

**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ
ПРИ СОЗДАНИИ СИГНАЛЬНЫХ ПОЛОТЕН**

**POSSIBILITIES OF USING LUMINESCENCE PHENOMENON
IN CREATING SIGNAL CLOTHES**

Д.А. ТАРАСОВА¹, А.Л. НИКИФОРОВ¹, И.А. ЛЕГКОВА¹, Н.Ю. НОВИЧКОВА¹, В.Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}

D.A. TARASOVA¹, A.L. NIKIFOROV¹, I.A. LEGKOVA¹, N.Yu. NOVICHKOVA¹, V.E. RUMYANTSEVA^{1,2}

(¹Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

²Ивановский государственный политехнический университет)

(¹Ivanovo Fire and Rescue Academy of the SFC of EMERCOM of Russia,

²Ivanovo State Polytechnic University)

E-mail: darlingoov@mail.ru, anikiforoff@list.ru, legkovai@mail.ru, n.nature@mail.ru, varrym@gmail.com

Существуют различные способы подачи сигналов бедствия в экстренной ситуации, однако они имеют ряд существенных недостатков, что усложняет проведение поисково-спасательных работ. Для повышения оперативности поиска пострадавших предложено использование сигнального полотна с люминесцентным покрытием. Данная работа посвящена выбору светоизлучающего (люминесцентного) покрытия, которое должно обладать надлежащей яркостью и продолжительностью свечения. В статье рассмотрены виды люминесценции, включая их особенности и механизмы работы. Акцент сделан на различиях между флуоресценцией и фосфоресценцией, а также их применении в различных научных и практических областях. Проведен анализ веществ, обладающих эффектом люминесценции, с учетом источника возбуждения свечения. Установлено, что одной из наиболее подходящих групп люминофоров для сигнальных полотен являются фосфоресцентные вещества, особенность которых состоит в том, что они способны длительное время излучать видимое свечение ранее поглощенной и накопленной световой энергии. При выборе светоизлучающих материалов предпочтение должно быть отдано фосфоресцентным материалам, обладающим способностью в течение длительного времени (не менее 10 часов) излучать видимый цвет и сохранять работоспособность в широком диапазоне температур и влажности.

There are various ways to send distress signals in an emergency, but they have a number of significant drawbacks, which complicates search and rescue operations. To increase the efficiency of the search for victims, it is proposed to use a signal cloth with a fluorescent coating. This work is devoted to the selection of a light-emitting (luminescent) coating that should have the appropriate brightness and duration of glow.

The article discusses the types of luminescence, including their features and mechanisms of operation. Emphasis is placed on the differences between fluorescence and phosphorescence, as well as their application in various scientific and practical fields. The analysis of substances with the effect of luminescence is carried out, taking into account the source of excitation of the glow. It has been established that one of the most suitable groups of luminophores for signal cloths are phosphorescent substances, the peculiarity of which is that they are capable of emitting a visible glow of previously absorbed and accumulated light energy for a long time. When choosing light-emitting materials, preference should be given to phosphorescent materials that have the ability to emit visible color for a long time (at least 10 hours) and maintain performance over a wide range of temperatures and humidity.

Ключевые слова: люминофоры, люминесценция, сигнальные средства, поисковые работы, продолжительность свечения, яркость, источник возбуждения свечения, излучение, послесвечение.

Keywords: luminophores, luminescence, signaling devices, search operations, duration of the glow, brightness, source of excitation of the glow, radiation, afterglow.

Введение

В настоящее время в экстремальных ситуациях, когда человек оказывается в беде и нуждается в помощи, традиционные сигнальные средства, такие как костры, ракеты и факелы, хотя и широко известны, но имеют ряд существенных недостатков [1...4]. Во-первых, их эффективность в значительной степени зависит от погодных условий: сильный ветер может потушить костер, а дождь или снег могут помешать сигналу ракеты быть заметным. Во-вторых, эти сигнальные средства могут быть опасными для самого человека, особенно в условиях ограниченного доступа к ресурсам. В-третьих, они не всегда доступны в необходимый момент, требуют специальной подготовки для использования и не обеспечивают продолжительной сигнальной активности. Вследствие этого на поиски может уходить достаточно много времени, а от оперативности поисково-спасательных работ зависят жизни людей. Часто

ввиду сжатых сроков в поисковых операциях бывает задействовано много десятков специалистов и техники [5...7]. В связи с этим актуальной задачей становится разработка эффективных, оптимальных и качественных методов и материалов для поиска людей и обеспечения их безопасности в условиях экстремальных ситуаций [8...11]. Одним из перспективных решений является использование сигнального полотнища с люминесцентным покрытием [12...20].

Первый опыт применения данного полотнища показал его пригодность для оперативного поиска людей [21, 22]. Однако при разработке первого образца в качестве рабочего люминофора была выбрана люминесцентная краска, которая имелась в свободной продаже (рис. 1). Создание полноценного рабочего варианта изделия требует серьезного подхода к выбору светоизлучающего (люминесцентного) покрытия, которое должно обладать надлежащей яркостью, продолжительностью свечения,

надежностью и рядом других характеристик [23...26].



Рис. 1

Варианты веществ, обладающих эффектом люминесценции, с учетом источника возбуждения свечения

Термин «люминесценция» впервые введен немецким физиком Эйльхардом Видеманом в 1888 году для описания всех явлений света, которые не возникают из-за изменения температуры. Этот термин происходит от латинского слова «lumen», что означает свет. Он определяется как высвобождение фотонов, вызванное переходом люминофора из возбужденного состояния в более низкие энергетические уровни. Поскольку люминесценция не зависит от температуры и для того, чтобы отличить ее от других

обычных источников излучения света, таких как лампы накаливания, ее также называют «холодным светом». Вот почему иногда люминесценцию определяют как спонтанное излучение электромагнитного поля электронно-заряженными веществами [27...29]. Таким образом, люминесценция – это неограниченное истечение света материалом, не возникающее из-за «горячего или холодного света». В целом материалы обычно испускают видимое излучение, но при соответствующем легировании, таком как ионы редкоземельных элементов, они также могут испускать ультрафиолетовое или инфракрасное излучение. Способность люминесцентной среды преобразовывать энергию возбуждения в видимый свет определяет ее эффективность [30, 31].

Существуют различные способы классификации люминесценции, которые предполагают наличие двух отличительных признаков (рис. 2).

К первому признаку относится режим возбуждения, приводящий к поглощению фотона, вызванному стимуляцией электрона. Различные источники возбуждения включают хемлюминесценцию, биолюминесценцию, радиолюминесценцию, электролюминесценцию, катодолюминесценцию и т. д. [32, 33].

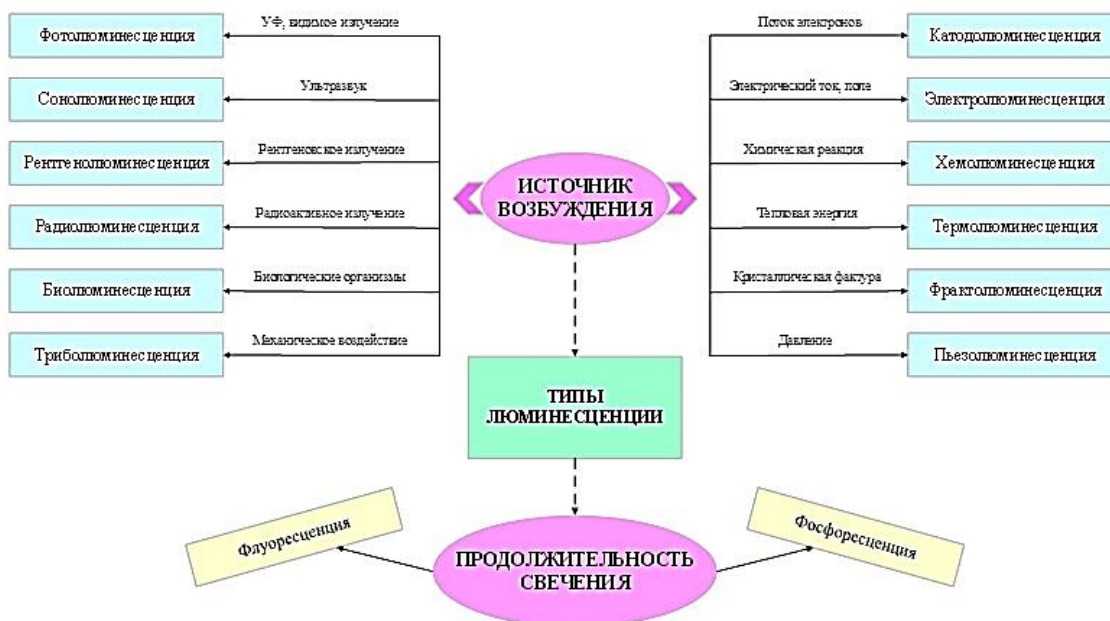


Рис. 2

Второй признак основан на времени, затраченном системой на деактивацию после того, как возбуждающее излучение было снято или выключено [31...36]. В этом случае известными модами люминесценции являются флуоресценция и фосфоресценция (рис. 3).



Рис. 3

Излучение, происходящее в интервале времени 10^{-8} секунд вскоре после возбуждения, известно как флуоресценция, а излучение, происходящее в последнем интервале времени, известно как фосфоресценция или послесвечение. Они отличаются друг от друга тем, что фосфоресценция связана с явлением захвата и радиационной рекомбинации носителей. Материалы, которые проявляют явление люминесценции, известны как люминофоры. Люминофор обычно компрометирует материал хозяина и намеренно добавленную примесь, называемую активатором. Процентное содержание иона активатора остается в ppm для донорных акцепторных систем. Энергия должна быть доставлена в люминофоры, свойства которых определяются типом матрицы хозяина и используемой легирующей примесью.

Формы люминесценции

Рассмотрим подробнее особенности каждого вида возбуждения и инициирования свечения или послесвечения люминесцентных систем.

Хемилюминесценция

Хемилюминесценция – это тип люминесценции, при котором свет излучается в результате химических реакций. Молекула в последующем более высоковибрационном состоянии распадается до более низкого вибрационного энергетического состояния и испускает фотоны в ходе этой реакции. Излучение за счет хемилюминесценции возникает на различных длинах волн – от ультрафиолетового до инфракрасного диапазона. Эта реакция происходит путем

назначения по крайней мере одного фотона каждой реагирующей молекуле для стимуляции. Энергия продуктов, образующихся в ходе реакции, ниже, чем у реагентов. Это инструмент для широкого спектра применений, например, для отслеживания загрязнений в воздухе вокруг нас, для генетического анализа, светящихся палочек, биосенсоров на основе ферментов и так далее.

Электролюминесценция

Электролюминесценция – это явление, при котором электрическая энергия преобразуется в нетепловые видимые фотоны, которые считаются оптоэлектронными по своей природе. При этом используемые материалы испускают видимые фотоны, когда через них пропускается электрический ток достаточной силы. Область рекомбинации материалов подвергается воздействию излучательной смеси носителей заряда, что приводит к этому явлению. Электролюминесцентные соединения могут также производить свет, ускоряя электроны высоких энергий в ответ на сильный электрический стимул. Они обладают широким спектром применения, особенно в области освещения и технологии плоских экранов.

Катодолюминесценция

Когда электронный пучок попадает на люминофорное вещество, он инициирует генерацию фотонов различной длины волны, которые будут испускаться в видимую область электромагнитного спектра. Катодолюминесценция противоположна фотоэлектрическому эффекту, когда видимые фотоны производятся люминофором при столкновении с электронами подходящей энергии. Основной причиной возникновения этого явления является сцепление электронов из зон проводимости с дырками в валентной зоне. Основное применение катодолюминесценции находится в области производства экранов, таких как ЖК-дисплеи и традиционные электронно-лучевые трубки.

Термолюминесценция

Когда люминофор подвергается воздействию температуры, превышающей определенное пороговое значение, накопленная энергия переизлучается в виде фотонов. Явление испускания фотонов люминофор-

ным материалом называется термолюминесценцией. Однако в ряде случаев материал может излучать свет после охлаждения. Данное явление называется криолюминесценцией.

Фотолюминесценция

Явление фотолюминесценции определяется как последующее возбуждение и де-возбуждение (излучение) электрона, находящегося в основном состоянии, за счет поглощения фотона. В процессе де-возбуждения (излучения) в видимой области электромагнитного спектра выделяется дополнительный фотон. Другими словами, оно также определяется как оптическое излучение, испускаемое физической структурой, возникающей из-за возбуждения до неравновесного состояния при освещении светом. Этот процесс протекает в трех циклах:

- образование наборов электронно-дырочных пар путем удержания возбуждающего света;
- радиационная рекомбинация наборов электронно-дырочных пар;
- удаление рекомбинационного излучения.

Возбуждение и излучение – это два типа спектров люминесценции, которые изображены на рис. 4.



Рис. 4

В первом случае при изменении длины волны источников возбуждения определяется амплитуда излучаемого света на данной длине волны излучения. Этот спектр

раскрывает информацию о возможных возбужденных состояниях люминофора, а также дает значение запрещенной зоны, которой обладает люминофор. Различные источники света, которые используются с целью возбуждения в различных регионах, включают лампы накаливания для видимого и инфракрасного света, дуговые лампы – для ультрафиолетового/видимого/инфракрасного света, а также лазеры для различных областей длин волн. Последний «эмиссионный спектр» определяется как радиационный переход электрона из более высоких возбужденных состояний в низкие. Он предоставляет нам информацию о спектральном составе свечения, излучаемого образцом. Эта способность используется для проверки дискретности энергетических уровней и разделения значимых данных о создании тестовых полупроводников, толщине квантовой ямы, для проверки монодисперсности различных материалов и т. д. РЛ подразделяется на два типа, а именно флуоресценция и фосфоресценция.

Свечение

Это спин-допустимый переход с более коротким временем жизни, при котором молекула поглощает ультрафиолетовый или видимый свет, а затем приводит к излучению света с более короткой частотой (сдвиг Стокса). В случае флуоресценции молекула поглощает определенную длину волны света, что приводит к тому, что электрон возбуждается из своего более низкого энергетического состояния (синглета) в состояние с более высокой энергией (синглет). Время жизни флуоресценции – это количество времени, которое требуется электрону в более высоком состоянии, чтобы вернуться в основное состояние. Вращение электрона не будет изменяться во время этого процесса. Каждый электронный энергетический уровень соотносится с низшими энергетическими вибрационными подуровнями, которые состоят из самых низких энергетических вращательных подуровней. В процессе флуоресценции электроны обычно возбуждаются из состояний с более низкой энергией в состояния с бо-

лее высоким возбуждением. Из-за столкновения или излучения электрон сначала опускается в более низковибрационное возбужденное состояние посредством безызлучательного перехода, а затем оттуда происходит радиационный переход, посредством которого электрон возвращается в основное состояние.

Флуоресценция – это независимый от температуры мгновенный механизм, который производит свет до того, как источник возбуждения будет выключен. Люминесцентные лампы являются хорошо известным примером устройства, которое излучает ультрафиолетовый свет при прохождении через него тока. Другие области применения включают люминесцентные краски, флуоресцентные красители, биологические детекторы и так далее. Флуоресценция возникает, когда молекула деовозбуждена из синглетного возбужденного состояния в синглетное энергетическое состояние посредством радиационного перехода. Это явление, как правило, представляет собой двухэтапный процесс, описываемый следующим образом:

возбуждение:

$$S_0 + h\nu_{ex} = S_1,$$

флуоресценция:

$$S_1 = S_0 + h\nu_{em} + \text{тепло},$$

где S_0 – основное состояние; S_1 – возбужденное состояние; h – постоянная Планка; n – частота фотона.

Эффективность любого флуоресцентного материала измеряется в терминах квантового выхода, который достигает максимального значения «1» только при повторном излучении каждого поглощенного фотона.

Фосфоресценция

Когда поверхность подвергается воздействию электромагнитного излучения, происходит фосфоресценция, которая является запрещенным спиновым механизмом, в котором производится фотон. Повторное

излучение в этом процессе происходит медленно и также продолжается после устранения причины возбуждения. В случае фосфоресценции происходит радиационный переход из метастабильного состояния в основное. Таким образом, переход между штатами происходит из синглетного возбужденного состояния в триплетное основное состояние, как показано ранее. Переход от синглета к синглету более заметен, чем переход от синглета к триплету, так как безызлучательный переход от синглета к триплетному состоянию запрещен, но опосредован LS-связью. Свет сохраняется в течение более длительного времени при фосфоресценции, чем при флуоресценции, и это время может быть увеличено за счет повышения температуры нагрева. Кроме того, в отличие от флуоресценции, в случае фосфоресценции поглощается фотон с большей длиной волны.

Фосфоресценция – это постепенное высвобождение света в виде фотонов в результате поглощения излучения материалом. Теория фосфоресценции используется для зарядки материалов, которые блестят в темноте. Наклейки, краски, наручные часы и другие предметы, которые светятся в темноте, являются примерами фосфоресценции. Основным принципом люминесценции считается спонтанное излучение. Это процесс излучения квантованной меры энергии в форме фотона, когда атом, молекула или субатомная молекула перемещается из возбужденного энергетического состояния в более низкое энергетическое состояние. Этот процесс известен как спонтанное излучение. Данное явление наглядно представлено на рис. 5.

Спонтанное излучение считается основной причиной большей части наблюдаемого света. Оно универсально до такой степени, что существует множество названий, данных тому, что, в частности, является подобным циклом. В том случае, если атомы (или частицы) возбуждаются определенными способами, отличными от нагрева, ненапряженный разряд называется люминесценцией.

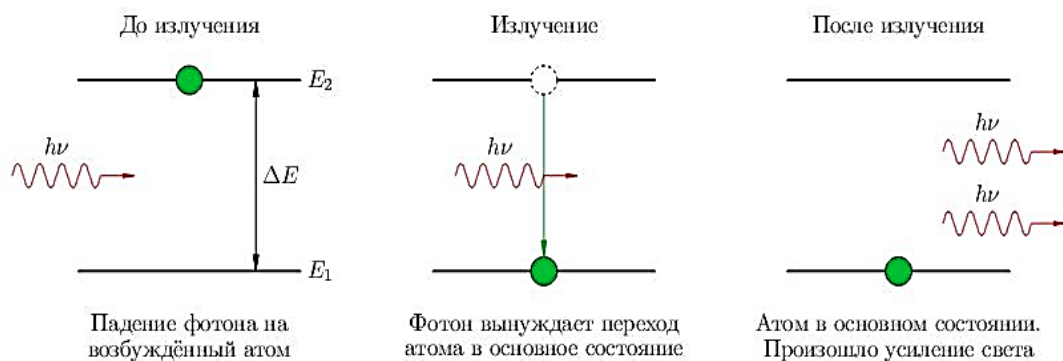


Рис. 5

Проведенный анализ материалов, способных испускать видимый свет в результате различных видов возбуждения, показал, что данные материалы представляют безусловный интерес для создания средств обозначения объектов на местности, в том числе ограждения зон ЧС или транспортных средств и людей, попавших в затруднительную ситуацию, которая требует проведения поисковых мероприятий [37...40]. При этом создание мобильных, недорогих и простых в обращении средств визуализации объекта является актуальной задачей [21, 22, 41, 42]. Особо следует подчеркнуть достоинство рассмотренных материалов – это отсутствие необходимости использовать искусственные источники энергии. Применение сигнального полотна с люминесцентным покрытием является эффективным и практичным решением для быстрого и надежного поиска людей в условиях чрезвычайных ситуаций. Уже на данном этапе работы можно сформулировать основные требования к материалам, пригодным для создания надежного сигнального материала. Основа изделия должна быть легкой и прочной, для этого хорошо подходят полимерные пленочные спасательные термоодеяла, а также легкие зонтичные и структурированные полиэфирные ткани. Люминофор, нанесенный на материал-носитель, должен обладать высокой яркостью и длительностью послесвечения. Также важными показателями при выборе люминофора являются:

- цветовой фактор, определяющий заметность объекта поиска в различное время суток с учетом неблагоприятных погодных

условий (туман, осадки). Для обеспечения заметности в дневное время сигнальный материал должен обладать способностью не только излучать, но и отражать световой поток (флюоресценция);

- температурный фактор, определяющий работоспособность люминесцентного покрытия в широком диапазоне температур;

- фактор химической инертности люминофора к воздействию неблагоприятной внешней среды, например, наличие влаги, газов, паров и т. д.;

- механический фактор, который должен обеспечивать прочность и износостойкость как материала основы, так и самого сигнального покрытия.

Одной из наиболее подходящих групп люминофоров для сигнальных полотен являются фосфоресцентные вещества. Их особенность заключается в том, что они поглощают свет и накапливают его энергию. После прекращения освещения фосфоресцентный материал продолжает светиться в течение определенного времени, представляя видимый источник света. Качество фосфоресцентного вещества напрямую влияет на эффективность полотна. Важнейшими параметрами являются яркость свечения и время послесвечения. Чем ярче свечение и чем дольше оно сохраняется, тем проще найти человека, использующего такое сигнальное полотно.

При этом можно использовать готовые люминесцентные краски, которые имеются в свободной продаже, либо синтезировать такие вещества самостоятельно, применяя известные методики, широко представленные в открытом доступе. В обоих случаях

требуется дополнительное исследование с целью выбора оптимальных вариантов люминесцентных составов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов А.В. Модель циклического мониторинга крупных пожаров и поисково-спасательных работ // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 4(41). С. 18...23.
2. Вороной С.М., Дарменко А.Ф., Коряжсин С.П. и др. Справочник спасателя. Кн. 2: Спасательные работы при ликвидации последствий землетрясений, взрывов, бурь, смерчей и тайфунов. М.: ВНИИ ГОЧС, 2006. 180 с.
3. Одинцов Л.Г., Курсаков А.В., Хапалов Е.А. и др. Справочник спасателя. Кн. 8: Надводные и подводные спасательные работы. М.: ВНИИ ГОЧС, 2006. 204 с.
4. Шойгу С.К., Фалеев М.И., Кириллов Г.Н. и др. Учебник спасателя. Краснодар: Советская Кубань, 2002. 528 с.
5. Тарасова Д.А., Разумова Е.Ф. О сложностях проведения поисково-спасательных работ: проблемы и решения // Пожарная и аварийная безопасность. Иваново, 2024. С. 621...625.
6. Тарасова Д.А., Кузнецов А.В. Особенности использования беспилотных летательных аппаратов в некоторых областях пожаротушения // Информационные и графические технологии в профессиональной и научной деятельности. Тюмень, 2023. С. 244...247.
7. Тарасова Д.А. Применение пожарных роботов при тушении пожаров и проведении АСР // Актуальные вопросы пожаротушения. Иваново, 2022. С. 166...168.
8. Киселев А.М., Румянцев Е.В., Одинцова О.И., Румянцева В.Е. Современные технологии получения текстильных материалов со специальными свойствами и области их применения // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2. С. 121...133.
9. Park S. An evaluation of the suitability of fluorescent fabrics and retroreflective materials for road traffic warning clothing in compliance with international standards. Fashion and Textiles. 2019. 6, №34. – <https://doi.org/10.1186/s40691-019-0190-4>.
10. Park S.J., Choi, K.V. Comparative analysis of the properties of reflective materials for signal clothing. In Proceedings of the annual Conference of the International Textile and Clothing Association (ITAA), USA, 2018. P. 106.
11. Тарасова Д.А., Никифоров А.Л. Технологии спасения: критерии качества света в современном освещении // Пожарная и аварийная безопасность. Иваново, 2024. С. 207...213.
12. Szuster L., Kaźmierska M., Król I. Fluorescent dyes destined for dyeing high-visibility polyester textile products // Fibres & Textiles in Eastern Europe. 2004. Т. 12. №. 1 (45).
13. Yang E. K., Lee J. H. Luminescence effects of POF-based flexible textile by post-treated optic illuminate // Science of Emotion and Sensibility. 2011. Т. 14. №. 4. С. 495...502.
14. Тарасова Д.А., Никифоров А.Л., Легкова И.А. Использование люминофоров в области поисково-спасательных работ // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов. Иваново, 2023. С. 497...502.
15. Тарасова Д.А., Никифоров А.Л. Использование средств визуализации в случае бедствий: преимущества органического люминофора // Пожарная и аварийная безопасность. Иваново, 2023. С. 285...290.
16. Иванова В.С., Горберг Б.Л. Материал для защиты в темное время суток // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2005. № 1. С. 90...93.
17. Иванова В.С., Веселов В.В., Горберг Б.Л. Диаманитные процессы в изделиях специального назначения // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2006. № 1. С. 132...133.
18. Андриевский А.М. Сигнальная одежда: люмодемим – новая джинсовая ткань, светящаяся в темноте // Рынок легкой промышленности. 2005. № 43. С. 36...37.
19. Андриевский А.М. Джинсы нового века: «умный» и «глупый» демим // Рынок легкой промышленности. 2004. № 36. С. 19...20.
20. Большухин В.А., Булычев Н.А., Гарелина С.А., Казарян М.А. и др. О некоторых возможных применениях люминофоров длительного послесвечения // Известия Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. 2014. № 3. С. 3...9.
21. Тарасова Д.А., Никифоров А.Л., Легкова И.А. Сигнальное полотно с элементами люминесцентного покрытия как метод достижения целей поисково-спасательных операций // Современные пожаробезопасные материалы и технологии. Иваново, 2023. С. 450...455.
22. Тарасова Д.А., Никифоров А.Л., Легкова И.А. Плащ-накидка с люминофорным покрытием как сигнальное средство визуализации: область применения и оценка эффективности // Естественные науки и пожаробезопасность: проблемы и перспективы исследований. Иваново, 2024. С. 100...104.
23. Малышев Н.Е. Люминофоры для российского производства // Современная светотехника. 2022. № 1(75). С. 14...15.
24. Пат. 2672747С2 РФ. Люминофор, способ получения люминофора и применение люминофора.
25. Пат. 2641282С2 РФ. Новые люминофоры, такие как новые узкополосные люминофоры красного свечения, для твердотельного источника света.
26. Лукьянова В.А., Синицына И.Н. Люминофор с точки зрения науки. Применение люминофора // Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании. Балаково: НИЯУ "МИФИ", 2023. Том II. С. 84...90.

27. Люминесценция и сопутствующие явления // Труды VI Всероссийской школы-семинара. Иркутск, 2001. 234 с.
28. Левшин Л.В., Салецкий А.М. Люминесценция и ее измерение. Молекулярная люминесценция. М.: Изд-во МГУ, 1989. 272 с.
29. Мурашкевич А.Н. Технология неорганических люминофоров: учебное пособие. Минск: БГТУ, 2021. Ч. 1. 114 с.
30. Химическая энциклопедия / под ред. И.Л. Кнунянц. М.: Советская энциклопедия, 1990. Т. 2. 1335 с.
31. Корепанов В.И. Импульсный люминесцентный анализ: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. 131 с.
32. Пустоваров В.А. Люминесценция твердых тел: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2017. 128 с.
33. Бурковский В.Л., Глотова Ю.Н., Ефремов Д.А., Романов А.В. Виды люминесценции и ее применение в технике // Главный инженер. Управление промышленным производством. 2017. №7.
34. Кухто А.В. Электролюминесценция тонких пленок органических соединений (Обзор) // Журнал прикладной спектроскопии. 2003. Т. 70, № 2. С. 151...176.
35. Бугров В.Е., Виноградова К.А. Оптоэлектроника светодиодов: учебное пособие. СПб.: НИУ ИТМО, 2013. 174 с.
36. Кузнецова Е.Е. Исследование люминесцентных свойств люминофоров с различным содержанием активатора // МНСК-2017: Химия. Новосибирск, 2017. С. 103.
37. Манаширов О.Я., Зверева Е.М., Лобанов А.Н. Новый фотостимулированный люминофор на основе алюмината стронция с длительным послесвечением // Неорганические материалы. 2015. Т. 51, № 10. С. 1142.
38. Титков В.В., Никифоров И.В., Дейнеко Д.В. и др. Синтез и строение эффективных люминофоров на основе фосфатов кальция // Тез. докл. XI Национальной кристаллохимической конф. Черноголовка: ФИЦ Проблем химической физики и медицинской химии РАН, 2024. С. 291.
39. Большухин В.А., Булычев Н.А., Гарелина С.А. и др. О некоторых возможных применениях люминофоров длительного послесвечения // Известия Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. 2014. № 3. С. 3...9.
40. Марьина У.А., Воробьев В.А., Локтев Н.С., Макаренко Д.А. Применение люминофоров длительного послесвечения для эвакуации людей при пожарах // Ройтмановские чтения. М.: Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2022. С. 68...70.
41. Тарасова Д.А., Никифоров А.Л., Легкова И.А. Разработка мобильного сигнального устройства // Надежность и долговечность машин и механизмов. Иваново, 2024. С. 276...279.
1. Kuznetsov A.V. Model of cyclic monitoring of large fires and search and rescue operations // Modern problems of civil protection. 2021. № 4(41). P. 18...23.
2. Voronoi S.M., Darmenko A.F., Koryazhin S.P. and others. The rescuer's Handbook. Book 2: Rescue operations in the aftermath of earthquakes, explosions, storms, tornadoes and typhoons. Moscow: VNI GOChS, 2006. 180 p.
3. Odintsov L.G., Kursakov A.V., Khapalov E.A. etc. Handbook of the rescuer. Book 8: Surface and underwater rescue operations. Moscow: Federal Research Institute of GOChS, 2006. 204 p.
4. Shoigu S.K., Faleev M.I., Kirillov G.N. and others. The lifeguard's textbook. Krasnodar: Soviet Union. Kuban, 2002. 528 p.
5. Tarasova D.A., Razumova E.F. On the difficulties of conducting search and rescue operations: problems and solutions // Fire and emergency safety. Ivanovo, 2024. P. 621...625.
6. Tarasova D.A., Kuznetsov A.V. Features of the use of unmanned aerial vehicles in some areas of fire-fighting // Information and graphic technologies in professional and scientific activities. Tyumen, 2023. P. 244...247.
7. Tarasova D.A. The use of fire fighting robots in extinguishing fires and conducting emergency rescue operations // Actual issues of firefighting. Ivanovo, 2022. P. 166...168.
8. Kiselev A.M., Rumyantsev E.V., Odintsova O.I., Rumyantseva V.E. Modern technologies for obtaining textile materials with special properties and their fields of application // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 2. P. 121...133.
9. Park S. An evaluation of the suitability of fluorescent fabrics and retroreflective materials for road traffic warning clothing in compliance with international standards. Fashion and Textiles. 2019. 6, №34. – <https://doi.org/10.1186/s40691-019-0190-4>.
10. Park S.J., Choi K.V. Comparative analysis of the properties of reflective materials for signal clothing. In Proceedings of the annual Conference of the International Textile and Clothing Association (ITAA), USA, 2018. P. 106.
11. Tarasova D.A., Nikiforov A.L. Rescue technologies: criteria for light quality in modern lighting // Fire and emergency safety. Ivanovo, 2024. P. 207...213.
12. Szuster L., Kaźmierska M., Król I. Fluorescent dyes destined for dyeing high-visibility polyester textile products // Fibres & Textiles in Eastern Europe. 2004. T. 12. № 1 (45).
13. Yang E.K., Lee J.H. Luminescence effects of POF-based flexible textile by post-treated optic illuminate // Science of Emotion and Sensibility. 2011. T. 14. №. 4. P. 495...502.
14. Tarasova D.A., Nikiforov A.L., Legkova I.A. The use of luminophores in the field of search and rescue operations // Topical issues of improving engineering systems for ensuring fire safety of objects. Ivanovo, 2023. P. 497...502.

15. *Tarasova D.A., Nikiforov A.L.* The use of visualization tools in case of disasters: the advantages of organic luminophore. // Fire and emergency safety. Ivanovo, 2023. P. 285...290.
16. *Ivanova V.S., Gorberg B.L.* Material for protection in the dark // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2005. №1. P. 90...93.
17. *Ivanova V.S., Veselov V.V., Gorberg B.L.* Diamagnetic processes in special-purpose products // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2006. №1. P. 132...133.
18. *Andrievsky A.M.* Signal clothes: lumodenim – a new denim that glows in the dark // *Light industry market*. 2005. №. 43. P. 36, 37.
19. *Andrievsky A.M.* Jeans of the new century: "smart" and "stupid" denim // *Light industry market*. 2004. № 36. P. 19...20.
20. *Bolshukhin V.A., Bulychev N.A., Garelina S.A., Kazaryan M.A. and others.* Some possible applications of long-lasting afterglow luminophores // *Proceedings of the Academy of Engineering Sciences named after A.M. Prokhorov*. 2014. No. 3. P. 3...9.
21. *Tarasova D.A., Nikiforov A.L., Legkova I.A.* Signal cloth with luminescent coating elements as a method of achieving the goals of search and rescue operations // *Modern fireproof materials and technologies*. Ivanovo, 2023. P. 450...455.
22. *Tarasova D.A., Nikiforov A.L., Legkova I.A.* Cape with luminophore coating as a signal visualization tool: scope and effectiveness assessment // *Natural Sciences and fire safety: problems and prospects of research*. Ivanovo, 2024. P. 100...104.
23. *Malyshev N.E.* luminophores for Russian production // *Modern lighting technology*. 2022. No. 1(75). P. 14...15.
24. Patent 2672747C2 of the Russian Federation. Luminophore, method of obtaining phosphor and application of luminophore.
25. Patent 2641282C2 of the Russian Federation. New luminophores, such as new narrow-band luminophores of red glow, for a solid-state light source.
26. *Lukyanova V.A., Sinitsyna I.N.* Luminophore from the point of view of science. Application of luminophore // *Modern technologies and automation in engineering, management and education*. Balakovo: National Research Nuclear University "MEPhI", 2023. Vol. II. Pp. 84...90.
27. Luminescence and related phenomena // *Proceedings of the VI All-Russian School Seminar*. Irkutsk, 2001. 234 p.
28. *Levshin L.V., Saletsky A.M.* Luminescence and its measurement: Molecular luminescence // *Moscow*, 1989. 272 p.
29. *Murashkevich A.N.* Technology of inorganic luminophores: textbook. Minsk: BSTU, 2021. Part 1. 114 p.
30. *Chemical Encyclopedia / edited by I.L. Knunyants*. Moscow: Soviet Encyclopedia. Vol. 2. 1990. 1335 p.
31. *Korepanov V.I.* Pulsed luminescent analysis: textbook. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2008. 131 p.
32. *Pustovarov V.A.* Luminescence of solids: textbook. Yekaterinburg: Ural University Publishing House, 2017. 128 p.
33. *Burkovsky V.L., Glotova Yu.N., Efremov D.A., Romanov A.V.* Types of luminescence and its application in engineering // *Chief Engineer. Industrial production management*. 2017. № 7.
34. *Kukhto A.V.* Electroluminescence of thin films of organic compounds (Review) // *Journal of Applied Spectroscopy*. 2003. Vol. 70, № 2. Pp. 151...176.
35. *Bugrov V.E., Vinogradova K.A.* Optoelectronics of LEDs: textbook. St. Petersburg: ITMO Research Institute, 2013. 174 p.
36. *Kuznetsova E.E.* Investigation of luminescent properties of luminophores with different activator content // *MNSK-2017: Chemistry*. Novosibirsk, 2017. P. 103.
37. *Manashirov O.Ya., Zvereva E.M., Lobanov A.N.* A new photostimulated luminophore based on strontium aluminate with a long afterglow // *Inorganic materials*. 2015. Vol. 51, № 10. P. 1142.
38. *Titkov V.V., Nikiforov I.V., Deineko D.V. etc.* Synthesis and structure of effective luminophores based on calcium phosphates // *Abstracts of the XI National Crystallochemical Conference*. Chernogolovka: Institute of Problems of Chemical Physics and Medical Chemistry of the Russian Academy of Sciences, 2024. P. 291.
39. *Bolshukhin V.A., Bulychev N.A., Garelina S.A. etc.* On some possible applications of luminophores of long afterglow // *Proceedings of the Academy of Engineering Sciences named after A.M. Prokhorov*. 2014. No. 3. P. 3...9.
40. *Maryina U.A., Vorobyov V.A., Loktev N.S., Makarenkov D.A.* Application of luminophores of long afterglow for evacuation of people in case of fires // *Roitman readings*. Moscow: Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2022. P. 68...70.
41. *Tarasova D.A., Nikiforov A.L., Legkova I.A.* Development of a mobile signaling device // *Reliability and durability of machines and mechanisms*. Ivanovo, 2024. P. 276...279.

Рекомендована кафедрой пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК «Государственный надзор») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. Поступила 13.12.24.