

Синтез и исследование температур изменения цветов пигментов на основе неорганических солей кобальта и никеля

Гурьянова Николь Денисовна

химия

4 класс, Международная школа “Алабуга”, Республика Татарстан

Научный руководитель: Булдаков А.В., Международная школа “Алабуга”, Республика Татарстан

Введение

На заводах, в медицине и в быту есть много оборудования, температура которого не должна превышать определенную отметку [1, 2]. Измерить температуру без специальных приборов невозможно. Измерять температуру оборудования аналоговыми термометрами оказывается не всегда удобно. Часто в такой ситуации могут помогать электронные термометры, которые могут измерять температуру автоматически. К сожалению, эти термометры не всегда бывают доступны.

При этом существуют медицинские препараты, которые должны транспортироваться при низкой температуре [3]. Для перевозки таких препаратов применяются специальные термоконтейнеры, внутрь которых помещаются охлаждающие элементы. Они должны поддерживать низкую температуру в течение транспортировки. К сожалению, иногда герметичность термоконтейнеров может нарушаться в течение поездки. Очень часто это не получается понять после вскрытия контейнера в конце поездки. Отследить потерю герметичности и изменение температуры с помощью аналоговых термометров невозможно. Электронные термометры способны решить эту проблему, но для них нужен надёжный источник питания. Если с такими термометрами произойдёт сбой в течение поездки, это может привести к утилизации всей перевозимой партии.

Одним из возможных решений данной проблемы могут быть стикеры на основе термохромных красок с необратимым изменением цвета. Такие стикеры изменяют цвет при однократном достижении определенной температуры. При

этом они сохраняют новый цвет даже в том случае, если температура впоследствии возвращается к прежнему значению.

Поэтому *целью* данной работы стало создание таких пигментов, которые могли бы однократно изменять свой цвет при достижении определенной температуры.

Задачами данной работы стали:

- 1) выбор реагентов для создания новых пигментов;
- 2) синтез пигментов;
- 3) изменение температур изменения цвета данных пигментов;
- 4) создание прототипов стикеров на основе полученных пигментов.

Обзор литературы

В настоящее время исследовано множество термохромных красителей. Они бывают на основе как неорганического, так и органического сырья. Пигменты из органического сырья часто имеют сложную структуру и требуют специальных условий синтеза. Синтез красителей на основе неорганического сырья часто оказывается проще и безопаснее. Например, в работе Черкасовой Е.В. [4] исследовались неорганические термоиндикаторы на основе солей хрома с использованием таких химических элементов, как лантаноиды. В этой работе получались обратимые термоиндикаторы, которые могли менять цвет как при нагревании, так и при охлаждении. Также в этой работе говорится и о необратимых красителях на основе хрома и лантаноидов. Данные термоиндикаторы меняли свой цвет в интервале 50-220°C. При этом данные пигменты получались путём стандартных операций: смешивание и упаривание растворов.

В работе Скрипкина М.Ю. и др. [5] указывается еще более простой вариант синтеза таких пигментов. В данном случае красители предлагается синтезировать на основе хлорида кобальта(II) и уротропина. Синтез проводится путём простого смешивания растворов реагентов. Затем смесь выпаривается на

воздухе в течение суток. При этом получается пигмент, контрастно изменяющий свою окраску с розовой на синюю до 50°C.

В данной работе было решено повторить данный синтез, а также исследовать другие соли кобальта. В дополнение мы решили исследовать аналогичные соли никеля — химического элемента, чьи свойства похожи на свойства кобальта.

Материалы и оборудование

В ходе работы использовались следующие *материалы*: семиводный сульфат никеля(II), шестиводный хлорид никеля(II), шестиводный нитрат никеля(II), семиводный сульфат кобальта(II), шестиводный хлорид кобальта(II), шестиводный нитрат кобальта(II), уротропин, дистиллированная вода.

В ходе работы также использовалось следующее *оборудование*: пластиковые баночки с навинчивающимися крышками на 50 мл, мерные цилиндры на 50 мл, пластиковые воронки, фильтровальная бумага, весы, термостат, 3D-принтер, пластиковые микропробирки с навинчивающимися крышками, фарфоровая ступка, пластиковые пипетки Пастера, кисточка.

Экспериментальная часть

Для синтеза термохромных пигментов никеля и кобальта проводились реакции соединения солей кобальта и никеля (раствор в 20 мл воды) с уротропином (раствор в 20 мл воды) в соотношении 1:2 по количеству реагентов. Растворы смешанных веществ были оставлены в баночках на 50 мл с приоткрытыми крышками на 2 суток. Полученные осадки были промыты холодной дистиллированной водой при помощи воронок и фильтровальной бумаги. Промытые водой осадки были высушены на воздухе в течение 2 суток. Массы реагентов и полученных пигментов приведены в таблице 1.

Массы реагентов и полученных пигментов

Соль	Масса соли (г)	Масса уротропина (г)	Масса пигмента (г)
$\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	4,998	5,387	6,543
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	5,001	5,901	3,301
$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	5,004	4,837	1,856
$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	5,013	4,930	5,852
$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	5,0	5,882	0,459
$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	5,020	4,820	3,117

Высушенные пигменты измельчались в фарфоровой ступке. Небольшие образцы пигментов массой до 0.500 г помещались в микропробирки. Затем образцы пигментов в микропробирках помещались в термостат. Температура термостата изменялась от 20°C до 95°C с шагом в 5°C (рисунки 1). На каждый шаг уделялось 10 минут.



Рисунок 1. Измерение температур изменения цвета полученных пигментов с шагом в 5°C при помощи термостата.

Для изготовления прототипов стикеров образец пигмента массой до 0,500 г смешивался с 3 каплями воды. С помощью кисточек полученная суспензия наносилась на фрагменты фильтровальной бумаги размерами 2×2 см. Полученные стикеры были высушены на воздухе в течение часа.

Полученные стикеры были помещены на рабочую поверхность 3D-принтера. Для изменения окраски поочередно выставлялись температуры изменения цветов пигментов, найденные с помощью термостата. При каждой температуре соответствующий стикер выдерживался с помощью 10 минут.

Обсуждение результатов

Для получения термохромных пигментов были смешаны растворы соответствующих солей никеля или кобальта с раствором уротропина. Пигменты были получены после медленного упаривания смешанных растворов в течение суток. Температуры изменения цвета полученных пигментов были определены при помощи термостата. Для всех шести пигментов были найдены температуры необратимого изменения цвета в интервале 45-90°C (таблица 2). Пигменты на основе $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ поменяли свой цвет лишь незначительно.

Таблица 2

Температуры и соответствующие изменения цвета полученных пигментов

Пигмент	Температура перехода цвета	Изменение цвета
на основе $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	90°C	 <p>темно-красный → сиреневый</p>
на основе $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	45°C	 <p>розовый → синий</p>

<p>на основе $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$</p>	<p>70°C</p>	 <p>красный → розовый</p>
<p>на основе $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$</p>	<p>80°C</p>	 <p>зеленый → бирюзовый</p>
<p>на основе $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$</p>	<p>60°C</p>	 <p>зеленый → желтый</p>
<p>на основе $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$</p>	<p>75°C</p>	 <p>зеленый → бирюзовый</p>

Из каждого из полученных пигментов были изготовлены стикеры на основе фильтровальной бумаги. Для надежной фиксации изменяемой температуры была выбрана рабочая поверхность 3D-принтера (рисунок 2).

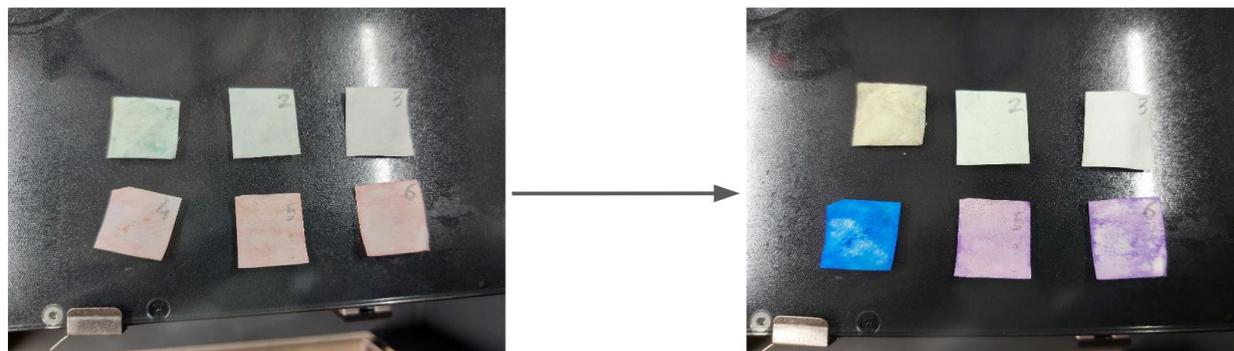


Рисунок 2. Изменение цвета прототипов термохромных стикеров на рабочей поверхности 3D-принтера.

Стикеры были пронумерованы от 1 до 6 (таблица 3).

Таблица 3

Номера прототипов стикеров, изготовленных на основе полученных пигментов

Пигмент	на основе $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	на основе $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	на основе $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	на основе $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	на основе $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	на основе $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Номер	1	2	3	4	5	6

Пигменты на стикерах 1, 4, 5 и 6 заметно поменяли цвет при соответствующих температурах, указанных в таблице 2. При этом стикеры 2 и 3 практически не изменили свой цвет.

Отметим, что температуры изменения цвета у стикеров 1, 4-6 оказались высоки относительно температур, которые поддерживаются внутри термоконтейнеров с медицинскими препаратами. Тем не менее, такие стикеры могут быть использованы для отслеживания температур поверхности медицинских контейнеров. Изменение их цвета может служить поводом для дополнительной проверки температуры внутри термоконтейнера. Помимо этого, такие стикеры могут быть использованы для отслеживания температур поверхности аппаратов МРТ. [2]

Выводы

В данной работе были получены шесть термохромных пигментов на основе солей кобальта и никеля. Все полученные пигменты могут необратимо изменять свой цвет в интервале 45-90°C. Пигменты на основе $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ показали достаточно контрастные изменения цвета. При этом пигменты на основе $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ изменили свой цвет лишь незначительно.

На основе полученных пигментов были изготовлены прототипы термохромных стикеров. Их испытание на рабочей поверхности 3D-принтера показало, что стикеры на основе $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ проявляют контрастное изменение цвета. При этом стикеры на основе $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ не изменили свой цвет.

Таким образом, стикеры с пигментами на основе $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ могут быть использованы для отслеживания температур поверхностей медицинских контейнеров или аппаратов МРТ. Изменение их цвета может служить поводом для проверки температуры внутри контейнера или же работоспособности аппарата.

Список литературы.

1. Охлаждение серверных помещений (ЦОД): системы кондиционирования для серверных помещений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ceds.ru/blog/okhlazhdenie-servernykh-tsod/> (дата обращения 20.12.2023).
2. Охлаждение МРТ (ТОМОГРАФА) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cht-ltd.ru/articles/inzheneram/okhlazhdenie-mrt/> (дата обращения 20.12.2023).
3. Хранение лекарственных средств ОФС.1.1.0010.15 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://termoindikator.ru/blog/hraneniels> (дата обращения 20.12.2023).
4. Черкасова Е.В., Осипенко А.А. Химические термоиндикаторы // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014 г., №1. С. 94-95.
5. Скрипкин М.Ю. и др. Путь в профессию. Школьные исследовательские проекты по химии // Издательство Санкт-Петербургского государственного университета. 2020 г. 234 с.

6. Никифоров А.Л. и др. Использование термохромных материалов в качестве сигнальных средств предупреждения пожаров в электроустановках // Пожаровзрывобезопасность. 2015 г. Т. 24, № 9. С. 41-47.