

12+

ISSN 2221-2353

**Химия Биология Медицина**

# **ПОТЕНЦИАЛ**

Журнал для старшеклассников и учителей

Sapere Aude – Дерзай знать!

Январь-Март 2022 №1 (83)

**Химия**

**Биология**

**Медицина**

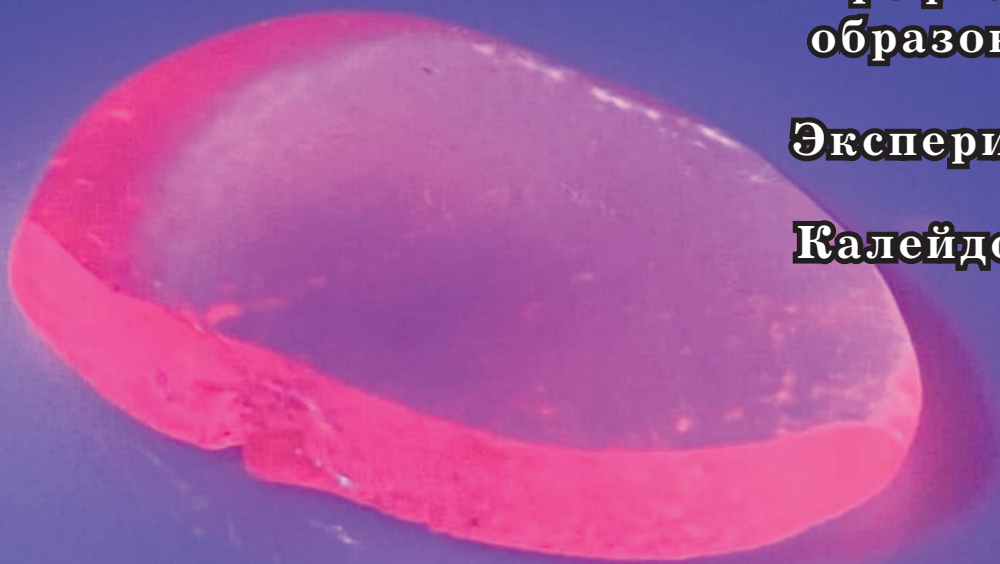
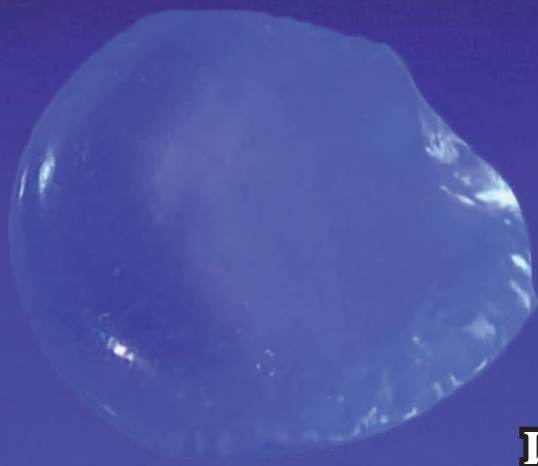
**Олимпиады**

**Исследовательская  
деятельность**

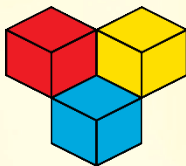
**Профильное  
образование**

**Эксперимент**

**Калейдоскоп**



# СУНЦ МГУ



объявляет набор школьников, интересующихся математикой, физикой, химией, биологией и информатикой, в 10 и 11 классы.

В 10-е классы набор проводится на следующие отделения:

- физико-математическое отделение (фундаментальное и прикладное);
- химическое;
- биологическое.

В 11-е классы набор проводится только на физико-математическое отделение.

В СУНЦ МГУ принимаются выпускники 9-х и 10-х классов, граждане РФ, а также не граждане РФ, имеющие право на получение среднего образования в РФ за счет бюджета государства.

## Структура экзаменов

Чтобы поступить в СУНЦ МГУ, необходимо успешно пройти два тура испытаний:

Экзамены 1-го тура являются отборочными в Колмогоровскую Летнюю школу (КЛШ). Они проводятся ориентировочно в апреле, точная информация о сроках и о форме (очная или дистанционная с прокторингом) будет опубликована на сайте [internat.msu.ru](http://internat.msu.ru).

Экзамены 2-го тура сдаются по итогам Колмогоровской Летней школы (КЛШ). КЛШ – это интенсивное обучение в течение 2-х недель в СУНЦ МГУ (в очном или дистанционном формате).

Экзамены по каким предметам нужно сдавать в 1-м туре?

- На физико-математическое отделение (двухгодичное или одногодичное обучение): математика, физика.
- На химическое отделение (двухгодичное обучение): математика, химия.
- На биологическое отделение (двухгодичное обучение): математика, химия, биология.

Все экзамены 1-го тура проводятся письменно. Участие в любых испытаниях обоих туров бесплатное. К экзаменам 1-го тура допускаются школьники, прошедшие предварительное тестирование по указанным предметам.

Экзамены по каким предметам нужно сдавать во 2-м туре?

- двухгодичное (фундаментальное и прикладное) и одногодичное физико-математическое отделения: по математике, физике и информатике;
- химическое отделение: по химии, математике и физике;
- биологическое отделение: по биологии, математике, химии и физике.

Школьники, успешно прошедшие 2-й тур вступительных испытаний и получившие положительные заключения воспитательского отдела, психолога и врача СУНЦ МГУ, рекомендуются к зачислению.

**Подробную информацию** о СУНЦ МГУ можно найти на сайте [internat.msu.ru](http://internat.msu.ru), информацию о порядке приема, программы экзаменов, материалы экзаменов прошлых лет – в разделе «Поступающим» <http://internat.msu.ru/for-abiturients/>.

**Задать вопрос** в Отдел нового приема СУНЦ МГУ можно:

- в разделе «Обратная связь» Личного кабинета на сайте [internat.msu.ru](http://internat.msu.ru), где также можно ознакомиться с ответами на часто задаваемые вопросы,
- по телефону **+7 (926) 046-80-06**,
- по электронной почте: [priem@internat.msu.ru](mailto:priem@internat.msu.ru).

# ПОТЕНЦИАЛ

## Химия Биология Медицина

### Содержание

Январь-Март № 1 (83) 2022

#### Колонка редактора

- 2** Олимпиадная весна. *Н.И. Морозова*

#### Химия

- 4** Как изготовить настоящий биопластик?  
*С.Ж. Умурзакова*
- 10** Люминесцентное стекло. *И.В. Шестаков,*  
*В.Д. Баркалова*

#### Биология

- 16** Птицы в ущелье и над ним. *М.А. Оробец*
- 20** Лист как биоиндикатор. *С.Н. Минина, М.Ю. Диденко*

#### Медицина

- 26** Как соединения меди могут помочь нам побороть рак? *М.С. Абрамович*
- 32** Всомогущ ли серотонин: новые взгляды на фармакотерапию депрессивных расстройств.  
*А.С. Калягин*

#### Олимпиады

- 37** Химия на Интернет-олимпиаде СУНЦ МГУ 2020-21 для 7-8 классов. *В.В. Загорский, Н.И. Морозова, А.С. Сигеев*
- 45** Задания Проектной химической олимпиады 2021-22 для 8 класса (1 тур). *С.А. Старых*

#### Исследовательская деятельность

- 53** Очистка воды по принципам «зелёной инженерии». *А.С. Федченко*

#### Профильное образование

- 64** Эксперименты с эфирными маслами: обучение или развлечение? *Р.А. Виноградова, Е.А. Сидоренко*

#### Эксперимент

- 72** Синтез термоиндикаторов, содержащих изотиоцианатохромат (III)-ион. *А.А. Ковалев, Д.В. Съедин, Е.Ю. Дробышев*

#### Калейдоскоп

- 79** Кроссворд «Инфекционные болезни».  
*А.В. Табачных, Г.Н. Журавлева*

#### Редколлегия

**Главный редактор** М.Г. Сергеева  
**Научные редакторы** Н.И. Морозова,  
Л.Н. Оболенская  
**Ответственный секретарь**  
Л.С. Михайлюк  
**Шеф-редактор** Г.А. Четин

#### Техническая редакция

**Редактор** А.С. Сигеев  
**Вёрстка** А.С. Сигеев  
**Редактор-корректор** Н.И. Морозова  
**Художник** И.И. Семенов

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77-43475 от 14 января 2011 года.

Адрес: 109544, г. Москва, ул. Рабочая, 84, редакция журнала «Потенциал. Химия. Биология. Медицина».  
Тел. (495) 768-25-48, (495) 951-41-67  
E-mail: [potential@potential.org.ru](mailto:potential@potential.org.ru)  
Сайт: [www.edu-potential.ru](http://www.edu-potential.ru)

Подписано в печать 24.03.2022

Усл. печ. л. 5

Формат 70x100 1/16

Заказ № 104

Электронная версия.

ООО «Азбука-2000»

109544, г. Москва, ул. Рабочая, 84

Журнал издаётся на средства выпускников МГУ им. М.В. Ломоносова.

ISSN 2221-2353



## Колонка редактора



**Морозова Наталья Игоревна**

*Научный редактор журнала*

## Олимпиадная весна

Весна – напряженное олимпиадное время. Проходят региональные и заключительные этапы Всероссийской олимпиады школьников, проводятся вузовские олимпиады. Поговорим о самых творческих олимпиадных проектах, реализованных на базе химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

С 28 января по 3 февраля 2022 г. состоялся заключительный этап VIII Межрегионального химического турнира<sup>1</sup>, тематика которого в этом году «Химия и мифы». Это соревнование для школьников по химии – особенное. Во-первых, задачи турнира носят открытый характер, то есть у них нет единственно верного решения (а для некоторых задач и вовсе неизвестно, существует ли решение!). Во-вторых, это командное мероприятие (в нем участвуют команды от 4 до 6 человек), то есть важны не только способности отдельного человека, но и умение людей работать в творческом коллективе и совместно решать задачи.

Задачи становятся известны командам заранее, и до выступления на турнире им предстоит большая работа: разобраться в теме, найти и изучить литературу, построить план эксперимента, осу-

ществить его, сделать выводы, подготовить презентацию по своему исследованию. На самом турнире фактически происходит защита работ. Участники других команд анализируют выступление, задают вопросы, в ходе дискуссии выявляют достоинства и недостатки.

С 12 по 13 марта на химическом факультете прошел заключительный этап IV Проектной химической олимпиады школьников<sup>2</sup> (с участием СУНЦ МГУ и Ассоциации победителей олимпиад). Цель этой олимпиады – популяризация химического эксперимента, а также привлечение внимания школьников 8–11 классов к научной работе в области химии. Основным отличием Проектной химической олимпиады от ряда других стало то, что в рамках соревнования задачи и расчеты – не цель, а лишь средство для практической реализации проекта. Участникам, успешно прошедшим очный отборочный тур (на нем нужно решить ряд теоретических задач, относящихся к неорганической, физической и органической химии), предлагалось найти оптимальные методы решения конкретной практической задачи и защитить свою работу перед членами жюри.

<sup>1</sup> <https://chemturnir.olimpiada.ru/>

<sup>2</sup> <https://chemolymp.ru/>

Участник предоставляет устный доклад по своей теме, сопровождая его презентацией. Лучшие из участников попали на проектный тур, где им выпал шанс реализовать свой подход на практике – осуществить органический или неорганический синтез, анализ полученного продукта или реального объекта, а главное, получить незабываемый опыт работы в реальной химической лаборатории.

Завершилась химическая олимпиада имени знаменитого русского химика Германа Ивановича Гесса<sup>3</sup> – интересное соревнование для школьников 7–8 классов, предоставляющее возможность одарённым учащимся поучаствовать в олимпиаде высокого уровня уже на начальных этапах обучения предмету. Олимпиада проходила 14–17 марта на базе школы «Летово», но впервые олимпиада Гесса состоялась на химическом факультете и до сих пор остается для него родной.

Наиболее глобальный и многосторонний проект – это олимпиада «Нанотехнологии – прорыв в будущее!»<sup>4</sup>. Ежегодно в ней принимают участие около 10000 школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, учителей. Она включает целый ряд конкурсов, которые позволяют любому участнику в максимальной степени проявить свои силы, знания, опыт и творческие способности. Большинство конкурсов проводится в два этапа: отборочный (заочный) и заключительный.

Так, 15 марта завершился отборочный этап Универсиады – уникального конкурса для студентов, обучающихся или закончивших обучение по образовательным программам бакалавриата, специалитета. Он проводится заочно, участники присылают краткое изложение своих научных достижений, реальной научно-исследовательской работы или цикла работ, а также краткое научно-популярное эссе. С 10 по 12 марта прошла

Весенняя Проектная Школа-конференция, которая включает как образовательную компоненту – лекции приглашенных ученых и методистов, так и соревновательную – доклады школьников, финалистов конкурса проектных работ «Гениальные мысли» по темам «Умные устройства», «Приведи в порядок свою планету», «Наносинтез», «Умные технологии для жизни».

Прямо сейчас, когда выходит этот номер (26–30 марта 2022 г.), проводится заключительный этап XVI Всероссийской олимпиады «Нанотехнологии – прорыв в будущее!» по комплексу предметов «химия, физика, математика, биология» для школьников 7–11 классов. Пожелаем участникам успехов!

Для подготовки к будущим олимпиадам разработаны курсы<sup>5</sup> в среде электронного дистанционного образования Moodle. Курс «Образование в области нанотехнологий» предназначен для учителей и преподавателей, занимающихся подготовкой школьников к научно-исследовательской работе и их участию в конкурсах олимпиад высокого уровня. Курс включает блоки по опыту организации дистанционной и практической работы со школьниками, практические примеры успешных школьных проектов, а также рекомендации по выбору перспективных тем проектных работ для новых команд. Курс «Нанотехнологии в химии и науках о жизни» носит общепрофильный характер и предназначен для школьников 7–11 классов, в нем предлагаются материалы по нанохимии, нанотехнологиям в биологии и медицине, сенсорике и других областях. Курс «Нанотехнологии в физике и инженерии» предназначен для того же контингента и включает сведения о солнечной и электрохимической энергетике, аддитивных технологиях, использовании мембранных материалов и др.

<sup>3</sup> <http://olhess.ru/>

<sup>4</sup> <https://enanos.nanometer.ru/>

<sup>5</sup> <https://enanos.nanometer.ru/news/294>



### **Умурзакова Саня Жаиковна**

*Ученица 12 класса филиала «Назарбаев Интеллектуальная школа физико-математического направления» города Костаная АОО «Назарбаев Интеллектуальные школы», Республика Казахстан. Заняла 1 место на сетевом этапе республиканского конкурса научных работ, 1 место на XVI Международных научных соревнованиях по космическим исследованиям «Открываем мир науки», 1 место на XXI Международной научной конференции-конкурсе школьников «Колмогоровские чтения». Лауреат премии учительского жюри на XVI Балтийском научно-инженерном конкурсе.*

*Научный руководитель – Науменко Наталья Юрьевна, учитель химии филиала «НИШ физико-математического направления» города Костаная АОО «НИШ».*

## **Как изготовить настоящий биопластик?**

В статье рассказывается об изготовлении биопластика из пищевых отходов и изучении его химических и физических свойств, а также практическом применении этого продукта в быту и на производстве.

Наверняка в последнее время вы часто слышали об изготовлении так называемого «биоразлагаемого пластика». Только и кажется, что учёные во всём мире изобретают новые удобные пути по созданию этого «волшебного» продукта. К примеру, американская компания Nature Work с 2002 года начала производство данного вида пластика из кукурузного крахмала. Успех этого события особенно состоит в том, что фактическое производство достигает 280 тысяч тонн, что является наивысшим мировым показателем. Другой, менее привлекательный в плане бизнеса пример – использование красных водорослей, а именно агар-агара, для изготовления упаковочных материалов. Данная методика уже заинтересовала Японскую проектную компанию АМАМ, но, как и другие её «предшественницы», она имеет ряд недостатков...

– В чём проблема? – спросите вы.

– В пищевой цепи! – отвечу я.

Действительно, так и есть: производители, использующие в качестве основного сырья чистые продукты – плоды и зёрна, – ставят под угрозу питание животных видов и влияют на агрокультурное развитие регионов. Обширное производство подобного пластика может привести и к другим беспрецедентным последствиям, о которых нам только предстоит узнать.

Очевидно, что те чувства, которые вызывает вышеописанное «биобудущее», не сравнятся со страхом последствий для биосферы от утилизации ныне распространённого пластика. Как известно, время разложения одной пластиковой бутылки составляет около 400 лет. Более того, другие существующие методы избавления от мусора, такие как

сжигание и закапывание, – также не без «подводных камней».

Возможно, в вашей голове сейчас возник именно такой вопрос:

– Неужели нет никакого выхода в борьбе с пластиковым загрязнением?

– К счастью, есть! – снова восклицая, скажу я.

Во время долгих поисков и рассуждений, изучив множество исследований, я начала испытывать симпатию к идее безотходного производства – производства, которое не нарушит уже упомянутую пищевую цепь. Исходя из теоретического исследования наличия крахмала в составе кожуры банана, апельсина, картофеля и вдохновившись работой турецкой школьницы Элиф Билгин, которая создала пластик, но не раскрыла его состав, я попробовала заняться созданием нового рецепта. Указанные отходы в большом количестве присутствуют в столовой моей школы. Также они используются массово и потому являются дешёвым сырьем. Однако на деле всё оказалось не так просто...

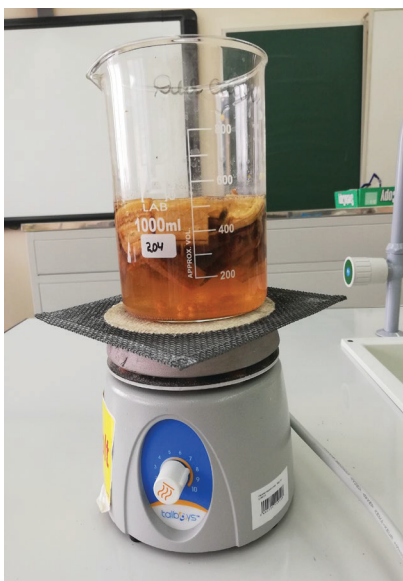
В самом начале было принято решение извлечь крахмал – углевод, который я посчитала главным полимером для изготовления пластика, – из банановой кожуры путём измельчения, добавления воды и отстаивания. К сожалению, не удалось достичь заданной цели, отчего пришлось признать методику неприемлемой. Затем я решила получить пластик из банановой кожуры с использованием раствора соляной кислоты и гидроксида натрия. Полученный материал оказался слишком хрупким и совсем не был пластичным. Следующей мерой стало усовершенствование предыдущей методики добавлением глицерина (для придания материалу эластичности) и заменой соляной кислоты на уксусную (для более

доступного производства, ведь соляная кислота относится к классу умеренно-опасных по токсичности веществ, и для её использования необходимо специальное разрешение). Полученная масса действительно была более пластичной, но недостаточно однородной, поскольку кислота оказалась слишком слабой. Также процесс усложнялся присутствием неприятного резкого запаха уксусной кислоты.

С учётом результата прошлых экспериментов был разработан оптимальный алгоритм создания пластика. Шаги были следующими: измельчить 200 г кожуры с помощью ножа и поместить в сосуд, добавить в данный сосуд 500 мл 0,5 М раствора соляной кислоты (HCl) (рис. 1), кипятить 30 минут, вытащить кожуру и просушить (рис. 2), перемолоть блендером или растолочь в ступке, отфильтровать избыток жидкости и добавить 500 мл 0,5 М раствора щёлочи (NaOH), снова отфильтровать, готовую пасту поместить в чашку Петри, предварительно смазанную глицерином, сушить несколько дней на солнце или в сушильном шкафу до постоянной массы.

После получения пластика было любопытно изучить его химические свойства. В результате опыта выяснилось, что, в отличие от апельсинового и картофельного, банановый пластик не взаимодействует с азотной кислотой. С серной кислотой (0,5 М) взаимодействуют все виды пластика: наблюдались пузырьки газа. Однако со щелочью ни один из образцов не прореагировал (рис. 3). При добавлении воды стало понятно, что только «апельсиновый» пластик реагирует с данным веществом, поскольку в пробирке с водой и пластиком из апельсина заметно жёлтое окрашивание, хотя структура материала не изменилась.

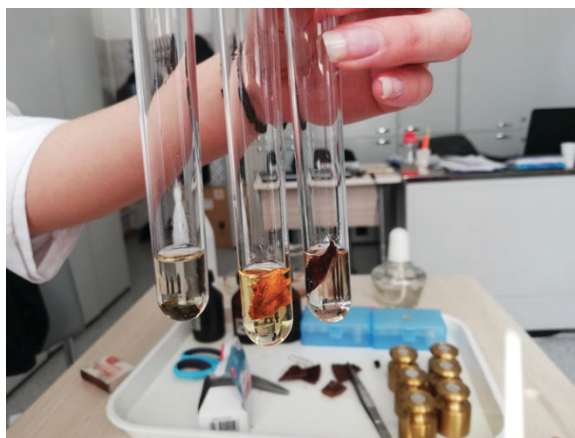
<sup>1</sup> Guarino, B. 2013. From Peels to Plastic. *Science World* 69(3): 2–3.



*Рис. 1. Измельченная кожура в соляной кислоте*



*Рис. 2. Подготовка кожуры к следующему этапу измельчения и выкладыванию ее в чашку Петри, предварительно смазанную глицерином*



*Рис. 3. Взаимодействие щелочи с пластиком из банана (в 1-й пробирке, слева направо), азотной кислоты с пластиком из апельсина (во 2-й пробирке), азотной кислоты с пластиком из картофеля (в 3-й пробирке)*

Также были исследованы физические свойства полученных материалов: плотность, коэффициент трения, прочность, температура плавления. Как оказалось, самой низкой плотностью обладает пластик из картофеля. У пластиков из банана и апельсина плотность близка по значению (рис. 4). Наибольшую

плотность продемонстрировал пластик из апельсина. Помимо этого, для изучения трения скольжения был найден вес всех видов пластика с помощью динамометра. Также был вычислен коэффициент трения деревянного бруска, скользящего по столу. Затем к нижней части этого бруска по очереди прикреплялся



каждый вид пластика. Выяснилось, что наименьший коэффициент трения имеет банановый пластик, а наибольший – картофельный (рис. 5). С использованием спиртовки для исследования плавления стало известно, что ни один из изготовленных материалов не плавится, а лишь обугливается. Для определения другой

физической характеристики – прочности – были применены гири, которые с помощью нити подвешивались к пластику (рис. 6). В итоге выяснилось, что наиболее прочным является апельсиновый пластик, вторую позицию занимает банановый, а наименее прочным оказался картофельный.

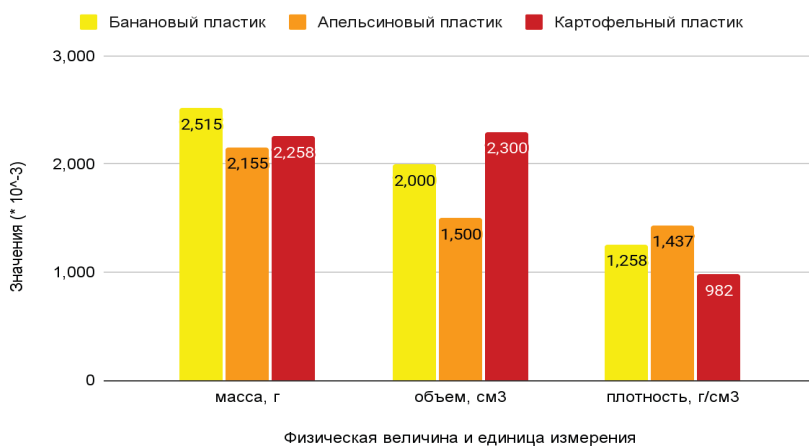


Рис. 4. Плотность материала

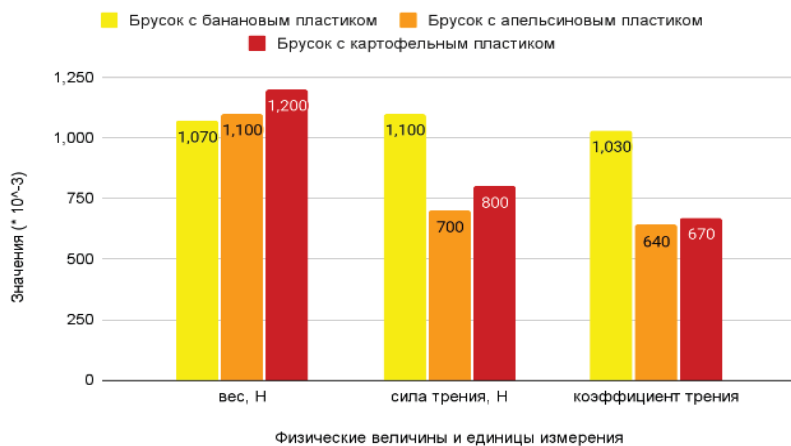


Рис. 5. Коэффициент трения

Чтобы проверить, будет ли пластик разлагаться в природных условиях, было проведено тестирование амилазой слюны. Для точного определения времени разложения в почве образцы пластика были закопаны в землю. Затем, после их извлечения, были проведены

соответствующие наблюдения. банановый пластик подвергся разложению, апельсиновый разрушился, а картофельный разложился, но не полностью (рис. 7). Что касается фермента амилазы, то все пластики под ее действием подверглись разложению (рис. 8).



Рис. 6. Тестирование на прочность бананового пластика

Чтобы проверить, будет ли пластик разлагаться в природных условиях, было проведено тестирование амилазой слюны. Для точного определения времени разложения в почве образцы пластика были закопаны в землю. Затем, после их извлечения, были проведены соответствующие наблюдения. банановый пластик подвергся разложению, апельсиновый разрушился, а картофельный разложился, но не полностью (рис. 7). Что касается фермента амилазы, то все пластики под ее действием подверглись разложению (рис. 8).



Рис. 7. Подготовка к закапыванию пластика

При анализе результатов опытов наиболее перспективным для дальнейшего применения был признан банановый пластик, поскольку он наиболее устойчив при взаимодействии с кисло-

тами, имеет наименьший коэффициент трения скольжения, не плавится и по прочности занимает второе место. Полученные пластики можно использовать в качестве упаковки, для создания которой важна лёгкость и прочность. Самым распространённым упаковочным материалом на данный момент является полиэтилен, его плотность равна  $0,916-0,935 \text{ г/см}^3$ , что близко к значениям плотности пластиков, произведенных из пищевых отходов (банановый:  $1,258 \text{ г/см}^3$ , апельсиновый:  $1,437 \text{ г/см}^3$ , картофельный:  $0,982 \text{ г/см}^3$ ).



Рис. 8. Взаимодействие с ферментом амилазой

Наши пластики можно использовать для изготовления автомобильных шин, так как коэффициент трения скольжения резины ( $0,59-0,69$ ) практически не отличается от такого же показателя для полученных пластиков. Однако необходимо ещё работать над прочностью данных материалов. Ещё одно возможное применение полученных пластиков – теплоизоляционные материалы. В качестве такого материала сейчас используют вспененный полиэтилен, а характеристики полученных пластиков сходны с указанным выше показателем плотности полиэтилена. Предполагаемые сферы применения продукта – также самолёто- и кораблестроение, ведь эти пластики, как материалы с низкой плотностью, подходят для внутренней отделки.

С наступлением пандемии были предприняты меры для адаптации существующей методики к домашним условиям. В соответствии с результатами

тестирования был разработан метод изготовления биоразлагаемых горшков из бананового пластика для посадки растений и закапывания органического мусора. Подобная адаптация имеет некоторые преимущества, например, упрощение процедуры изготовления (доступные реактивы и оборудование), уменьшение себестоимости.

После оптимизации новый метод включает следующие шаги: очистить кожуру банана от мякоти (масса очищенной кожуры – 800 г), вскипятить воду, кипятить банановую массу в воде с добавлением 100 мл раствора 6%-ной уксусной кислоты в течение 30 минут, нейтрализовать гидрокарбонатом натрия (8,4 г), добавить полученную массу в ёмкость с холодной водой и оставить на 2 часа, отфильтровать массу, добавить 20 мл глицерина и 30 г порошка белой глины, сушить в печи (30 минут, 130°C) и на батарее (7 дней) (рис. 9).



Рис. 9. Биопластиковый горшок

Для проверки пригодности горшков из полученных пластиков было проведено несколько процедур подготовки и посадки семян подсолнуха. Данное растение было выбрано по причине быстрой всхожести его семян. Замачивание семян подсолнуха в воде происходило в течение суток. Затем семена высаживались в три вида горшков (торфяные, полипропиленовые, биопластиковые – по

два горшка каждого вида) для сравнения эффективности горшков из наших пластиков и существующих аналогов. В каждый горшок было посажено по 5 семян.

Помимо этого, была исследована кислотность почвы в пластиковом и торфяных горшках. Среда во всех образцах почвы оказалась слабокислой, рН около 6.

На первых этапах всходы отсутствовали, и появилась плесень. Возможные причины образования плесени – недостаточная концентрация кислоты, споры плесени в глине, высокая температура окружающей среды. На основании этих предположений были предприняты меры по исправлению процесса изготовления пластиковых горшков. А именно, проведена обработка части глины раствором пероксида водорода (2 столовые ложки аптечной перекиси на 1 л воды), измельчение и прокалывание другой части глины в духовом шкафу при температуре 200°C в течение 30 минут, прокалывание и затем обработка раствором пероксида водорода третьей части глины.

В итоге стало понятно, что среднее время появления всходов семян в торфяных горшках составляет 3–4 дня (в двух горшках проросло 6 семян из 10), когда такой же показатель у полипропиленовых стаканчиков – 1 день (в двух горшках проросло 8 семян из 10). Проблема использования торфяных горшков подтвердила свою актуальность, поскольку вода для поливания просачивалась через стенки материала. В биопластиковых же горшках вначале всходы не наблюдались, появлялась плесень. После изменения режима просушивания изготовленных горшков и прокалывания глины получилось добиться всхода семени в одном из двух биопластиковых горшков (проросло 2 семени из 10).

Полученные горшки рекомендуется использовать для посадки семян растений и создания контейнеров для закапывания органического мусора. Ведется работа по поиску путей реализации применения горшков, в том числе в качестве контейнеров для органического мусора.



### **Шестаков Иван Валерьевич**

*Выпускник Химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (2017 г.), преподаватель химии АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы, научный руководитель проекта «Люминесцентное стекло»*

### **Баркалова Вероника Дмитриевна**

*Ученица 10 физико-химического класса АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы*



## **Люминесцентное стекло**

УФ-излучение ближнего и среднего диапазона опасно для здоровья человека, вследствие чего существует необходимость и защиты от него и, в первую очередь, его обнаружения. Для последней цели могут быть применены датчики, основанные на люминесцентном стекле. В данной статье вы познакомитесь с явлением люминесценции, некоторыми легкоплавкими стёклами и историей нашего эксперимента по получению и модифицированию люминесцентного стекла.

### **Что такое люминесценция?**

Люминесценция – нетепловое свечение вещества, физическая природа которого состоит в излучательных переходах электронов атомов из возбуждённого состояния в основное. Причиной возбуждения ионов лантаноидов в нашем случае является внешнее ультрафиолетовое излучение. Ультрафиолетовое излучение – электромагнитное излучение, характеризующееся более короткой длиной волны

и большей энергией фотонов по сравнению с видимым светом, чем обусловлена его возможная опасность для человека. Однако такое УФ-излучение присутствует в спектре многих светоизлучающих приборов (например, косметических, медицинских и бытовых), и даже в естественном, солнечном свете, 10% фотонов относятся к УФ-диапазону и слабо поглощаются атмосферой летом.

Поэтому действительно важно решить проблему обнаружения УФ-излучения. Для этого можно использовать датчики, основанные на рассматриваемом люминесцентном стекле, при облучении их ультрафиолетом они преобразуют его в свет другой волны, т. е. создают свечение в видимом диапазоне.

Соединения лантаноидов применяются также во многих отраслях науки и техники – радиотехнике, электронике, в металлургии черных и цветных металлов. Особенности люминесценции лантаноидов определяются их электронным строением [1, 2].

Трёхзарядные ионы лантаноидов, обладая электронной конфигурацией  $[Xe]4f^n$  (где  $n = 0 - 14$ ), проявляют три типа электронных переходов:

1. Разрешённые переходы, которые связаны с переносом заряда – как с металла на лиганд, так и с лиганда на металл. Энергия таких переходов обычно довольно высока ( $\sim 40000 \text{ см}^{-1}$ ), и только для  $\text{Sm}^{\text{III}}$ ,  $\text{Eu}^{\text{III}}$ ,  $\text{Tm}^{\text{III}}$ ,  $\text{Yb}^{\text{III}}$ , легко восстанавливающихся до степени окисления +2, или  $\text{Pr}^{\text{III}}$ ,  $\text{Tb}^{\text{III}}$ , окисляющихся до +4, широкие полосы переходов наблюдаются при  $\sim 30000 \text{ см}^{-1}$ .

2. Разрешённые  $f-d$  переходы. Их энергия очень зависит от окружения иона, так как  $5d$ -орбитали являются внешними и напрямую взаимодействуют с орбиталями лиганда. Однако энергия данных переходов нередко также достаточно высока ( $>40000 \text{ см}^{-1}$ ).

3. Запрещённые и, следовательно, обладающие низкими коэффициентами поглощения ( $<10 \text{ М}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ ),  $f-f$  переходы. За счёт экранирования  $4f$ -орбиталей от внешнего воздействия заполненными  $5p^6$ - и  $6s^2$ -орбиталями для этих переходов характерна узкая ширина ли-

ний и независимость энергии электронного перехода от окружения иона лантаноида (III). Благодаря распознаваемости  $f-f$  перехода ионы лантаноидов (III) могут быть использованы для люминесцентных меток, поскольку при рассмотрении расщепления полос  $f-f$  переходов можно получить точную информацию о симметрии ближайшего окружения  $\text{Ln}^{\text{III}}$ .

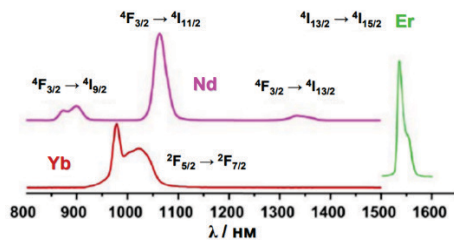


Рис. 1. Спектры люминесценции соединений  $\text{Nd}^{\text{III}}$ ,  $\text{Yb}^{\text{III}}$ ,  $\text{Er}^{\text{III}}$ , испускающих в ИК-области спектра

Длины волн люминесцентного излучения  $\text{Ln}^{\text{III}}$  охватывают весь спектральный диапазон: от УФ до видимого и ближнего инфракрасного. Большая часть ионов лантаноидов проявляет либо флуоресценцию в ИК-области (рис. 1), либо фосфоресценцию (рис. 2).

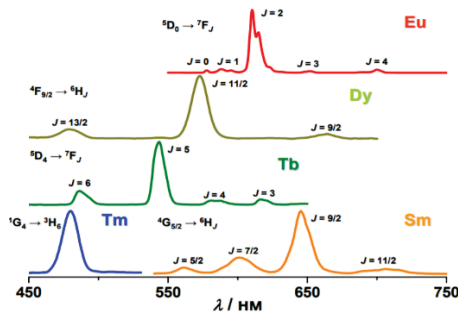
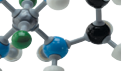


Рис. 2. Спектры люминесценции лантаноидов, испускающих в видимой области

### Примеры люминесцирующих стекол с лантаноидами

В одной из работ оксиды редкоземельных элементов были рассмотрены в качестве активаторов рентгенолюминесценции [3]. На начальном этапе работы была выбрана матрица на основе легкоплавкого трёхкомпонентного стекла, со-

держашего оксид свинца (II), оксид бора и оксид кремния с высоким содержанием свинца. Однако такие стёкла показали низкий квантовый выход, после чего для базовых матриц были использованы стёкла на основе оксидов лития, бария и



кремния и на основе оксидов алюминия, бора и кремния.

Результатом другой рассмотренной нами работы стало литий-боратное стекло на основе тетрабората лития, содержащее оксид европия в концентрации примерно 0,4–0,5 % [4]. В рамках этой работы были рассмотрены ещё некоторые стёкла и их основные недостатки. Например, люминесцентное силикатное стекло с иттрием, лантаном или гадолинием нельзя эффективно ис-

пользовать для работы с УФ-излучением ближнего и среднего диапазонов. Фотохромное боросиликатное стекло, содержащее оксиды кремния, алюминия и бора не проявляет люминесцентных свойств под воздействием УФ-излучения. Люминесцентное литий-боратное стекло для преобразования УФ-излучения в белый свет, содержащее оксиды тулия (III), тербия (III) и европия (III), не позволяет оценивать интенсивность УФ-излучения.

### Варка стекла и результаты

На основе полученных данных мы выбрали для своих образцов легкоплавкие стёкла, которые несложны в производстве. Сначала мы попробовали свинецсодержа-

щие стёкла. Количества всех реактивов, необходимых для каждого образца, занесены в табл. 1. Некоторые из оксидов образуются в процессе варки в печи:



Табл. 1. Характеристика образцов стёкол

Номер образца	Состав стекла	Состав шихты	Температура варки, °С	Люминесценция
1.	PbO – 7,5 г; B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 1,5 г; SiO <sub>2</sub> – 1 г; Na <sub>2</sub> O – 1,75 г; Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,127 г	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> – 7,679 г; H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> – 2,66 г; SiO <sub>2</sub> – 1 г; Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> – 3 г; Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,127 г	950	нет
2.	PbO – 7,5 г; B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 1,5 г; SiO <sub>2</sub> – 1 г; Na <sub>2</sub> O – 1,75 г; Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,127 г	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> – 7,679 г; H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> – 2,66 г; SiO <sub>2</sub> – 1 г; Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> – 3 г; Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,127 г	950	нет
3.	PbO – 7,5 г; B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 1,5 г; SiO <sub>2</sub> – 1 г; Na <sub>2</sub> O – 1,75 г; Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,127 г	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> – 7,679 г; H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> – 2,66 г; SiO <sub>2</sub> – 1 г; Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> – 3 г; Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub> – 0,13 г	950	нет
4.	PbO – 7,5 г; B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 1,5 г; SiO <sub>2</sub> – 1 г; Na <sub>2</sub> O – 1,75 г; Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,3175 г	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> – 7,679 г; H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> – 2,66 г; SiO <sub>2</sub> – 1 г; Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> – 3 г; Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub> – 0,3243 г	950	нет
5.	PbO – 7,5 г; B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 1,5 г; SiO <sub>2</sub> – 1 г; Na <sub>2</sub> O – 1,75 г; Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,635 г	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> – 7,679 г; H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> – 2,66 г; SiO <sub>2</sub> – 1 г; Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> – 3 г; Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub> – 0,649 г	950	нет
6.	PbO – 7,5 г;	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> – 7,679 г;	950	нет

	$B_2O_3$ – 1,5 г; $SiO_2$ – 1 г; $Na_2O$ – 1,75 г; $Tb_2O_3$ – 1,588 г	$H_3BO_3$ – 2,66 г; $SiO_2$ – 1 г; $Na_2CO_3$ – 3 г; $Tb_4O_7$ – 1,622 г		
7.	$Li_2B_4O_7$ – 10 г; $Eu_2O_3$ – 0,05 г	$Li_2CO_3$ – 4,37 г; $H_3BO_3$ – 14,63 г; $Eu_2O_3$ – 0,05 г	1050	есть
8.	$Li_2B_4O_7$ – 10 г; $Tb_2O_3$ – 0,05 г	$Li_2CO_3$ – 4,37 г; $H_3BO_3$ – 14,63 г; $Tb_4O_7$ – 0,051 г	1050	есть
9.	$Li_2B_4O_7$ – 10 г; $Tm_2O_3$ – 0,05 г	$Li_2CO_3$ – 4,37 г; $H_3BO_3$ – 14,63 г; $Tm_2O_3$ – 0,05 г	1050	есть
10.	$Li_2B_4O_7$ – 10 г; $B_2O_3$ – 0,417 г; $PbO$ – 2,084 г; $SiO_2$ – 0,278 г; $Na_2O$ – 0,163 г; $Tb_2O_3$ – 0,049 г	$Li_2CO_3$ – 4,37 г; $H_3BO_3$ – 15,37 г; $Pb_3O_4$ – 2,134 г; $SiO_2$ – 0,278 г; $Na_2CO_3$ – 0,278 г; $Tb_4O_7$ – 0,0509 г	1050	есть
11.	$Li_2B_4O_7$ – 10 г; $B_2O_3$ – 0,41 г; $PbO$ – 0,654 г; $Eu_2O_3$ – 0,05 г	$Li_2CO_3$ – 4,37 г; $H_3BO_3$ – 15,36 г; $Pb_3O_4$ – 0,67 г; $Eu_2O_3$ – 0,05 г	1050	есть

Все вещества были взвешены (рис. 3), растёрты в ступке и тщательно перемешаны. Затем каждую полученную смесь перенесли в корундовый или фарфоровый тигель и утрамбовали. Тигель поместили в печь, постепенно поднимая её температуру до необходимого значения. Расплавленное стекло сильно разъедает футеровку печи, поэтому тигель ставится на фарфоровую подставку (рис. 4). Варку вели в течение 20–30 мин.

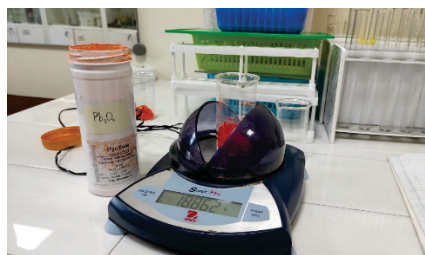


Рис. 3. Взвешивание свинцового сурика на электронных весах

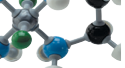
Полученное стекло выливали на металлическую пластину и оставляли остывать и затвердевать. Спустя неко-

торое время в темном помещении при помощи УФ-лампы проверяли образцы на способность к люминесценции (см. табл. 1).



Рис. 4. Фарфоровые тигли с полученной смесью в печи

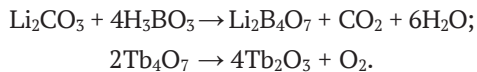
В матрицу на основе оксидов свинца (II), бора и кремния мы попробовали добавлять малые количества трёхзарядных катионов европия, тулия и тербия. Ни в одном из образцов люминесценция не наблюдается даже при постепенном увеличении (до разумных пределов) концентрации лантаноида, а именно тербия, так как человеческий глаз более чувствителен к его излучению. Это объясняется наличием приме-



сей оксидов железа в оксиде свинца, гасящих люминесцентные свойства, и самым оксидом свинца, поглощающего УФ-излучение. Мы пришли к выводу, что данная матрица непригодна для наших целей.

Тогда мы воспользовались уже описанными технологиями приготовления стекла на основе тетрабората лития с добавлением европия, а также попробовали использовать оксиды тербия (III) и

тулия (III). Тетраборат лития образуется в процессе варки из карбоната лития и борной кислоты:



По методике, схожей с описанной выше, приготовили образцы на основе тетрабората лития с ионами тербия, европия и тулия. Все эти образцы люминесцируют в УФ-излучении (см. табл. 1, рис. 5).



Рис. 5. Люминесценция образцов, содержащих ионы европия, тербия и тулия (слева направо)

Литий-боратное стекло является хорошей матрицей для люминесцентного стекла, но оно неустойчиво к действию воды. Мы видим перспективы в том, чтобы подобрать более

устойчивую матрицу для люминесцентного стекла, например, бариевые или фосфатные стекла, и опробовать различные смеси и концентрации лантаноидов.



Рис. 6. Авторы проекта: Баркалова В.Д., Лымарева Д.Н., Перминова О.И. и научный руководитель Шестаков И.В.



### Список литературы

1. Дж. Хьюи. Неорганическая химия. Строение вещества и реакционная способность. – М: Химия, 1987, с. 540-553.
2. М.Х. Мутузова. Синтез и люминесцентные свойства комплексных соединений лантаноидов с этилоксибензойными кислотами. // Дис. канд. хим. наук: 02.00.01, 2016, с. 1-21.
3. О.В. Казьмина, А.Н. Абияка, Ю.А. Москалев, А.А. Дитц. Люминесцентные стекла для преобразования рентгеновского излучения в радиационных интроскопах. – Томск, 2007, с. 125-129.
4. Б.С. Редькин, В.В. Сеницын, Н.Н. Колесников, В.И. Орлов. Фотохромное Фотохромное люминесцентное стекло. – Патент РФ №216.015.3DC7.

## Калейдоскоп

## Калейдоскоп

## Калейдоскоп

### Химия в творчестве предков и современников

Химия играла, играет и будет играть большую роль в жизни людей и всех живых существ в целом. Все, что нас окружает, так или иначе, связано с химией. Люди с древности замечали некоторые свойства и использовали их в своих целях, хотя природа этих свойств была им не известна.

Зачатки химии возникли еще со времен появления человека разумного, так как его первые опыты с огнем, приготовление пищи и другие повседневные занятия можно отнести к практической химии. То есть, можно сказать, что человек от начала своей жизни стал химиком. Люди оставляли свои открытия и знания в мифах, сказках. Можно подумать, что это всего лишь «веселые» истории для развлечения детей или для общения, но если задуматься, то люди так передавали мудрость из поколения в поколение. Да, сегодня на прилавках магазинов, в интернете, в библиотеках можно найти огромное множество научных книг по химии. Но почему так? Потому, что сейчас люди знают природу химии и могут объяснить те или иные явления чисто с научной точки зрения. Но наши предки не понимали самой сути химии и связывали все с происходящим в окружающей среде, сопоставляя с богами, духами. Они объясняли все на понятном для «того общества» языке – языке мифов, легенд. В зависимости от свойств вещества ему приписывали, например, имя духа. И уже всем было понятно, что это за субстанция и чего от нее ожидать. Например, так были названы никель и кобальт – в честь горных духов.

Также с древности люди использовали различные химические элементы для олицетворения человеческих пороков. Например, в мифе о царе Мидасе страсть к богатству – порок, и золото является его символом.

Существует множество пословиц и поговорок, связанных с практическими свойствами веществ: «Слово – серебро, а молчание – золото»; «Сказанное слово – золото, а не сказанное – алмаз»; «Тверд, как алмаз».

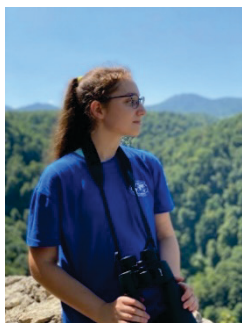
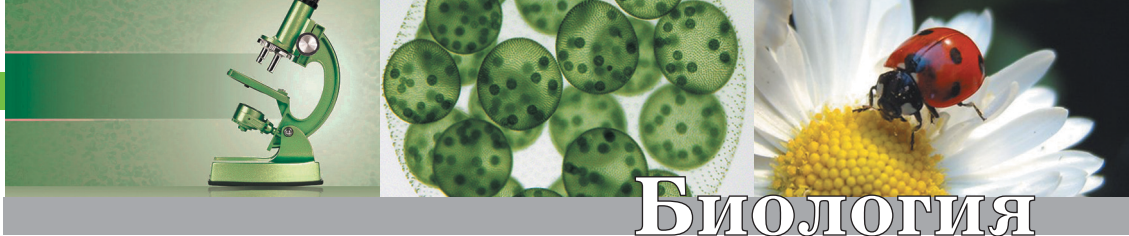
Современные поэты и писатели под своим легким пером создают художественные произведения и стихотворения на тему химии, однако теперь это скорее для развлечения или напоминания неких свойств, нежели для обучения потомков.

Некоторые писатели «воспевают» химические вещества:

«Вода! У тебя нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха, тебя не опишешь, тобой наслаждаешься, не понимая, что ты такое. Ты не просто необходима для жизни, ты и есть жизнь. С тобой во всем существе разливается блаженство, которое не объяснить только нашими пятью чувствами. Ты нам возвращаешь силы и свойства, на которых мы уже поставили было крест. Твоим милосердием снова открываются иссякшие родники сердца. Ты – величайшее богатство в мире».

*Антуан Де Сент-Экзюпери «Планета людей».*

*Алена А.*



**Оробець Маргарита Алексеевна**

*Ученица 11 класса МАОУ гимназии №23 г. Краснодара*

## Птицы в ущелье и над ним

Как часто мы не знаем, с кем соседствуем на этой планете! А ведь, кроме человека, ее населяет множество разнообразных жителей, в том числе летающих.

Работа по исследованию видового разнообразия орнитофауны Гуамского ущелья была выполнена в соответствии с планом совместного с Краснодарским региональным отделением Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» проекта по изучению Гуамского ущелья в целях изменения природоохранного статуса и разработки вариантов рекреационного использования.

Знаете ли вы, какие птицы живут рядом с вами? Возможно, в городе или на природе вам удавалось немного понаблюдать за этими прекрасными (иногда грозными, иногда забавными) представителями животного мира. Но нужно ли относиться к этому занятию серьёзно?

На международном уровне уже давно обсуждается проблема поддержания биоразнообразия, а «сохранение экосистем суши» – одна из 17 целей устойчивого развития ООН. Именно поэтому отслеживать изменения в видовом составе на конкретных территориях так важно. И в первую очередь это касается особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

Однако, к сожалению, не для всех ООПТ собираются и публикуются данные. Такой территорией оказался и па-

мятник природы регионального значения «Гуамское ущелье» в Апшеронском районе Краснодарского края. В паспорте памятника природы в приложении 4 (описание животного мира) перечислены только представители отряда Чешуекрылые. Результаты исследований орнитофауны прилегающих территорий не публиковались более 5 лет, в известных описаниях самого ущелья сведения о птицах отсутствуют.

Между тем расположенное в северо-восточной части Лагонакского нагорья Гуамское ущелье – территория, на которой сочетаются уникальные геологические объекты и биотопы, включающие реликтовые и эндемичные виды Северо-Западного Кавказа. Поэтому мы решили изучить видовое и экологическое разнообразие орнитофауны этой ООПТ.

Мы проводили полевые исследования в течение шести выездов в Гуамское ущелье в 2018–2021 годах. Виды птиц определяли по прямым визуальным, звуковым

контактам, гнёздам и перьям. Большая часть наблюдений проводилась на пяти основных маршрутах, общая протяжённость которых составила около 15 км (рис. 1).

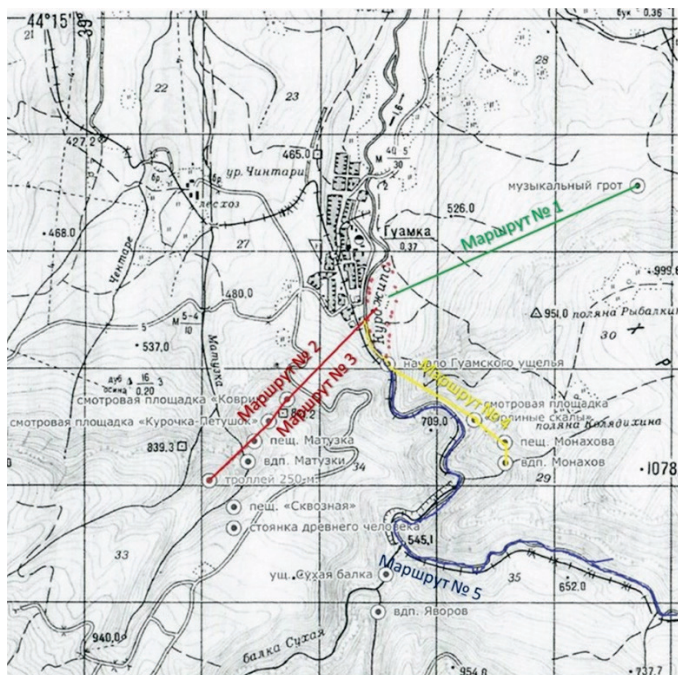


Рис. 1. Маршруты полевых исследований в Гуамском ущелье

В результате мы 142 раза встречали птиц 42 видов, которые относятся к 9 отрядам: Воробьинообразные, Соколообразные, Сивообразные, Ржанкообразные, Дятлообразные, Ракшеобразные, Стрижеобразные, Удодообразные, Аистообразные (рис. 2–4). Обнару-

жены представители всех экологических групп; при их определении мы использовали классификацию Иличёва, в которой в экологическую группу включены виды со схожими особенностями передвижения, предпочитаемым типом ландшафта.

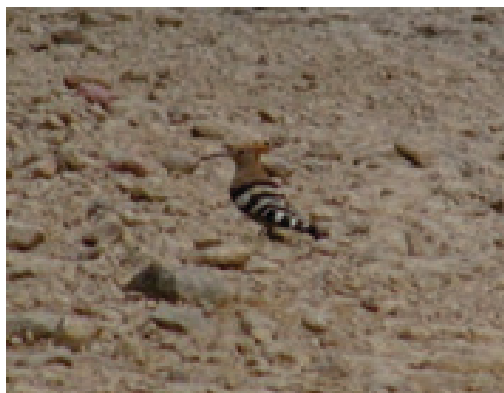


Рис. 2. Удод



Рис. 3. Обыкновенная горихвостка



Рис. 4. Серая цапля (фото Елизаветы Ковелиной)

Также оказалось, что для 15 из определённых видов Гуамское ущелье – часть области гнездования, для 3 – области зимовок, а 24 вида обитают на этой территории постоянно.

Конечно, на территории ООПТ мы ожидали встретить представителей краснокнижных видов. Так, обнаружены четыре вида, включённые в Красную книгу России: филин, морской зуёк (оба отно-

сятся ко 2 категории редкости), беркут (3 категория), белоголовый сип (4 категория) (рис. 5). Ещё один вид – орёл-карлик – внесён в Красную книгу Краснодарского края. Но встреча с морским зуйком нас по-настоящему удивила: этот вид ранее не был отмечен исследователями Лагонакского нагорья. Мы наблюдали его в августе 2019 года, тогда как в Красную книгу его внесли весной 2020.



Рис. 5. Слева – беркут, справа – белоголовый сип (фото Елизаветы Ковелиной)

Кроме того, в 2019 году в ущелье (рис. 6) было обнаружено 4 гнезда белолового сипа, а в одном из них – 2

птенца. Но через год птенцы в гнёздах отсутствовали, наблюдалось общее уменьшение количества контактов с

сипами. Мы предполагаем, что это может быть связано с увеличением рекреационной нагрузки (ростом числа и

активности туристов) в 2020 году. В 2021 году птенцов в ущелье также не оказалось.

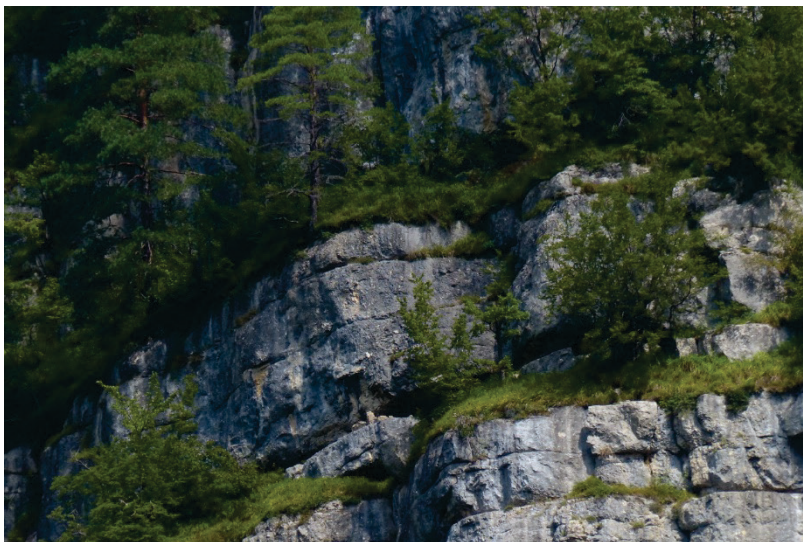


Рис. 6. На этом скальном участке в середине ущелья в 2019 году можно было наблюдать птенцов белоголовых сипов (фото Елизаветы Ковелиной)

Памятник природы «Гуамское ущелье» является уникальным ландшафтным парком, служащим местом обитания для различных видов животных, в том числе птиц. Мы убедились, что исследовать эту территорию и проводить мониторинг её состояния действительно нужно, в результате можно полу-

чить новые данные, которые показывают особенности данной ООПТ. Решением для увеличения видового разнообразия орнитофауны и сохранения редких и исчезающих видов птиц может стать повышение статуса ООПТ и создание закрытых для посещения зон в местах обитания краснокнижных видов.

## Калейдоскоп

## Калейдоскоп

## Калейдоскоп

### Химия в творчестве предков и современников

В некоторых произведениях для неординарности и красоты идет описание явлений через химию. Примером могут служить следующие строки:

«Пожар пылал несколько часов подряд. Пещера превратилась в настоящую печь по обжигу извести. Неслыханной силы пламя обожгло весь известковый пласт, который представляет собой углекислую соль кальция. Под действием огня известняк разложился, угольная кислота выделилась, и получилось именно то, что называется негашеной известью. Оставалось только, чтобы на нее попало известное количество воды. Так и случилось. Ливень, который последовал за грозой, залил всю эту огромную массу негашеной извести, она разбухла, стала с непреодолимой силой распиравать сжимавший её уголь и выталкивать его по направлению к пропасти... Скалы, деревья, клад, мумии – все исчезло в мгновение ока вместе с презренными негодьями».

Л. Буссенар «Похитители бриллиантов».

Алена А.



**Минина Светлана Николаевна**

Учитель биологии и химии МБОУ СОШ № 1 г. Азова  
Ростовской области

**Диденко Маргарита Юрьевна**

Ученица 11 класса МБОУ СОШ № 1 г. Азова Ростовской  
области



## Лист как биоиндикатор

Как оценить экологическое состояние окружающей среды? Можно проводить анализы с использованием приборов. А можно посмотреть на то, как выглядят организмы, живущие в этой среде. Например, исследовать параметры листьев деревьев. Как это делается?

На современном этапе развития общества всё более актуальными становятся проблемы взаимоотношений человека и природы. Гармоничными эти отношения никак назвать нельзя. Всё больше накапливается противоречий и нерешенных проблем. Прямые и косвенные воздействия хозяйственной и производственной деятельности приводят к ухудшению состояния воды, воздуха, почвы. Происходит то, что отразил Роберт Рождественский в своих поэтических строках: *«Всё меньше окружающей природы, всё больше окружающей среды»*. Человеку важно понять, какие продукты он потребляет, каким воздухом дышит, какую воду пьет. Появились различные методики экспресс-тестирования, позволяющие опре-

делить экологические параметры состояния воды, почвы, воздуха. Параллельно с развитием биологических дисциплин наблюдается развитие биоиндикации. **Биоиндикация** – метод обнаружения и оценки абиотических и биотических факторов местообитания при помощи биологических систем. Методы биоиндикации широко распространены в геологии, экологии, метеорологии, что способствует выявлению горных пород, поиску полезных ископаемых, описанию гидрогеологических условий, климата, оценке качества почв при изучении сельскохозяйственных угодий.

Особое значение методики биоиндикации имеют в оценке загрязнения окружающей среды. Виды-индикаторы

(растения, животные, микроорганизмы, лишайники) помогают определить химическое загрязнение почв, эвтрофикацию водоемов биогенными элементами, рекреационную нагрузку на сообщества. Широкое распространение, в том числе и в школьной практике, получает дендроиндикация с анализом химического состава органов и тканей растений. Наиболее часто для таких исследований применяются лишайники, хвоя сосны, однако нас заинтересовала возможность использования листьев широколиственных древесных растений в целях биоиндикации качества воздуха. Зеленые насаждения способны нейтрализовать негативные воздействия антропогенного фактора. Этим растениям принадлежит важная роль в очистке воздуха от взвешенных частиц, в создании благоприятного ионизационного показателя и степени увлажнения. Улавливание и обезвреживание токсических веществ не остается для них бесследным. Пылевидные частицы в воздухе задерживаются листьями зеленых растений, отрицательным образом сказываясь на их газообмене, фотосинтетической способности, процессах транспирации. Изменяется метаболизм, снижается жизнеспособность, блокируются каталитические центры ферментов, что может проявиться в морфо-анатомических и репродуктивно-физиологических характеристиках. Реакция растений на загрязнение позволяет использовать их в качестве биоиндикаторов в системе мониторинга окружающей среды.

### Исследование морфометрических характеристик листьев

Мы исследовали морфометрические характеристики листьев с помощью простейшего оборудования (линейки и транспортира) по методике Захарова В.М., в которой была предложена система оценки качества окружающей среды по листовым пластинам различных видов деревьев. Степень благополучности среды оценивали по вычисляемой величине **коэффициента ста-**

Для определения возможности использования листьев широколиственных деревьев в биоиндикации были выбраны участки в г. Азове Ростовской области, отличающиеся уровнями антропогенной нагрузки, и собраны листья деревьев на высоте 1–1,6 м с укороченных побегов (по 10 штук). Участки для сбора листьев: первый – территория парка и граничащая с ним березовая аллея, прилегающая к многоквартирным домам и церкви; второй – в промышленной зоне, на территории нерегулируемого перекрестка, ведущего к автовокзалу и железнодорожной платформе, характеризующийся сильным транспортным потоком, наличием пешеходных переходов, требующих работы двигателей вхолостую; третий – прибрежная не пойменная зона, расположенная у рек Дон и Азовка, характеризующаяся отсутствием автотранспорта и промышленных объектов.

Выбор анализируемых растений обусловлен их распространенностью на точках сбора листьев. С участков парка и автовокзала были собраны листья Березы повислой, Тополя пирамидального и Клена остролистного, с участка реки – листья Тополя пирамидального, Тополя дельтовидного и Вяза обыкновенного ввиду отсутствия в данной зоне Березы повислой и Клена остролистного.

Работа с листьями велась по трем направлениям: измерение морфометрических характеристик, позволяющих вычислить коэффициент флуктуирующей асимметрии листовой пластины, измерение водородного показателя и изучение химического состава смывов листьев.

**бильности развития листьев** (чем меньше коэффициент, тем более благоприятны условия анализируемого местобитания).

Примеры измерений листовой пластины и вычислений коэффициента стабильности развития листьев (рис. 1):

- 1 – ширина на середине листа (см);
- 2 – длина второй от черешка жилки второго порядка (см);

3 – расстояние между первой и второй от черешка жилкой второго порядка в месте отхождения от жилки первого порядка (см);

4 – расстояние между первой и второй от черешка жилкой второго порядка в месте их окончания (см);

5 – угол между центральной и второй от черешка жилкой (градусы).

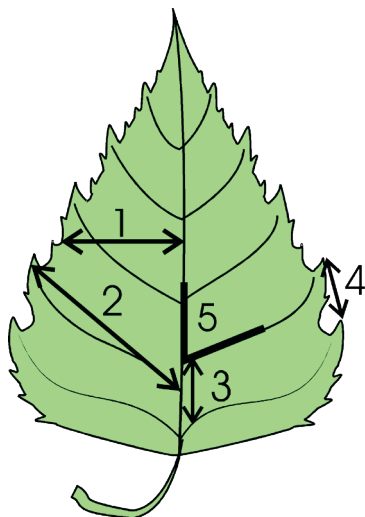


Рис. 1. Измерения листовой пластины

Для вычисления коэффициента стабильности развития листа определялись следующие показатели:

1. Разность показателей с разных половин листа по одному из измерений, деленная на их сумму:

$$Z = (1_L - 1_R) / (1_L + 1_R)$$

(L и R – левая и правая сторона листа относительно жилки первого порядка соответственно).

2. Среднее арифметическое показателей первого пункта по всем признакам (для одного листа):

$$Y = (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5) / 5.$$

3. Среднее арифметическое показателей второго пункта (для всех листьев):

$$K = (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8 + Y_9 + Y_{10}) / 10.$$

Приведем пример таблицы измерений и вычислений для листьев Березы повислой с территории парковой зоны (табл. 1), где в правом столбце находится вычисленный коэффициент стабильности развития листьев (он оказался в пределах условной нормы по шкале Захарова В.М.)

Таблица 1. Измерения и вычисления для листьев Березы повислой

Лист березы	1 <sub>L</sub>	1 <sub>R</sub>	Z <sub>1</sub>	2 <sub>L</sub>	2 <sub>R</sub>	Z <sub>2</sub>	3 <sub>L</sub>	3 <sub>R</sub>	Z <sub>3</sub>	4 <sub>L</sub>	4 <sub>R</sub>	Z <sub>4</sub>	5 <sub>L</sub>	5 <sub>R</sub>	Z <sub>5</sub>	Y	K
1	2,000	1,900	0,026	3,500	3,300	0,029	0,800	0,900	0,059	0,900	0,900	0,000	36,000	36,000	0,000	0,023	0,030
2	1,700	1,500	0,063	3,200	3,200	0,000	0,700	0,600	0,077	0,900	1,000	0,053	30,000	28,000	0,034	0,045	
3	2,400	2,300	0,021	3,900	3,800	0,013	0,800	0,800	0,000	0,300	0,250	0,091	27,000	27,000	0,000	0,025	
4	2,300	2,300	0,000	3,450	3,500	0,007	0,700	0,600	0,077	0,600	0,500	0,091	30,000	29,000	0,017	0,038	
5	1,700	1,800	0,029	3,200	3,300	0,015	0,700	0,700	0,000	0,900	0,800	0,059	28,000	28,000	0,000	0,021	
6	2,000	1,900	0,026	3,400	3,500	0,014	0,700	0,600	0,077	0,300	0,350	0,077	32,000	30,000	0,032	0,045	
7	1,800	1,800	0,000	3,300	3,300	0,000	0,800	0,900	0,059	0,900	0,900	0,000	30,000	28,000	0,034	0,019	
8	1,900	1,900	0,000	3,200	3,200	0,000	0,600	0,600	0,000	0,800	0,750	0,032	30,000	28,000	0,034	0,013	
9	1,700	1,500	0,063	3,900	3,800	0,013	0,700	0,600	0,077	0,700	0,700	0,000	27,000	27,000	0,000	0,030	
10	2,400	2,300	0,021	3,500	3,450	0,007	0,700	0,600	0,077	0,300	0,250	0,091	36,000	36,000	0,000	0,039	

Подобные таблицы были составлены для каждого анализируемого дерева. Вычисленные из них коэффици-

енты занесены в общую таблицу для трех рассматриваемых участков (рис. 2, табл. 2).



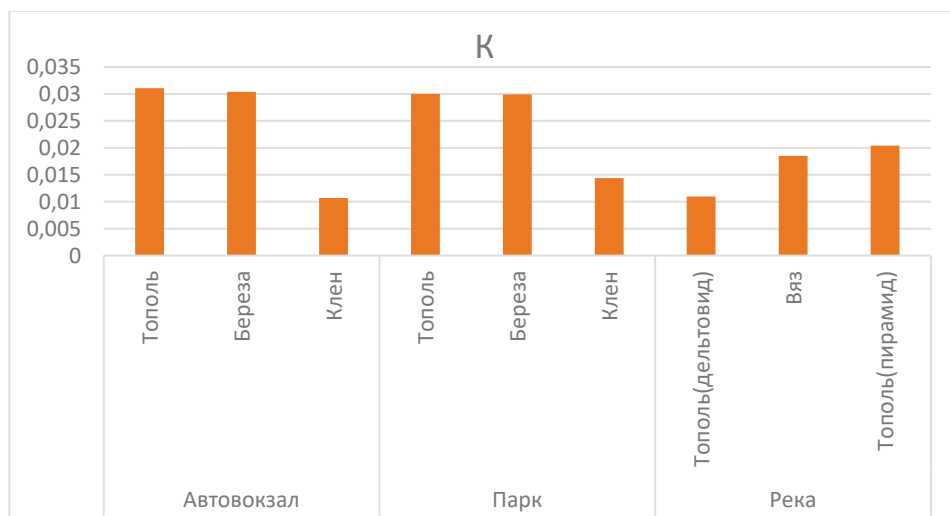


Рис. 2. Коэффициенты стабильности развития листьев

Таблица 2. Общая таблица коэффициентов для трех участков

Место	Автовокзал			Парк			Река		
	Тополь	Береза	Клен	Тополь	Береза	Клен	Тополь (дельтовид.)	Вяз	Тополь (пирамид.)
К	0,0311	0,0304	0,0107	0,03	0,0299	0,0144	0,011	0,0185	0,0204

Анализ диаграммы позволил отметить, что коэффициенты на территории реки имеют наиболее низкие значения. Это указывает на более выраженную степень благоприятности условий для произрастающих в данном месте растений: ни один из коэффициентов не выходит за границы условной нормы (табл. 3). Для тополя пирамидального было выявлено уменьшение коэффициента стабильно-

сти развития листьев от вокзала к прибрежной территории, а также выведенные для данного вида коэффициенты были наиболее высокими среди исследуемых растений. Из этого следует, что листья тополя пирамидального обладают более высокой поглотительной способностью пыли и токсичных веществ, а значит, его листья реально использовать в биоиндикации окружающей среды.

Таблица 3. Показатели по шкале Захарова В.М.

Баллы	I	II	III	IV	V
Величина показателя стабильности развития	Меньше 0,040	0,040-0,044	0,045-0,049	0,050-0,054	Больше 0,54
Характеристика	Условная норма (степень благополучия повышенная)	Слабое влияние неблагоприятных факторов	Среднее влияние неблагоприятных факторов	Существенные загрязнения	Критические значения загрязнений

### Определение водородного показателя

С помощью рН-метра (рис. 3) мы измерили значения водородного показателя смывов листьев анализируемых деревьев. Листья были помещены в колбу на 500 мл, залиты ди-

стиллированной водой и оставлены на трое суток, после чего проводился анализ. Измерения рН проводили дважды с разницей в две недели (рис. 4-5, табл. 4-5).



Рис. 3. pH-метр АНИОН 4 100

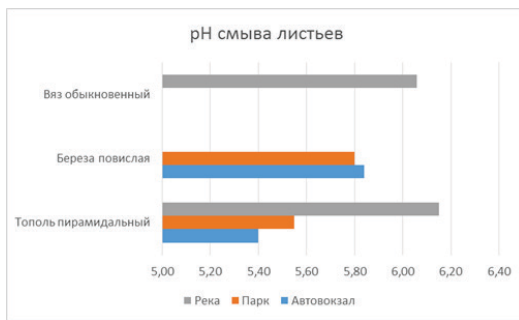


Рис. 4. Результаты измерений pH смыва листьев № 1

Таблица 4. Результаты измерений pH смыва листьев № 1

	Тополь пирамидальный	Береза повислая	Вяз обыкновенный
Автовокзал	5,40	5,84	
Парк	5,55	5,8	
Река	6,15		6,06

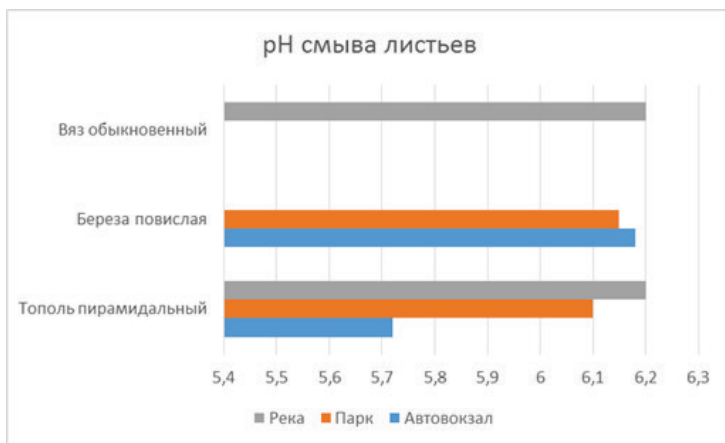


Рис. 5. Результаты измерений pH смыва листьев № 2

Таблица 5. Результаты измерений pH смыва листьев № 2

	Тополь пирамидальный	Береза повислая	Вяз обыкновенный
Автовокзал	5,72	6,18	
Парк	6,1	6,15	
Река	6,20		6,20

По показаниям двух диаграмм (рис. 4–5), наиболее близок к нейтральному значению водородный показатель среды у смывов листьев с участка № 3 (у реки). На наш взгляд, это связано с тем, что в воздухе прибрежной зоны наименьшее содержание вредных веществ, таких как оксиды серы, угле-

рода, азота. Наименьший показатель pH, то есть более кислая среда, у смывов с участка № 2 (промышленная зона), что указывает на более высокую степень загрязненности по сравнению с другими местами.

В смывах листьев тополя пирамидального pH системно увеличивается от

автовокзала к прибрежной территории, это подтверждает закономерность, выяв-

ленную в первой части работы, посвященной морфометрическим измерениям.

### Изучение химического состава смывов листьев

Анализ смывов листьев, собранных в парке и на территории автовокзала, на наличие и концентрацию катионов тяже-

лых металлов ( $Ni^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ) проводили с помощью полярографа. Результаты представлены в табл. 6.

Таблица 6. Результаты химического анализа смывов листьев

Исследуемые показатели	Тополь пирамидальный (парк)	Тополь пирамидальный (автовокзал)	Береза повислая (парк)	Береза повислая (автовокзал)
Железо общ., мг/дм <sup>3</sup>	0,24±0,07	0,4±0,12	0,28±0,08	0,47±0,14
Медь (II), мг/дм <sup>3</sup>	0,009±0,002	0,012±0,003	0,005±0,001	0,014±0,003
Никель (II), мг/дм <sup>3</sup>	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008
Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	0,012±0,004	0,016±0,005	0,017±0,005	0,019±0,006

Исходя из полученных данных, наибольшие концентрации солей тяжелых металлов определены в смывах листьев на территории автовокзала, наименьшие – в парке. Катионы никеля практически отсутствуют во всех исследованных растворах.

Итак, мы убедились, что растения на территории автовокзала находятся в менее благоприятных условиях, по сравнению с парковыми и прибрежными растениями. Это довольно предсказуемый результат, и он означает, что полученные в ходе работы данные отображают действительную картину уровня антропо-

генной нагрузки. Впрочем, показатели коэффициента стабильности развития листьев на всех выбранных участках оказались в пределах условной нормы по шкале Захарова В.М., что указывает на благополучие состояния воздуха. Важно также, что листья растений действительно могут быть использованы в качестве биоиндикаторов, определяющих характер состояния окружающей среды: системные результаты и наиболее высокий коэффициент развития листовой пластины получены для Тополя пирамидального, и это растение можно успешно использовать в биоиндикации.

### Литература

1. Экологические бюллетени муниципального образования города Азова. <http://www.gorodazov.ru/2020.html>
2. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И. и др. Здоровье среды: методика оценки. Оценка состояния природных популяций по стабильности развития: методическое руководство для заповедников. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 68 с. – <http://www.ecopolicy.ru/upload/File/7-1.pdf>.
3. Собчак Р.О., Афанасьева Т.Г., Копылов М.А. Оценка экологического состояния рекреационных зон методом флуктуирующей асимметрии листьев *Betula pendula* Roth. // Вестник Томского государственного университета, 2013, № 368, с. 195–199. – <http://journals.tsu.ru/uploads/import/881/files/368-195.pdf>.



# Медицина



## Абрамович Максим Сергеевич

*Магистрант Факультета наук о материалах МГУ. Работает над получением производных бензотиазола и комплексов меди с ними в лаборатории биологически активных органических соединений под руководством м.н.с. Е.С. Барской и д.х.н., проф. Е.К. Белоглазкиной. Ранее занимался получением люминесцирующих координационных соединений лантанидов в лаборатории химии координационных соединений под руководством В.В. Уточниковой.*

## Как соединения меди могут помочь нам побороть рак?

Статья рассказывает об оригинальном подходе к разработке новых противораковых препаратов: то, что превращает здоровые клетки в больные, используется для уничтожения больных клеток, а затем принципиальная идея обростает химией...

Ни для кого не секрет, что онкологические заболевания стали настоящим «бичом» современности. По статистике Всемирной организации здравоохранения в 2018 году рак занял второе место среди основных причин смерти в мире. Поэтому большое число ученых во всем мире занимается разработкой новых методов диагностики и лечения рака. Среди ряда методов лечения стоит выделить химиотерапию как один из первых и наиболее часто используемых методов борьбы с онкологическими заболеваниями. Большой популярностью в химиотерапии пользуются препараты, содержащие платину, например, цисплатин и оксалиплатин. Однако, несмотря на эффективность данных лекарств, они имеют много побочных эффектов, такие как поражение почек (нефротоксичность) и желудочно-кишечного тракта [1]. Можно ли чем-то за-

менить препараты платины так, чтобы не потерять эффективность против рака, но при этом уменьшить побочные эффекты? Для ответа на этот вопрос стоит немного разобраться в биологии онкологических клеток.

Раковые клетки имеют ряд особенностей, отличающих их от здоровых клеток и обуславливающих их опасность для человека. К ним относятся неконтролируемый рост, бессмертие (раковые клетки не стареют, что позволяет делиться им бесконечное число раз) и так называемая генетическая нестабильность – в раковых клетках часто происходят мутации, что позволяет им приспосабливаться к изменению внешних условий. Все эти особенности проистекают из «поломок» в генетическом материале клетки. Причин подобных поломок множество, но мы рассмотрим только одну из них – активные формы кислорода.

Активные формы кислорода или АФК – это нестабильные частицы, которые образуются в клетке в процессе ее жизнедеятельности. К ним относятся супероксид анион-радикал ( $O_2^{\cdot-}$ ), пероксид водорода ( $H_2O_2$ ) и гидроксил радикал ( $OH\cdot$ ). У клеток есть особая система защиты от АФК, которая состоит из ряда ферментов, таких как супероксиддисмутаза и пероксидаза. Поэтому, если АФК и образуются в клетке, то они не наносят ей вреда. Однако в силу разных обстоятельств в клетке может образоваться большое число активных форм кислорода, с которыми клетка не в состоянии справиться. В результате эти частицы начинают реагировать с различными частями клетки и повреждать их. В большинстве случаев это приводит к гибели клетки, но иногда клетка обходит все свои регуляторные механизмы и становится раковой клеткой, которая делится и впоследствии становится опухолью.

По иронии судьбы, активные формы кислорода, которые превратили здоровую клетку в монстра, могут быть использованы и для уничтожения этого монстра: АФК одинаково опасны как для нормальных клеток, так и для опухолевых. И здесь на сцену выходит медь. Медь является не только одним из жизненно важных элементов, но и виновником образования активных форм кислорода в клетке. Кроме того, как показали исследования, опухолевые клетки могут накапливать медь в большей степени, чем обычные, так как она необходима им для ряда процессов, в том числе ангиогенеза – прорастания кровеносных сосудов в опухоль, чтобы снабжать ее питательными веществами [2]. Получается, что медь может быть неплохой заменой платине: соединения меди будут накапливаться преимущественно в опухолях, генерировать АФК и убивать рак. Исследования в данной области вселяют надежду: препараты меди действительно неплохо себя показали в тестах на раковых клетках [3–7]. Но нельзя просто взять, например, порошок меди и вколоть его больному: требуется получить комплексы меди, то есть соединения, в

которых атом металла окружен «шубой» из органических молекул. Так как свойства конечного вещества, в том числе эффективность в борьбе с раком, зависит, кроме всего прочего, также от выбранной «шубы», перед учеными становится задача подобрать оптимальные молекулы, с которыми будет связываться медь.

Разработка новых противораковых препаратов является одной из основных тем работ в нашей лаборатории – лаборатории биологически активных органических соединений химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Среди предложенных препаратов, таких как спиросоединения [8] и конъюгаты противораковых препаратов с антителами, специфичными к белкам опухолевых клеток [9], немало важное место занимают комплексы меди, например с тиогидантоинами [10]. Моим научным руководителем, Еленой Сергеевной Барской, в качестве противораковых препаратов были предложены комплексы меди, в которых роль «шубы» была отведена веществам с фрагментом бензотиазола – молекулы, ряд производных которой являются лекарственными средствами (рис. 1). Однако полученный с выбранным веществом комплекс меди оказался нерастворимым в воде, а нерастворимые в воде вещества нельзя использовать, потому что они не проникнут в клетки и не действуют [11].

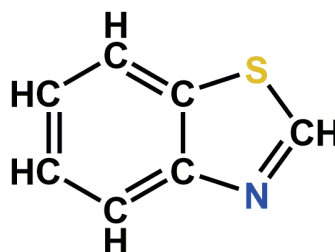


Рис. 1. Структура бензотиазола

Для решения этой проблемы можно в молекулу ввести «хвост» (якорную группу), который либо повысит растворимость, либо позволит прикрепить нашу молекулу-лекарство к каким-нибудь транспортным частицам, напри-



мер, наночастицам золота, известным своей биосовместимостью и простотой модификации серосодержащими органическими молекулами за счет образования прочной связи сера-золото (рис. 2) [12, 13]. Поэтому целью нашей работы стало получение комплексов меди, проявляющие противораковую активность, для которых в качестве «молекулы-шубы» (или лиганда, как ее правильно называть), выступали бы

производные бензотиазола с различными «хвостами». Стоит отметить, что разные «хвосты» по-разному влияют на свойства конечных соединений. Так, «хвост с розовым бантиком» (см. рис. 2) за счёт большого числа атомов кислорода повышает растворимость комплексов меди в воде, в то время как «хвост с голубым бантиком» связывается через атом серы с атомами золота на поверхности наночастиц.

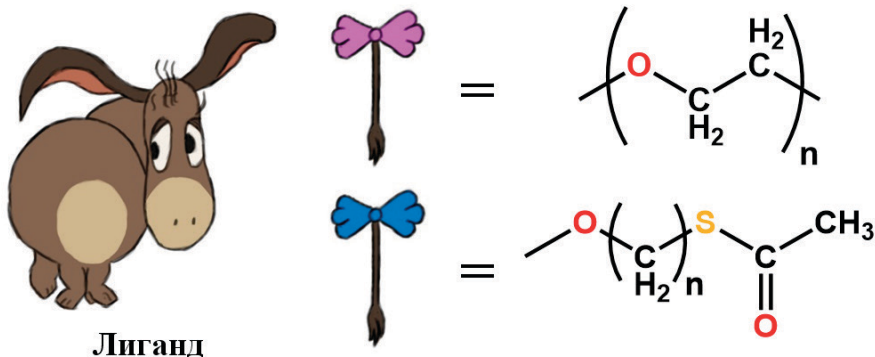


Рис. 2. Подбор «хвоста» для лиганда

Первостепенной задачей стал синтез выбранных лигандов (рис. 3). Так как целевые вещества не были описаны ранее в литературе, была проведена трудоемкая работа по поиску подходя-

щих методов получения и оптимизации условий проведения реакций, чтобы не просто получать вещество, а получать максимально быстро и с большим выходом.

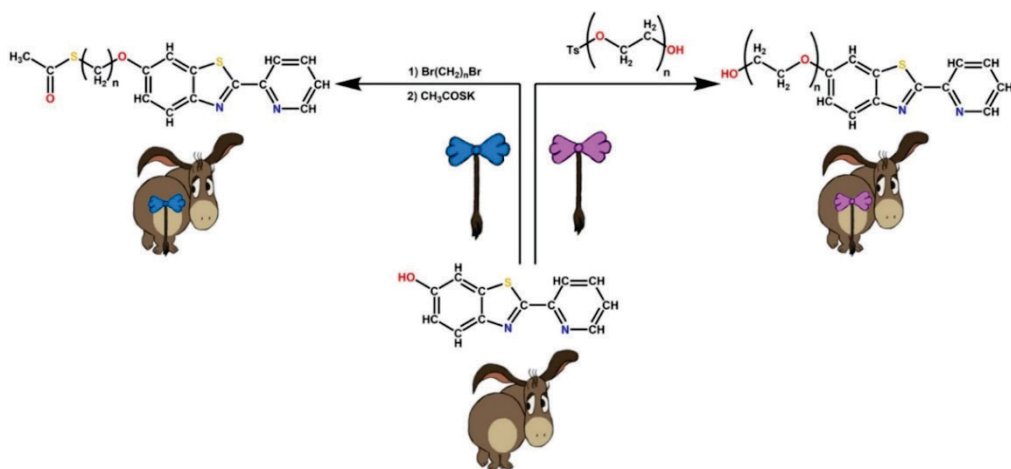


Рис. 3. Синтез выбранных лигандов

В качестве примера процесса оптимизации органического синтеза рассмотрим

получение исходного соединения («ослика»). В литературе есть информа-

ция по синтезу аналога этого вещества [14], но сам же «ослик» (чьё название, согласно международной номенклатуре, звучит как «2-(пиридин-2-ил)-бензотиазол-6-ол») в литературе практически не упоминается. Поэтому для него, так же как и для целевых лигандов, требовалось подобрать методику синтеза. Первым ша-

гом в подборе методики стал так называемый ретросинтетический анализ – метод, в котором молекулу вещества мысленно «разбирают», чтобы посмотреть, из каких предшественников её можно получить. В случае «ослика» было два пути (рис. 4; реагент Лоуссона – вещество, которое замещает атом кислорода на атом серы).

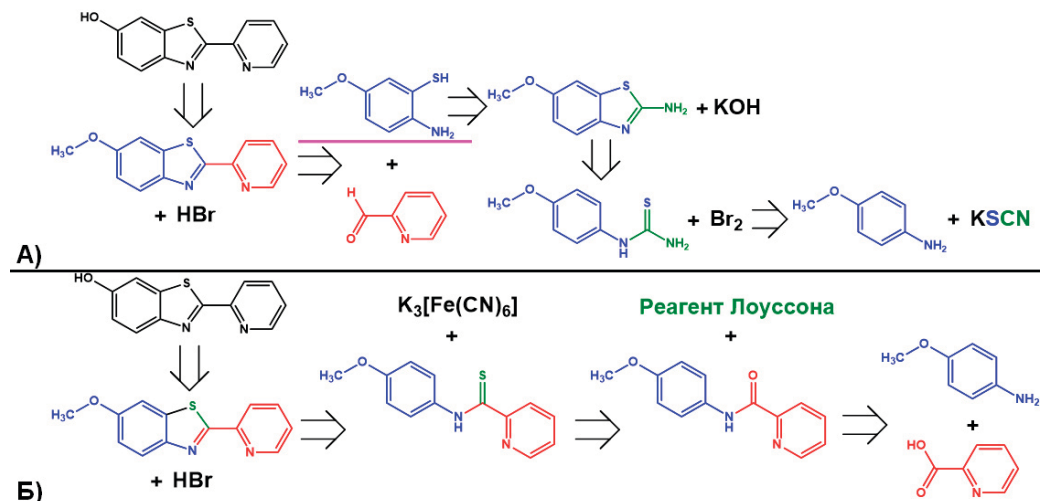


Рис. 4. Ретросинтетический анализ «ослика»

Чтобы решить, какую методику использовать, надо посмотреть на количество стадий, практический выход реакции (какую часть вещества от теоретически рассчитанного мы можем получить на практике), условия протекания реакций (температура, катализаторы, требуется ли инертная атмосфера, порядок прибавления реагентов) и, что немаловажно, простоту их осуществления (есть ли в схеме неустойчивые вещества, требующие создания особых условий, насколько легко выделить и очистить целевые продукты). Проанализировав таким образом цепочки, было установлено, что метод А проигрывает по многим показателям: одно из веществ крайне неустойчиво (тиоамин, подчеркнутый на схеме), выходы нескольких реакций оставляют желать лучшего. Поэтому выбор пал на метод Б. В дальнейшем, уже на практике, варьировалась температура, растворители, методы выделения и очистки, чтобы получить наибольший

выход конечного продукта («ослика»). Аналогичную работу провели и с целевыми лигандами.

Полученные лиганды в дальнейшем использовали для синтеза комплексов меди путем кипячения растворов лигандов в этаноле с солями меди [15, 16]. Далее комплексы меди вводили в культуры раковых и здоровых клеток и изучали, сколько клеток выживет при заданной концентрации введённого вещества. Варьируя концентрацию, устанавливали так называемую концентрацию полуингибирования или  $IC_{50}$ , которая показывает, при каком содержании лекарства останавливается рост и деление половины клеток. Чем ниже значение  $IC_{50}$ , тем меньше надо лекарства, а значит эффективность препарата выше, что хорошо. В случае здоровых клеток всё наоборот: чем выше  $IC_{50}$ , тем лучше, потому что это значит, что лекарство безопасно для здоровых клеток. Было установлено, что значения  $IC_{50}$  для большинства наших комплексов сопоста-



вимо со значеннями для широко використовуваного цисплатина, а одне з наших соєдинень даже перевищує його (рис. 5).

Це говорить про те, що як мінімум схожою ефективністю наших речовин у боротьбі з опухолевими клітками.



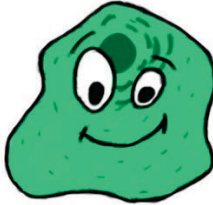

	<b>Вещество</b>	<b>IC<sub>50</sub>, мкмоль/л</b>
 <b>Раковые клетки</b>	<b>Цисплатин</b>	<b>64.1 ± 6.7</b>
		<b>12.1 ± 6.9</b>
 <b>Здоровые клетки</b>	<b>Цисплатин</b>	<b>14.0 ± 2.8</b>
		<b>56.62 ± 18.1</b>

Рис. 5. Результаты исследования полученных комплексов меди на клеточных культурах

Таким образом, мы доказали, что соединения меди действительно являются потенциальной заменой препаратов платины. В дальнейшем планируется работа

по модификации структуры лигандов, чтобы синтезировать препараты, проявляющие наибольшую эффективность в борьбе с опухолевыми клетками.



#### Литература

1. Kelland L. The resurgence of platinum-based cancer chemotherapy. // Nat. Rev. Cancer. 2007. Vol. 7, № 8. P. 573–584.
2. Gupte A., Mumper R.J. Elevated copper and oxidative stress in cancer cells as a target for cancer treatment. // Cancer Treat. Rev. Elsevier Ltd, 2009. Vol. 35, № 1. P. 32–46.



3. Santini C. et al. Advances in copper complexes as anticancer agents. // Chem. Rev. 2014. Vol. 114. P. 815–862.
4. Yu Z., Han M., Cowan J.A. Toward the design of a catalytic metallodrug: Selective cleavage of G-quadruplex telomeric DNA by an anticancer copper-acridine-atcun complex. // Angew. Chemie - Int. Ed. 2015. Vol. 54, № 6. P. 1901–1905.
5. Shi X. et al. Anticancer copper complex with nucleus, mitochondrion and cyclooxygenase-2 as multiple targets. // J. Inorg. Biochem. 2019. Vol. 190. P. 38–44.
6. Boodram J.N. et al. Breast Cancer Stem Cell Potent Copper(II)-Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drug Complexes. // Angew. Chemie - Int. Ed. 2016. Vol. 55, № 8. P. 2845–2850.
7. Liu Y.X. et al. DNA binding, crystal structure, molecular docking studies and anticancer activity evaluation of a copper(II) complex. // Transit. Met. Chem. 2018. Vol. 43, № 3. P. 259–271.
8. Kukushkin M.E. et al. Synthesis and cytotoxicity of oxindoles dispiro derivatives with thiohydantoin and adamantane fragments. // Phosphorus, Sulfur Silicon Relat. Elem. Taylor & Francis, 2020. Vol. 195, № 7. P. 544–555.
9. Uspenskaya A.A. et al. Conjugates of Prostate-Specific Membrane Antigen Ligands with Antitumor Drugs. // Pharm. Chem. J. 2019. Vol. 53, № 4. P. 288–297.
10. Salimova I.A. et al. A convenient synthesis of copper(II) bis[5-(pyridin-2-ylmethylidene)-2-thiohydantoin] complexes. // Mendeleev Commun. Elsevier Srl, 2018. Vol. 28, № 5. P. 524–526.
11. Барская Е.С. и др. Трехкомпонентный синтез координационных соединений меди (II) с 2-гетарилбензотиазолами. // Известия Академии наук. Серия химическая. 2019. № 4. С. 870–873.
12. Connor E.E. et al. Gold nanoparticles are taken up by human cells but do not cause acute cytotoxicity. // Small. 2005. Vol. 1, № 3. P. 325–327.
13. Yeh Y.C., Creran B., Rotello V.M. Gold nanoparticles: Preparation, properties, and applications in bionanotechnology. // Nanoscale. 2012. Vol. 4, № 6. P. 1871–1880.
14. Cole G.B. et al. Specific estrogen sulfotransferase (SULT1E1) substrates and molecular imaging probe candidates. // Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 2010. Vol. 107, № 14. P. 6222–6227.
15. Barskaya E.S. et al. New 2-(2-pyridyl)-substituted benzothiazoles with polyethylene glycol substituents. // Russ. Chem. Bull. Int. Ed. 2019. Vol. 68, № 3. P. 1–6.
16. Barskaya E.S. et al. New ditopic organic ligands with 2-pyridylbenzothiazole and 5-pyridylmethylidene-2-(methylthio)imidazolone fragments. // Russ. Chem. Bull. Int. Ed. 2019. Vol. 68, № 12. P. 2370–2373.

## Калейдоскоп

## Калейдоскоп

## Калейдоскоп

### Селен в организме человека

Селен является одним из микроэлементов, необходимых для организма человека. Суточная потребность в селене составляет всего 70–100 мкг. Но нехватка этого элемента может привести к серьезным заболеваниям, ведь селен входит в состав 30 жизненно важных соединений организма.

Например, селен необходим для нормального функционирования щитовидной железы. Без соединений селена этот орган не способен усваивать иод, даже если он и присутствует в пище в достаточном количестве.

В избыточных количествах соединения селена вредны для здоровья и даже ядовиты.

Е.А. Менделеева

**Калягин Алексей Сергеевич**

*Выпускник химического класса СУНЦ МГУ 2019 года, призёр ВсОШ по химии, студент 3 курса ФФМ МГУ*

## Всемогущ ли серотонин: новые взгляды на фармакотерапию депрессивных расстройств

Депрессивные расстройства, к сожалению, являются актуальной проблемой в наши дни. Наверное, многие слышали, что депрессии связаны с нехваткой серотонина. Это вещество классически считается главным медиатором, отвечающим за положительные эмоции. Действительно ли депрессий можно избежать при должном уровне серотонина в организме? Каковы современные концепции возникновения и возможного лечения депрессий?

Головной мозг человека, как известно, является высшим интегрирующим и контролирующим центром любой деятельности человека. Разнообразие ионных каналов, структурных белков, рецепторов и ферментов в головном мозге шире, чем в любом другом органе. Тонкое и точное взаимодействие между всеми этими структурами обеспечивает как согласованную работу всех органов, так и сложное поведение, социализацию в обществе и взаимодействие с окружающей средой. Неудивительно, что лекарственные препараты, влияющие на функции центральной нервной системы человека, всегда представляли большой интерес. Именно благодаря им можно влиять на многие виды чувствительности, сознание, психику, эмоции и поведение людей. Остановимся на рассмотрении

одной из самых «молодых» групп препаратов, исследования которых начались лишь в середине прошлого столетия. Речь идёт о психотропных препаратах – тех средствах, которые влияют главным образом на психическое и эмоциональное состояние человека.

Психическими заболеваниями, по данным ВОЗ, страдает около 20 % людей в мире: это значит, что каждый пятый человек имеет то или иное расстройство психики. При этом примерно 16,5 % всех расстройств приходится на депрессию. Это означает, что в среднем один человек из 30 страдает депрессивным расстройством, что подтверждает распространённость этого заболевания. Депрессия – психическое расстройство, характеризующееся сниженным настроением, неспособностью получать удовольствие,

потерей интересов, неспособностью здоровой оценки своего состояния (характерны чувства никчемности, несостоятельности, суицидальные мысли). Известно, что депрессия по причине своего возникновения может быть реактивной и эндогенной. Для первого варианта свойственно возникновение после резко травмирующего фактора (смерть близкого человека, потеря работы, неутешительные известия) и возможность коррекции психотерапией, а для второго – стойкие биохимические нарушения в головном мозге. Стоит также отметить, что длительная реактивная депрессия наравне с длительным стрессом может послужить пусковым механизмом развития эндогенной депрессии. Именно изменение нейрогуморальных механизмов регуляции передачи информации в головном мозге в конце концов и приводит к развитию эндогенной депрессии, мало изменяющейся при психотерапии.



Рис. 1. Рисунок, изображённый человеком, страдающим эндогенной депрессией

(<https://www.boredpanda.com/depression-through-art/>)

С точки зрения фармакологии интересно нахождение тех механизмов, которые главным образом задействованы в патологических изменениях, приводящих к эндогенной депрессии, и дальнейшая разработка препаратов, на эти механизмы влияющих. Сложность составляет, как уже упоминалось ранее, большое разнообразие нервных контактов и медиаторов в мозге, которые не позволяют выделить единственную структуру,

ответственную за развитие депрессии. Тем не менее, за последние годы было найдено множество структур и обосновано их комплексное влияние на развитие нарушений в работе психики. Также были выдвинуты, по крайней мере, три гипотезы развития депрессивных состояний и предложены препараты, тормозящие эти процессы.

Наверняка многим известна теория о том, что плохое настроение, а в тяжёлых случаях и депрессия, связаны с недостатком серотонина. Что же это такое, и какие функции в нашем организме он выполняет? Серотонин – биологический амин, получающийся из аминокислоты триптофана путём удаления карбоксильной группы.

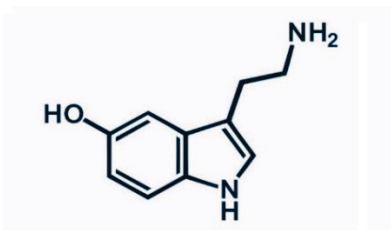


Рис. 2. Молекула серотонина

Все воздействия на организм серотонин осуществляет, связываясь с соответствующими рецепторами и передавая сигнал внутрь клетки через внутриклеточные сигнальные каскады. В результате клетка, получив сигнал, отвечает на него тем или иным изменением. Стоит сказать, что серотонин, несмотря на строение, кажущееся простым, является очень интересной молекулой, для которой характерно многообразие функций. Связано это с тем, что существует по крайней мере семь разных семейств рецепторов для серотонина, в каждом из которых выделены ещё подтипы. Стимуляция разных рецепторов приводит к совершенно разным клеточным ответам. Мы рассмотрим функции и эффекты действия серотонина только в пределах центральной нервной системы, однако не стоит забывать о том, что эффекты этого медиатора широко представлены и на периферии.

Итак, в нервной системе найдены, по крайней мере, три семейства рецепторов серотонина, которые модулируют развитие депрессии: 5-НТ<sub>1</sub>, 5-НТ<sub>2</sub>, 5-НТ<sub>3</sub>. Связываясь с 5-НТ<sub>1</sub>-рецепторами, серотонин запускает внутриклеточные каскады, приводящие к итоговой антидепрессивной реакции в рамках всего организма: повышается настроение, общительность, социальные интересы, устраняется апатия и тревога. Именно благодаря воздействию на 5-НТ<sub>1</sub>-рецепторы серотонин истонно считался золотым стандартом для остановки развития депрессий. На этом и основана первая теория развития депрессии – теория недостатка моноаминов (наряду с серотином к ним относятся норадреналин, действие которого на соответствующие норадренергические рецепторы, приводит к схожим эффектам). Каким же образом можно повысить уровень моноаминов?

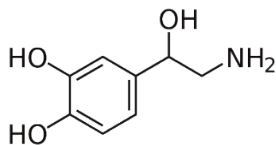


Рис. 3. Молекула норадреналина

Обратимся к строению серотонинового синапса – той структуры, благодаря которой передаётся сигнал.

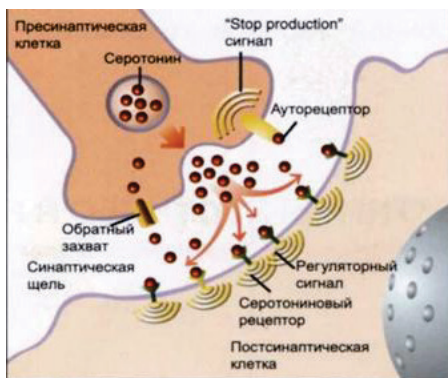


Рис. 4. Строение серотонинового синапса

(<https://cyberpedia.su/16x10200.html>)

Как мы видим, нервный импульс, передающийся по волокну, приводит к вы-

бросу серотонина в синаптическую щель, из которой серотонин добирается до клетки и воздействует на неё. Длительность передачи сигнала регулируется механизмом обратного захвата серотонина: молекула возвращается назад, а эффект, вызываемый ею, прекращается. Отсюда напрямую следует, что продлить действие серотонина можно, блокировав его обратный захват. Препараты, удлиняющие действие моноаминов (в частности, серотонина), получили название ингибиторы обратного захвата серотонина и норадреналина или трициклические антидепрессанты (в состав их молекулы входит три цикла). Типичными их представителями являются имипрамин и amitриптилин. Однако эти препараты обладают рядом недостатков: они блокируют множество рецепторов вегетативной нервной системы на периферии, чем объясняются их побочные действия в виде сухости во рту, заложенности носа, снижения артериального давления, сердечных аритмий и т.д.

Поэтому позднее были предложены препараты другой структуры, избирательно нарушающие обратный захват только серотонина. К ним относятся флуоксетин, сертралин, флувоксамин, циталопрам и ряд других препаратов, широко использующиеся в современной практике. Для них характерно более избирательное действие и отсутствие множества побочных эффектов на периферии. Тем не менее, эффект при периодическом применении этих препаратов может снижаться (как и при приёме трициклических антидепрессантов), а антидепрессивное действие развивается зачастую лишь спустя 10–14 дней после начала приёма. В начале лечения, наоборот, возможно ухудшение психического состояния с преобладанием тревоги и суицидальных мыслей. С чем же это связано?

Вернёмся к тому, что типов серотониновых рецепторов много. Мы рассмотрели антидепрессивное действие серотонина, связанное с влиянием на 5-НТ<sub>1</sub>-рецепторы. В противовес этому, влияние серотонина на 5-НТ<sub>2</sub> и 5-НТ<sub>3</sub>-рецепторы приводит совершенно к другим, крайне

нежелательным при лечении депрессий эффектам. В частности, стимуляция 5-НТ<sub>2</sub>-рецепторов запускает в клетке развитие возбуждающих эффектов, которые в условиях организма выражаются сильной тревогой и бессонницей. Стимуляция 5-НТ<sub>3</sub>-рецепторов вызывает тревогу и тошноту, что, безусловно, ухудшает состояние пациентов. И если второй и третий тип рецепторов более чувствительны к серотонину (как это часто бывает при депрессиях), то в начале приёма подобных препаратов будут сказываться неблагоприятные эффекты, и лишь потом, когда чувствительность рецепторов первого типа также достигнет должного уровня, возможно проявление желаемой реакции. В дальнейшем же имеет место феномен десенситизации рецепторов. Это означает, что при постоянной стимуляции рецепторов медиатором - серотонином при приёме подобных препаратов порог чувствительности к медиатору повышается. То есть рецепторы адаптируются к стабильно повышенным уровням серотонина, и эффект угасает. Всё это свидетельствовало о необходимости дальнейших исследований в области развития и терапии депрессий, а также была пересмотрена идея о безусловной пользе серотонина, хотя вышеизложенные препараты сохраняют значимую роль в терапии на сегодняшний день.

Вторая концепция развития эндогенной депрессии связана с уменьшением нейропластичности, то есть способности нашего головного мозга создавать новые нейронные связи, корректировать и дополнять старые. Считается, что снижение таких возможностей ведёт к утрате способности своевременно адаптироваться к стрессовым ситуациям, правильно оценивать своё состояние и приспосабливаться к условиям окружающей среды – в итоге развивается депрессия. В настоящее время большое внимание в формировании нейропластичности уделяется мозговому нейротрофическому фактору. Этот белок, относящийся к семейству факторов роста, через связывание со своими рецепторами на поверхности клетки приводит к активации внутриклеточных каскадов

превращений. Эти каскады передают сигнал в ядро клетки, где начинается транскрипция генов, отвечающих за выживание клеток и, собственно, за увеличение количества нейронных контактов. Безусловно, интерес представляет повышение концентраций этого ростового фактора в головном мозге. Каким же образом это можно сделать?

Оказывается, серотонин, опосредуя свои эффекты через 5-НТ<sub>1</sub>-рецепторы, стимулирует образование мозгового нейротрофического фактора, чем он также хорош для лечения депрессий. Норадреналин, который упоминался в контексте первой концепции развития депрессий, также стимулирует синтез нейротрофического фактора, связываясь со своими норадренергическими рецепторами и передавая внутриклеточный сигнал. Положительное воздействие на поддержание работы ростового фактора оказывает и система ГАМК – гамма-аминомасляной кислоты, которая является основным тормозным медиатором в головном мозге.

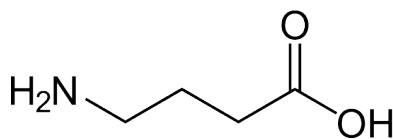


Рис. 5. Молекула ГАМК

Оказывается, некоторые метаболиты прогестерона – основного гормона, отвечающего за поддержание беременности, имеют сродство к ГАМК-рецепторам, а это означает, что при беременности есть дополнительный стимул к синтезу мозгового нейротрофического фактора и большей нейропластичности. Феномен послеродовой депрессии объясняют тем, что после родов концентрация прогестерона резко снижается.

Эта теория развития депрессии подтверждает пользу ингибиторов обратного захвата серотонина (флуоксетин, флувоксамин, сертралин, циталопрам и др.). Также были разработаны ингибиторы обратного захвата норадреналина (мапротилин, ребоксетин). Кроме того, появились препараты, которые избирательно стиму-

лируют не все рецепторы серотонина, а только 5-НТ<sub>1</sub>, обуславливая антидепрессивный эффект, в том числе с помощью повышения синтеза мозгового нейротрофического фактора и нейропластичности. Наоборот, 5-НТ<sub>2</sub> и 5-НТ<sub>3</sub>-рецепторы блокируются, благодаря чему предотвращаются множество нежелательных явлений. К таким препаратам относятся миртазапин и миансерин.

Наконец, третья концепция развития депрессии связана с нарушением баланса нейромедиаторов головного мозга. В число главных возбуждающих медиаторов входит глутамат, а к тормозным, как уже упоминалось, относится гамма-аминомасляная кислота (ГАМК). Считается, что в патогенезе депрессии значительную роль играет дисбаланс между этими системами, зачастую в сторону преобладания глутаматергической передачи, то есть передачи возбуждающих импульсов посредством глутамата.

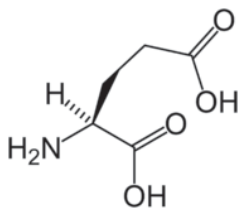


Рис. 6. Молекула глутаминовой кислоты

Недостаток ГАМК-передачи объясняет такие симптомы депрессии, как внутренняя тревога, мысли о безвыходности и никчемности и многие другие. Как выяснилось, эффекты глутамата, как и серотонина, также неоднородны. Для глутамата существуют по крайней мере два типа рецепторов: NMDA и AMPA-рецепторы. Избыточное взаимодействие с первым типом рецепторов ведёт к развитию проявлений депрессии с преобладанием тревоги. Напротив, взаимодействие со вторым типом рецепторов при-

водит к антидепрессивному эффекту, который связывают с повышением нейропластичности. Отсюда следует, что для достижения антидепрессивного эффекта нужно заблокировать первый тип рецепторов, чтобы весь глутамат взаимодействовал со вторым типом.

Таким препаратом – избирательным блокатором NMDA-рецепторов – оказался кетамин. Его назальная форма в виде спрея в нос – препарат эскетамин – является перспективным средством для лечения депрессий. Разработан также схожий по действию препарат рапастинель, клинические исследования которого активно ведутся. Препараты показали многообещающие результаты, эффективно снизив депрессивные симптомы у пациентов, устойчивых к терапии ингибиторами обратного захвата серотонина. Однако исследования ещё продолжаются для сведения к минимуму выявленных побочных эффектов. Тем не менее, интерес представляет уже сама по себе форма антидепрессивного препарата в виде спрея в нос, которая, возможно, под другим названием и с немного изменённой структурой когда-то появится в аптеках.

Таким образом, фармакотерапия депрессивных расстройств безостановочно развивается. Предлагаются новые концепции развития заболевания и препараты, которые могут ими управлять. Кто бы мог подумать, что пройдёт всего около полувека: от времён, когда вовсе не было антидепрессивных препаратов, до наших дней, когда уже ведутся исследования спреев с антидепрессивной активностью? Всё это внушает надежду, что человек сможет разобраться с истинными механизмами формирования заболеваний центральной нервной системы и успешно их лечить, несмотря на сложность и многообразие процессов в нашем головном мозге.

# Олимпиады



## **Загорский Вячеслав Викторович**

*Кандидат химических наук, доктор педагогических наук,  
профессор СУНЦ МГУ имени М.В. Ломоносова*

## **Морозова Наталья Игоревна**

*Закончила химический факультет МГУ, кандидат химических наук, доцент СУНЦ МГУ. Основное занятие – преподавание химии 11-классникам, методическая работа, научная работа в области радиохимии и органического катализа, организация дистанционного обучения и очных мероприятий для школьников.*



## **Сигеев Александр Сергеевич**

*Кандидат химических наук,  
старший научный сотрудник химического факультета  
Московского государственного университета  
им. М.В. Ломоносова, старший научный сотрудник  
Института элементоорганических соединений  
Российской академии наук (ИНЭОС РАН).*



## **Химия на Интернет-олимпиаде СУНЦ МГУ 2020-21 для 7-8 классов**

Ежегодно СУНЦ МГУ проводит Интернет-олимпиаду для 7-10 классов по пяти предметам: математика, физика, химия, биология, информатика. По ее результатам ребят приглашают в бесплатную Заочную школу СУНЦ МГУ и на очные мероприятия: Весеннюю и Летнюю школы. Публикацию заданий и решений по химии мы в этом году начинаем с материалов для 7-8 классов.



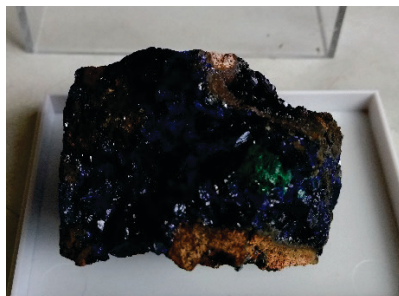
## Задания второго (отборочного) тура

## Задача 1

Перед вами минералы меди:



Малахит  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$



Азурит  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$



Куприт  $\text{Cu}_2\text{O}$



Диоптаз  $\text{Cu}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18}) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Из какого минерала наиболее выгодно добывать медь? Найдите массовую долю меди в нем, в ответе запишите значение в %, округленное до целых.

**Решение:**

Выгоднее всего добывать медь из того минерала, где её содержание больше. Это  $\text{Cu}_2\text{O}$  (видно по формулам

невооружённым глазом, но, чтобы убедиться, можно посчитать массовую долю меди в каждом из минералов).

Найдем массовую долю меди в куприте:

$$\omega(\text{Cu}) = \frac{M(2\text{Cu})}{M(\text{Cu}_2\text{O})} = \frac{2 \cdot 64}{2 \cdot 64 + 16} = 0,89 \text{ или } 89\%.$$

**Ответ:** 89.

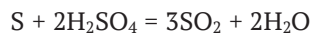
## Задача 2

Посмотрите видеоролик на <https://youtu.be/Ff2zRRSbW7w>. Что за газ выделяется в реакции? Уравняйте реакцию. В ответе запишите коэффициент, стоящий перед формулой газа.

**Решение:**

При взаимодействии серы с концентрированной кислотой выделяется

сернистый газ  $\text{SO}_2$ . Уравняем реакцию:



$$\text{S}^0 - 4e = \text{S}^{+4} \quad | \cdot 1$$

$$\text{S}^{+6} + 2e = \text{S}^{+4} \quad | \cdot 2$$

**Ответ:** 3.



**Задача 3**

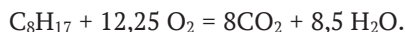
1) Средняя формула бензина А-92  $C_8H_{17}$ . Автомобиль расходует на 100 км пути 7 л бензина (плотность 760 г/л). Сколько кубометров углекислого газа (н. у.) выбрасывает автомобиль, проехавший 100 км за час? Ответ дайте с точностью до сотых.

2) 1 гектар зеленого леса поглощает в солнечный день за 1 час 8 кг углекислого газа. Какая площадь леса (в гектарах, с точностью до целых) компенсирует по углекислому газу часовую поездку на автомобиле?

Запишите сначала первый ответ, затем поставьте один пробел и запишите второй ответ.

**Решение:**

1) Средняя молярная масса бензина  $96+17 = 113$  г/моль.



1 моль бензина даёт 8 моль  $CO_2$ , или 113 г бензина дают  $22,4 \cdot 8 = 179,2$  л  $CO_2$ .

7 л бензина весят  $7 \cdot 760 = 5320$  г.

Углекислого газа из 7 л будет  $179,2 \cdot (5320/113) = 8437$  л или  $8,44$  м<sup>3</sup>.

2) 22,4 кубометра  $CO_2$  весят при н. у. 44 кг. Тогда 8,44 кубометра весят  $44 \cdot (8,44/22,4) = 16,6$  кг – это выброс углекислого газа на 1 час езды.

Если 1 га леса за час поглощает 8 кг  $CO_2$ , то для поглощения 16,6 кг надо примерно  $16,6/8 = 2,075 \approx 2$  гектара леса.

**Ответ:** 8,44 2.

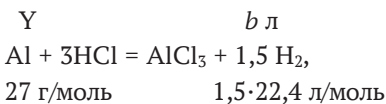
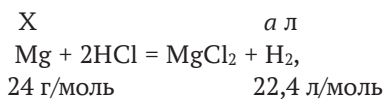
**Задача 4**

Сплав магния и алюминия массой 3,3 г растворили в избытке соляной кислоты; при этом выделилось 3,36 л газа (н. у.). Определите массовую долю магния в сплаве (в %, с точностью до целых).

**Решение:**

Примем массу магния за X, алюминия – за Y.

Реакции с кислотой:



отсюда:

$$a = (22,4 \cdot X)/24 \text{ л.}$$

$$b = (33,6 \cdot Y)/27 \text{ л.}$$

Можно составить систему из двух уравнений с двумя неизвестными.

Масса сплава

$$X + Y = 3,3 \text{ г.}$$

Объем водорода

$$a + b = (22,4 \cdot X)/24 + (33,6 \cdot Y)/27 = 3,36 \text{ л.}$$

При решении системы получим: X = 2,4 г, Y = 0,9 г.

Массовая доля магния

$$\omega(Mg) = 2,4/3,3 = 0,73 \text{ или } 73\%.$$

**Ответ:** 73.

**Задача 5**

Найдите иод. В ответе укажите номер выбранной фотографии и (через пробел) формулу вещества, которое

получается при взаимодействии иода с хлором, взятых в эквимольных количествах.



1)



2)



3)



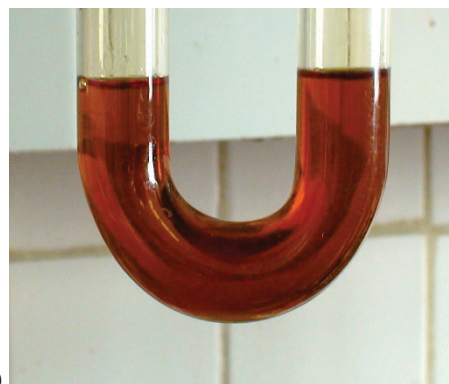
4)



5)



6)



7)

**Решение:**

Иод – твёрдое вещество, тёмно-серые кристаллы с металлическим блеском. Это соответствует фотографии 5. На других фотографиях: 1) раствор  $\text{KMnO}_4$ , 2) раствор  $\text{KI}_3$ , 3) бром (сверху – пары брома), 4) комплексное соединение  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ , 6)  $\text{KMnO}_4$ , 7) раствор  $\text{NO}_2[\text{PCl}_6]$  в  $\text{CCl}_4$ .

Типичная ошибка – считать иод коричневой жидкостью. Это привычный нам вид аптечной настойки иода, пред-

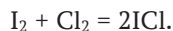
ставляющей собой водно-спиртовой раствор с добавкой  $\text{KI}$ .

Еще одна часто встречающаяся ошибка – считать, что иод фиолетовый. Фиолетовыми являются пары иода. Но при обычных условиях иод твёрдый и фиолетовой окраски не имеет.

Если иод прореагирует с хлором в эквимольных количествах, получится монохлорид иода  $\text{ICl}$  (ответ С11 тоже засчитывался, хотя в формулах бинарных со-



единений принято первым писать менее электроотрицательный элемент):



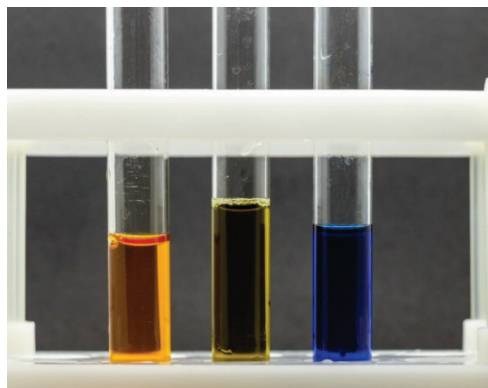
**Ответ:** 5 ICl.

### Задания третьего (заключительного) тура

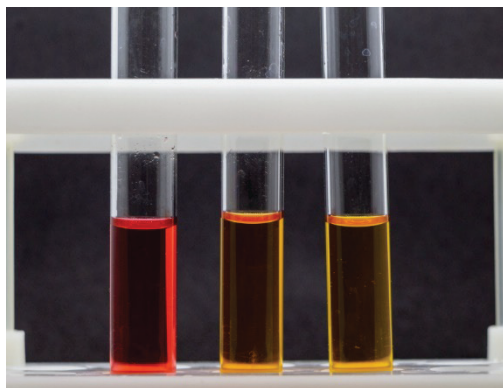
#### Задача 1

К растворам щёлочи, кислоты и к дистиллированной воде был прибавлен раствор индикатора бромкрезолового зе-

лёного. Затем, к тем же растворам, стоящим в том же порядке, был прибавлен раствор метилового оранжевого.



*Бромкрезоловый зелёный*



*Метилоранжевый*

Известно, что центральный раствор не изменяет окраску фенолфталеина.

1) В каком порядке расположены растворы?

2) Какой цвет имеет бромкрезоловый зелёный в растворе кислоты и в растворе щёлочи?

#### **Решение:**

1) Раз центральный раствор не меняет окраску фенолфталеина, то это либо нейтральный раствор, либо раствор кислоты. Но мы знаем, что мети-

ловый оранжевый в кислоте красный. Поэтому раствор кислоты слева, а в центре – нейтральный раствор. Справа, соответственно, щелочной раствор.

Итак, порядок растворов: кислота, нейтральный, щелочь (1 балл).

2) Согласно 1-й фотографии, бромкрезоловый зелёный в кислоте жёлтый (возможен ответ «оранжевый»), а в щелочи синий (1 балл).

Итого 2 балла.

#### Задача 2

Найдите в отрывке из сказки Н. Нова упоминания химических веществ. Какие вещества там упомянуты? Разделите их на группы – простые и сложные вещества. Есть ли в тексте ошибки и противоречия с химической точки зрения?

*«Для того, чтобы лучше изучить свойства лунного камня, Знайка решил подвергнуть его химическому анализу. Однако и тут встретились непреодолимые трудности. Лунный камень не хотел вступать в соединение ни с каким*

*другим химическим веществом: не хотел растворяться ни в воде, ни в спирте, ни в серной или азотной кислоте. Даже смесь крепкой азотной и соляной кислот, в которой растворяется даже золото, не оказывала никакого действия на лунный камень. Что же мог сказать химик о веществе, которое не вступает в соединение ни с каким другим веществом? Разве только то, что это вещество – какой-нибудь благородный металл вроде золота или платины. Однако*



лунный камень был не металл, следовательно, он не мог быть ни золотом, ни платиной.»

Николай Носов «Незнайка на Луне»

#### Решение:

Вещества: вода, спирт, серная кислота, азотная кислота, соляная кислота, золото, платина. Стоит обратить внимание, что лунный камень – тоже некоторое вещество, но, если оно не упомянуто, балл не снижается. Простые вещества: золото, платина. Сложные вещества:

вода, спирт, серная кислота, азотная кислота, соляная кислота (2 балла).

Противоречие: золото действительно растворяется в смеси крепкой азотной и соляной кислот, но далее сказано, что оно и платина не вступают в соединение ни с каким другим веществом. Это ошибка – золото и платина вступают в соединения с другими веществами (1 балл). Например, с хлором, бромом (но примеры приводить не требуется).

Итого 3 балла.

### Задача 3



Масса знаменитой советской ракеты «Союз» – 308 тонн. Из них 274 тонны – это топливо. Топливо состоит из горючего – керосина со *средней* формулой  $C_{11}H_{21}$  – и окислителя – жидкого кислорода.

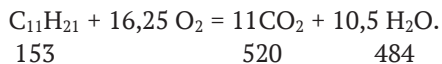
1) Сколько т керосина и сколько т кислорода нужно для заправки одного «Союза»?

2) Сколько т углекислого газа выделяется при старте «Союза»? Приведите уравнение реакции и расчёты.

3) В чем преимущество метана в качестве горючего перед керосином с точки зрения экологии?

#### Решение:

Запишем уравнение реакции:



(Уравнение реакции – 1 балл).

Массовая доля керосина в топливе  $153/(520+153) = 0,227$ , кислорода  $1-0,227 = 0,773$ .

Заправка керосином  $274 \cdot 0,227 = 62,2$  т, заправка кислородом  $274 \cdot 0,773 = 211,8$  т (1 балл).

Масса углекислого газа равна  $484/(520+153)$  от массы топлива или  $274 \cdot (484/(520+153)) = 208,2$  т (1 балл).

Метан содержит 75% углерода, а керосин  $100 \cdot (11 \cdot 12/153) = 86\%$ . Значит, метан дает меньше углекислого газа при одинаковой массе горючего (1 балл).

Итого 4 балла.

## Задача 4

Представьте себе, что вы идете в метель по заснеженной степи и натываетесь на заброшенную лабораторию. Электричество и газ в ней отключены много лет назад, но сохранилось много посуды и, на ваше счастье, несколько коробок с твердой щёлочью и три трехлитровые бутылки, заполненные вязкими бесцветными жидкостями без запаха, растворимыми в воде.

Предположите, что это могут быть за жидкости. Какие реактивы вам потребуются, чтобы различить эти жидкости? Какие жидкости помогут вам согреться и дожидаться спасателей или хотя бы конца метели?

**Решение:**

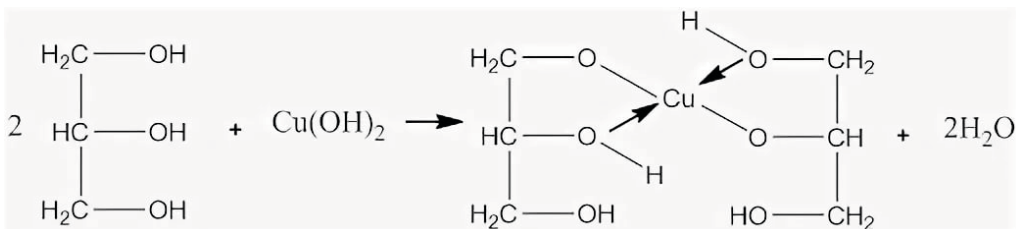
1) Для начала разберёмся с жидкостями. Учитывая объём, это должен быть какой-то обычный лабораторный реактив. Если учесть отсутствие цвета и запаха, а также вязкость и растворимость в воде, то из неорганических веществ это могут быть концентрированные фосфорная или серная кислоты либо олеум (1 балл за 2 варианта или более).

Из неорганических соединений возможен ещё пероксид водорода, но по условию задачи лаборатория заброшена несколько лет назад, а пероксид водорода со временем разлагается. Органические кислоты, одноатомные спирты и амины растворимы в воде, но имеют ярко выраженный запах. Более вероятны многоатомные спирты – глицерин, этиленгликоль (+1 бонусный балл).

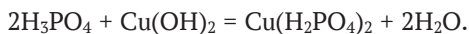
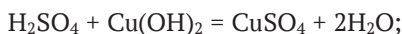
2) Для определения этих соединений необходим раствор индикатора, имеющего переход в кислой среде. Это позволит определить кислоты и отличить их, например, от глицерина (1 балл, если указан цвет индикатора в кислой среде)

Дополнительным признаком для кислот и олеума будет существенное нагревание при растворении (в качестве воды можно использовать снег снаружи).

Многоатомные спирты можно идентифицировать реакцией с гидроксидом меди (II) по образованию ярко-синего раствора комплексного соединения (+1 бонусный балл):



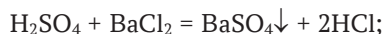
Кислоты при этом тоже будут реагировать с  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  с образованием раствора (но не ярко-синего!):



В концентрированных кислотах практически нет воды, поэтому ионы меди не гидратируются, и раствор бесцветен. Растворение гидроксида меди в концентрированной фосфорной кислоте возможно, поскольку в огромном избытке кислоты образуется растворимый дигидрофосфат. Если кислота разбавленная, реакция не пойдет, т. к. гид-

рофосфат и средний фосфат меди нерастворимы.

Серную и фосфорную кислоты можно различить с помощью соли бария. При добавлении серной кислоты будет выпадать сульфат бария, а в случае фосфорной образуется растворимый дигидрофосфат бария (2 балла, если приведены уравнения реакций):



3) Самый простой вариант согреться – если хотя бы в одной из бутылей находится кислота. Мы уже упоминали, что



при растворении концентрированных фосфорной, серной кислот и олеума в воде выделяется тепло (1 балл). Большое тепловыделение происходит также при растворении в воде твердой щёлочи (1 балл).

Ещё один источник тепла – реакция нейтрализации (1 балл). Поэтому оптимальным вариантом в этом случае будет растворение кислоты в воде и при-

бавление твёрдой щёлочи к получившемуся раствору после окончания тепловыделения.

(Надо отметить, что количество тепла, полученного как в первом, так и во втором варианте, будет не слишком велико, и нагреть таким путем помещение не получится. Наилучшим путём будет создание грелок).

Итого 7 баллов.

### Задача 5

Посмотрите видеоролик на <https://youtu.be/rDdB3kTmmLk>.

Хорошо ли иод растворим в воде? Почему? Какое наблюдение об этом свидетельствует?

Как меняется растворимость иода при нагревании? Почему? Какое наблюдение об этом свидетельствует?

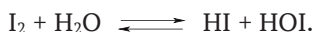
Что наблюдается над раствором в конце ролика? Почему?

#### Решение:

Иод растворим в воде плохо (0,5 балла), потому что его молекула неполярна (0,5 балла).

Неполярные вещества плохо растворяются в полярных растворителях, таких как вода, потому что, распределяясь между полярными молекулами растворителя, нарушают их взаимодействие между собой – это энергетически невыгодно.

Типичная ошибка – считать, что иод хорошо растворяется из-за протекания реакции:



Константа равновесия этой реакции  $2 \cdot 10^{-13}$ . Т. е. иод почти не реагирует, рав-

новесие сильно сдвинуто в сторону реагентов. Этот факт никак не может способствовать хорошей растворимости иода.

О плохой растворимости иода свидетельствует бледная окраска раствора (0,5 балла).

При нагревании растворимость иода несколько увеличивается (0,5 балла), потому что увеличивается кинетическая энергия молекул растворителя и колебания молекул иода в кристаллической решётке, таким образом облегчается разрушение кристаллической решётки иода (0,5 балла). Об этом свидетельствует усиление окраски раствора при нагревании (0,5 балла).

В конце над раствором появляются фиолетовые пары иода (0,5 балла), потому что нагревание способствует разрушению кристаллической решётки иода, но в воде может раствориться лишь очень ограниченное количество иода, а в пар он переходит легко (0,5 балла).

Итого 4 балла.

Всего за комплект – 20 баллов.

## Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор

Объявление на «авито»: Продам вестибулярный аппарат. Новый, в упаковке. В комплекте эндолимфы, отолиты и желеобразные купулы. Причина продажи – родители подарили на день рождения, но я им не пользуюсь.

Какая ирония... Растения в естественном отборе накапливали соки, вызывающие жжение во рту, слёзы из глаз, резкие запахи, всё, лишь бы животные уяснили, что их есть нельзя, боком выйдет. А тут появился человек, назвал это приправами и специями и активно поедает вопреки тысячелетиям трудов природы.



### Старых Сергей Алексеевич

*Студент химического факультета МГУ, организатор Проектной химической олимпиады, педагог дополнительного образования ГБОУ Школы № 117*

# Задания Проектной химической олимпиады 2021-22 для 8 класса (1 тур)

Проектная химическая олимпиада ставит цель привлечь внимание школьников к современному химическому эксперименту, дает возможность познакомиться с тонкостями теории и практики работы в области препаративной и аналитической химии. Олимпиада проводится в два этапа: отборочный и заключительный, каждый из которых состоит из двух туров.

Здесь мы предлагаем вашему вниманию задачи 1 тура отборочного этапа текущего года. Авторы задач: №№ 1–3 – Артём Сергеевич Сазонов, №№ 4–6 – Данила Андреевич Деянков.

## Задача №1

При полном сгорании в кислороде 2,24 л газообразного углеводорода (при н. у.), имеющего формулу  $C_nH_{2n+2}$ , образовался газ и прозрачная жидкость. Полученный газ пропустили через 100 мл раствора  $Ca(OH)_2$  с концентрацией 1 моль/л. Сначала наблюдали образова-

ние осадка, однако впоследствии он полностью растворился.

### Вопросы:

- 1) Запишите уравнения всех описанных реакций.
- 2) Запишите формулу сгоревшего углеводорода.

## Задача №2

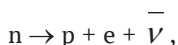
Ядерное топливо – материал, который используется в ядерных реакторах для осуществления управляемой цепной ядерной реакции деления. Оно принципиально отличается от других видов топлива, используемых человечеством, ввиду чрезвычайной энергоёмкости и весьма значительной опасности для человека. Оно действует благодаря спон-

танному изменению состава (заряда  $Z$ , массового числа  $A$ ) или внутреннего строения нестабильных атомных ядер путём испускания элементарных частиц.

Существует несколько типов радиоактивного распада: к ним относятся  $\alpha$ -распад (от ядра отделяется  $\alpha$ -частица – ядро атома гелия-4) и  $\beta^-$ -распад (нейтрон распадается за счёт слабого взаимодей-



ствия с испусканием электрона по уравнению

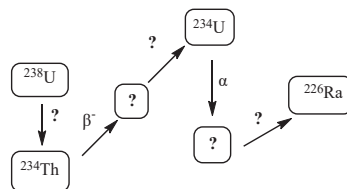


то есть по факту выделяется электрон).

### Вопросы:

Некоторые изотопы образуют радиоактивные семейства; одним из этих изотопов является изотоп  $^{235}\text{U}$ , который обычно используют в качестве природного уранового топлива. Зная, что семейство  $^{235}\text{U}$  заканчивается на  $^{207}\text{Pb}$ , определите, сколько произошло  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов.

Помимо семейства  $^{235}\text{U}$ , существуют также и другие семейства: например, семейство радия, которое начинается с  $^{238}\text{U}$ . Ниже приведена часть цепочки радиоактивных превращений этого семейства. Заполните пропуски в схеме.



### Задача №3

К 6 л (25 °С, 1 атм) газа **X** массой 10,8 г добавили неизвестный газ **Y**. При этом объём смеси стал в 1,5 раза больше, чем объём газа **X**, а плотность газовой смеси составила 1,582 г/л.

Определите неизвестные газы, зная, что в их состав входят элементы только второго периода.

Вспомогательная формула:

$$pV = nRT,$$

где  $p$  – давление газа (Па),  $V$  – объём газа ( $\text{м}^3$ ),  $n$  – количество вещества газа (моль),  $R$  – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/(моль·К)),  $T$  – температура ( $K = ^\circ\text{C} + 273,15$ ).

### Задача №4

Формулу бинарного двухатомного соединения **A** в качестве аббревиатуры видел абсолютно каждый человек в торговых центрах, а некоторые ценители хип-хопа могли заметить её на обложках альбомов Уильяма Лошена Кэлхуна. Первое слово аббревиатуры в случае торгового центра переводится как «вода».

При получении **A** используют порошок металла **X**, восстановленный из его оксида. Для защиты порошка от окисления процесс синтеза ведут в среде водорода, который, взаимодействуя с металлом **Y** при температуре 1300 °С и выше, образует бинарное соединение **B**, в кото-

ром  $\omega(\text{Y}) = 92,31\%$ . При взаимодействии **X** с **B** образуется **A**, и при этом выделяется газ с плотностью по азоту 0,0714.

Ещё одним способом получения **A** является нагрев кислоты **C** или бинарного соединения **D** в среде водорода и метана при температуре 850–1000 °С.

Вещество	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
$\omega(\text{X}), \%$	93,88	73,6	79,31

### Вопросы:

- 1) Установите формулу неизвестных соединений **A**–**D**.
- 2) Напишите уравнение реакции вещества **X** с соединением **B**.

### Задача №5

Студент, которому было нечем заняться в лаборатории, решил провести занятный эксперимент: он надул хорошо растяжимый шарик воздухом так, чтобы его объём был равен 2 литра (н. у.), и положил его на поверхность воды, над шариком повесил доску с иголкой. Далее он кинул в воду 0,69 г металлического натрия.

Хватит ли теплоты, выделившейся от реакции натрия с водой, чтобы шарик расширился и лопнул, коснувшись иголки, если расстояние от воды до иголки равно 20 см, и лишь 10 % теплоты от реакции пойдёт на нагрев воздуха в шарике?

Теплоёмкость воздуха равна 1 кДж/(кг·К); теплота, которая выделяется



при реакции одного моля натрия с водой, равна 141 кДж. Температура воздуха 25 °С.

Вспомогательная формула:

$$Q = cm\Delta T,$$

где  $Q$  – теплота (Дж),  $c$  – теплоёмкость (кДж/(кг·К)),  $m$  – масса (кг),  $\Delta T$  – разность температур (К).



Взаимодействие натрия с водой (фото В.В. Загорского)

### Задача №6

Финес: Эй, Ферб, чем сегодня займёмся?

Ферб: Захватим мир... Хотя есть идея получше! Мы возьмём марганцовку и растворим её в воде, а далее при помощи фотометрии попробуем определить, сколько мы её взяли.

Финес: Ты – чертов гений, я в деле!



Измерение оптической плотности раствора марганцовки

Но ребятам показалось, что их план слишком прост, поэтому они также решили построить градуировочную зависимость оптической плотности от концентрации, чтобы в следующий раз сразу определить, сколько они взяли марганцовки. Братья взяли неизвестную массу

марганцовки и растворили её в мерной колбе на 100 мл (*раствор 1*). Далее взяли из *раствора 1* аликвоту (малую часть) и разбавили её в 2 раза (*раствор 2*), потом взяли аликвоту из *раствора 2* и снова разбавили в 2 раза (*раствор 3*). После чего при помощи спектрофотометра и кюветы с шириной в 1 см были получены значения оптической плотности данных растворов, но по неопытности ребята перепутали значения и растворы, им соответствующие. В итоге у них получились только следующие числа без привязки к растворам: 0,243; 0,487; 0,121. Также в книжке они нашли формулу для расчёта концентрации раствора по оптической плотности:

$$A = \varepsilon lc,$$

где  $\varepsilon$  – это коэффициент поглощения,  $l$  – это ширина кюветы, а  $c$  – концентрация раствора. Коэффициент поглощения марганцовки равен 2420 л/(моль·см).

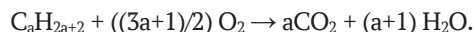
#### Вопросы:

1) Схематично постройте график зависимости оптической плотности  $A$  от концентрации раствора.

2) Сколько граммов марганцовки Финес и Ферб взяли для экспериментов?

### Решение задачи №1

Углеводороды сгорают с образованием  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ :



Количество углеводорода исходно было:

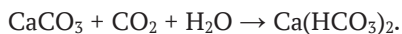
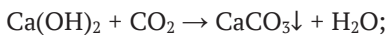
$$n = V/V_m = 2,24 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 0,1 \text{ моль}.$$

В растворе  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  исходно было:

$$n = c \cdot V = 1 \text{ моль/л} \cdot 0,1 \text{ л} = 0,1 \text{ моль щёлочи}.$$



При пропускании  $\text{CO}_2$  через известковую воду протекают следующие реакции:



Образование осадка  $\text{CaCO}_3$

Если образовалось  $x$  моль гидрокарбоната, значит, в реакцию вступило  $x$  моль карбоната и  $x$  моль  $\text{CO}_2$ . Значит, в первой реакции должно было образоваться ещё  $x$  моль  $\text{CaCO}_3$ , на что затратилось бы ещё  $x$  моль  $\text{CO}_2$ , который бы прореагировал с 0,1 моль щёлочи. Суммарное количество углекислого газа равно  $2x$ , где  $x = 0,1$  моль (из первой реакции). То есть  $n(\text{CO}_2) = 0,2$  моль.

Напомним, что количество углекислого газа связано с количеством углеводорода через коэффициент «а», который мы можем получить путём деления количества вещества  $\text{CO}_2$  на количество вещества углеводорода, откуда  $a = 2$ . Углеводород –  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

Критерии оценивания:

Пункт	Балл
1. За каждую реакцию – 4 балла.	12 баллов
2. Логичное рассуждение о количестве углекислого газа – 6 баллов, определение углеводорода – 7 баллов.	13 баллов
ИТОГО:	25 баллов

### Решение задачи №2

Для начала нужно определить, что  $\alpha$ -распад смещает нуклид в таблице Менделеева на 2 ячейки влево, а  $\beta^-$ -распад на 1 ячейку вправо.

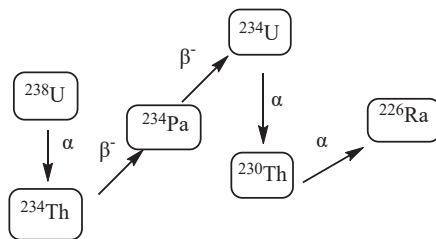
Количество  $\alpha$ -распадов можно посчитать, зная массовые числа атомов:  $A(^{235}\text{U}) = 235$ ,  $A(^{207}\text{Pb}) = 207$  и  $A(^4\text{He}) = 4$ . Можно составить следующее уравнение:

$$N_{\alpha\text{-распадов}} = \frac{A(^{235}\text{U}) - A(^{207}\text{Pb})}{A(^4\text{He})} = \frac{235 - 207}{4} = 7.$$

Количество  $\beta^-$ -распадов можно посчитать следующим образом:

$$N_{\beta^- \text{-распадов}} = Z(^4\text{He}) \cdot N_{\alpha\text{-распадов}} - (Z(^{235}\text{U}) - Z(^{207}\text{Pb})) = 2 \cdot 7 - (92 - 82) = 4.$$

Заполненные пропуски в схеме:



Критерии оценивания:

Пункт	Балл
1. За правильное число альфа-распадов; бета-распадов – 5 баллов.	10 баллов
2. За каждый заполненный пропуск – 3 балла.	15 баллов
ИТОГО:	25 баллов

### Решение задачи №3

Для начала определим неизвестный газ **X**. Так как условия не соответствуют нормальным, нужно сделать дополнительный расчёт:

$$\frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{p_0 \cdot V_1}{T_1},$$

отсюда



$$V_1 = \frac{V_0 \cdot T_1}{T_0} = \frac{22,4 \cdot 298}{273} = 24,45 \text{ л/моль.}$$

Зная молярный объём при заданных условиях, найдём:

$$N = V/V_m,$$

$$M = \frac{m}{n} = \frac{m \cdot V_m}{V} = \frac{10,8 \cdot 24,45}{6} = 44 \text{ г/моль.}$$

Следовательно, неизвестный газ **X** – CO<sub>2</sub>.

Теперь определим газ **Y**. Для начала рассчитаем среднюю молярную массу смеси:

$$pV = nRT,$$

$$n = m/M_{\text{см}},$$

отсюда

$$M_{\text{см}} = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1,582 \cdot 8,31 \cdot 298}{101,3} = 38,67 \text{ г/моль.}$$

Так как объём газовой смеси увеличился в 1,5 раза, было добавлено 3 л неизвестного газа, а объём смеси стал 9 л.

$$M_{\text{ср}} = \frac{M_1 \cdot V_1 + M_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2},$$

$$M_2 = \frac{M_{\text{ср}} \cdot (V_1 + V_2) - M_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{38,67 \cdot (6+3) - 44 \cdot 6}{3} = 28 \text{ г/моль.}$$

Получаем, что  $M_2 = 28$  г/моль, что соответствует CO.

**X** – CO<sub>2</sub>, **Y** – CO.

*Критерии оценивания:*

Пункт	Балл
1. Пересчёт молярного объёма	3 балла
2. Нахождение молярной массы газа X	4 балла
3. Нахождение средней молярной массы смеси	5 баллов
4. Нахождение молярной массы газа Y	3 балла
5. Любое не противоречащее логике определение газов X и Y	5×2 баллов
ИТОГО:	25 баллов

### Решение задачи №4

Начнём с определения вещества **B**. Очевидно, что в его состав входит водород, поэтому в результате перебора понимаем, что элемент **Y** – это углерод.

Общая формула соединения, ввиду его бинарности: Y<sub>n</sub>H<sub>x</sub>. Исходя из того, что ω(H) = 7,69 %, можем составить уравнение:

$$M(Y) = \frac{x \cdot M(H) \cdot (1 - \mu(H))}{\mu(H) \cdot n}.$$

№	x	n	M(Y)	Y	Примечание
1	1	1	12	C	Формула CH не выглядит разумно.
2	1	2	6	-	Ничего не подходит.
3	2	1	24	Mg	Сказано, что элемент Y неметалл.
4	2	2	12	C	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>

Итак, соединение **B** – C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>.

Если знать английский, то нетрудно понять, что **X** – это вольфрам, если нет, то, пользуясь данными о массовых долях соединения **A**, можно выйти на вольфрам.

$$M(X) = \frac{M(C) \cdot (1 - \mu(C))}{\mu(C)},$$

$$M(X) = \frac{12 \text{ г/моль} \cdot (1 - 0,0612)}{0,0612} = 184 \text{ г/моль.}$$

Соединение **A** – WC.

Определим соединение **C**. Так как в условии сказано, что это кислота, то, помимо вольфрама, в его состав входят также водород и кислород. Общая формула кислоты: H<sub>x</sub>W<sub>y</sub>O<sub>z</sub>. Составим уравнение, в котором количество атомов кислорода будет неизвестным, а количество атомов вольфрама и водорода – изменяемыми параметрами. После всех преобразований получим:

$$z = \frac{y \cdot M(W) \cdot (1 - \mu(W))}{\mu(W) \cdot M(O)} - \frac{x \cdot M(H)}{M(O)}.$$



№	x	y	z	Примечание
1	1	1	4,0625	Не подходит
2	2	1	4	Подходит
3	3	1	3,9375	Не подходит
4	1	2	8,1875	Не подходит
5	2	2	8,125	Не подходит
6	3	2	8,0625	Не подходит
7	4	2	8	Димер варианта №3

Соединение **C** –  $H_2WO_4$  (или  $WO_3 \cdot H_2O$ )

Определим соединение **D**. Обозначим неизвестный элемент как **Z**.

$$M(Z) = \frac{x \cdot M(W) \cdot (1 - \mu(W))}{\mu(H) \cdot n}$$

№	x	n	M(Z)	Z	Примечание
1	1	1	48	Ti	Формула $WTi$ не выглядит разумно.

№	x	n	M(Z)	Z	Примечание
2	1	2	24	Mg	Формула $WMg$ не выглядит разумно.
3	2	1	16	O	$WO_3$

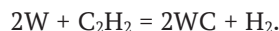


$H_2WO_4$

Соединение **D** –  $WO_3$ .

A	B	C	D	X	Y
W	$C_2H$	$WO_3 \cdot H_2$	WO	W	C
C	2	O	3		

Уравнение реакции:



Критерии оценивания:

Пункт	Балл
1. За каждое соединение A–D – по 5 баллов.	20 баллов
2. За реакцию – 5 баллов.	5 баллов
ИТОГО:	25 баллов

### Решение задачи №5

Первое, что разумно сделать – найти, насколько близок шарик к иголке в начальный момент времени. Его объём равен 2 л, а из формулы объёма шара можно найти радиус и впоследствии диаметр:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \Rightarrow r = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}}$$

Радиус  $r = 0,78$  дм или 7,8 см  $\Rightarrow d = 2r = 15,6$  см.

Далее происходит реакция натрия с водой:



Студент кинул в воду 0,69 г натрия, что соответствует 0,03 моль Na. Указано, что при окислении 1 моль натрия выделяется 141 кДж тепла, значит, при окислении 0,03 моль натрия будет выделяться  $0,03 \cdot 141$  кДж = 4,23 кДж тепла.

10 % этого тепла (т. е. 0,423 кДж) пойдёт на нагрев шарика, значит:

$$423 \text{ Дж} = 1000 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K}) \cdot m(\text{воздух}) \cdot \Delta T.$$

Массу воздуха мы можем найти из его объёма (при н. у.):

$$m = M(\text{воздуха}) \cdot n(\text{воздуха}) = 29 \text{ г/моль} \cdot V/V_m = 29 \text{ г/моль} \cdot 2 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 2,59 \text{ г} = 2,59 \cdot 10^{-3} \text{ кг}.$$

Подставляем в формулу выше и находим  $\Delta T$ :

$$\Delta T = 423 \text{ Дж} / 1000 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K}) / 2,59 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 163 \text{ K}.$$

Температура исходно составляла 298 K, значит, стало 461 K. При помощи

уравнения Менделеева-Клапейрона мы можем найти объём газа, а из него радиус и диаметр шарика:

$$V = nRT/p, n = pV_0/(RT_0),$$

$$V = V_0 \cdot T/T_0 = 3 \text{ л.}$$

Отсюда  $r = 8,947 \text{ см}$ ,  $d = 17,894 \text{ см}$ , а до иглойки  $20 \text{ см}$ , значит, есть ещё запас, и шарик не лопнет.

Критерии оценивания:

Пункт	Балл
1. Расчёт количества теплоты, израсходованной на нагревание	5 баллов
2. Нахождение объёма шара	3 балла
3. Расчёт массы воздуха	3 балла
4. Расчёт изменения температуры	4 балла
5. Нахождение нового объёма	5 баллов
6. Нахождение нового диаметра	5 баллов
ИТОГО:	25 баллов

### Решение задачи №6

Первое, что нужно сделать – соотнести оптическую плотность и концентрации растворов. Если у первого раствора концентрация  $C_0$ , то у второго  $0,5C_0$ , а у третьего  $0,25C_0$ , так как каждый раз аликвоту из предыдущего раствора разбавляли в 2 раза. Интуитивно понятно, что чем больше концентрация, тем больше оптическая плотность; также это можно увидеть из формулы для оптической плотности. Если записать данные в таблицу, то у нас получится следующее:

Концентрация	$C_0$	$0,5C_0$	$0,25C_0$
Оптическая плотность	0,487	0,243	0,121

После чего можно через формулу

$$A = \epsilon l c$$

найти концентрации:

Концентрация, моль/л	$2,012 \cdot 10^{-4}$	$1,004 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$
Оптическая плотность	0,487	0,243	0,121

Построим график:

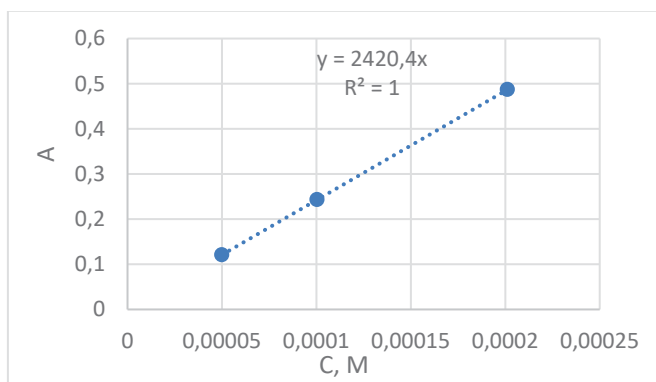


График должен получиться линейным, так как данная зависимость – вида

$$y = kx + b.$$

График должен проходить через точку  $(0;0)$ , так при нулевой концентрации должна наблюдаться нулевая оптическая плотность.

Из значения концентрации марганцовки в первом растворе можно посчитать массу марганцовки:

$$n = C \cdot V = 2,012 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л} \cdot 0,1 \text{ л} = 2,012 \cdot 10^{-5} \text{ моль};$$

$$m = M \cdot n = 158 \text{ г/моль} \cdot 2,012 \cdot 10^{-5} \text{ моль} = 0,00318 \text{ г.}$$

Масса  $\text{KMnO}_4$  –  $0,00318 \text{ г}$ .



Критерии оценивания:

Пункт	Балл
1. Нахождение соответствия величин оптической плотности и концентраций	4 балла
2. Нахождение каждой концентрации	по 2 балла
3. Построение графика	5 баллов
4. Определение концентрации – 5 баллов, определение массы – 5 баллов	10 баллов
ИТОГО:	25 баллов

Калейдоскоп

Калейдоскоп

Калейдоскоп

## Волшебная колонна



Анна Ч.



## Исследовательская деятельность



**Федченко Анастасия Сергеевна**

Ученица 10 класса ГБОУ Школа № 2065. Научный руководитель работы – к.х.н. Любовь Николаевна Оболенская

## Очистка воды по принципам «зелёной инженерии»

Разве не прекрасно, когда почти все необходимое для очистки воды находится в ней самой? Скажете: пустые мечты? Но оказывается, бывает и такое. Более того, в проекте, о котором рассказывает статья, предлагается реально работающий новый способ очистки природной воды с помощью нано- $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , полученного частично из неё же и эффективно катализирующего разложение органических токсикантов.

Загрязнение природных вод нефтепродуктами и другими органическими токсикантами постоянно усиливается, а безоговорочно эффективных способов восстановления водоёмов до сих пор не разработано. Один из передовых способов деструкции органических токсикантов – так называемый «процесс Фентона» [1], в котором катализаторами разложения  $\text{H}_2\text{O}_2$  до активных радикалов служат  $\text{Fe(II,III)}$  либо наноразмерные оксиды железа (как правило, на носителях с развитой поверхностью) [2]. В то же время самый распространённый металлоорганический загрязнитель воды в западной части Москвы и МО – соединения железа.

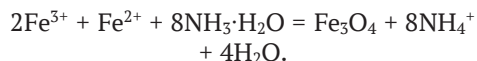
Мы решили попробовать получить из соединений  $\text{Fe(II,III)}$ , содержащихся в пробах воды (Лесная заводь Зимёнковского ручья;  $55^\circ 35' 37'' \text{N}$   $37^\circ 23' 0'' \text{E}$  [3]), катализаторы – наночастицы магнетита,

разлагающие (по Фентону) органические токсиканты из той же воды с приемлемой, т. е. не меньшей, чем у аналогов, скоростью. В качестве носителей мы выбрали, с одной стороны, железосиликат из семейства цеолитов ZSM-5, полученный в Институте катализа СО РАН, а с другой стороны, общедоступные недорогие алюмосиликатный сорбент AC-1 (применяемый для обезжелезивания воды) и катионообменную смолу HCR (засыпку для картриджей фильтров).

Также нас заинтересовала возможность, используя нанесение тех же наночастиц магнетита на лигнин, облегчить его сбор металлическими швабрами с поверхности воды после сорбции нефтепродуктов [4]. Другими словами, придать лигнину магнито-восприимчивость без потери сорбционной способности и плавучести.

### Синтез наномангнетита

В ходе синтеза наномангнетита сонохимическим методом протекает следующая реакция:



Суть сонохимического метода синтеза в том, что акустическая волна (чаще всего ультразвуковая), проходя через жидкую реакционную смесь, вызывает в ней локальные флуктуации плотности – проще говоря, пустоты. Они, естествен-

но, почти сразу «схлопываются», что сопровождается заметным выделением тепловой энергии. За счёт этого начинается необходимая реакция, т. е. образуются зародыши частиц. Но благодаря «ограниченности» порции тепловой энергии рост частиц быстро прекращается; они остаются нанометровыми и, как правило, с узким распределением по размерам, что бывает важно.

Этапы (стадии) синтезов приведены на схемах 1 и 2.

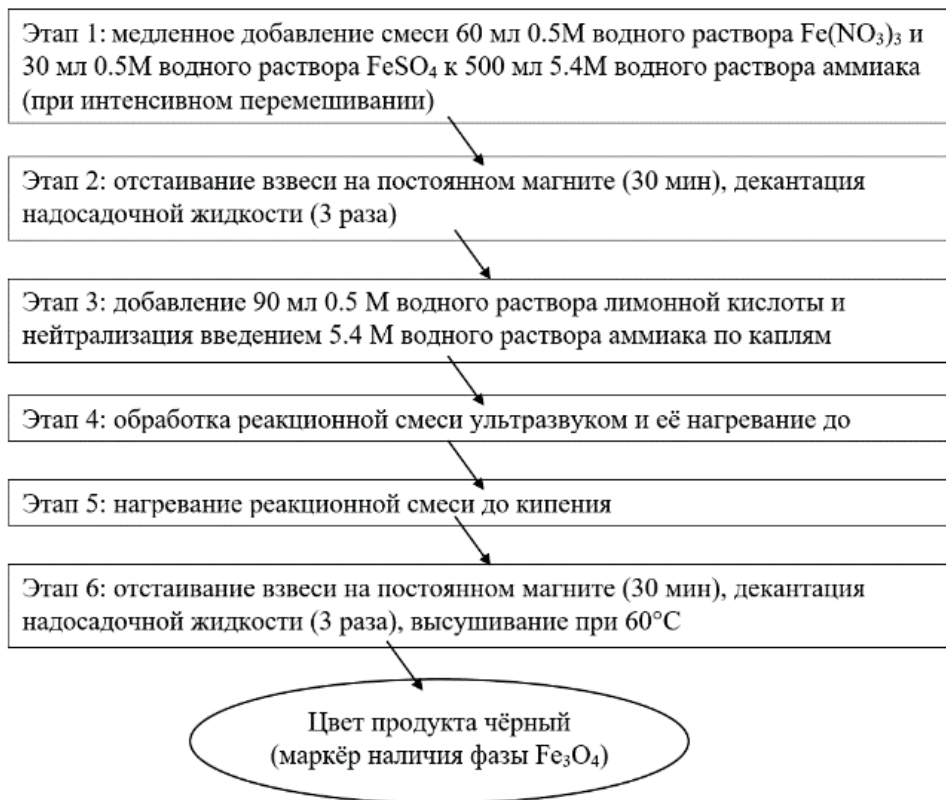


Схема 1. Синтез наномангнетита

Водные растворы солей  $\text{Fe}(\text{II},\text{III})$  по каплям, при действии ультразвука, вводили либо в водный раствор аммиака, либо в его смесь с компонентом-подложкой (рис. 1). В первом случае получался однофазный наномангнетит, во втором – его композиты. Наночастицы  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , не

наносимые на подложки, требовали стабилизации хелатирующими цитрат-ионами. Для этого в реакционную смесь вводилась лимонная кислота в количестве, эквивалентном железу (II,III), а затем под контролем рН-метра производилась нейтрализация раствором аммиака.



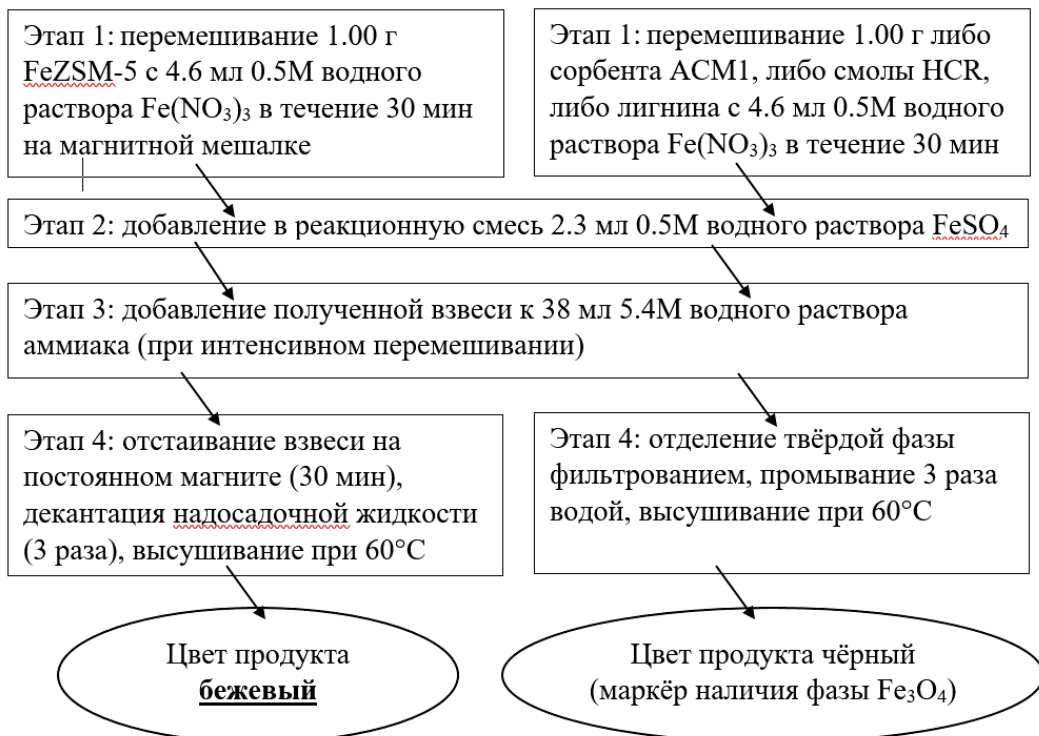


Схема 2. Синтез композитов на основе наномангнетита

Водные растворы солей Fe(II,III) по каплям, при действии ультразвука, вводили либо в водный раствор аммиака, либо в его смесь с компонентом-подложкой (рис. 1). В первом случае получался однофазный наномангнетит, во втором – его композиты. Наночастицы  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , не

наносимые на подложки, требовали стабилизации хелатирующими цитрат-ионами. Для этого в реакцию смесь вводилась лимонная кислота в количестве, эквивалентном железу, а затем под контролем рН-метра производилась нейтрализация раствором аммиака.



Рис. 1. Иллюстрация основных этапов синтеза нано- $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Воду из пруда концентрировали кипячением, подкисляли серной кислотой,

окисляли все формы железа (II,III) избытком концентрированного  $\text{H}_2\text{O}_2$ , по-

сле чего удаляли его остаток кипячением, а полученный раствор после фотометрического определения концен-

трации Fe(III) использовали для синтеза нано- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и его композитов по вышеописанным схемам.

### Электронная спектроскопия поглощения

Для записи электронных спектров поглощения полученные образцы были диспергированы в дистиллированной воде; она же использовалась для записи фона.

Наиболее характеристичное сопоставление электронных спектров поглощения приведено на рис. 2. Видно, что композит с катионообменной смолой от-

личается большей интенсивностью фотопоглощения. Отметим, что для воды из пруда данные различия сохранились, однако спектры без приставки для диффузного отражения записались плохо. В целом данные спектров удовлетворительно соответствуют найденным в литературных данным.

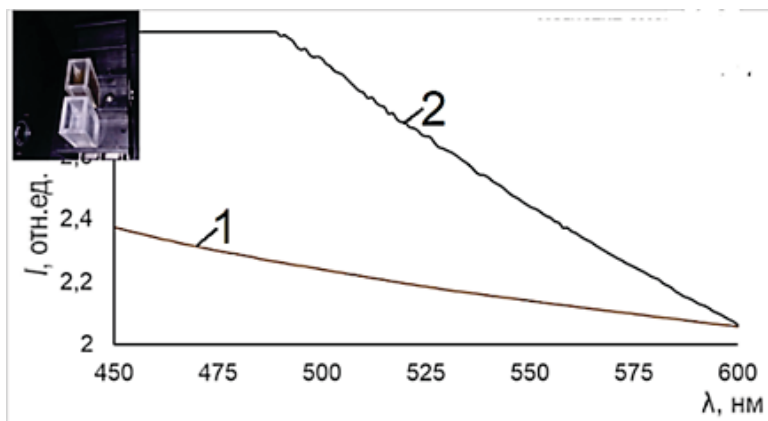


Рис. 2. Электронные спектры поглощения композитов (1 –  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{AC-1}$ , 2 –  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{HCR}$ )

### Сканирующая зондовая микроскопия

Сканирующая зондовая микроскопия была основным методом изучения морфологии полученных образцов. Рельеф поверхности отдельных образцов получен сканированием в полуконтактном режиме в НИТУ МИСиС, а основной массив данных – с помощью нашего школьного сканирующего зондового микроскопа, в контактном режиме [6].

Чуть поясним методику сканирования. Основной инструмент – кантилевер – состоит из чувствительной пружинящей балки (консоли) и заостренного до нескольких нанометров зонда. Перед началом сканирования мы задаём силу взаимодействия между зондом и сканируемой поверхностью (обычно от 19 до 55 нН). В ходе сканирования «система обратной связи» прибора поддерживает эту силу постоянной (равной заданному нами зна-

чению). Текущее отклонения зонда по вертикали (оси Z) передаётся на консоль, с которой в свою очередь считывается фотодетектором по изменению угла падения (и, соответственно, отражения) лазерного луча, освещающего консоль. Именно таким образом накапливается массив данных о рельефе поверхности, поэтому на изображениях часто есть надпись «отклонение по Z». Для получения изображения зонд вначале движется над образцом вдоль определённой линии (строчная развертка), при этом величина сигнала, пропорциональная рельефу поверхности, записывается в память компьютера. Затем зонд возвращается в исходную точку и переходит на следующую строку сканирования (кадровая развертка), и процесс повторяется вновь. Каждая строчка сканируется дважды – слева направо и обратно.

Это нужно для адекватного воссоздания асимметричных форм рельефа. Поскольку данные обоих проходов совмещаются, часто присутствует надпись «режим совмещения строк». В полуконтактном режиме зонд «обстукивает» поверхность; анимированная иллюстрация этого процесса доступна по ссылке [7].

На рис. 3 приведены изображения типичного участка поверхности плёнки из свежеприготовленного гидрозоля nano- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (сканы получены в полуконтактном режиме). Как видно, даже на нехарактерном участке с крупными агрегатами (а) перепад высот менее 100 нм. Через 5 месяцев хранения данного образца

при ст. у., как видно из сканов на рис. 4, частицы скоагулировали и перестали относиться к классу нанообъектов. Аналогичный результат мы получили, сканируя ту же плёнку в контактном режиме (рис. 5). В этом режиме зонд притягивается к поверхности благодаря тому, что приближается к ней на «равновесное» расстояние (от 0,1 до 10 нм), при котором происходит наведение, ориентирование и притяжение диполей из атомов зонда и сканируемой поверхности, но ещё не проявляется отталкивание электронных оболочек. Анимированная иллюстрация и описание этого процесса доступны по ссылке [8].

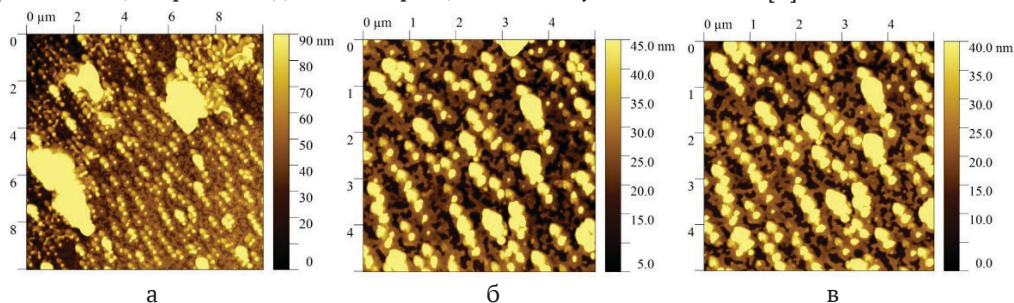


Рис. 3. Рельеф трёх участков (а – с редкими крупными агрегатами; б, в – типичные) плёнки из свежеприготовленного nano- $\text{Fe}_3\text{O}_4$

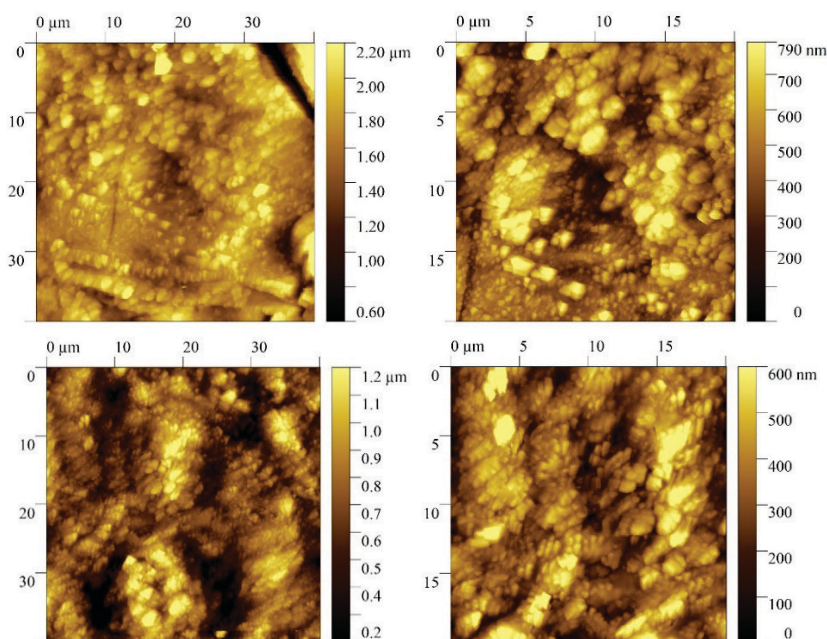


Рис. 4. Рельеф участков плёнки из водной дисперсии  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  после 5 месяцев хранения при ст. у.

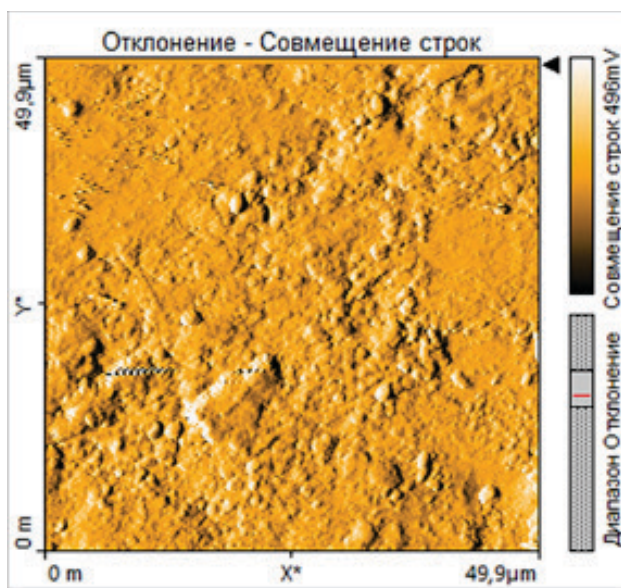


Рис. 5. Изображение участка плёнки из  $\text{nano-Fe}_3\text{O}_4$  после 5 мес. хранения при ст.у.

На рис. 6 приведены изображения типичного участка поверхности композита  $\text{nano-Fe}_3\text{O}_4/\text{AC1}$ , отожжённого при  $200^\circ\text{C}$  (здесь и далее приведены сканы, полученные в контактном режиме). После выбора поля сканирования  $1 \times 1$  мкм стало видно, что перепад высот частиц

составляет  $\sim 52$  нм, т. е. они заведомо относятся к классу нанообъектов.

Интересно отметить, что «шарики» катионообменной смолы HCR зонд микроскопа просто «возил за собой», что делало их сканирование неосуществимым.

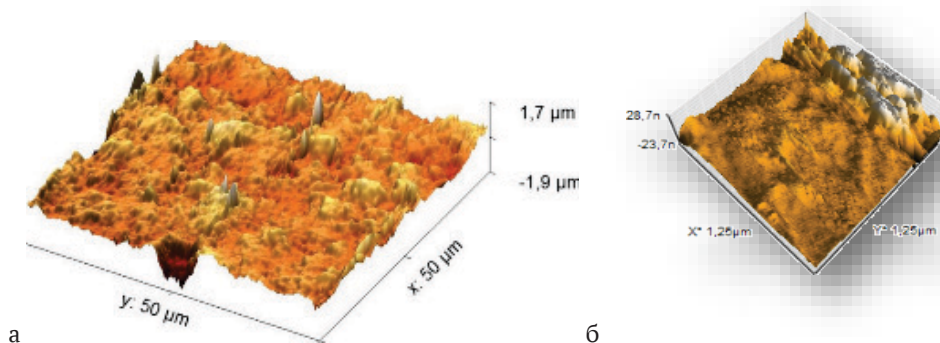


Рис. 6. 3D-рельеф типичных участков  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{AC1}$  после отжига:  $50 \times 50$  мкм (а) и  $1 \times 1$  мкм (б)

Для облегчения извлечения катализатора из очищаемой водной среды мы попробовали иммобилизовать его на нетканой салфетке, но корректных сканов сделать не удалось. Однако оказалось,

что структура медицинской маски позволяет провести сканирование (рис. 7). Стало видно, что наш катализатор на смоле, иммобилизованный на медицинской маске, также наноразмерен.

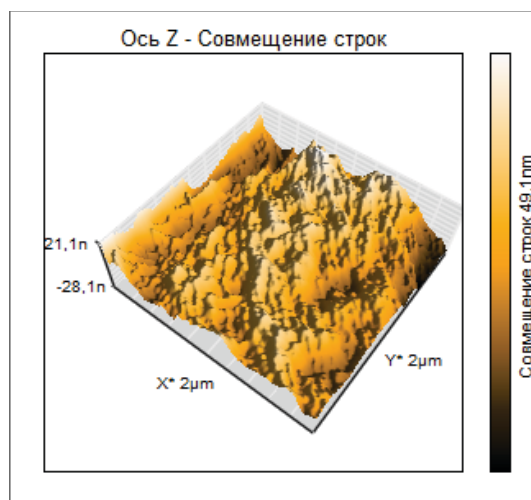


Рис. 7. 3D-изображения участков  $Fe_3O_4/HCR$  на медицинской маске

### Сканирующая электронная микроскопия

На рис. 8 приведены изображения участков  $Fe_3O_4/HCR$ , полученные методом сканирующей электронной микроскопии в НИТУ МИСиС, а на рис. 9 – результаты измерений. Размеры частиц ос-

новной фракции находятся в интервале от 260 до 800 нм, т. е. частицы сильно агрегированы. Но на снимке с максимальным увеличением (рис. 8в) всё-таки стала видна наноструктурированность образца.

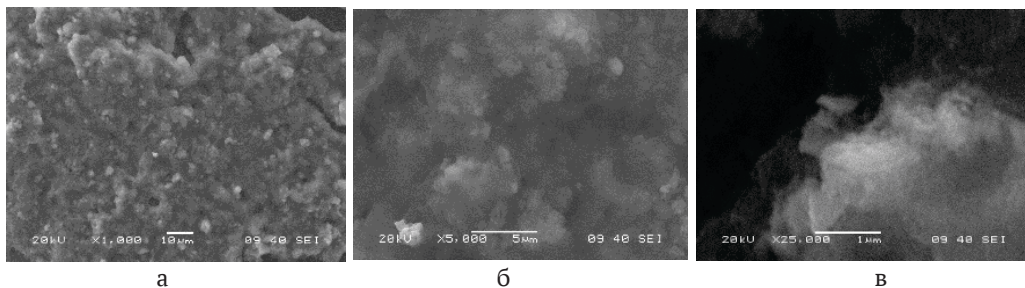


Рис. 8. Изображения участков  $Fe_3O_4/HCR$  с увеличением  $\times 1000$  (а),  $\times 5000$  (б) и  $\times 25000$  (в)

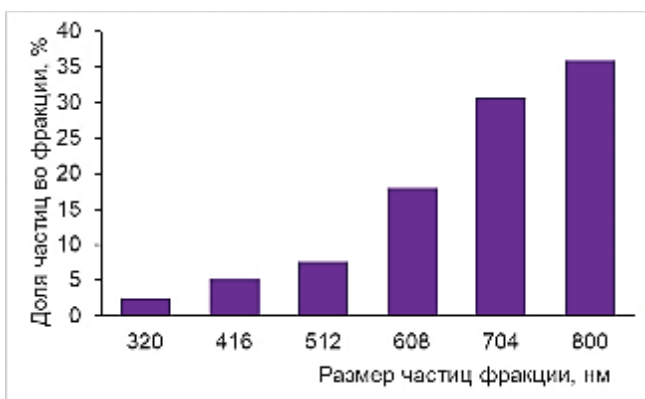


Рис. 9. Гистограмма распределения частиц по размерам

### Изучение активности катализаторов в процессе Фентона

Теперь перейдём к каталитической активности наших образцов в реакциях разложения органических соединений. Для максимально точного определения текущей остаточной концентрации субстрата мы проводили испытания активности катализаторов в реакции разложения красителя метиленового синего (который к тому же является реальным токсикантом в стоках текстильной промышленности). Поскольку погрешность любого кинетического эксперимента, увы, не меньше 10%, нам было важно, что по крайней мере, по закону Бугера-Ламберта-Бера, концентрация субстрата в каждой отбираемой пробе строго пропорциональна интенсивности максимума поглощения (при длине волны 665 нм [9, 10]) хромофора –  $\pi$ -сопряжённой системы в составе метиленового синего.

Мы попробовали проводить процессы фото-, электро- и фотоэлектро-разложения  $H_2O_2$  (рис. 10). Оказалось, что облучение светом приводит к резкому ускорению деструкции (по сравнению с «контрольным процессом», идущим в отсутствие как освещения, так и

приложения разности потенциалов), а вот электрический ток – нет. Поэтому все нижеописанные результаты относятся к процессу фоторазложения.

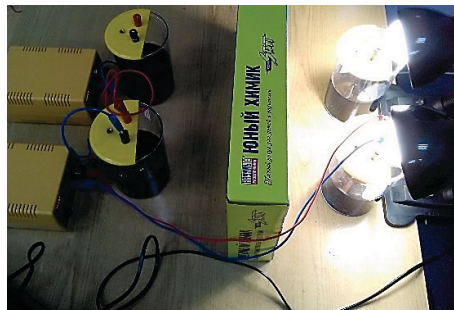


Рис. 10. Различные условия проведения процесса Фентона

Сначала мы изучили активность наномагнетита, полученного только из лабораторной реактивки, затем его композитов и, наконец, наночастиц  $Fe_xO_y$  (предположительно, также магнетита), полученных из пробы воды из пруда. На рис. 11 приведены для примера две кинетические кривые, а в табл. 1 – данные, наиболее интересные для поиска корреляций «синтез–структура–свойства».

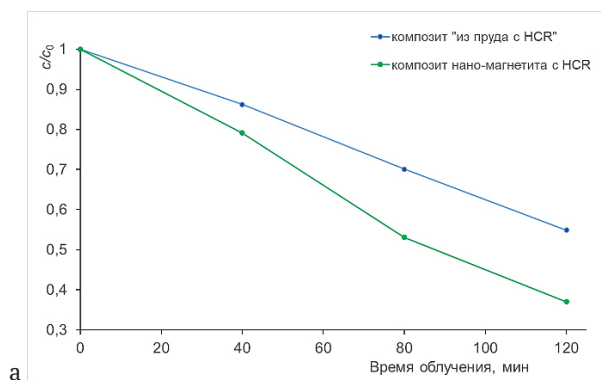


Рис. 11. Примеры кинетических кривых (а); раствор метиленового синего до и после процесса Фентона в присутствии образца  $Fe_xO_y/HCR$  (б)

По кинетике процесс деструкции метиленового синего под действием пероксо-, гидропероксо- и других радикалов в присутствии наших образцов близок к реакциям первого порядка (что логично с учётом многократного избытка  $H_2O_2$  на

протяжении всего времени деструкции). Во 2-м цикле активность образцов сохранялась более чем на 90% без регенерации; для 3-го цикла понадобилось 24-часовое выдерживание в дистиллированной воде, после него активность восстановилась.

Таблица 1. Обобщение данных для выявления корреляций «синтез– структура– свойства»

Характеристика Образец	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /AC1	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /HCR	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /лигнин	Fe <sub>x</sub> O <sub>y</sub> /HCR (из пруда)
Содержание Fe(II,III), ммоль/г	≈0,9	≈0,9	≈0,8	–
Планарные размеры частиц по данным СЗМ, нм (в скобках основная фракция)	526–873 (561–694)	602–924 (667–731)	~50 (в капле фильтрата)	170–320 (примерно)
Константа скорости деградации метиленового синего, мин <sup>-1</sup>	0,31	0,23	–	0,16
Сорбционная ёмкость по нефти (в % от массы сорбента)	–	–	≥200	–

Как видно из таблицы, наибольшей оказалась константа скорости реакции разложения красителя в присутствии наномангнетита, иммобилизованного на алюмосиликатном сорбенте AC1. Это позволяет предположить, что именно он оптимален в качестве подложки.

Образец нано-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/HCR из этой серии не удалось отфильтровать (вся твёрдая фаза оказалась в порах фильтровальной бумаги «синяя лента»). Поэтому его промывали, несколько раз центрифугируя, декантируя надосадочную жидкость, доливая дистиллированную воду и встряхивая. Перед последним встряхиванием вместо воды мы налили в пробирки раствор метиленового синего. После до-

бавления H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> краситель обесцветился (при перемешивании) всего за 4 минуты – быстрее, чем в присутствии всех описанных в литературе аналогов. Но корректное сопоставление значений константы скорости в этом случае, увы, невозможно.

Далее мы пропитали реакционной смесью с нано-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/HCR нетканую салфетку и использовали её в процессе Фентона. Она также оказалась перспективным катализатором, обеспечив обесцвечивание раствора метиленового синего за 1 ч облучения (рис. 12). При повторном применении той же салфетки обесцвечивание заняло 4 ч, но все же произошло.



Рис. 12. Пробный процесс Фентона с участием нано-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/HCR на салфетке: 0 мин облучения (а), 30 мин (б) и 60 мин (в)

### Проверка плавучести композита с лигнином

Чтобы проверить, сохранил ли наш композит с лигнином сорбционную ёмкость и плавучесть (после завершения процесса сорбции), присущие исходному лигнину, мы воспроизвели по протоколу исследование [4]. Одинаковые навески чистого лигнина и его компо-

зита с наномагнетитом одновременно погрузили в стаканы (также одинаковые) с водно-нефтяной смесью. Лигнин после поглощения нефти частично утонул, а лигнин с магнетитом в тех же условиях продолжал плавать всё время наблюдения (двое суток).

#### Самые важные итоги

На первом этапе работы мы узнали, что активность катализатора, иммобилизованного на общедоступных под-

ложках – сорбенте AC-1 и катионообменной смоле HCR, – не меньше, чем на цеолите FeZSM-5 (рис. 13).

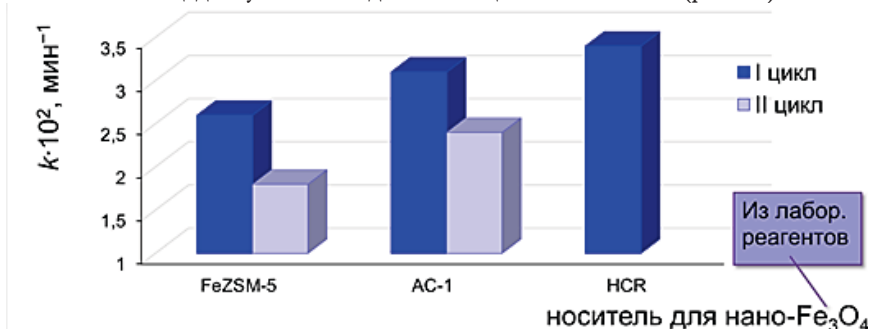


Рис. 13. Сопоставление активности катализаторов на различных носителях

На втором этапе, определившись с подложками, мы варьировали оксиды железа и убедились, что фотокаталитическая активность оксидных нано-

частиц «из пруда» сопоставима с активностью катализаторов, полученных из лабораторных реагентов (рис. 14).

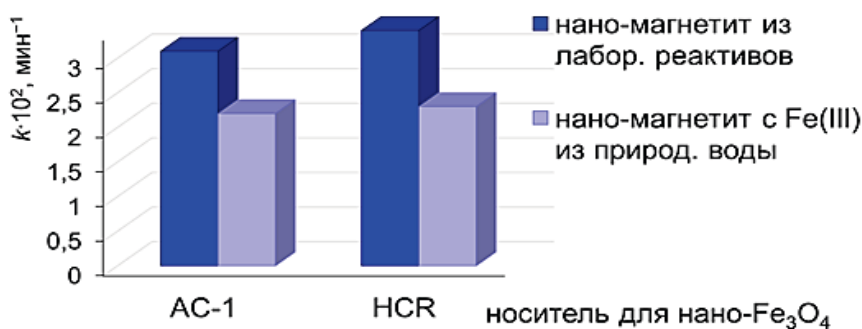


Рис. 14. Сопоставление активности катализаторов с различной предысторией

Впервые было установлено, что каталитическая активность композитов нано-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> с алюмосиликатом AC-1 в процессе деструкции метиленового синего по Фентону в 1,2 раза превосходит активность аналога с железосиликатом на основе цеолита ZSM-5 (полученного и ис-

пытанного в рамках проекта №0706-2020-0026), а активность аналога на катионите HCR – в 1,3 раза. Каталитическая активность катионита HCR, модифицированного Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> из концентрированной пробы воды из пруда, сопоставима с активностью «чисто лаборатор-



ного» аналога (уступает в 1,4 раза). У композитов нано- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  с лигнином пластичность и сорбционная способность (имеющие значение для очистки от нефти) сохранились, и появилась магнитная восприимчивость (закономерная и практически неизбежная для композита с наномагнетитом, относящегося к ферро- и ферримагнетикам).

Данный проект может быть реализован для всех водоёмов с водозабором, загрязнённых одновременно и катионами железа (II,III), и органическими токсикантами. Для этого мы запланировали и начали отрабатывать оптимизацию условий проведения очистки воды «по Фентону» в соответствии с её исходными характеристиками (прежде всего, жёсткостью, мутностью и исходным общим содержанием железа). Схема очистки может быть следующей:

1) отбор, анализ и концентрирование пробы объёмом 3–5 л;

2) перевод всех содержащихся в пробе соединений железа в «сырьё» для наномагнетита;

3) синтез композита наномагнетита со смолой HCR и его иммобилизация на тканевом фильтре (по предварительным расчётам, наномагнетита, полученного из такой пробы воды, в случае исходного превышения ПДК общего железа в 2–3 раза как раз хватит примерно на 1 м<sup>2</sup> ткани);

4) погружение фильтра в порцию воды, предназначенную для питья, с добавлением 3%-ного раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$  и её очистка под действием естественного или искусственного освещения. Безусловно, для каждого конкретного случая необходим анализ пригодности воды для питья.

### Литература

1. I. Oller, S. Malato, J. Sánchez-Pérez. Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination. A review. // *Sci. Total Environ.* – 2011, v. 409, p. 4141–4166.

2. R. Molina, I. Pariente, I. Rodríguez et al. Treatment of an agrochemical wastewater by combined coagulation and Fenton oxidation. // *Chem. Technol. Biotechnol.* – 2014, v. 89, p.1189–1196.

3. Алехина М.Б., Конькова Т.В., Ахназарова С.Л. Адсорбция органических красителей из водных растворов на цеолитах типа Y. // *Сорбционные и хроматографические процессы.* – 2016, т. 16, № 3, с. 281–290.

4. Протокол испытаний лигнина гидролизного №17-06-003 (ЦФХИ ООО НИИЦ «Недра-тест»). // <http://www.biosorb.ru/images/neft/za01.pdf>

5. Щербаков А.Б., Иванов В.К. Практикум по наноматериалам и нанотехнологиям. – М.: Изд-во Мос. ун-та, 2019. – 368 с.

6. Яминский И.В., Ахметова А.И., Мешков Г.Б. и др. Сканирующая зондовая микроскопия 2D наноразмерных структур для энергонакопителей и катализаторов. // *Наноиндустрия*, 2019, т. 12, № 2, с. 148–151.

7. <https://www.ntmdt-si.ru/resources/spm-principles/atomic-force-microscopy/amplitude-modulation-afm/intermittent-contact-mode>

8. <https://www.ntmdt-si.ru/resources/spm-principles/atomic-force-microscopy/contact-afm>

9. Иванцова Н.А., Матвеева А.А., Тимашева Н.А. Каталитическое окисление красителя метиленового синего кислородом воздуха в присутствии железной стружки и пероксида водорода. // *Экологич. химия*, 2012, т. 21, № 2, с. 81–85.

10. Скворцова Л.Н., Чухломина Л.Н., Баталова В.Н., Шерстобоева М.В. Влияние кислотности среды на формы нахождения органических красителей в водных растворах и степень их фотокаталитической деградациии в присутствии металлокерамических композитов. // *Успехи современного естествознания*, 2016, № 10, с. 52–56.



# Профильное образование

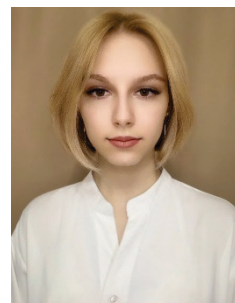


**Виноградова Роза Айратовна**

*Педагог дополнительного образования МБОУ ДО «Центр естественных наук» г. Тарко-Сале (Пуровский район ЯНАО)*

**Сидоренко Екатерина Андреевна**

*Обучающаяся объединения «Школа юного лаборанта-химика» МБОУ ДО «Центр естественных наук» г. Тарко-Сале (Пуровский район ЯНАО)*



## Эксперименты с эфирными маслами: обучение или развлечение?

В статье представлено описание методов и результатов исследования качества и свойств шести образцов эфирных масел (апельсинового, гвоздичного, масла бергамота разного происхождения); опытов по получению эфирного масла апельсина двумя способами; эксперимента по созданию духов на спиртовой основе. На их основании был составлен сборник методических материалов с описанием наиболее интересных исследований и экспериментов, с иллюстрациями в виде реальных фотографий.

Все мы связаны с химической наукой, прогресс в познании окружающего мира, новые методы его перестройки и усовершенствования. И не может быть в наши дни специалиста, который мог бы обойтись без знания химии.

*Николай Семёнов*

Самая сложная, на наш взгляд, но самая необходимая наука в современных

условиях – это химия. Мы, современные люди, не можем без неё обходиться. Она

сопровождает нас повсюду. И в том числе в нетрадиционных методах лечения, таких как ароматерапия. Сегодня общество переживает небывалый всплеск интереса к альтернативной и народной медицине. Значение эфирных масел возрастает, когда резко ухудшается психологическая атмосфера, экологическая ситуация и геомагнитная обстановка окружающего мира.

Ароматерапия играет большую роль в оздоровлении человека, и все запахи эфирных масел способствуют регуля-

тивной и адаптогенной способности, действуя на обменные процессы организма. Качество эфирных масел, используемых в лечебных целях, имеет очень большое значение. К сожалению, эфирные масла легко фальсифицировать. Такие масла, возможно, будут отвечать требованиям парфюмерного производства, но врач или любой человек, который собирается использовать масла для оздоровления, должен быть уверен в том, что он использует натуральный продукт.

### Эфирное масло. Что это такое и каким оно бывает?

Эфирные масла – продукты растительного происхождения, являющиеся многокомпонентными смесями летучих душистых веществ. В составе эфирных масел преобладают в большинстве случаев терпены и их производные, которые, как правило, представлены монотерпеноидами и сесквитерпеноидами, относящимися к различным классам органических соединений (насыщенные и полиненасыщенные, ациклические, моноциклические, бициклические и трициклические, а также кислородсодержащие). Встречаются также ароматические и алифатические соединения нетерпенового строения (спирты, фенолы, кислоты, альдегиды, сложные эфиры, сульфиды и др.).

Масло каждого растения имеет уникальный состав из-за собственной физиологии растения, среды произрастания и потенциальных микробных паразитов. Эфирные масла представляют собой смеси, которые содержат до 300 различных химических соединений (как считает Джерард Бахбауэр, профессор фармацевтики в Венском университете, который изучает и описывает химические вещества, используемые в ароматерапии).

Классификация эфирных масел очень условна, но она нужна для того, чтобы лучше ориентироваться во всём их многообразии.

Во-первых, эфирные масла различают по способу получения. Это холодный отжим – так получают масла из кожуры цитрусовых; паровая дистилляция – к этой группе относится подавляющее большинство эфирных масел; экстракция растворителями – получаемые таким образом масла называются абсолютами (от фр. «absolue») или абсолютными эфирными маслами; экстракция сжиженным  $\text{CO}_2$  – современный способ получения некоторых видов эфирных масел, популярность его растёт.

Во-вторых, существует классификация эфирных по их источнику: цветочные (роза, жасмин, лавада, нероли), травяные (лемонграсс, мята), листовые (петитгрейн, корица, ель, сосна), древесные (кедр, сандал, мирт), корневые (имбирь, куркума), плодовые (можжевельник, апельсин), семенные (кунжут, укроп).

Отдельно можно выделить жирные растительные масла. Это продукты, извлекаемые из масличного сырья и состоящие в основном (на 95–97 %) из органических соединений, сложных полных эфиров глицерина и жирных кислот. К жирным растительным маслам относятся абрикосовое, виноградное, касторовое, кедровое, конопляное, льняное, миндальное, оливковое, пальмовое, подсолнечное масло и др.

### Определение качества и свойств эфирных масел

Мы исследовали образцы трёх масел – апельсина, бергамота и гвоздики, –

приобретённые в аптеке г. Тарко-Сале (образец 1 в каждой паре) и взятые из ла-

бораторного ученического набора (образец 2). В ограниченных условиях химической лаборатории детского образовательного учреждения нам удалось осуществить несколько видов анализов качественных показателей.

#### **Органолептические показатели.**

Тест на натуральность (подлинность): на три листочка бумаги наносят по капле масла с интервалом в 20–30 минут. Каждый листок должен пахнуть по-разному. Запахи у образцов масла бергамота и масла апельсина из ученического набора сильно отличаются от аптечных, запах гвоздики очень интенсивный, мешает определить сходство и различие запахов во времени.

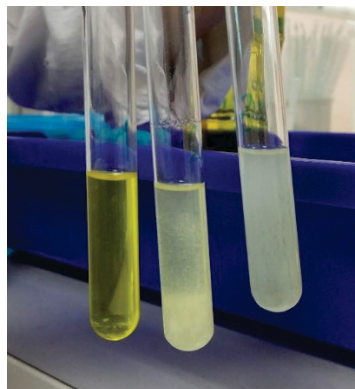
Все образцы прозрачные, аптечное масло апельсина яркого жёлтого цвета, из ученического набора светло-жёлтое, аптечное масло бергамота также более насыщенного зелёного цвета по сравнению с маслом из набора.

Тест на индивидуальную чувствительность: разводят в 1 мл жирного масла 1 каплю эфирного масла и наносят на запястье 1–2 капли смеси. Наблюдают за состоянием кожи в течение суток. В тестировании участвовало 5 респондентов. Заметно раздражение на коже респондентов от апельсинового масла (оба образца) и масла бергамота из аптеки.

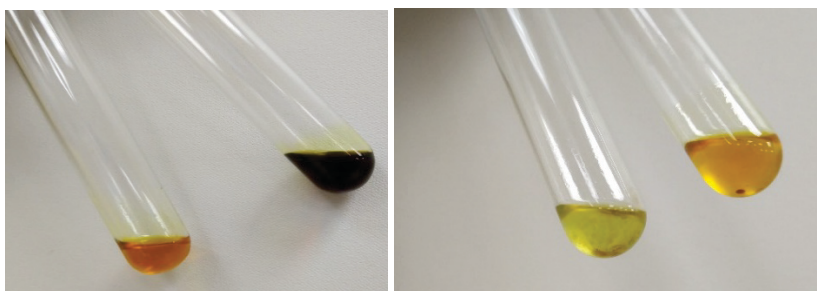
**Определение примесей.** Тест на наличие жирных и минеральных масел: в пробирку наливают 10 мл этанола и добавляют 1 мл масла, тщательно взбалтывают. В случае присутствия примесей происходит образование мути, жирных вкраплений. Наблюдаются жирные капли в обоих образцах масла апельсина

и в образце масла бергамота из лаборатории, сильное помутнение и впоследствии образование хлопьевидного осадка в аптечном масле бергамота и гвоздики. Без примесей жирных и минеральных масел оказалось только лабораторное гвоздичное масло (рис. 1).

Тест на синтетические эфиры карбоновых кислот: в пробирки наливают 10 капель масла, прибавляют 3 капли 10 % раствора NaOH в абсолютном спирте и держат в течение двух минут на кипящей водяной бане. Затем охлаждают и наблюдают результат. Выпадение осадка свидетельствует о наличии синтетических эфиров. Примеси в виде осадка обнаружены в обоих образцах бергамота и образце апельсина из ученического набора (рис. 2).



*Рис. 1. Тест на наличие жирных и минеральных масел (слева направо: масло апельсина с жирными вкраплениями, масла бергамота и гвоздики с хлопьевидными осадками, аптечные)*



*Рис. 2. Тест на наличие синтетических эфиров кислот (слева – оба образца масла апельсина, справа – оба образца масла бергамота)*

Тест на наличие воды: в пробирку помещают 1 мл эфирного масла и нагревают на водяной бане. Вода на внутренних стенках пробирки свидетельствует о ее наличии в масле. Запотевшие изнутри стенки пробирок с образцами гвоздики говорят о наличии воды.

Тест на наличие смол и растительных масел: на белый лист бумаги нано-

сят каплю масла и оставляют до полного испарения. Наличие жирных пятен говорит о наличии смол и растительных масел. Наличие жирных пятен на бумаге с образцами масла бергамота обоих марок (незначительно) и лабораторного гвоздичного масла указывает на присутствие смол и растительных масел (рис. 3).

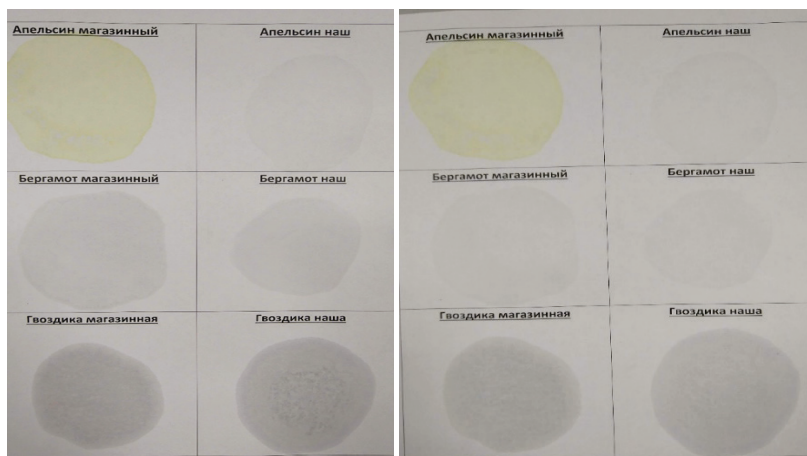


Рис. 3. Тест на наличие смол и растительных масел, начало (слева) и конец (справа) испытания

**Определение растворимости этилового спирта в масле.** Растворимость разная – от 0,6 до 3 мл (см. табл. 1).

Таблица 1. Результаты исследования качественных показателей эфирных масел (знак «+» говорит о наличии показателя, знак «-» об отсутствии)

Показатель качества	Апельсиновое масло		Гвоздичное масло		Масло бергамота	
	1	2	1	2	1	2
Подлинность (по запаху)	-	+	-	-	+	+
Индивидуальная чувствительность	+	+	-	-	+	-
Цвет	+	+	-	-	+	+
Прозрачность	+	+	+	+	+	+
Жирные и минеральные масла	+	+	+	-	+	+
Синтетические эфиры	-	+	-	-	+	+
Наличие воды	-	-	+	+	-	-
Смолы и растительные масла	+	-	+	+	+/-	+/-
Растворимость спирта (мл)	0,2	0,1	2	3	1,2	3

Итак, тест на подлинность (по запаху) не прошли образцы апельсинового масла из аптеки и гвоздичного масла (оба образца); во всех образцах масел обнаружены различные по происхождению примеси (жирные и минеральные масла, синтетические эфиры органических кислот, смолы и растительные масла); образцы гвоздичного масла содержат воду. Опре-

делены некоторые органолептические и физико-химические свойства масел: цвет, прозрачность, растворимость спирта (наибольшая – в маслах гвоздики). Проведён тест на индивидуальную чувствительность, выявлены аллергические реакции: покраснение и зуд кожи от масла апельсина; только легкий дискомфорт от аптечного масла бергамота.

### Получение эфирного масла апельсина

Мы получали эфирное масло апельсина двумя способами.

**Метод экстракции в лабораторных условиях.** Полученную с помощью тёрки массу цедры одного апельсина спрессовали в фольге с помощью скалки (рис. 4), переложили в коническую колбу и залили 20 мл этилового спирта. То же самое проделали с массой, полученной измельчением тонкосрезанной кожуры апельсина в мясорубке. В колбах смеси настаивались несколько дней. По истечении времени кожуру апельсина отделили от спиртового раствора эфирного масла с помощью центрифуги (рис. 5).



Рис. 4. Подготовка сырья для экстракции апельсинового масла спиртом

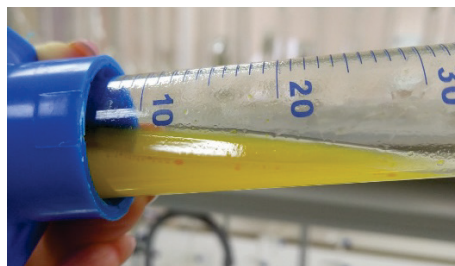


Рис. 5. Внешний вид экстракта эфирного масла в спирте

Центрифугированием удалось выделить лишь 10–12 мл спиртового экстракта эфирного масла, т. е. выход составил 50–60 %. С цедрой апельсина, измельчённой на тёрке, работать легче и удобнее, выход больше на 10 %. В экстракте, кроме эфирных масел, присутствует много других веществ, включая пигменты оранжевого цвета. Был проведен эксперимент по выпариванию экстракта на водяной бане, получена масса, по консистенции напоминающая конфитюр, маслянистая и без запаха.

**Метод перегонки с водяным паром.** Для проведения эксперимента собрали установку для перегонки (рис. 6). В колбу объёмом 250 мл налили 1/3 часть воды и нарезали кожуру одного апельсина. Перегонку проводили более 2 часов. Вместе с первыми же каплями дистиллята наблюдается выделение маслянистых бесцветных прозрачных веществ с приятным запахом апельсина. Маслянистые капли собираются на поверхности водного дистиллята и стенках приемника.



Рис. 6. Установка для перегонки с водяным паром

Получено чистое эфирное масло апельсина без примесей и красителей, но его очень мало. Для сбора большего количества масла потребуется значительно увеличить объём сырья и ёмкостей для перегонки, что приведет к увеличению продолжительности самого процесса дистилляции.

Наиболее показательный и предпочтительный метод получения чистого эфирного масла апельсина – перегонка с водяным паром. В целом использованные

методы получения эфирных масел вполне осуществимы в условиях школьной химической лаборатории и позволяют получить как эфирное масло без примесей, так и экстракт масла в этиловом спирте. Сравнительный анализ методов получения масла апельсина показывает, что у каждого из них есть свои достоинства и недостатки, продуктами являются разные формы маслосодержащих веществ, которые требуют дальнейшей переработки для получения самого эфирного масла.

### Эксперименты по получению духов в лабораторных условиях

Духи подразделяются в зависимости от основы на спиртовые и масляные, по агрегатному состоянию – на твёрдые и жидкие. Спиртовые парфюмерные средства бывают трёх типов и отличаются содержанием эфирных масел: духи (15–40%), парфюмированная вода (10–15%), туалетная вода (5–10%). После приготовления масляные духи настаивают 1–2 недели, спиртовые от 1 до 3 месяцев.

Принцип построения духов основан на небольшой хитрости: в состав смеси входят три ноты ароматов – верхняя, средняя и базовая (рис. 7). Верхняя нота, или «голова» парфюмерной композиции – первое

впечатление, те ароматы, которые ощущаются при испарении духов с поверхности кожи в течение 10–30 минут после нанесения. К ним относятся лёгкие травяные и фруктовые ароматы. Средняя нота, «сердце», основа композиции – менее лёгкие фитоэссенции<sup>1</sup>, улетучиваются в течение 8–24 часов. Базовая нота включает тяжёлые, стойкие масла. Этот аромат мы носим на коже дольше всего – он становится различим, когда компоненты «головы» и «сердца» духов испарились. Масла нижней ноты получают из пряностей, растительных смол, корней, фруктов, цветов, семян, плодов и коры деревьев.

<sup>1</sup> Фитоэссенции – натуральные эфирные масла в концентрированном виде.



Рис. 7. Пирамида распределения запахов по нотам (<http://selective-parfume.ru/blog/noty-duhov-piramida-aromatov/>)

Каждая нота натуральных духов должна содержать не более трёх эфирных масел. Рекомендуемое соотношение нот: верхняя 30 %, средняя 50 %, нижняя 20 %. Впрочем, такая точность не обязательна, поскольку при создании духов результат зависит от личных ощущений и выбранных компонентов. Для создания парфюмерной композиции большую роль играет сочетаемость запахов эфирных масел.

На основании изученных информационных материалов (см. список литературы) для приготовления духов в лаборатории был принят состав (25 % эфирных масел, 75 % этилового спирта) и следующая рецептура: 7,5 мл этилового спирта;

0,5 мл эфирного масла сандала в качестве базовой ноты духов, оно также выполняет роль фиксатора запаха; 1,0 мл масла лимона в качестве верхней ноты; 1,0 мл масла гвоздики в качестве ноты «сердца». Было приготовлено два образца духов с одинаковыми компонентами, кроме одного: в образце «духи 1» использовано аптечное гвоздичное масло, в образце «духи 2» – гвоздичное масло из ученического набора.

В ходе эксперимента в течение двух недель использования духов проводились наблюдения по нескольким показателям, результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты наблюдений за образцами духов, приготовленных в лаборатории

Наименование образца	Изменения природы запаха	Устойчивость запаха	Влияние на настроение
Духи 1	Изменение запаха заметно слабо, сильно чувствуется гвоздика.	Сильная, запах очень стойкий, через 5–6 часов остается хорошо заметным.	На настроение влияет, до состояния раздражения из-за навязчивости и устойчивости запаха.
Духи 2	Изменение запаха сильно заметно, больше всего присутствует запах гвоздики.	Средняя, стойкий запах, но через 3–4 часа еле заметен.	Мало влияет на настроение, ощущения довольно лёгкие и ненавязчивые.



Наблюдения позволили прочувствовать и проанализировать свойства парфюмерных композиций (способность запаха изменяться во времени, проявляться по-другому, воздействовать на самочувствие и эмоциональный фон, устойчивость запаха). Ноты духов были подобраны так, что сильнее и дольше всего проявлялась средняя нота, перекрывая базовую и тем самым нарушая необходимый баланс парфюмерной композиции. Чтобы достичь более гармоничного аромата, содержание масла гвоздики следует уменьшить либо заменить маслом с более мягким и умеренным запахом.

Эксперименты с эфирными маслами оказались интересными, разнообразными и неоднозначными. В наших исследованиях много внимания уделялось личным

предпочтениям и ощущениям. В итоге работа оказалась и обучением, и развлечением, и способом лучше понять себя: удалось реализовать наиболее приемлемые для лабораторного образовательного учреждения способы выделения масел из кожуры апельсина, получилось увидеть разницу в качестве масел различных видов и марок, попробовать создать свои духи и понять, в чем ошиблись.

Практическим результатом наших исследований стал сборник экспериментальных работ с иллюстрациями и теоретическими материалами. В сборнике также представлено описание всех методик анализа качества и свойств эфирных масел, не вошедших в содержание статьи. Материалы сборника доступны по ссылке <http://www.purcen.ru/about/education/>.

### Литература

1. Бикмурзин Н.И., Каракуцев С.В. Натуральные растительные и эфирные масла для дыхания, питания и здоровья. – Тверь: Сатори, 2003. – 33 с.
2. Войткевич С.А. Эфирные масла для парфюмерии и ароматерапии. – М.: Пищевая промышленность, 1999. – 70с.
3. Пекли Ф.Ф. Ароматология. – М.: Медицина, 2001. – 288 с.
4. Солдатченко С.С., Кащенко Г.Ф., Головкин В.А. Профилактика и лечение заболеваний эфирными маслами. – Симферополь: Таврида, 2005. – 223 с.
5. Бордина Г.Е., Лопина Н.П., Некрасова Е.Г., Бууева А.И., Майорова Е.И. Определение качества эфирных масел. // Химические науки, 2016, № 7, с. 104–107.
6. Эфирные масла. // Комсомольская правда. – <https://www.kp.ru/putevoditel/zdorove/ehfirnye-masla/>.

## Калейдоскоп

## Калейдоскоп

## Калейдоскоп

### Химия в творчестве предков и современников

В наше время можно найти шуточные сказки про вещества. Вот одна из них:

«Сказка о двух братьях».

Жили-были два брата – Кислород и Озон. Поспорили они как-то, кто из них важнее. Озон говорит: «Я важнее, я озоновый слой в атмосфере образую, без меня убило бы солнце своими лучами все живое». А Кислород отвечает: «Ты, братец, неправ, я важнее: без меня человек ни дышать не сможет, ни костер разжечь, ни пищу приготовить». Спорили они, спорили, никак не могли договориться.

«Давай, – говорят, – спросим у кого-нибудь». Встретили по дороге Ветер. Ветер везде летал, мудрый был. Он и говорит: «Зря вы, братцы, спорите. Важнее тот, кто больше всего друзей имеет».

Тут Кислород разгорячился и давай чудеса показывать. Соединился сначала с Водородом – попей, Ветер, водички. Соединился с азотом – газ пошел, да веселый такой! Соединился с углеродом – водичка газированной стала. Да, говорит Озон, видимо, ты важнее!»

*О. В. Недогибченко.*

Да, вот такая необычная история. Можно привести еще множество примеров упоминания химии в поэзии и в литературе в целом. Соответственно, можно сделать вывод, что во все времена химия была важной частичкой в жизни человека, и литература является прямым свидетелем этого.

*Алена А.*



# Эксперимент

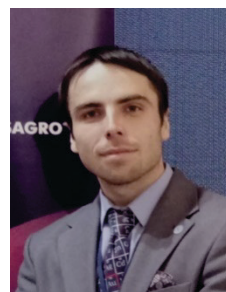
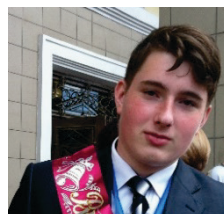


**Ковалёв Артём Алексеевич**

*Студент I курса Донецкого национального технического университета*

**Сьедин Денис Владимирович**

*Студент I курса Донецкого национального технического университета*



**Дробышев Евгений Юрьевич**

*Учитель химии МОУ «Средняя школа № 4 г. Макеевки»*

## Синтез термоиндикаторов, содержащих изотиоцианатохромат (III)-ион

Статья посвящена синтезу и изучению свойств соединений, проявляющих термоиндикаторные свойства. Получить их можно при смешивании водных растворов солей некоторых *d*-металлов, гексаизотиоцианатохромата (III) калия и органических веществ.

Термоиндикаторы – дешёвые и удобные материалы, изменяющие свою окраску при достижении определенной температуры. Разнообразие известных термоиндикаторов сегодня весьма обширно. Термоиндикаторами могут вы-

ступать как индивидуальные вещества, так и их смеси в определенных массовых пропорциях.

Высокая доступность, наличие свойств к обратимости изменения окраски, простота в использовании и вы-

сокая точность – то, что привлекает потребителей. В большинстве случаев термоиндикаторы находят применение в пищевой промышленности, медицине и фармацевтике, для хранения различных веществ и продуктов в определённом температурном режиме.

Выделяют несколько типов термоиндикаторов:

- 1) вещества, изменяющие свою окраску при определённой температуре (без плавления), которая называется критической;
- 2) вещества, изменяющие окраску при плавлении;
- 3) вещества, способные к люминесценции, яркость которой зависит от температуры.

Переход окраски термоиндикатора может быть вызван различными причинами. Так, изменение окраски может происходить благодаря изменениям в строении кристаллической решётки вещества при достижении критической температуры. Это объясняется явлением полиморфизма (полиморфизм – существованием вещества в различных кристаллических состояниях, которые отли-

чаются строением, следовательно, и физико-химическими свойствами). Например, тетраиодомеркурат (II) серебра при температуре  $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$  меняет окраску с жёлтой на коричневую вследствие изменения строения кристаллической решётки (рис. 1).

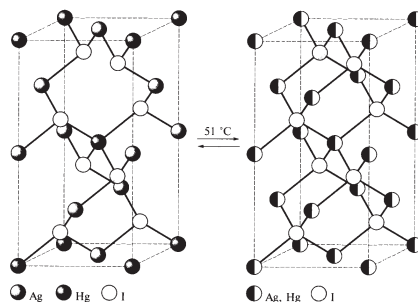


Рис. 1. Полиморфизм  $\text{Ag}_2[\text{HgI}_4]$

Изменение окраски может происходить при выделении кристаллизационной воды. Так, пентагидрат сульфата меди (II) (медный купорос), являясь координационным соединением состава  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  при нагревании претерпевает постепенное изменение окраски от сине-голубой до бесцветной (рис. 2).



Рис. 2. Пентагидрат сульфата меди (слева) и безводный сульфат меди (справа)

Существуют вещества, изменение окраски которых обусловлено протеканием химической реакции, сопровождающейся выделением газов. Например, зелёный карбонат никеля при нагревании до  $370\text{ }^{\circ}\text{C}$  превращается в чёрный оксид никеля с выделением углекислого газа (рис. 3).

Термоиндикаторами могут выступать и смеси веществ, меняющие окраску при определенной температуре в результате протекания химической реакции. Например, смесь сульфида свинца и пероксида бария чёрного цвета при достижении  $340\text{ }^{\circ}\text{C}$  становится белой благодаря протеканию реакции (рис. 4):

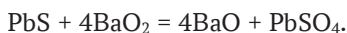




Рис. 3. Карбонат никеля (слева) и оксид никеля (справа)



Рис. 4. Сульфид (слева) и сульфат (справа) свинца

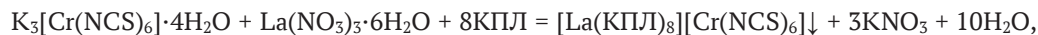
Другой способ классификации термоиндикаторов основан на способности веществ к обратимому изменению окраски. На рынке наиболее востребованы вещества, способные обратимо и многократно изменять свою окраску. К термоиндикаторам предъявляются и другие требования, наиболее важными из которых являются отсутствие токсичности, отсутствие коррозионного действия, узкий диапазон температур изменения окраски.

Вышеперечисленным требованиям часто удовлетворяют координационные соединения *d*-металлов. На сегодняшний день получено большое количество как сугубо неорганических, так и металлоорганических соединений, проявляющих термоиндикаторные свойства благодаря полиморфизму.

Пример таких соединений – термоиндикаторы, содержащие в своем

составе гексаизоцианатохромат (III)-анион  $[\text{Cr}(\text{NCS})_6]^{3-}$ . Большое количество соединений, способных к обратимому изменению окраски, синтезированы из системы  $\text{Kat}^{n+} - [\text{Cr}(\text{NCS})_6]^{3-}$  – органический лиганд –  $\text{H}_2\text{O}$ , где  $\text{Kat}^{n+}$  – катион металла. В литературе описаны соединения, содержащие такие катионы *d*-металлов, как  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ln}^{3+}$  (Ln – лантаноид) и другие. В качестве органических лигандов могут выступать диметилсульфоксид, диметилформамид, капролактан, никотиновая кислота, аминопиридины и другие соединения, содержащие в своем составе электронодонорные атомы или группы атомов.

Например, синтез одного из термоиндикаторов может быть описан следующим уравнением реакции:



где КПЛ – капролактан (рис. 5).

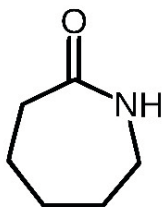


Рис. 5. Капролактан

Синтез подобных соединений довольно прост в исполнении: осадок термоиндикатора образуется при сливании

водного раствора соли *d*-металла с раствором гексаизотиоцианатохромата (III) калия с последующим добавлением органического вещества. Полученные термоиндикаторы, как правило, обладают способностью к обратимому изменению окраски в узком диапазоне температур.

Нам не удалось найти сведений о изотиоцианатохроматных комплексах с катионами трёхвалентного железа и оксокатионами. Это привлекло наше внимание к данной теме и сподвигло попробовать получить такие вещества, опираясь на методики, описанные в литературе.

### Синтез термоиндикаторов

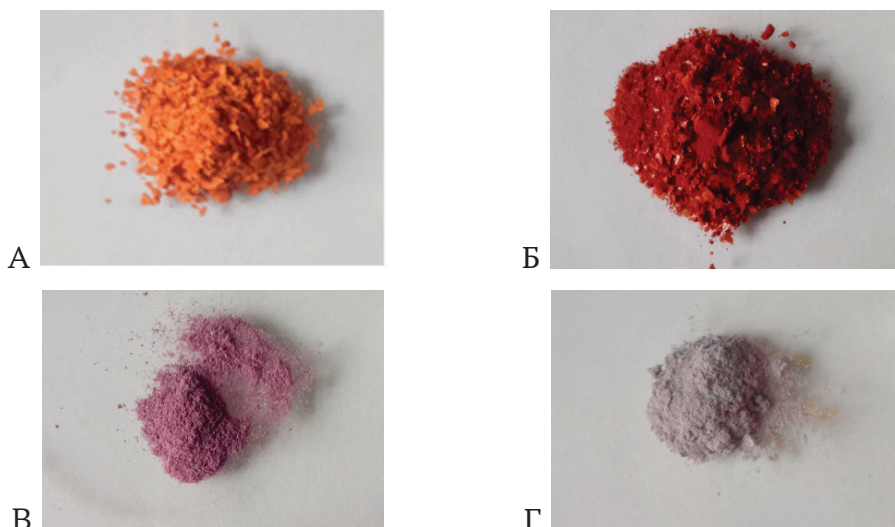
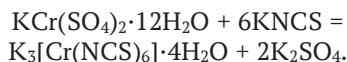


Рис. 6. Образцы синтезированных термоиндикаторов (А – термоиндикатор, содержащий катион  $Fe^{3+}$  и лиганд ДМСО; Б – термоиндикатор, содержащий катион  $Fe^{3+}$  и лиганд КПЛ; В – термоиндикатор, содержащий катион  $ZrO^{2+}$  и лиганд ДМСО; Г – термоиндикатор, содержащий катион  $ZrO^{2+}$  и лиганд КПЛ)

**Этап 1. Синтез гексаизотиоцианатохромата (III) калия.** Навески 6 г изотиоцианата калия и 5 г хромокалиевых квасцов растворяли в минимально возможном количестве воды. Растворы веществ объединяли в фарфоровой чашке. Смесь нагревали в течение двух часов на кипящей водяной бане, затем упаривали до тех пор, пока при охлаждении не образовывалась твёрдая кристаллическая масса винно-красного цвета. Гексаизотиоцианатохромат (III)

калия образуется согласно уравнению реакции:



Для отделения целевого продукта от сульфата калия винно-красные кристаллы обрабатывали этанолом, в котором сульфат калия практически не растворим, а гексаизотиоцианатохромат (III) калия растворим хорошо. Далее раствор отфильтровывали через бумаж-

ный фильтр и перекристаллизовывали из этанола.

### Этап 2. Синтез термоиндикаторов.

Сначала сливали растворы, содержащие 0,001 моль солей *d*-металлов ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZrOCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{VOCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), растворённые в 25 мл дистиллированной воды, с раствором, содержащим 0,001 моль гексаизотиоцианатохромат калия в 25 мл воды. Затем к полученным смесям приливали раствор, содержащий органическое вещество: диме-

тилсульфоксид (ДМСО) и КПЛ. Образующиеся осадки термоиндикаторов отфильтровывали через бумажные фильтры и высушивали на воздухе.

Препараты полученных веществ, содержащих в своем составе ион  $\text{Fe}^{3+}$ , окрашены в красно-коричневый цвет, а содержащие ион  $\text{ZrO}^{2+}$  – в сиренево-синий (рис. 6). Препараты, содержащие катионы  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{VO}^{2+}$ , получить не удалось: при сливании растворов осадки не образовывались.

### Изучение физических свойств термоиндикаторов

Для определения растворимости синтезированных термоиндикаторов помещали их навески по 0,01 г в пробирки и приливали по 2 мл следующих растворителей: вода, этанол, ацетон, бутилаце-

тат, ДМСО, бензол, тетрахлорметан. Смеси перемешивали и фиксировали растворение вещества визуально. опыты проводили при 25 °С, результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1. Растворимость синтезированных веществ (знак «-» – вещество не растворяется, знак «+» – растворяется)

	$\text{Fe}^{3+}$ – $[\text{Cr}(\text{NCS})_6]^{3-}$ – ДМСО – $\text{H}_2\text{O}$	$\text{Fe}^{3+}$ – $[\text{Cr}(\text{NCS})_6]^{3-}$ – КПЛ – $\text{H}_2\text{O}$	$\text{ZrO}^{2+}$ – $[\text{Cr}(\text{NCS})_6]^{3-}$ – ДМСО – $\text{H}_2\text{O}$	$\text{ZrO}^{2+}$ – $[\text{Cr}(\text{NCS})_6]^{3-}$ – КПЛ – $\text{H}_2\text{O}$
Вода	-	-	-	-
Этанол	-	+	-	-
Ацетон	-	+	+	+
ДМСО	-	+	+	+
Бутилацетат	-	+	+	+
Бензол	-	-	-	-
Тетрахлорметан	-	-	-	-

При растворении веществ, содержащих катион  $\text{Fe}^{3+}$  и КПЛ, органические растворители приобретают бледно-оранжевую окраску. При нагревании полученных растворов окраска меняется на тёмно-красную, что вызывает интерес к дальнейшим исследованиям полученных соединений.

Определение температур изменения окраски и плавления производили следу-

ющим образом: небольшое количество препарата термоиндикатора помещали в стеклянный капилляр и погружали в прибор для определения температуры плавления. Момент изменения окраски и образования первой жидкой капли расплава вещества фиксировали при помощи лупы, отмечали значения соответствующих температур (табл. 2).

Таблица 2. Температуры изменения окраски и плавления синтезированных веществ

Система, из которой синтезирован термоиндикатор	$t$ изменения окраски, °С	$t$ плавления, °С
$\text{Fe}^{3+}$ – $[\text{Cr}(\text{NCS})_6]^{3-}$ – ДМСО – $\text{H}_2\text{O}$	90–91 (обратимое изменение окраски с коричневой на чёрную)	94–95
$\text{Fe}^{3+}$ – $[\text{Cr}(\text{NCS})_6]^{3-}$ – КПЛ – $\text{H}_2\text{O}$	59–60 (обратимое изменение окраски с коричневой на чёрную)	69–70

Система, из которой синтезирован термоиндикатор	t изменения окраски, °С	t плавления, °С
$ZrO^{2+} - [Cr(NCS)_6]^{3-} - DMCO - H_2O$	84–85 (обратимое изменение окраски с сине-фиолетовой на тёмно-зелёную)	90–91
$ZrO^{2+} - [Cr(NCS)_6]^{3-} - КПЛ - H_2O$	76–77 (обратимое изменение окраски с сине-фиолетовой на тёмно-зелёную)	84–85

Поэтапное изменение окраски термоиндикатора показано на примере ве-

щества, полученного из системы  $ZrO^{2+} - [Cr(NCS)_6]^{3-} - DMCO - H_2O$ , на рис. 7.

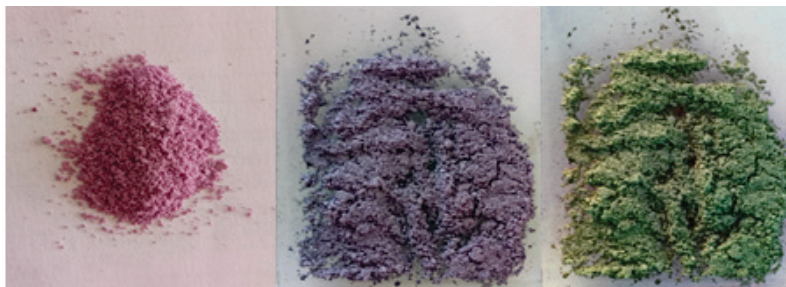


Рис. 7. Изменение окраски термоиндикатора, синтезированного из системы  $ZrO^{2+} - [Cr(NCS)_6]^{3-} - DMCO - H_2O$ , при нагревании

### ИК-спектроскопия термоиндикаторов

ИК-спектроскопию термоиндикаторов производили твердофазным способом в таблетках КВг.

ИК-спектры всех полученных веществ содержат широкую полосу поглощения в области  $2000-2100\text{ см}^{-1}$ , что соответствует валентным асимметрическим колебаниям группы атомов  $N=C=S$ , и полосы в области  $900-950\text{ см}^{-1}$ , отвечающих валентным симметрическим колебаниям этой же группы атомов. Под валентными колебаниями понимают колебания атомов вдоль химической связи. Симметрические колебания происходят в том случае, если укорачивание и удлинение всех связей происходит одновременно. Ассиметрические колебания происходят при укорачивании и удлинении связей поочередно. В области  $480-490\text{ см}^{-1}$  в виде полосы слабой интенсивности проявляются деформационные колебания группы атомов  $N=C=S$ , которые связаны с изменением величин валентных углов. Это служит доказательством координации роданидных групп с ато-

мом хрома через атом азота, проявляющим наибольшие донорные свойства.

ИК-спектры образцов, содержащих в качестве органического лиганда ДМСО, содержат интенсивные полосы поглощения в области  $1000-980\text{ см}^{-1}$ , что соответствует валентным колебаниям группы атомов  $S=O$ . Валентные колебания группы атомов  $C-S$  проявляются в области  $730-700\text{ см}^{-1}$  в виде слабой полосы. Согласно литературным данным, связывание молекул ДМСО с атомом металла-комплексообразователя через кислород происходит в том случае, если наблюдается понижение частоты валентных колебаний группы атомов  $S=O$  по сравнению с колебаниями для «свободного» ДМСО ( $1055\text{ см}^{-1}$ ) и повышение частоты валентных колебаний группы атомов  $C-S$  (для «свободного» –  $695\text{ см}^{-1}$ ), что и наблюдается в полученных ИК-спектрах. Валентные колебания групп атомов  $C-H$ , входящих в состав ДМСО, отражаются в виде слабых полос поглощения в области  $2890-2980\text{ см}^{-1}$ .

ИК-спектры образцов, содержащие в качестве органического лиганда КПЛ, содержат интенсивную широкую полосу поглощения в области  $1630\text{--}1625\text{ см}^{-1}$ , что соответствует валентным колебаниям группы атомов  $\text{C}=\text{O}$ . Во всех образцах наблюдается понижение частоты валентных колебаний группы атомов  $\text{C}=\text{O}$  по сравнению с валентными колебаниями этой группы атомов для «свободного» КПЛ ( $1652\text{ см}^{-1}$ ). Это может служить подтверждением того, что молекулы КПЛ связаны с атомом комплексообразователя через атом кислорода карбонильной группы. В области  $3300\text{--}3360\text{ см}^{-1}$  присутствует широкая полоса, соответствующая валентным колебаниям группы атомов  $\text{N}\text{--}\text{H}$ . В изучаемых спектрах также проявляются слабые полосы поглощения при  $2830\text{--}2910\text{ см}^{-1}$ , что отвечает колебаниям групп атомов  $\text{C}\text{--}\text{H}$  в составе КПЛ.

Для веществ, содержащих в своем составе атомы циркония, в полученных ИК-спектрах наблюдается широкая полоса поглощения в области  $3300\text{--}3450\text{ см}^{-1}$ . Она может соответствовать валентным колебаниям групп атомов  $\text{O}\text{--}\text{H}$ , которые содержатся в структуре катиона цирконила  $[\text{Zr}(\text{H}_2\text{O})_{16}(\text{OH})_8]^{8+}$ . В нём четыре атома циркония объединены в цикл посредством четырех пар  $\text{OH}$ -мостиков и каждый атом циркония окружен восьмью атомами кислорода.

В ИК-спектрах веществ, содержащих в своем составе атомы железа, настолько интенсивная полоса проявляется лишь в соединениях с КПЛ и соответствует валентным колебаниям группы  $\text{N}\text{--}\text{H}$ .

Таким образом, нам удалось синтезировать и изучить четыре новых соединения, проявляющие термоиндикаторные свойства.

### Литература

1. Абрамович Б.Г. Термоиндикаторы и их применение. – М.: Энергия, 1972. – 224 с.
2. Ворнаков А.Л., Черкасова Т.Г. Синтез и физико-химические исследования твердых продуктов взаимодействия гексаизотиоцианатохромата (III) калия (и соли Рейнеке) с 4-аминоантипирином и солями кобальта, никеля, марганца и железа (II). // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2015, № 2, с. 94–100.
3. Иоффе Б.В., Костиков Р.Р., Разин В.В. Физические методы определения строения органических соединений. Учебн. пособие для химических вузов. – М.: Высш. шк., 1984. – 336 с.
4. Мезенцев К.В., Черкасова Е.В., Черкасова Т.Г., Татаринова Э.С. Синтез и исследование термочувствительных комплексов. // Ползуновский вестник, 2008, № 3, с. 50–51.
5. Мюллер У. Структурная неорганическая химия. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. – 352 с.
6. Продан Д.Н., Черкасова Е.В. Получение и ИК-спектроскопическое исследование двойных комплексных солей лантаноидов (III) с тиоцианатным анионом хрома (III). // Успехи в химии и химической технологии, 2011, т. XXV, № 2 (118), с. 55–59.
7. Руководство по неорганическому синтезу: В 6 т. Т. 5. / ред. Г. Брауэр. – М.: Мир, 1985. – 360 с.
8. Черкасова Е.В., Горюнова И.П., Исакова И.В. и др. Получение и сравнительная характеристика комплексных соединений на основе роданидных анионов хрома (III). // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2016, № 1, с. 160–163.
9. Уткина Т.В., Черкасова Т.Г., Трясунов Б.Г. Синтез и исследование изотиоцианатных комплексов хрома (III) с диметилсульфоксидом. // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2004, № 1, с. 73–74.





## Калейдоскоп



### **Табачных Анастасия Васильевна**

*Окончила Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова по специальности «Химия с дополнительной специальностью Биология». В настоящее время обучается по специальности «Фармация» в фармацевтическом колледже Красноярского государственного медицинского университета им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого Минздрава России.*

### **Журавлева Галина Николаевна**

*Преподаватель в фармацевтическом колледже КрасГМУ. Окончила КрасГМУ по специальности «Лечебное дело».*



## Кроссворд «Инфекционные болезни»

Кроссворд «Инфекционные болезни» позволяет обобщить, систематизировать, углубить сведения о многообразии инфекционных заболеваний, механизме их возникновения и их профилактике и лечении. Может использоваться как на уроках биологии, так и при проведении тематических мероприятий – предметных недель, викторин, творческих вечеров и т.д.

1. Острое инфекционное заболевание, характеризующееся воспалением лимфоидных образований глотки.

2. Инфекционное заболевание, вызываемое гонококком и передаваемое половым путём.

3. Инфекционное заболевание, вызываемое бактерией *Corynebacterium diphtheriae*.

4. Неспецифическое инфекционное заболевание почек, вызываемое различными бактериями.

5. Введение в организм человека медицинских иммунобиологических препаратов для создания специфической невосприимчивости к инфекционным болезням.

6. Воспалительный процесс в области вещества головного мозга.



7. Группа трансмиссивных инфекционных заболеваний, передаваемых человеку при укусах самками комаров рода *Anopheles*.

8. Детский спинномозговой паралич.

9. Острая кишечная инфекция, характеризующаяся поражением тонкого кишечника.

10. Противовирусный препарат для лечения гриппа.

11. Группа инфекций, свойственных только человеку.

12. Кишечная инфекция, характеризующаяся воспалением толстого кишечника с образованием язв.

13. Мальтийская лихорадка.

14. Респираторный вирус, поражающий нос.

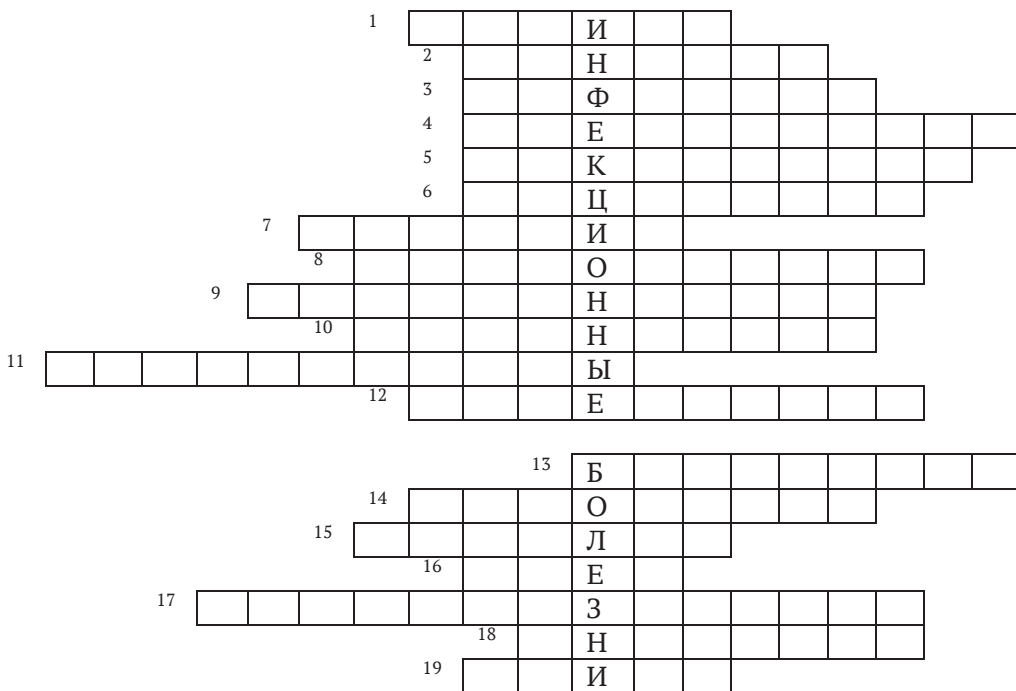
15. Хроническое инфекционное заболевание, вызываемое бледной трепонемой и передаваемое преимущественно половым путём.

16. Основной переносчик и долговременный хранитель вирусного энцефалита в природных очагах.

17. Инфекции, которыми болеют люди и животные.

18. Процесс проникновения микроорганизма в макроорганизм и размножения в нём.

19. Острое вирусное заболевание, вызываемое фильтрующимися вирусами (типов А, В, С), выделяющееся среди ОРВИ у людей из-за возможного тяжёлого течения болезни.



Ответы: 1. Ангина. 2. Гонорея. 3. Дифтерия. 4. Пилелонейрит. 5. Вакцинация. 6. Энцефалит. 7. Малярия. 8. Полиомиелит. 9. Сальмонеллёз. 10. Ремантадин. 11. Антропонозы. 12. Дизентерия. 13. Бруцеллёз. 14. Риновирус. 15. Сифилис. 16. Клещ. 17. Антропозоонозы. 18. Инфекция. 19. Грипп.

## 1. По квитанции через Сбербанк

### Электронная подписка

Стоимость любого номера в pdf-формате составляет 50 рублей  
Вся информация на сайтах

[edu-potential.ru](http://edu-potential.ru)  
[www.karand.ru](http://www.karand.ru)

## 2. В редакции журнала

115184, г. Москва, Климентовский пер., д. 1/1,  
(м. «Третьяковская», «Новокузнецкая»), тел. (495) 787-24-95.

### Где можно приобрести журнал?

1. В интернет-магазине Карандаш ([www.karand.ru](http://www.karand.ru));
2. На сайте журнала ([edu-potential.ru](http://edu-potential.ru))

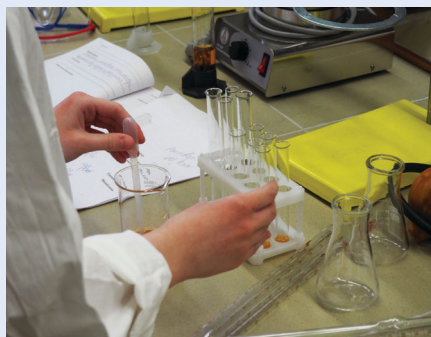
### Реквизиты

000 «Азбука – 2000»
ИНН 7726276058/КПП 772601001
БИК 044525225
Расч. счёт – 40702810338330102512
Корр. счёт – 30101810400000000225
Московский банк ПАО «Сбербанк России»

Теперь вы можете читать журнал со своего планшета!



## Фото с IV Проектной химической олимпиады



## В следующем номере:

- ✦ За грибами... в весенний лес! *Синяков Т.А., Мишулин А.А.*
- ✦ Люминесценция лантанидов: связь с температурой. *Алексеева М.М.*
- ✦ Определение пигмента, образующегося в белых хризантемах. *Хаванова А.А.*
- ✦ Химия на Интернет-олимпиаде СУНЦ МГУ 2020-21 для 9-10 классов.  
*Загорский В.В., Морозова Н.И., Сигеев А.С.*

### ПРОГРАММА СПОНСОРСКОЙ ПОМОЩИ ЖУРНАЛУ «ПОТЕНЦИАЛ. ХИМИЯ. БИОЛОГИЯ. МЕДИЦИНА»

Журнал для старшеклассников и учителей «Потенциал. Химия. Биология. Медицина» выпускается на средства выпускников МГУ им. М.В. Ломоносова. В журнале действует Программа спонсорской помощи. Программа допускает поступление финансовой, материальной, информационной и иной помощи журналу. Координирует работу Программы Спонсорский совет, являющийся структурным подразделением журнала. Спонсорами могут быть физические или юридические лица. Спонсорская помощь осуществляется одноразово или на постоянной основе. В последнем случае спонсор входит в Спонсорский совет журнала. Имена спонсоров текущего номера журнала печатаются (при согласии спонсора) в этом же номере. По вопросам оказания спонсорской помощи обращаться в редакцию.

Тел. (495) 787-24-94, (495) 787-24-95  
E-mail: [potential@potential.org.ru](mailto:potential@potential.org.ru)

### Наши спонсоры



## АЗБУКА

Полиграфическая компания  
Тел: (985) 768-25-48,  
(495) 787-24-95  
[www.azbukaprint.ru](http://www.azbukaprint.ru)



[www.internat.msu.ru](http://www.internat.msu.ru)