом. Значит можно сделать вывод что люминофор и ПВХ совместимы. Однако для дальнейшей переработки надо чётко понять, какие будут использованы стабилизаторы, так как разные стабилизаторы ПВХ будут по-разному влиять на люминофор.



Рисунок 5. Внешний вид композита из люминофора и ПВХ матрицы: *a* – при дневном освещении; *b* – при освещении лампой Camelion FT5 BLACK LIGHT

Figure 5. Appearance of a composite of phosphor and PVC matrix: *a* – in daylight; *b* – in Camelion FT5 BLACK LIGHT

Рассмотрим смесь из люминофора и эпоксидного клея. На рисунке 6 представлены данные композиты. Как видно, при освещении дневным светом композиция приобрела серый

цвет. Причём серость увеличивалась при увеличении ввода. При освещении УФ светом композиция не люминесцировала, хотя и наблюдались небольшие участки со слабой люминесценцией.

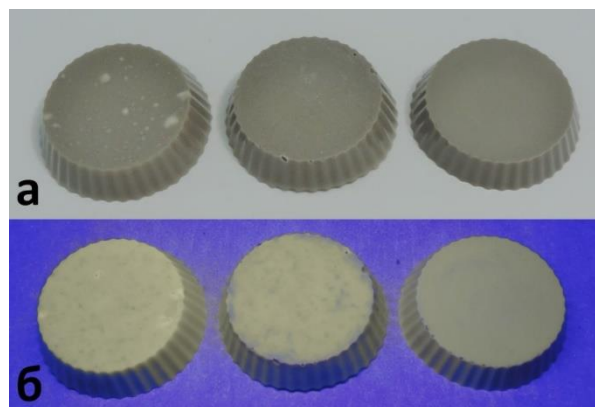


Рисунок 6. Внешний вид композита из люминофора и эпоксидной матрицы: *a* – при дневном освещении; *b* – при освещении лампой Camelion FT5 BLACK LIGHT

Figure 6. Appearance of a composite of phosphor and epoxy matrix: *a* – in daylight; *b* – in Camelion FT5 BLACK LIGHT

Для выяснения, из-за какого компонента клея произошёл данный эффект, мы смешали люминофор по отдельности с каждым компонентом клея ЭДП. Как видно на рисунке 7, люминофор в эпоксидной смоле не потерял свой цвет свечения, а в отвердителе потерял, вступил в реакцию. Голубой цвет люминесценции присущ и чистому отвердителе. Вероятно, данная реакция обусловлена тем, что отвердитель состоит из аминов (точный состав производитель не указывает, но при открытии упаковки чувствуется запах аммиака). Данные амины, свободный аммиак вступают в реакцию с сульфидом кальция и получают другие продукты.

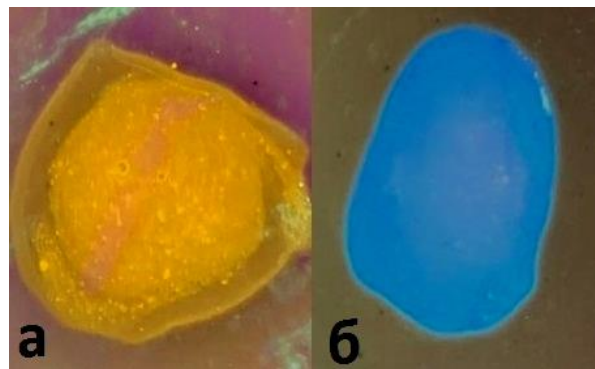


Рисунок 7. Внешний вид смеси: *a* – люминофор + эпоксидная смола; *b* – люминофор + отвердитель при освещении лампой Camelion FT5 BLACK LIGHT

Figure 7. Appearance of the mixture: *a* – phosphor + epoxy; *b* – phosphor + hardener when illuminated with a Camelion FT5 lamp BLACK LIGHT

Далее рассмотрим смесь люминофора и лака Цапон. На рисунке 8 подставлен внешний вид стеклянной пластинки с нанесённой на неё смесью.

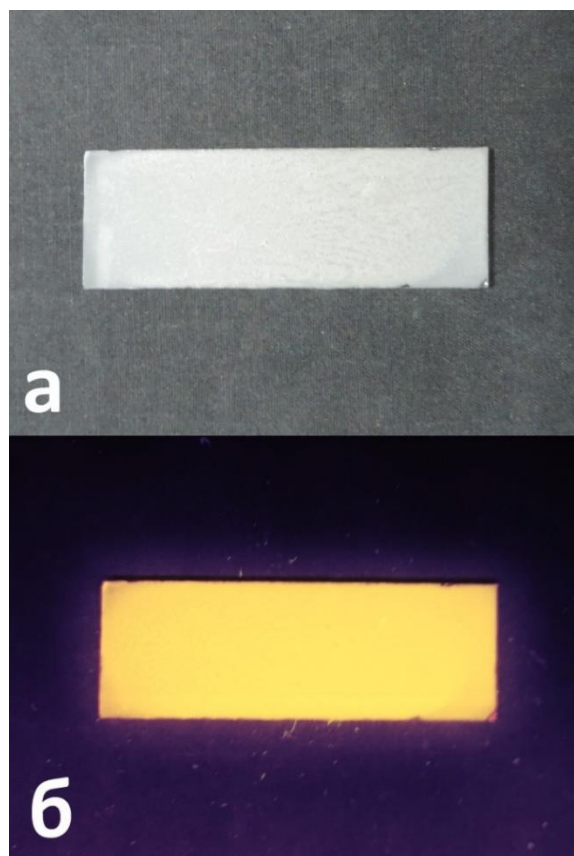


Рисунок 8. Внешний вид пластинки, покрашенной краской из люминофора и лака Цапон: *a* – при дневном освещении; *б* – при освещении лампой Camelion FT5 BLACK LIGHT

Figure 8. The appearance of the plate is painted with paint from the phosphor and of varnish: *a* – in daylight; *b* – in Camelion FT5 BLACK LIGHT

Как видно, данный люминофор успешно может применяться с НЦ лаками и красками. Его свойства не изменяются.

Рассмотрим искусственные ногти, покрытые смесью лака для ногтей и люминофора. На рисунке 9 представлен внешний вид ногтей покрытых и непокрытых лаком при обычном и УФ освещении.

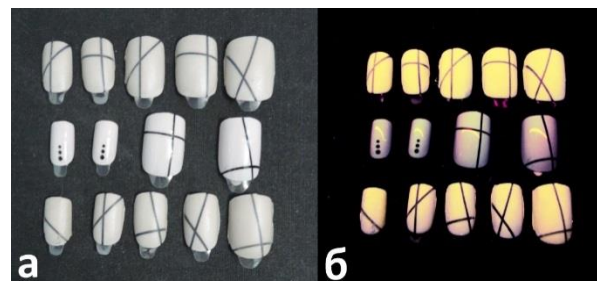


Рисунок 9. Внешний вид искусственных ногтей, покрытых и непокрытых люминофорной смесью: сверху вниз – ногти покрытые двойным слоем, ногти непокрытые, ногти покрытые одинарным слоем; *a* – при дневном освещении; *б* – при освещении лампой Camelion FT5 BLACK LIGHT

Figure 9. Appearance of artificial nails covered and uncoated with phosphor mixture: from top to bottom-nails covered with a double layer, nails not covered, nails covered with a single layer; *a* – in daylight; *b* – in Camelion FT5 BLACK LIGHT

Как видно, данный люминофор не реагирует с лаком для ногтей и может с успехом применяться как наполнитель ногтевого лака.

Заключение

Можно сказать, что разработан люминофор, который можно производить из отходов производства он совместим с рядом полимерных матриц и может использоваться со вторичными полимерами.

Литература

- 1 Суарес Д.А., Беляев В.В. Электропроводность в полупроводниках полимеров // Успехи современной науки. 2016. Т. 8. № 12. С. 137–141.
- 2 Волков В.Г., Гиндин П.Д., Карпов В.В., Митрофанова Ю.С. и др. Ночные монокуляры модульной конструкции для работы в областях спектра 0,8 - 1,8 мкм, 3 - 5 мкм, 8 - 12 мкм // Контант. 2019. Т. 18. № 4. С. 49–52.
- 3 Елфимов Н.В., Бельшина Ю.Н., Клейменов А.В. Способ исследования нефти и нефтепродуктов методом люминесцентного анализа при решении задач диагностики и идентификации загрязнений // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2017. № 2 (23). С. 99–104.
- 4 Полянская Л.М., Пинчук И.П., Степанов А.Л. Сравнительный анализ методов люминесцентной микроскопии и каскадной фильтрации для оценки численности и биомассы бактерий в почве: роль разведения почвенной суспензии // Почвоведение. 2017. № 10. С. 1216–1219.
- 5 Petrova E.A., Terpinskaya T.I., Fedosyuk A.A., Radchanka A.V. et al. Luminescent quantum dots encapsulated by zwitterionic amphiphilic polymer: surface charge-dependent interaction with cancer cells // Журнал Белорусского государственного университета. Химия. 2018. № 1. С. 3–13.
- 6 Priola E., Bonometti E., Brunella V., Operti L. et al. Luminescent coordination polymers of 2,2'-bipyrimidine and mercury(ii) salts: a structural and computational study // Polyhedron. 2016. V. 104. P. 25–36.
- 7 Gu T.-Y., Dai M., Ren Z.-G., Lang J.-P. et al. Correction to: luminescent zn(ii) coordination polymers for highly selective sensing of cr(iii) and cr(vi) in water // Inorganic Chemistry. 2017. V. 56. № 18. P. 11450.
- 8 Parkhomenko R., Aniskov O., Tsibulevsky Y., Melnik O. et al. Designing a combined device for determining the place of arc discharge // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. V. 3. № 5 (93). P. 12–18.
- 9 Иваницкий А.Е., Минич А.С., Буценко Е.С., Гизбрехт А.В. Зависимость фотофизических свойств полимерных светопреобразующих композиций с органическими люминофорами от способа их получения // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 12–16.
- 10 Борукаев Т.А., Шаов А.Х., Хасанов В.В., Мидова З.Х. и др. повышение огнестойкости пвх-пластиков введением различных антипиренов-дымоподавителей // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2017. Т. 7. № 1. С. 15–18.

11 Борукаев Т.А., Шаов А.Х., Малкандуев Ю.А. Влияние соединений молибдена на огнестойкость и физико-механические свойства пвх-пластиката // Пластические массы. 2017. № 11-12. С. 35–39.

12 Пат. № 2672747, RU, C09K 11/08. Люминофор, способ получения люминофора и применение люминофора / Фидлер Т., Бихлер Д., Ланге Ш., Ремер Р. и др. № 2016117396; Заявл. 08.10.2014; Оpubл. 19.11.2018. Бюл. № 32.

13 Уланов В.Н., Макарова И.А., Кескинова М.В., Огурцов К.А. и др. Технология получения сложных алюмосиликатных люминофоров, активированных европием и марганцем // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2019. Т. 10. С. 12–18.

14 Шабельская Р. П. Медведев. Получение люминесцентного неорганического красителя из фосфогипса // Обогащение руд. 2019. №5. С.36–40.

References

1 Suarez D.A., Belyaev V.V. Conductivity in semiconductors of polymers. Advances in modern science. 2016. vol. 8. no. 12. pp. 137–141. (in Russian).

2 Volkov V.G., Gindin P.D., Karpov V.V., Mitrofanova Yu.S. et al. Night-time monoculars of modular design for operation in the spectral regions 0.8 - 1.8 microns, 3 - 5 microns, 8 - 12 microns. Content. 2019. vol. 18. no. 4. pp. 49–52. (in Russian).

3 Elfimov N.V., Belshina Yu.N., Kleimenov A.V. A method for studying oil and oil products by luminescence analysis in solving the problems of diagnosis and identification of pollution. Bulletin of the Voronezh Institute of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia. 2017. no. 2 (23). pp. 99–104. (in Russian).

4 Polyanskaya L.M., Pinchuk I.P., Stepanov A.L. Comparative analysis of luminescent microscopy and cascade filtration methods for estimating the number and biomass of bacteria in soil: the role of dilution of soil suspension. Soil science. 2017. no. 10. pp. 1216–1219. (in Russian).

5 Petrova E.A., Terpinskaya T.I., Fedosyuk A.A., Radchanka A.V. et al. Luminescent quantum dots encapsulated by zwitterionic amphiphilic polymer: surface charge-dependent interaction with cancer cells. Journal of Belarusian State University. Chemistry. 2018. no. 1. pp. 3–13.

6 Priola E., Bonometti E., Brunella V., Operti L. et al. Luminescent coordination polymers of 2,2'-bipyrimidine and mercury(ii) salts: a structural and computational study. Polyhedron. 2016. vol. 104. pp. 25–36.

7 Gu T.-Y., Dai M., Ren Z.-G., Lang J.-P. et al. Correction to: luminescent zn(ii) coordination polymers for highly selective sensing of cr(iii) and cr(vi) in water. Inorganic Chemistry. 2017. vol. 56. no. 18. pp. 11450.

8 Parkhomenko R., Aniskov O., Tsibulevsky Y., Melnik O. et al. Designing a combined device for determining the place of arc discharge. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. vol. 3. no. 5 (93). pp. 12–18.

9 Ivanitsky A.E., Minich A.S., Butsenko E.S., Gizbrecht A.V. Dependence of photophysical properties of polymer light-converting compositions with organic phosphors on the method of their preparation. The successes of modern science. 2018. no. 10. pp. 12–16. (in Russian).

10 Borukaev T.A., Shaov A.Kh., Khasanov V.V., Midova Z.Kh. et al. increasing fire resistance of PVC compounds by introducing various flame retardants, smoke suppressors. News of the Kabardino-Balkarian State University. 2017. vol. 7. no. 1. pp. 15–18. (in Russian).

11 Borukaev T.A., Shaov A.Kh., Malkanduev Yu.A. The effect of molybdenum compounds on fire resistance and physico-mechanical properties of pvc plastic compound. Plastics. 2017. no. 11-12. pp. 35–39. (in Russian).

12 Fidler T., Bichler D., Lange S., Roemer R. et al. Phosphor, method for producing phosphor and the use of a phosphor. Patent RF, no. 2672747, 2018.

13 Ulanov V.N., Keskinova M.V., Ogurtsov K.A., Sychev M.M. The technology for producing complex aluminosilicate phosphors activated by europium and manganese. Mathematical methods in engineering and technology – ММТТ. 2019. Vol. 10. pp. 12–18. (in Russian).

14 Shabelskaya N.P., Medvedev R.P. Obtaining a luminescent inorganic dye from phosphogypsum. Ore dressing. 2019. no. 5. pp. 36–40. (in Russian).

Сведения об авторах

Роман П. Медведев главный технолог, ООО АН Полимер, ул. Просвещения, 155, г. Новочеркасск, 346428, Россия, rstal555@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-2599-0373>

Юлия С. Подковырина к.ф.-м.н., инженер-исследователь, Международного исследовательского института интеллектуальных материалов Южного федерального университета, ул. А. Сладкова, 178/24, Ростов-на-Дону, 344090, Россия, yuliya.podkovyrina@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5464-7481>

Алина А. Скорынина аспирант, инженер, Международный исследовательский институт интеллектуальных материалов Южного федерального университета, ул. А. Сладкова, 178/24, Ростов-на-Дону, 344090, Россия, alinaskorynina@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9844-0220>

Вклад авторов

Роман П. Медведев предложил тему эксперимента, научно обосновал, провёл эксперименты, написал рукопись, несёт ответственность за плагиат.

Юлия С. Подковырина консультация в ходе исследования

Алина А. Скорынина консультация в ходе исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Roman P. Medvedev chief technologist, AN Polymer, Prosveshcheniya st., 155, Novocherkassk, 346428, Russia, rstal555@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-2599-0373>

Yulia S. Podkovyrina Cand. Sci. (Phys.-Math), engineer-researcher, Smart Materials Research Institute Southern Federal University, Sladkova st. 178/24, Rostov-on-Don, 344090, Russia, yuliya.podkovyrina@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5464-7481>

Alina A. Skorynina graduate student, engineer, Smart Materials Research Institute Southern Federal University, Sladkova 178/24, Rostov-on-Don, 344090, Russia, alinaskorynina@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9844-0220>

Contribution

Roman P. Medvedev proposed the subject of the experiment, scientifically justified, conducted experiments, wrote a manuscript, and is responsible for plagiarism.

Yulia S. Podkovyrina consultation during the study

Alina A. Skorynina consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 07/02/2020	После редакции 17/02/2020	Принята в печать 25/02/2020
Received 07/02/2020	Accepted in revised 17/02/2020	Accepted 25/02/2020