

12+

ISSN 2221-2353

Химия Биология Медицина

ПОТЕНЦИАЛ

Журнал для старшеклассников и учителей

Sapere Aude – Дерзай знать! Октябрь-Декабрь 2019 №4 (74)

Колонка редактора

Химия

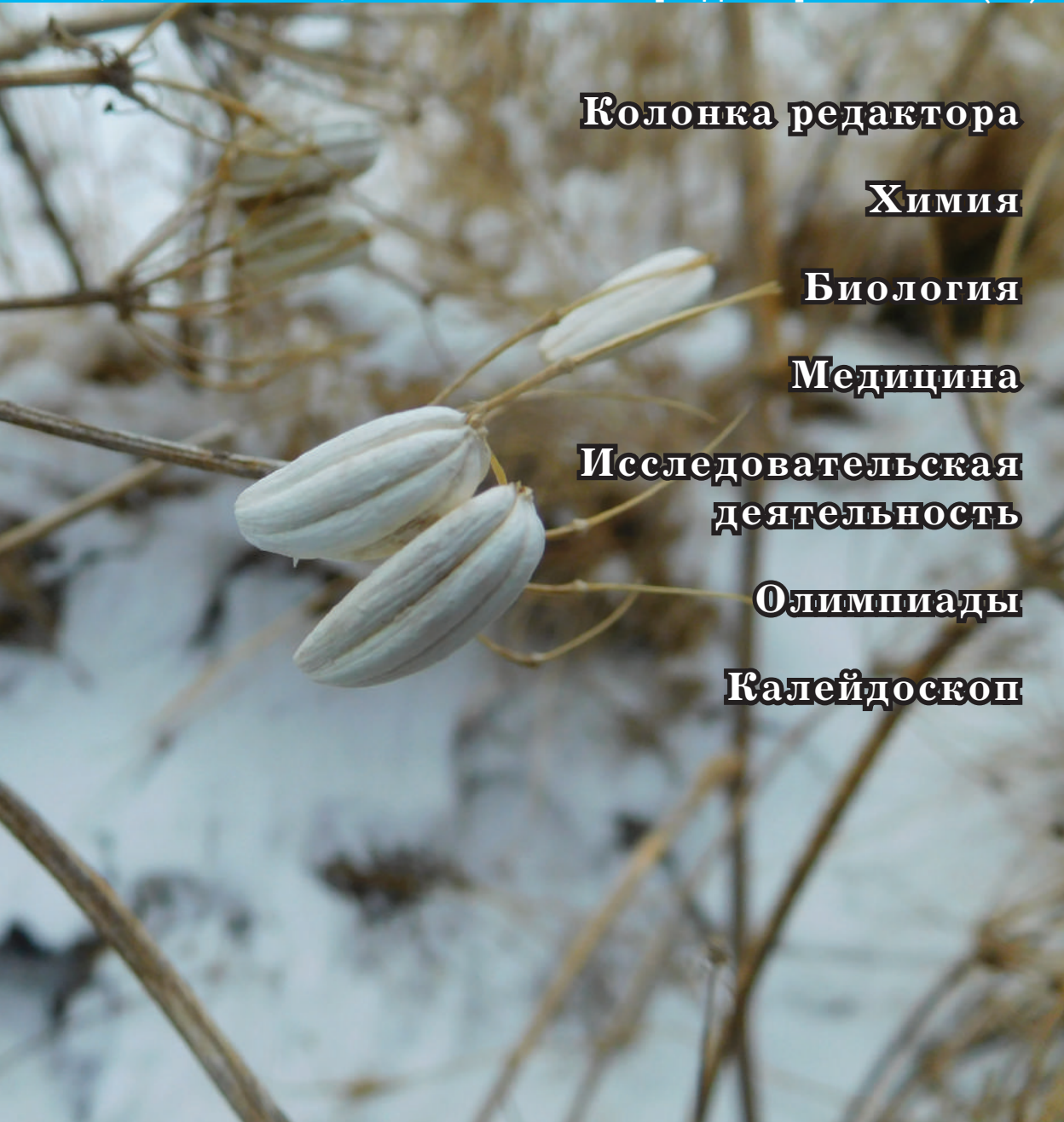
Биология

Медицина

**Исследовательская
деятельность**

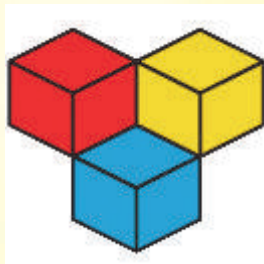
Олимпиады

Калейдоскоп



В конце ноября 2019 г. стартует

ИНТЕРНЕТ-ОЛИМПИАДА СУНЦ МГУ



Олимпиада имеет естественнонаучную направленность и проводится по пяти традиционным предметам: **математике, физике, химии, биологии, информатике**. В олимпиаде может бесплатно участвовать любой школьник **с 7 по 10 класс**. Участие более младших школьников допускается, но никаких скидок на возраст для них нет (если, например, 5-классник выступает за 7 класс, то и критерии проверки для него такие же, как для 7-классников).

Олимпиада проводится в **три тура**. В первом и втором турах проверка работ участников проводится в автоматическом режиме по ответам. **Первый тур** – тренировочный, основная его задача – дать участникам олимпиады освоиться с тестирующей системой. Если кто-то пропустил первый тур – он может начать сразу со второго. **Второй тур** является отборочным. К участию во втором туре допускаются все желающие. По его итогам определяется список школьников, допущенных на заключительный (заочный) тур.

Третий тур олимпиады проводится по специальному графику (см. 3-ю стр. обложки) в каждом классе и по каждому предмету в отдельности. Каждый участник заключительного (заочного) тура представляет подробные решения предложенных задач отдельно по каждому предмету, загружая их на сайт. Жюри олимпиады проверяет работы этого тура в ручном режиме. Именно по результатам заключительного (заочного) тура определяются **победители и призеры**.

Победители и призеры олимпиады, набравшие по трем предметам сумму баллов выше установленной администрацией Центра дистанционного обучения СУНЦ МГУ, приглашаются в [Заочную школу СУНЦ МГУ](#) без прохождения дополнительного отбора. Призеры олимпиады не менее чем по двум предметам получают льготу по оплате Дистанционных курсов СУНЦ МГУ.

Все подробности вы можете посмотреть на странице Интернет-олимпиады СУНЦ МГУ <http://internat.msu.ru/distantcionnoe-obuchenie/internet-olympiad/> и по многочисленным ссылкам с нее. Если у вас останутся вопросы, их можно задать:

- 1) В разделе «обратная связь» [Личного кабинета СУНЦ МГУ](#);
- 2) По электронной почте cdo@internat.msu.ru;
- 3) По телефону +7 (968) 616-29-32.

ПОТЕНЦИАЛ

Химия Биология Медицина

Содержание Октябрь-Декабрь № 4 (74) 2019

Колонка редактора

- 2** 2019 – год периодической таблицы *Н.И. Морозова*

Химия

- 3** Окисление древесины в ванилин. *О.А. Бородина, Ю.В. Дубинин*

Биология

- 9** Регуляция циркадных ритмов в клетках живых организмов. *С.Ю. Курчашова, Т.В. Гасанова*
- 17** Интернет-олимпиада СУНЦ МГУ – 2019. Задачи по биологии второго тура (9-10 классы). *С.М. Глаголев*

Медицина

- 30** Физико-химическое исследование биоминеральных патологических образований человека. *Е.В. Кандыков*

Олимпиады

- 34** Задания LXXV Московской городской олимпиады школьников по химии 2019 г. (9 класс).
А.Я. Корнейчук, Е.А. Трубицын

Исследовательская деятельность

- 45** Зачем и как анализировать почву? Можно ли настроить плодородие? Часть 2. *А.А. Никонорова, А.С. Сигеев*

Профильное образование

- 56** Решения задач вступительных экзаменов по химии в СУНЦ МГУ в 2019 году. *В.В. Загорский*

Полевая практика

- 59** Дневник участника Комплексной образовательной школьной экспедиции Армения-2019. Часть 2.
В.М. Лямина, У.О. Асташкина, Е.И. Шипигузова, Р.С. Винников, А.В. Токарева

Эксперимент

- 67** Водород: горение или взрыв? *Н.И. Морозова*

Хочу статью

- 74** Назад, в будущее: фотокаталитический метод получения водорода. *Д.В. Марковская*

Редколлегия

Главный редактор М.Г. Сергеева
Научный редактор Н.И. Морозова
Ответственный секретарь
А.В. Буланов
Шеф-редактор Г.А. Четин

Техническая редакция

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

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
Сайт: www.potential.org.ru

Подписано в печать 27.12.2019

Усл. печ. л. 5

Формат 70х100 1/16

Заказ № 528

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

2019 – год периодической таблицы

2019 год прошел под знаком таблицы Менделеева. 150 лет миновало с ее создания и открытия периодического закона в 1861 г.!

Глядя на современную таблицу, мы понимаем, какой огромный путь она прошла с момента рождения. В рукописи Дмитрия Ивановича в шесть вертикальных колонок расположены всего 63 элемента, известных к тому времени. Привычная нам таблица не только повернута на 90 градусов. В ней появились совсем новые ряды ячеек: группа инертных газов, семейства лантаноидов и актиноидов и даже целый дополнительный период – седьмой. Претерпела изменения и формулировка периодического закона. Теперь мы знаем истинную причину периодического изменения свойств химических элементов: они зависят от строения электронной оболочки атома, а оно, в свою очередь – от заряда ядра.

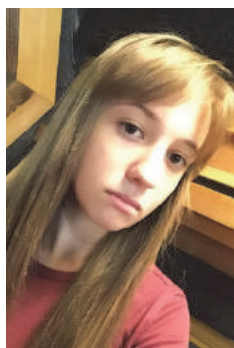
Удивительно, что, располагая столь ограниченной «базой данных» и находясь в рамках теоретических представлений того времени, Д.И. Менделеев не просто подметил закономерность изменения свойств элементов и выразил их корреляцию с

атомными весами. На основании своего закона он исправил неверные атомные веса некоторых элементов, предсказал существование более десятка еще не открытых элементов и довольно точно описал, какими свойствами они и их соединения должны обладать. Уже в конце 1880-х гг. периодический закон был всемирно признан. Все последующие корректировки и дополнения к периодической таблице лишь укрепили его.

В конце ноября в Москве прошла церемония завершения года периодической таблицы, совмещенная с 90-летним юбилеем химического факультета МГУ. Гостей встречала грандиозная выставка необычных периодических таблиц. Например, в одной из них в каждой ячейке находился настоящий (разумеется, если это было возможно!) образец простого вещества данного химического элемента.

Год заканчивается, но мы уверены, что у периодической таблицы многое еще впереди. Если раньше ученые считали теоретическим пределом заряд ядра 100, то сейчас ограничения сняты. На сегодня в таблице 118 элементов. Сколько их будет через десять лет?

ХИМИЯ



Бородина Ольга Алексеевна

Ученица 10 кл. МБОУ «Гимназия №3» в Академгородке,
Новосибирск

Дубинин Юрий Владимирович

Научный сотрудник Федерального государственного
бюджетного учреждения науки «Федеральный
исследовательский центр Институт катализа им.
Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской
академии наук»

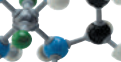


Окисление древесины в ванилин

Откуда берется ванилин? Этого важного душистого вещества в природе немного, и химики давно перехватили инициативу в обеспечении им кондитеров и парфюмеров. А современные реалии предоставляют возможность убить одним выстрелом двух зайцев – ликвидировать древесные отходы и получить необходимый продукт. Читайте о переработке древесины в ванилин и попробуйте сами ее провести.

Развитие промышленности и значительное ухудшение состояния окружающей среды требуют разработки и внедрения безопасных и малоотходных технологий. Лигнин – природный полимер, содержащийся наряду с целлюлозой и гемицеллюлозами в растительных тканях, яв-

ляется основным отходом их переработки. Лигнинсодержащие отходы (некондиционная древесина, опилки, солома и т.д.) в должной степени не утилизируются. В то же время, обладая фенольной природой, они могут служить удобными источниками для получения ценных ароматиче-



ских альдегидов – ванилина, сиреневого альдегида и пара-гидроксибензальдегида.

Метоксилированные гидроксибензальдегиды относятся к высокотехнологичным и дорогим продуктам химической переработки древесины и недревесного сырья. Поэтому исследование и разработка новых эффективных методов получения ванилина, сиреневого альдегида и па-

ра-гидроксибензальдегида из растительной биомассы является весьма актуальной задачей, требующей своего решения. Кроме того, ежегодно образуется огромное количество отходов деревоперерабатывающей промышленности и лесного хозяйства. Вопрос о переработке образующихся материалов с получением ценных химических продуктов всё ещё остаётся открытым.

Ванилин

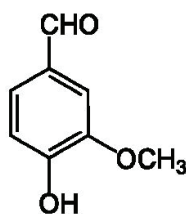


Рис. 1. Ванилин

С химической точки зрения ванилин (рис. 1) представляет собой ароматический альдегид, в структуру которого включены фенольная и эфирная функциональные группы. Выглядит он как бесцветные игольчатые кристаллы с приятным запахом. В природе содержится в плодах в виде гликозида и является основным компонентом экстракта ванили (рис. 2).

Ваниль культивировалась как приправа доколумбийскими аборигенами; европейцы узнали о ней только в 1520 году¹. Впервые ванилин был выделен в относительно чистом виде Николя Теодором Гобли выпариванием настойки ванили и последующей перекристаллизаци-

ей². В 1874 году Фердинанд Тиман и Вильгельм Хаарман вывели структурную формулу ванилина³.



Рис. 2. Ваниль

Поскольку объёмы производства быстро достигли широких масштабов, стало понятно, что природного ванилина не хватает; более того – его добыча совсем не дешёвая. Были найдены пути получения ванилина из более доступных компонентов. Так, в 1876 году Карл Раймер синтезировал его из гваякола, что положило начало промышленному производству полусинтетического ванилина. Позже это назвали реакцией Раймера-Тимана (рис. 3).

¹Lawrence J. Esposito, K. Formanek, G. Kientz, F. Mauger, V. Maureaux, G. Robert, F. Truchet. Vanillin. // Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. 4. Auflage. Vol. 24, John Wiley & Sons, New York 1997, S. 812 – 825.

²N.-T. Gobley. Recherches sur le principe odorant de la vanille. // Journal de Pharmacie et de Chimie. 34, 1858, S. 401 – 405 (eingeschränkteVorschau in der Google-Buchsuche).

³Ferd. Tiemann, Wilh. Haarmann: Ueber das Coniferin und seine Umwandlung in das aromatische Princip der Vanille. In: Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft. 7 (1), 1874, S. 608–623

⁴K. Reimer. Ueber eine neue Bildungs weise aromatischer Aldehyde. // Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft. 9 (1), 1876, S. 423 – 424.

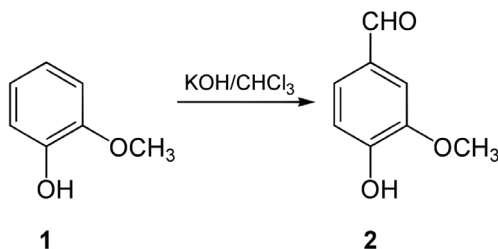


Рис. 3. Синтез Раймера-Тимана

В настоящее время ванилин получают модифициро-

ванным способом из продуктов нефтепереработки¹ (рис. 4).

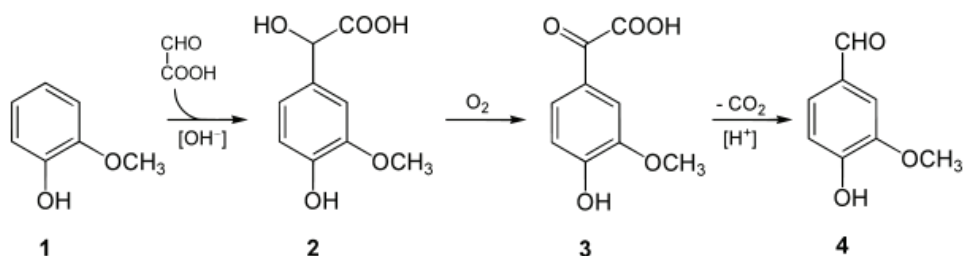


Рис. 4. Современный двухстадийный синтез ванилина

Лигнин

Лигнин – группа фенольных макромолекул, состоящих из различных мономеров (рис. 5). Эти твёрдые биополимеры содержатся в

клетках сосудистых растений и придают им твёрдость. Мономерные звенья лигнина называются фенолпропановыми единицами.

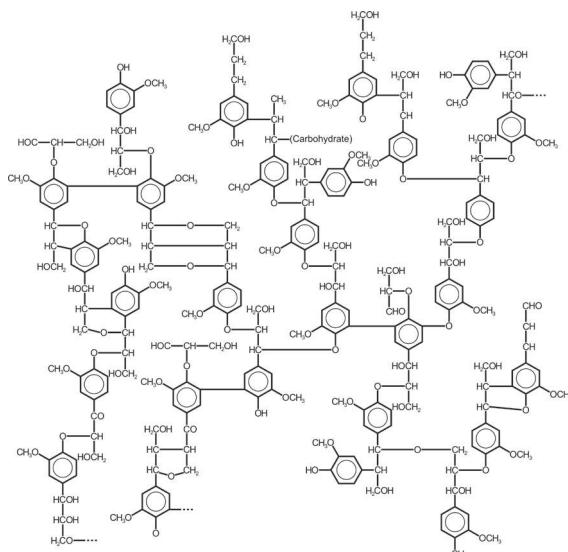


Рис. 5. Фрагмент структурной формулы лигнина



В природе лигнин образуется в ходе полимеризации кониферилового спирта. Реакция представляет собой радикал-радикальное взаимодействие и катализируется окислительными ферментами, которые содержатся в стенках растительных клеток⁵ (рис. 6).

Первое упоминание о лигнине датируется 1813 годом. Швейцарский ботаник А.П. де Кандолле описал его как волокнистый безвкусный материал. Он назвал субстанцию «лигнин», что переводится с латинского как «древесина»⁶.

30 % неископаемого органического углерода находится именно в лигнине. Древесина лиственных пород содержит 18 – 24 % лигнина, хвойных – 27 – 30 %.

Ранее ванилин получали из сульфитированного лигнина, но этот способ быстро потерял популярность

из-за возникших проблем с экологией: отходы производств, связанных с серой, очень вредят водоёмам, куда они сливаются⁷.

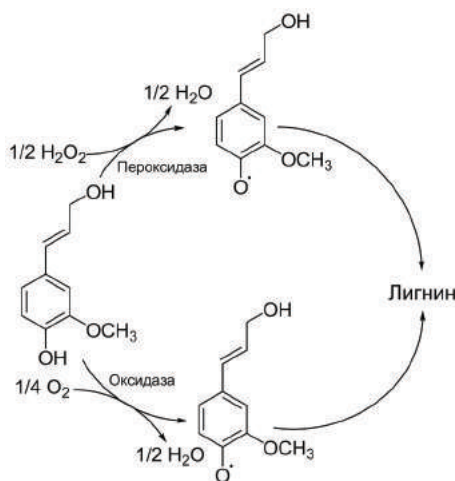


Рис. 6. Схема полимеризации кониферилового спирта в растительной клетке

Выделение ванилина из древесины

Как было сказано ранее, древесина различных пород содержит значительное количество лигнина, который может быть химическим путем превращен в ценные продукты, в том числе – ванилин. При этом ежегодно образуется огромное количество отходов деревозаготавливающей и деревообрабатывающей промышленности, лесных хозяйств, городских озеленительных мероприятий, которые являются ценным ресурсом, требующим поиска современных подходов по их переработке или утилизации. Использование данного ресурса для получения ванилина является одним из перспективных направлений по переработке

древесных отходов. Каталитическое окисление лигнина древесины в ванилин активно разрабатывается, поскольку обладает рядом значительных преимуществ по сравнению с традиционными способами окисления лигнина.

Для определения содержания ванилина и выделения его из древесины мы выбрали 5 пород дерева – берёза, сосна, осина, дуб и тополь. Данные породы наиболее характерны для средней полосы России.

Образцы древесины были собраны, очищены и измельчены до состояния опилок. В таком виде материал легче подвергается химической обработке, и процесс протекает наи-

⁵ L.B. Davin, N.G. Lewis. Lignin primary structures and dirigent sites. // Current Opinion in Biotechnology. 2005, 16 (4), p. 407 – 415.

⁶ М.А.Р. de Candolle. Theorie Elementaire de la Botanique ou Exposition des Principes de la Classification Naturelle et de l'Art de Decrire et d'Etudier les Vegetaux. – Paris: Deterville, 1813.

⁷ А.К. Славянский, В.И. Шарков, А.А. Ливеровский и др. Химическая технология древесины, 1962.

более полно. Для работ было взвешено по 1 грамму каждой породы дерева. Опилки поместили в химические стаканы и залили 50 мл гидроксида натрия NaOH (15 масс. %). Через неделю растворы в стаканах были обновлены. Кроме того, в каждый стакан добавили гидроксид меди $\text{Cu}(\text{OH})_2$, который, согласно литературным источникам, выступает в роли катализатора в процессе окисления древесины. По прошествии



Рис. 7. Процесс фильтрации

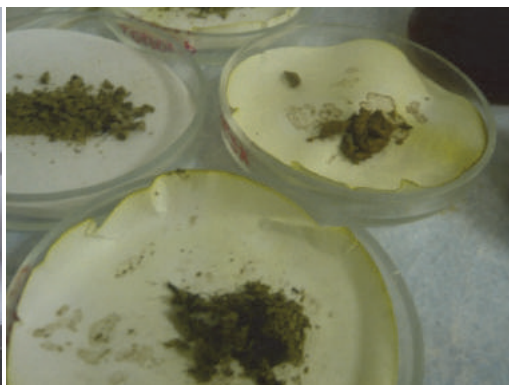


Рис. 8. Внешний вид опилок после обработки щёлочью

Табл. 1. Массы остатков древесины после щелочной обработки

Древесина	Масса, г
Дуб	0,7
Тополь	0,6
Сосна	0,8
Берёза	0,4
Осина	0,6

Как видно из табл. 1, больше всего щелочной обработке оказалась подвержена древесина березы. В наименьшей степени – древесина сосны.

Из оставшихся после фильтрования маточных растворов были

еще одной недели содержимое стаканов было отфильтровано. Маточный раствор представлял собой жидкость желто-красного цвета с разной интенсивностью окрашивания в зависимости от типа древесины (рис. 7). Отфильтрованные осадки были промыты слабым раствором соляной кислоты HCl, высушены и взвешены (рис. 8). Массы древесного остатка, полученные после выщелачивания, приведены в таблице 1.

отобраны пробы объемом 5 мл каждая. Данные пробы были нейтрализованы раствором соляной кислоты. Органические вещества из раствора были экстрагированы диэтиловым эфиром. Полученная органическая фаза была проанализирована с помощью газовой хроматографии с масс-спектрометрическим анализатором. Пример масс-спектра приведен на рис. 9. В результате анализа было получено относительное содержание ванилина в исследуемых пробах древесины. Результаты сведены в таблице 2.

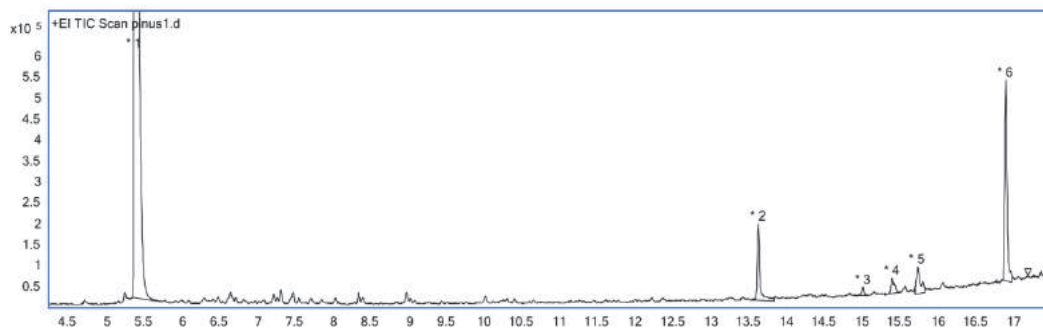


Рис. 9. Масс-спектр образца сосны. Пик 1 соответствует уксусной кислоте, 2 – *n*-винилгваяколу, 3 – изоевгенолу, 4 – кумарану, 5 – бензойной кислоте, 6 – ванилину

Табл. 2. Содержание лигнина в образцах древесины

Древесина	Масса растворившейся части, г	Содержание в экстракте, %	Относительное содержание, %/г
Дуб	0,3	2,74	9,13
Сосна	0,2	11,01	55,05
Берёза	0,6	2,79	4,65
Осина	0,4	0,94	2,35
Тополь	0,4	5,50	13,75

Как видно из табл. 2, наибольшее содержание лигнина наблюдается в древесине сосны. Данный факт соответствует литературным сведениям о о высокой лигнификации древесины хвойных пород. В 4 раза меньше ванилина выделяется из экстракта, полученного из древесины тополя. Тем не менее, его количество значительно выше, чем для оставшихся образцов. В Новосибирске и Новосибирской области – там проводилось исследование – как и во многих других регионах России, тополь часто

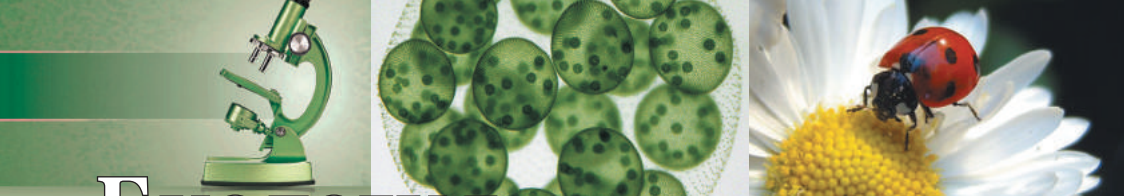
используется для городского озеленения. Он неприхотлив: спокойно переносит наличие копоти или дыма в воздухе (из-за чего его высаживают вдоль дорог) и может расти практически где угодно. Тополь очень быстро растёт, поэтому его приходится спиливать во избежание порчи электрических кабелей возле автомагистралей. В результате образуется большое количество древесных отходов. Поэтому выделение ванилина из данной породы дерева представляет особый интерес.

Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор

Законы химии

Закон Сорокатого. В системе параллельных реакций наиболее вероятен тот процесс, который наименее желателен.

Вывод. Число побочных продуктов реакции – бесконечно, целевых – конечно по определению.



Биология



Курчашова Светлана Юрьевна

Кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела электронной микроскопии НИИ ФХБ им. А.Н. Белозерского МГУ; ассистент кафедры биологии СУНЦ МГУ

Гасанова Татьяна Владимировна

Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник кафедры вирусологии Биологического факультета МГУ



Регуляция циркадных ритмов в клетках живых организмов

В настоящее время на молекулярном уровне изучают даже такие сложные механизмы, как регуляция циклических колебаний различных биологических процессов. В статье приведены данные о работе таких систем.

1. Открытие циркадных ритмов

Название «циркадные» или «циркадианные» ритмы происходит от латинских слов *circa* – «около», «кругом» и *dies* – «день» и означает циклические колебания или изменения интенсивности различных биологических процессов, связанных со сменой дня и ночи. Такими циркадными ритмами обладают цианобактерии, грибы, растения и животные. Период циркадных ритмов обычно близок к 24 часам.

История открытия таких ритмов началась с наблюдений, сделанных ученым Андростеном, описывавшим походы Александра Македонского. Он впервые упоминает об изменении положения листьев у тамаринда (*Tamarindus indicus*) в течение дня. В 1729 году французский астроном де Мейрен наблюдал и описал интересную особенность еще одного представителя семейства Бобовых. Это ежедневные пе-

риодичные движения листьев мимозы стыдливой (*Mimosa pudica*), которая реагирует на смену дня и ночи. В светлое время суток ее нежные листья развернуты к солн-

цу, а в темное время сложены и опущены вниз. Такие движения сохранялись, даже если растения помещали в темноту более чем на целые сутки (рис. 1).

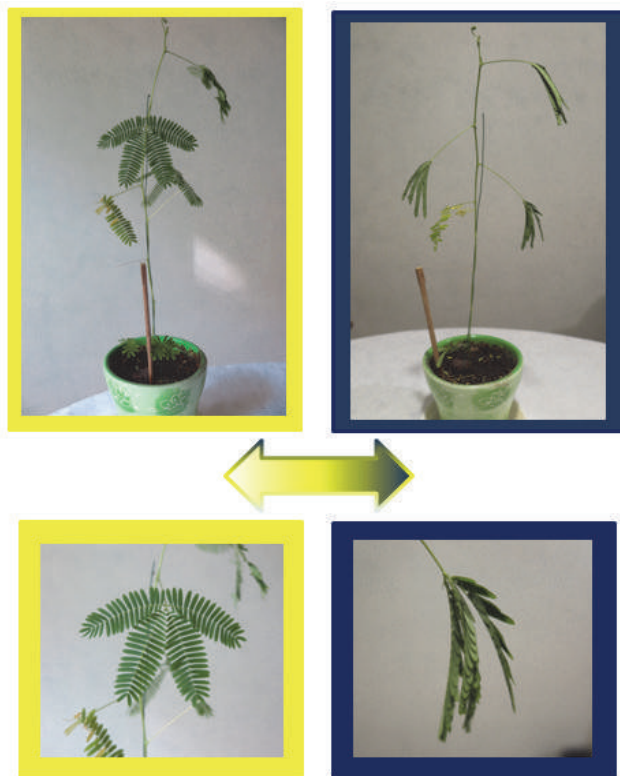


Рис. 1. Изменения положения листьев *Mimosa pudica* (сем. Бобовые)

Эксперимент показал эндогенное (внутреннее, свойственное организму) происхождение биологических ритмов. Де Мейрен предположил, что эти ритмы могут иметь что-то общее с чередованием сна и бодрствования у человека.

Спустя почти сто лет в 1834 году знаменитый швейцарский ботаник¹ Огюстен Пирам Де Кандоль определил, что период, за который растения мимозы совершают данные листовые движения, короче длины суток и составляет примерно 23 часа.

Он экспериментировал со сменой времени подачи света: освещение растений искусственным светом проводил в ночные часы, а днем помещал растения мимозы в темноту. В таких условиях стыдливая мимоза продолжала соблюдать режим «сон-бодрствование». Наблюдалась «привязка» к освещению; а также происходил переход к режиму «день-ночь», когда растение возвращали в обычные условия. Но вопрос о механизмах таких колебаний оставался все еще открытым.

¹ Русский ботаник и основоположник биогеографии Андрей Николаевич Бекетов считал Де Кандоля ботаническим Кеплером.

В 1880 году Чарльз Дарвин и его сын Фрэнсис сделали предположение о наследственной природе циркадных ритмов. Для подтверждения этой гипотезы они скрещивали растения фасоли с различными периодами циркадных ритмов. У полученных гибридов длина периода отличалась от длины периода «сон-бодрствование» обоих родителей.

Эндогенная природа циркадных ритмов была окончательно подтверждена в 1984 году во время экспериментов, проведенных в космосе с грибами вида *Нейроспора густая* (*Neurospora crassa*). Эти опыты показали независимость околосуточных ритмов от геофизических сигналов, связанных с вращением Земли вокруг своей оси.

К настоящему времени циркадные ритмы обнаружены у всех представителей животного и растительного царств на всех уровнях организации. Внутренние циркадные ритмы растений составляют в среднем 23 – 28 часов, а животных – 23 – 25 часов. Под воздействием светового дня циркадные ритмы превращаются в 24-часовые суточные циклы.

Механизмы, отвечающие за поддержание циркадных ритмов в клетках, возникли еще до начала кембрийской эры. Впервые наличие циркадных ритмов у цианобактерий было продемонстрировано при изучении процессов кислород-чувствительной фиксации азота и фотосинтеза с выделением кислорода. В этих процессах была выявлена суточная ритмичность. Об этом, в частности, говорили данные электронной микроскопии, с помощью которой изучали количество и размер тех или иных запасающих гранул в клетках. Позднее было обнаружено, что и другие процессы в клетках (например, поглощение аминокислот) происходят в рамках циркадного ритма. Кроме того, ока-

залось, что ритмически изменяется вся экспрессия генов в клетках цианобактерий. Были проведены опыты, в которых гены биoluminesцентных (светящихся) белков встраивали в геном цианобактерий в произвольном порядке. У всех полученных штаммов наблюдалась сходная картина циркадных изменений интенсивности люминесценции.

Еще один интересный объект для изучения механизма циркадных ритмов – это *Platynereis dumerilii* – вид многощетинковых червей из семейства nereид, который считается живым ископаемым. Существовали эти черви и в докембрийскую эпоху. У червей *Platynereis* личиночная стадия достаточно примитивна и представляет собой просто комочек биомассы, покрытый ресничками. Черви плавали в воде и поедали водоросли. Ночью они поднимались к поверхности воды, где больше пищи, а днем опускались на глубину от ультрафиолетовых лучей и от тех, кто считал пищей их самих. Как же они отличали день от ночи? Этим вопросом занялись исследователи Европейской молекулярно-биологической лаборатории в Германии Мария Антонизтта Тоскес и Детлев Арендт. Они выяснили, что ресничкам, покрывающим личинку, свойственно двигаться. За счет этого личинка всплывает к поверхности, проводя там ночи. В эти часы в ее организме синтезируется гормон мелатонин – тот самый мелатонин, который побуждает людей спать по ночам. К концу ночи количество мелатонина достигало максимума. Этот самый мелатонин и давал команду нейронам, управляющим ресничками, замереть. А когда реснички переставали двигаться, личинка червя начинала тонуть, уходя в глубину, и оставалась там. Утром свет проник и туда. Свет действовал на фоторецепторные белки (также похо-

жие на человеческие), которые оставляли синтез мелатонина. Кроме того, свет разрушал мелатонин, который уже образовался. Продолжительность процесса была такова, что к закату, когда возникала потребность подняться для кормления, от мелатонина не оставалось и следа, двигательные нейроны активировались, и реснички снова начинали двигаться. Цикл был завершен: личинка снова поднималась к поверхности.

Помимо этого, ученые провели серию экспериментов, вызывающих синдром смены часового пояса «джетлаг» (jet lag) у этих червей. Не тот джетлаг, который бывает от перелетов между часовыми поясами – никто никуда червей *Platynereis dumerilii* не возил. Исследователи брали личинки червей в середине светового дня и перемещали их в темноту. Казалось бы: в темноте должен начаться синтез

мелатонина, и биологические часы червя перезапустятся. Но нет! Черви некоторое время сохраняли привычный суточный ритм, то есть, несмотря на темноту, придерживались ранее взятого ритма всплывтий и погружений. Перед учеными встала задача понять, что это за внутренний ритм, побуждающий нас спать и бодрствовать (а личинок – всплывать и тонуть) с периодичностью 24 часа. Как устроены эти часы, если свет и темнота не могут командовать ими безапелляционно?

Предположим, маятник циркадных ритмов присутствует во всех клетках организма, задавая каждой клетке свой собственный суточный цикл. Очевидно, что такой системе доверять нельзя, иначе, например, перистальтика кишечника может «проснуться» раньше мозга. Таким образом, все клеточные часы необходимо синхронизировать.

2. Регуляция биологических часов или «командный центр» циркадных ритмов

В 1972 году американские ученые Роберт Мур и Виктор Эйхлер показали, что у млекопитающих в мозге есть высший командный центр или «Master-clock», управляющий всеми биологическими часами. Это область гипоталамуса, состоящая из десятков тысяч нейронов, которые называются супрахиазматическим ядром (СХЯ). СХЯ называют центральным осциллятором млекопитающих.

Гипоталамус – небольшая область в промежуточном мозге, включающая в себя большое число групп клеток (называемых ядрами), которая регулирует нейроэндокринную деятельность мозга и гомеостаз организма, а также управляет выделением гормонов гипофиза и является центральным связующим звеном между нервной и эндокринной системами. Гипоталамус связан нервными путями практически со всеми

отделами центральной нервной системы, включая кору, гиппокамп, миндалину, мозжечок, ствол мозга и спинной мозг.

В настоящее время именно супрахиазматические ядра гипоталамуса рассматриваются как «Master-clock», центр генерации циркадных ритмов и синхронизации церебральных и периферических циркадных осцилляторов (колебаний) в соответствии с изменениями уровня освещенности. Удаление этого центра приводит к десинхронизации периферических и центральных осцилляторов, постепенно переходящих к свободному бегу ритмов.

В масштабах организма циркадные ритмы синхронизируются с помощью вещества мелатонина, посылающего организму сигнал сна. Мелатонин производится эпифизом, находящимся в середине мозга. Эпифиз же может получать сигналами

лы о свете и темноте по зрительным нервам, от специализированных родопсинов и от криптохромных рецепторов.

Как именно работают такие часы, стало известно из опытов профессора Джастина Блау из Кембриджа, который придумал простой опыт. Он взял молодую личинку дрозофилы, у которой нейронов еще мало, и определил, какие из нейронов отвечают за «главные часы» тела в мушиной личинке. Эти нейроны были обнаружены в гипоталамусе, в супрахиазмальном ядре. У личинки их всего шесть, у взрослой мухи больше. Джастин Блау выделил две группы нейронов, активирующихся в противоположные моменты суток. Им были даны незатейливые названия: рассветные и закатные клетки.

В общих чертах все происходит так: утром рассветные клетки сигнализируют друг другу, что пора вставать. Затем они передают сигнал закатным клеткам. Вечером все происходит наоборот. При каждом таком обмене сигналами циркадные ритмы в каждом из нейронов синхронизиру-

ются. В результате эти нейроны генерируют сигнал о смене времени суток. Далее эпифиз реагирует на сигнал гипоталамуса и вырабатывает мелатонин (если, по мнению нейронов «главных часов», наступило время сна) или, напротив, прекращает его выработку. А мелатонин, в свою очередь, синхронизирует ритмы по всему организму.

Таким образом, эпифиз сам по себе готов реагировать на смену дня и ночи. «Клеточные маятники» в нем хотя и качаются, но не имеют возможности договориться между собой, а поэтому сигнал «темнота» должен был бы пересилить их мерное покачивание и запустить синтез мелатонина. Мелатонин распределился бы по сосудам, и с наступлением ночи мы бы почувствовали дремоту, в каком часовом поясе ни застал бы вас закат. Однако нейроны гипоталамуса препятствуют этому. Таким образом, после длительного перелета мы не можем сразу перестроиться на «новый» режим сна и бодрствования.

3. Характеристики циркадного осциллятора

Исследование молекулярно-биологической природы циркадианных ритмов началось с работ Конопки и Бензера из калифорнийского технологического института. Ученые обнаружили три мутантных линии плодовых мух *Drosophila melanogaster*, циркадные ритмы которых отличались от циркадных ритмов мух дикого типа. Мухи, как и многие насекомые, проходят стадию линьки, потом окукливания и вылупляются уже взрослыми особями. Вылупляются они обычно ранним утром. Исследователи отбирали мутантных мух, которые вылуплялись слишком поздно или слишком рано, выводили чистые линии и смотрели,

чем они отличаются от обычных мух. Своих мутантов они называли *Период* или сокращенно *per*. В отсутствие нормальных сигналов окружающей среды период околосуточной активности мушек дикого типа составлял 24 часа, у мутантов *per-s* 19 часов, у мутантов *per-1* 29 часов, у мутантов *per-0* вообще не наблюдалось никакого ритма. Впоследствии было обнаружено, что белки – продукты генов *per*, ответственных за появление данных мутаций, – есть во многих клетках дрозофилы. Более того, у мушек наблюдались циркадные колебания в количестве матричной РНК (мРНК) и белка *PER*, уровень которого менялся с суточной перио-

дичностью, достигая пика в ночное время и снижаясь днем, кроме мушек *per-0*, у которых белка не обнаруживалось.

Позднее было открыто целое семейство генов циркадных ритмов: *timeless* (*TIM*), *clock* (*CLK*), *cycle* (*CYC*), *Bmal 1* (*BMAL 1*) и прочие². И только к началу 2000-х годов стало выясняться, каким образом устроена их совместная работа.

Гены, кодирующие данные белки находятся в хромосомах в ядре клетки. Именно там они «включаются» и образуют матричные РНК, которые затем перемещаются в цитоплазму, где по их «рецепту» синтезируются белки. В нашем случае это белки *TIM* и *PER*. После этого эти белки образуют комплекс (связыва-

ются друг с другом). Если, конечно, их ничто не разрушит и не испортит (а разрушить их может свет). В таком объединенном виде *TIM:PER* доставляются обратно в ядро. Там они подавляют работу генов *clock* и *cycle*. Но дело в том, что продукты этих генов – белки *CLK* и *CYC* – необходимы для работы генов *timeless* и *per*. И когда белков *CLK* и *CYC* становится мало, производство *TIM* и *PER* тоже останавливается. То, что наработано, постепенно разрушается. Теперь генам *clock* и *cycle* уже ничто не мешает, они начинают работать, и их продукты – белки *CLK* и *CYC* снова включают гены *timeless* и *per*, мРНК снова перемещаются в цитоплазму, и цикл обратной связи повторяется.

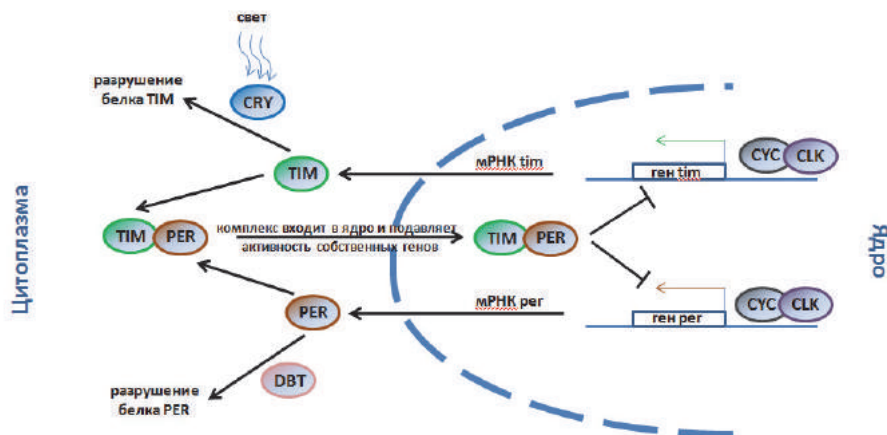


Рис. 2. Схематическое изображение регуляции циркадных ритмов в зависимости от работы продуктов генов *tim* и *per*

Вторая петля обратной связи у млекопитающих обусловлена конкурентными и разнонаправленными действиями белков *REV-ERB* и *ROR*, распознающими участок промотора гена *Bmal*. Белок *REV-ERB*, связываясь с промоторным участком гена *Bmal 1*, препятствует его транс-

крипции. Белок *ROR*, взаимодействуя с тем же промоторным участком гена *Bmal 1*, выступает в качестве активатора его транскрипции. А комплекс белков *CLOCK:BMAL*, в свою очередь, способствует транскрипции гена *REV-ERB*, замыкая контур обратной связи.

² *BMAL 1* – белок, ортолог *CYC* дрозофилы, у млекопитающих. Ортологи – гомологичные (подобные, похожие) белки у разных организмов, разошедшиеся в процессе эволюции и выполняющие одну и ту же функцию.

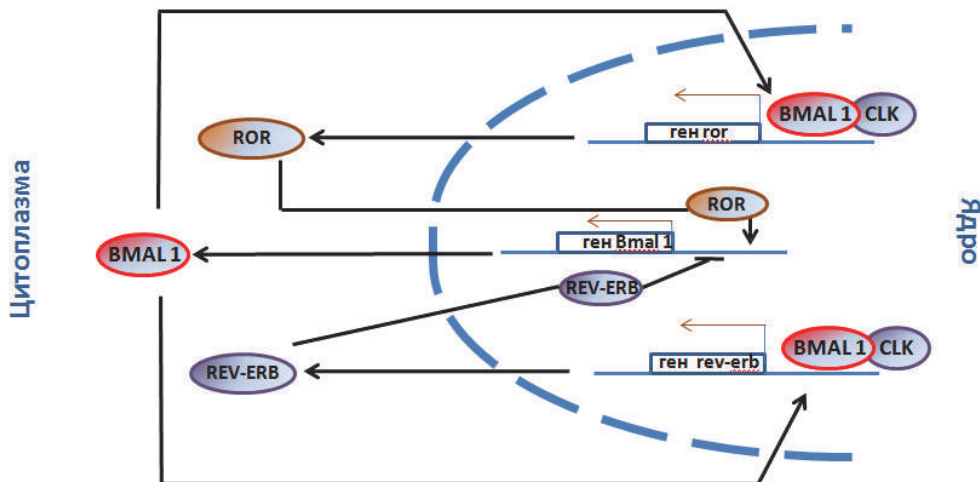


Рис. 3. Схематическое изображение регуляции циркадных ритмов в зависимости от работы продуктов генов *ror*, *rev-erb* и *Bmal1*

Совсем недавно стало ясно, как этот маятник, при всем его упрямстве, все же умудряется реагировать на смену дня и ночи. Белок *TIM* разрушается на свету, но в мозге свет отсутствует. Британский биолог Ральф Станевский нашел еще один ген дрозофилы, с красивым названием Квазимодо, также влияющий на суточный ритм. Оказалось, что соответствующий гену Квазимодо белок *QSM* начинает синтезироваться как раз в ответ на освещение. Он-то и угнетает активность белка *TIM*, что дает возможность перезапускать биологические часы в зависимости от дня и ночи.

Также была выявлена роль белков внутренней ядерной мембраны клеток млекопитающих в регуляции циркадных ритмов. Ядерная оболочка клеток млекопитающих представляет собой комплексную структуру, которая ограничивает ядро от цитоплазмы, регулирует транспорт в ядро и из ядра и обеспечивает взаимодействие с хроматином. В состав ядерной оболочки входят внутренняя и внешняя ядерные мембра-

ны, комплекс пор и подстилающий внутреннюю ядерную мембрану белковый слой – ядерная ламина. В состав внутренней ядерной мембраны входят белки, способные взаимодействовать с хроматином. К таким белкам относится белок *MAN1*. Было показано, что *MAN1* усиливает транскрипцию гена *Bmal1*, таким образом, также участвуя в регуляции циркадианного ритма.

В регуляции циркадных ритмов важную роль играют не только белки, но и микроРНК, представляющие собой молекулы РНК размером 19 – 25 нуклеотидов, способные регулировать экспрессию «генов-контролеров» циркадианнных ритмов. Последние работы по изучению многообразных ролей микроРНК показали принципиальную важность их участия в регуляции циркадных ритмов на посттранскрипционном уровне, как в СХЯ млекопитающих, так и в тканях различных органов.

При всем объеме полученных учеными знаний о работе циркадных ритмов, множество деталей остаются неисследованными. На данный

момент непонятно, как в одном организме одновременно сосуществуют несколько «часов», как осуществляется множество процессов, идущих с разным временным периодом, как происходит регуляция такого цикла в экстремальных условиях, например, Арктики и Антарктики. Все эти вопросы еще предстоит решить, используя знания молекулярных основ циркадных ритмов. А значимость

тематики была признана научным сообществом в 2017 году. Джеффри Холл, Майкл Росбаш и Майкл Янг удостоились Нобелевской премии по медицине за открытие молекулярных механизмов, регулирующих сон и бодрствование, работу гормональной системы, температуру тела и другие параметры организма, которые изменяются в зависимости от времени суток.

Список литературы

1. Алексенко А. Ужасы безвременья. Части 1–3. – Наука и Технология, 2014. <https://snob.ru/selected/entry/82513?v=1466434233>.
2. Губин Д.Г. Роль микро-РНК в регуляции циркадианных ритмов млекопитающих. *Advances in Current Natural Science*, 2012. 1: 32–37.
3. Чернышева М.П. Циркадианные осцилляторы и гормоны. – Цитология, 2013. 55 (11) 761–777.
4. Lin Shu-Ting, Zhang Luoying, Lin Xiaoyan, Zhang Linda Chen, Garcia Valentina Elizabeth, Tsai Chen-Wei, Ptáček Louis, Fu Ying-Hui. Nuclear envelope protein MAN1 regulates clock through BMAL1. – *eLife* 2014; 3 e02981. DOI: 10.7554/eLife.02981.
5. Ko Fan Chen, Nicolai Peschel, Radka Zavodska, Hana Sehadova, Ralf Stanewsky. QUASIMODO, a Novel GPI-Anchored Zona Pellucida Protein Involved in Light Input to the Drosophila Circadian Clock. – *Current Biology* 21, 719–729, May 10, 2011. DOI: 10.1016/j.cub.2011.03.049.
6. Tosches M.A., Bucher D., Vopalsensky P., Arendt D. Melatonin signaling controls circadian swimming behavior in marine zooplankton. – *Cell*, 2014. 159: 46–57. DOI: 10.1016/j.cell.2014.07.042.

Калейдоскоп

Калейдоскоп

Калейдоскоп

Происхождение названий кислорода и озона

Название «кислород» – это перевод на русский язык латинского названия этого элемента *Oxygenium*, т. е. рождающий кислоты. Сейчас мы знаем, что кислород входит в состав далеко не всех кислот, но в XVIII веке это было еще неизвестно.

А вот озон получил свое название только в 1840 году, хотя само вещество было открыто на полвека раньше. Происходит слово «озон» от греческого слова *ozone* со значением «благоухаю». Озон, как и многие вещества назван по своему свойству – сильному характерному запаху.

Е.А. Менделеева

Откуда пошло слово щёлочь?

Термин «щёлочи» обозначает хорошо растворимые в воде основания – гидроксиды щелочных и щелочноземельных металлов. А произошел он от слова «щёлок». Так называли мыльный раствор, который образуется при кипячении золы с водой.

Е.А. Менделеева

**Глаголев Сергей Менделевич**

Кандидат биологических наук, учитель биологии Московской школы на Юго-Западе № 1543, доцент Специализированного учебно-научного центра Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

Интернет-олимпиада СУНЦ МГУ – 2019.

Задачи по биологии второго тура (9-10 классы)

В прошлом номере мы опубликовали разбор заданий по биологии Интернет-олимпиады СУНЦ МГУ для учащихся 7 и 8 классов. Теперь рассмотрим задания для старших школьников. В комплекте больше задач, они сложнее и серьезнее. Но вначале постарайтесь справиться с ними, не заглядывая в ответ!

Вопрос 1

Выберите из списка ровно по два растения, которые относятся к тому же семейству, что показанные на рисунках, и запишите их номера рядом с буквой соответствующего рисунка.

1) морковь; 2) лук; 3) капуста;
4) горох; 5) подсолнух; 6) земляника;
7) кровохлебка; 8) топинамбур;
9) тюльпан; 10) фасоль; 11) ворсянка;
12) укроп; 13) бурачок; 14) короставник.



Рис. А¹

¹ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5c/Blauwe_zeedistel_DSCF2091.JPG

Рис. Б²Рис. Б³Рис. Г⁴

На фото А – синеголовник приморский *Eryngium maritimum*, растение семейства зонтичные (Umbelliferae, или Apiaceae). Признаки семейства различить на фото сложно, нужно знать это растение. Два растения того же семейства – морковь и укроп.

На фото Б – галинзога четырехлучевая *Galinsoga quadriradiata*, семейство сложноцветные (Compositae, или Asteraceae). На фото хорошо видны трубчатые цветки в центре корзинок и ложноязычковые – по краю. К этому семейству относятся подсолнух и топиамбур.

На фото В – зубянка луковичная *Dentaria bulbifera* из семейства крестоцветные (Cruciferae, или Brassicaceae). На фото видны свободные лепестки и чашелистики, и можно догадаться, что их по 4, а также четыре длинные тычинки (две короткие плохо различимы). Два крестоцветных из списка – капуста и бурачок.

На фото Г – манжетка мягкая *Alchemilla mollis*, семейство Rosaceae (розоцветные). Тут тоже нужно знать облик растения – четырехчленные цветки манжетки с четырьмя тычинками и отсутствием лепестков не слишком характерны для розоцветных. Розоцветные из списка – кровохлебка и земляника.

Ответ: А 1, 12; Б 5, 8; В 3, 13; Г 6, 7. 5 баллов за каждый полностью верный ответ, максимум 20 баллов. Ответы, где верно указана только одна цифра рядом с данной буквой, не учитываются.

² https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/77/Galinsoga_quadriradiata.jpg

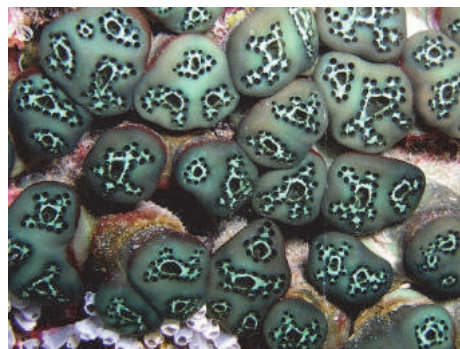
³ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/26/Dentaria_bulbifera_hu.jpg

⁴ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/99/Alchemilla_mollis_%28Fraaije_vrouwenmantel_bloeiwijze%291.jpg

Вопрос 2

На фото (рис. А – Д) показаны представители типа хордовые. Из предложенного ниже списка выберите организм или группу организмов, который является наиболее близким родственником (с точки зрения современной классификации) для каждого из представленных организмов. Номер этого организма занесите в соответствующую графу таблицы.

Акулы (1), осетры (2), свиньи (3), собака (4), человек (5), утконос (6), крокодилы (7), головохордовые (8), позвоночные (9), слоны (10).

Рис. А⁵Рис. В⁷Рис. Г⁸Рис. Б⁶Рис. Д⁹

⁵ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chimaera_01.jpg

⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Manatee#/media/File:FL_fig04.jpg

⁷ <https://en.wikipedia.org/wiki/Dolphin#/media/File:Dolphind.jpg>

⁸ https://en.wikipedia.org/wiki/Ascidiacea#/media/File:Tunicate_green.jpg

⁹ <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/82/TeTuatahianui.jpg>

Ответ: А – химера, Б – ламантин, В – дельфин, Г – асцидия, Д – киви.

А	Б	В	Г	Д
1	10	3	9	7

Ближайшие родственники химер (цельноголовых) из списка – акулы; их общими предками были какие-то хрящевые рыбы.

Ближайшие родственники слонов – ламантины. Оба эти отряда (хоботные и сирены) относятся к кладе (надотряду) Afrotheria (афротерии), их общим предком были древние плацентарные млекопитающие, жившие на территории Афро-Аравии (см. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Афротерии>).

Ближайшие родственники дельфинов из списка – свиньи. По современным данным, обе эти группы относятся к одному отряду китопарнокопытные, Cetartiodactyla (<https://ru.wikipedia.org/wiki/Китопарнокопытные>). Это означает, что общий предок свиней и дельфинов был парнокопытным млекопитающим.

На фото Г – асцидии, морские сидячие хордовые. По современным данным, их ближайшие родственники – позвоночные. Мы не знаем, кем были и как выглядели общие предки асцидий и позвоночных, но мы знаем (благодаря молекулярным данным), что они существовали уже после того, как от общего ствола хордовых отделилась ветвь головохордовых (ланцетников).

Наконец, на последнем фото – птица киви. Ближайшие родственники птиц из современных групп – это крокодилы; и те, и другие относятся к подклассу архозавры класса рептилии. (Отметим, что современная кладистическая систематика на самом деле не признает рангов – отрядов, классов и т.п. – и заменяет их общим понятием «клада», см. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Кладистика>).

4 балла за каждый верный ответ, максимум 20 баллов.

Вопрос 3

Для представленных в списке предметов (объектов) из природных материалов нужно указать, из чего они в основном состоят:

А – из мертвых клеток (не обязательно целых),

Б – из межклеточного вещества,

В – из продуктов жизнедеятельности, не входящих в состав тканей.

Соответствующую букву впишите рядом с номером объекта.

1 – кожаный ремень; 2 – сброшенный рог лося; 3 – шерстяной свитер; 4 – шелковый халат; 5 – пеньковая веревка; 6 – тетива старинного лука; 7 – пиршественный бычий рог; 8 – вата; 9 – черепаховый гребень; 10 – перламутровая пуговица.

Кожаные ремни делают из дермы (глубоких слоев кожи) млекопитающих, то есть из соединительной

ткани. Главный ее компонент – белок межклеточного вещества коллаген и другие белки соединительной ткани (соответствующим образом обработанные).

Рога лосей и других представителей семейства оленей – костные образования, а кость – тоже соединительная ткань. Значит, лосиный рог состоит в основном из того же коллагена, только пропитанного минеральными солями. А вот наружный слой рогов полорогих – быков (номер 7 в вопросе) и антилоп – состоят из рогового вещества эпидермиса. Главный белок рогового вещества – кератин – накапливается внутри клеток, а не секретируется, как коллаген. Так что пиршественный рог состоит в основном из мертвых (и частично разрушенных) кле-

ток. Из мертвых клеток, заполненных кератином, состоит и шерсть (а значит, и шерстяной свитер).

Шелковый халат – секрет (продукт выделения) прядильных (видоизмененных слюнных) желез гусениц тутового шелкопряда, то есть состоит из продукта жизнедеятельности гусениц.

Пеньковая веревка состоит из лубяных волокон стеблей конопли, то есть из мертвых клеток.

Тетивы старинных луков делали из скрученных жил (сухожилий) животных. Это – почти чистый коллаген, то есть межклеточное вещество.

Вату обычно получают из хлопка, а хлопок – одноклеточные эпидермальные волоски семян хлопчат-

ника (сначала они живые, позже отмирают). Так что вата состоит из мертвых клеток.

Черепашковые гребни делали из рогового вещества панцирей черепах, то есть из мертвых клеток эпидермиса, заполненных кератином.

Наконец, перламутровые пуговицы вырезали из внутреннего слоя раковин двустворчатых моллюсков (например, перловиц). Это – почти чистый карбонат кальция, CaCO_3 , который секретируется клетками мантии. Так что перламутровые пуговицы состоят из продуктов жизнедеятельности перловиц.

Ответ: 1Б, 2Б, 3А, 4В, 5А, 6Б, 7А, 8А, 9А, 10В. По 2 балла за каждый верный ответ, максимум 20 баллов.

Вопрос 4

Выберите все верные с научной точки зрения утверждения и отметьте их буквой А, а все неверные – буквой Б. Верное утверждение не обязательно содержит всю правду, но не должно содержать ничего, кроме правды (то есть даже частично неверное утверждение считается неверным).

1. *Дуги всех вегетативных рефлексов, управляющих работой сердца, замыкаются через спинной мозг.* Конечно, нет; сердечно-сосудистый центр находится в продолговатом мозге, там же располагается ядро блуждающего нерва, снижающего частоту и силу сокращений сердца. А вот рефлекторные дуги симпатического отдела действительно замыкаются через спинной мозг.

2. *Экстерорецепторы запускают соматические рефлексы, а интерорецепторы – вегетативные.* Интерорецепторы (рецепторы внутренней среды) – широкий и не вполне однозначный термин; иногда к ним относят и проприорецепторы мышц и сухожилий, а они как раз запускают соматические реф-

лексы. Если же проприорецепторы выделять в отдельную группу, то получается, что от интерорецепторов в основном запускаются вегетативные рефлексы. Но утверждение все равно неверное – экстерорецепторы явно запускают оба типа рефлексов. У кошки, увидевшей собаку, поднимается шерсть, расширяются зрачки, начинает быстрее биться сердце. А все это – вегетативные рефлексы...

3. *Интернейроны всех рефлекторных дуг человека находятся внутри ЦНС.* Интернейроны – нейроны, передающие сигнал от одних нервных клеток другим. При таком (стандартном) определении утверждение неверное. Во-первых, у человека есть метасимпатическая нервная система (например, в стенках кишечника); в ней есть интернейроны, участвующие в осуществлении местных рефлексов. Во-вторых, интернейронами можно считать клетки сетчатки, которые принимают сигналы от палочек и колбочек и передают их в ЦНС (например, ганглиозные клетки).

4. Сигнал мотонейронам, вызывающим сокращение радиальных мышц радужки, посылают интернейроны спинного мозга, а сокращение кольцевых мышц – интернейроны головного мозга. Все верно. Это связано с расположением рефлекторных дуг симпатического отдела ВНС, вызывающего расширение зрачка, и парасимпатического отдела, вызывающего его сужение (см. пункт 1).

5. Рецепторы дуги коленного рефлекса расположены в сухожилии мышцы-разгибателя и реагируют на удар. Неверно. Эти рецепторы – мышечные веретена – расположены внутри мышцы и реагируют на ее растяжение.

6. Смысл коленного рефлекса состоит в том, чтобы предотвратить разрыв сухожилия при слишком сильном натяжении мышцы. Нет; за это отвечают другие рефлексы, запускаемые от сухожильных органов Гольджи. При этом мышца должна расслабляться, уменьшая растяжение сухожилия, а при коленном рефлексе мышца сокращается, что только увеличивает растяжение сухожилия. Смысл коленного рефлекса состоит в поддержании позы и сохранении равновесия при резком увеличении нагрузки на сустав (точнее, на его мышцы-разгибатели).

7. В головном мозге примерно в 10 раз больше глиальных клеток, чем нейронов. Распространенное заблуждение. Подсчеты с помощью современных методов показали, что нейронов и глиальных клеток в головном мозге человека примерно поровну.

8. Вирусы и бактерии не проникают в мозг, так как не могут преодолеть гематоэнцефалический барьер. К сожалению, проникают; иначе люди не болели бы менингитом.

9. Многие лекарственные препараты при введении в кровь не проникают в мозг, так как не могут преодолеть гематоэнцефалический барьер. Это правда. Например, при болезни Паркинсона (связанной с нехваткой в головном мозге нейромедиатора дофамина) бессмысленно давать больному дофамин – он почти не проходит из крови в мозг через гематоэнцефалический барьер. Приходится использовать предшественник дофамина – L-дофа.

10. Белки после попадания в желудок никогда не проникают в мозг, так как перевариваются и расщепляются в кишечнике до аминокислот. Обычно белки, конечно, перевариваются; но есть и исключения. Например, ботулотоксин – сложный белок с четвертичной структурой – прекрасно всасывается в желудке и тонкой кишке и попадает в кровь. Более удивительно, что он может проникать и в мозг – в небольших количествах, вероятно, через гематоэнцефалический барьер, а также путем ретроградного аксонального транспорта (см., например, <https://www.jneurosci.org/content/28/14/3689> (англ.)).

Ответ: 1Б, 2Б, 3Б, 4А, 5Б, 6Б, 7Б, 8Б, 9А, 10Б. По 2 балла за каждый верный ответ, максимум 20 баллов; за каждый неверный ответ – минус 2 балла.

Вопрос 5

Выберите все верные с научной точки зрения утверждения и отметьте их буквой А, а все неверные – буквой Б. Верное утверждение не обязательно со-

держит всю правду, но не должно содержать ничего, кроме правды (то есть даже частично неверное утверждение считается неверным).

1. Все клетки, участвующие в иммунной защите организма, ведут свое происхождение от стволовых клеток крови. Конечно же, нет. В иммунной защите могут по большому счету участвовать практически все клетки организма. Например, зараженные вирусами клетки могут выделять интерфероны, способствующие защите от распространения вируса.

2. Микроглия, купферовы клетки и остеокласты – это потомки моноцитов. Это утверждение считалось при проверке верным, хотя, по современным данным, оно не совсем точное. Купферовы клетки печени и остеокласты костной ткани – это действительно потомки моноцитов крови, которые, в свою очередь, происходят от стволовых клеток крови красного костного мозга. Что касается микроглии – в ходе развития мозга она образуется из примитивных кроветворных клеток желточного мешка. Однако и моноциты крови могут позднее проникать в мозг и давать клетки, фактически неотличимые от «нормальной» микроглии по строению и функциям.

3. В-лимфоциты и Т-лимфоциты несут на мембране рецепторы, способные распознавать антиген. Верно. У В-клеток эти рецепторы – фактически будущие их антитела (только заякоренные на мембране), а у Т-клеток – особые Т-клеточные рецепторы.

4. В-лимфоциты способны презентировать антигены, а Т-лимфоциты – нет. Тоже верно. В число антиген-презентирующих клеток входят макрофаги, дендритные клетки и В-лимфоциты. Нужно только было уточнить в вопросе, что речь идет о чужеродных антигенах. Свои собственные антигены могут презентировать любые клетки организма.

5. Для активации размножения В-лимфоцитов и Т-лимфоцитов нужно воздействие антигена и веществ-цитокинов. Совершенно верно. Главную роль в выработке этих цитокинов играют Т-хелперы, хотя участвуют и другие клетки.

6. Все антитела – это белки (или гликопротеиды) с четвертичной структурой. Да, это именно так. У человека и почти всех других млекопитающих они состоят из 4 полипептидных цепей (или их большего числа – до 21 у иммуноглобулинов класса М). Только у верблюдов, лам и других верблюдовых, а также у хрящевых рыб есть антитела из двух полипептидных цепей – но и они имеют четвертичную структуру. В состав многих антител входят олигосахариды, поэтому их можно назвать гликопротеидами.

7. Организм человека, никогда не встречавшегося со змеями, способен вырабатывать антитела против яда кобры. Да, способен. В нем наверняка найдутся В-лимфоциты, готовые начать выработку антител, способных связывать и обезвреживать белковые токсины яда кобры. Только таких клеток мало, и пока они размножатся и «наладят» выработку антител, человек может уже умереть от укуса. Поэтому, чтобы спасти его, вводят готовые антитела – противозмеиную сыворотку.

8. Каждый В-лимфоцит способен вырабатывать антитела против множества антигенов. Нет, только против одного. И даже более того – против одного конкретного участка этого антигена, если это крупный белок (такой участок называют эпитопом, а антитела, вырабатываемые одним клоном В-лимфоцитов – моноклональными).

9. Против чужеродного белка, введенного в организм, вырабатывается множество разных анти-

тел разными В-лимфоцитами. Это правда. Именно потому, что у одной молекулы белка есть множество разных участков (эпитопов), с ней могут связываться разные антитела, производимые разными клонами В-лимфоцитов.

10. Антител против вируса бешенства не существует, поэтому укушенному вводится ослабленный вирус для выработки искусственного активного иммунитета. Конечно, антитела против вируса бешенства тоже существуют, и их ино-

гда вводят укушенному в виде антирабической сыворотки. Но чаще в этом нет необходимости – при своевременном введении вакцины (ослабленного или убитого вируса) успевает заработать активный иммунитет, поскольку у бешенства достаточно длительный латентный период, в течение которого вирус остается в месте укуса.

Ответ: 1Б, 2А, 3А, 4А, 5А, 6А, 7А, 8Б, 9А, 10Б. По 2 балла за каждый верный ответ, максимум 20 баллов; за каждый неверный ответ – минус 2 балла.

Вопрос 6

Выберите все верные с научной точки зрения утверждения и отметьте их буквой А, а все неверные – буквой Б. Верное утверждение не обязательно содержит всю правду, но не должно содержать ничего, кроме правды (то есть даже частично неверное утверждение считается неверным).

1. Анемия (малокровие) – это снижение числа белых кровяных телец. Неверно. Анемия – снижение концентрации гемоглобина в крови, иногда (но далеко не всегда) связанное со снижением числа эритроцитов – красных кровяных телец.

2. Пернициозная анемия называется злокачественной, так как связана с раковым заболеванием крови. Пернициозной, или злокачественной, раньше называли В₁₂-дефицитную анемию, так как она рано или поздно заканчивалась смертью больных. Она уже давно перестала быть злокачественной, так как теперь лечится инъекциями витамина В₁₂.

3. Пернициозная анемия может быть наследственным заболеванием. Может. Дело в том, что витамин всасывается в кишечнике в комплексе с особым белком – внутренним фактором Касла. Редкая фор-

ма пернициозной анемии – наследственная, связанная с мутацией гена, кодирующего внутренний фактор Касла.

4. Пернициозная анемия может быть связана с мутацией гена витамина В₁₂. Нет. У витамина не может быть генов. Витамины не закодированы в ДНК, они синтезируются ферментами.

5. Пернициозная анемия может быть связана с мутацией гена фермента, отвечающего за синтез витамина В₁₂. Нет. Витамины – это вещества, которые (преимущественно) поступают в организм извне (хотя есть и исключения – витамин D, а точнее, его предшественник может синтезироваться в коже под действием ультрафиолета). Во всяком случае В₁₂ поступает в организм человека только с пищей (и частично от микробиоты тонкого кишечника) – ферментов, отвечающих за синтез этого витамина, и отвечающих за них генов у человека нет.

6. Пернициозная анемия может быть связана с мутацией гена, кодирующего белок. Да (см. пункт 3).

7. Делеция бета-цепи гемоглобина в гетерозиготном состоянии приводит к анемии, а в гомозиготном всегда летальна – приводит к

смерти в период эмбрионального развития. В гетерозиготном состоянии такая делеция обычно действительно приводит к умеренной анемии, но в гомозиготном, как ни странно это выглядит на первый взгляд, редко приводит к смерти в период эмбрионального развития. Дело в том, что до рождения большую часть кислорода переносят другие типы гемоглобинов – сначала эмбриональные, потом плодный – в образовании которых бета-цепи участия не принимают. У гомозигот по делеции бета-цепи плодный гемоглобин продолжает синтезироваться и после рождения; у них также усиливается синтез гемоглобина A_2 (см. https://en.wikipedia.org/wiki/Hemoglobin#Types_in_humans). Это продлевает их жизнь (хотя без медицинской помощи они чаще всего погибают в детском возрасте).

8. Гетерозиготы по аллелю серповидноклеточной анемии не заражаются малярией. Заражаются (видимо, почти так же часто, как и здоровые люди). А вот умирают они от малярии (по не до конца понятным причинам) значительно реже.

9. У больных серповидноклеточной анемией незаряженная аминокислота в бета-цепи гемоглобина

заменена на заряженную. Как раз наоборот – заряженная аминокислота (глутаминовая кислота) замещается незаряженной (валином) в шестом положении бета-цепи. Из-за этого молекулы гемоглобина образуют длинные конгломераты, что приводит к изменению формы эритроцитов.

10. B_{12} -дефицитная анемия является макроцитарной гипохромной. Неверно. Она является макроцитарной (средний диаметр эритроцитов увеличен), но при этом гиперхромной (содержание гемоглобина в эритроцитах тоже увеличено, и они ярко окрашены). При этой анемии затруднен процесс репликации ДНК и понижен темп деления стволовых клеток крови, а синтез гемоглобина не нарушается. Однако из-за падения концентрации эритроцитов общая концентрация гемоглобина в крови больного тоже постепенно падает, и до разработки методов лечения это приводило к смерти.

Ответ: 1Б, 2Б, 3А, 4Б, 5Б, 6А, 7Б, 8Б, 9Б, 10Б. По 2 балла за каждый верный ответ, максимум 20 баллов; за каждый неверный ответ – минус 2 балла.

Вопрос 7

Выберите все верные с научной точки зрения утверждения и отметьте их буквой А, а все неверные – буквой Б. Верное утверждение не обязательно содержит всю правду, но не должно содержать ничего, кроме правды (то есть даже частично неверное утверждение считается неверным).

1. У папоротника делиться митозом могут и диплоидные, и гаплоидные клетки. Верно; как и у всех высших растений, поскольку у них жизненный цикл с промежуточной (спорической) редукцией. Например,

гаметы у папоротника образуются путем митоза из гаплоидных клеток гаметофита, а зародыш (и вырастающий из него спорофит) – за счет митозов диплоидной зиготы.

2. У всех организмов с половым размножением есть гаметы. Неверно. Например, половое размножение (половой процесс) есть у инфузорий, но гамет у них нет. Это же относится и ко многим грибам и другим группам организмов.

3. У всех организмов с половым размножением есть мейоз. На первый взгляд верное утверждение; но

к половому размножению относится и партеногенез. А у организмов с облигатным амеиотическим партеногенезом (таких, как некоторые виды дафний или пиявководные коло-вратки) мейоза нет.

4. В 50 % гамет мужчины из 23 хромосом 12 полученных им от матери, а 11 – от отца, а в других 50 % – наоборот. Неверно, так как в гаметы в случайных комбинациях попадают отцовские и материнские хромосомы разных пар, и в какой-то гамете может быть 0 материнских хромосом, а в какой-то – 23.

5. Стволовые клетки у человека могут быть получены из дифференцированных клеток. Верно. Индуцированные плюрипотентные стволовые клетки уже довольно давно научились получать из дифференцированных клеток многих тканей.

6. На ранних стадиях развития геном зародыша животных обычно не активен – транскрипция не идет. Это действительно так. Правда, у человека некоторые гены начинают экспрессироваться рано, уже после первых двух делений зиготы. Но у многих животных период, когда новые белки считываются исключительно с материнских иРНК, запасенных в яйце до оплодотворения, гораздо длиннее.

7. В результате пересадки зачатка хорды на брюшную сторону раннего зародыша тритона у него развивается добавочная нервная система из тканей донора. Неверно. Действительно развивается, но из

тканей реципиента. За открытие и изучение этого явления, получившего название первичная эмбриональная (или нейральная) индукция, Ханс Шпеман получил Нобелевскую премию.

8. Все кости скелета человека образуются из мезодермы. Как ни странно, нет. Многие кости черепа образуются из клеток-потомков нервного гребня, то есть (по классическим представлениям) из эктодермы! (см. https://elementy.ru/novosti_nauki/432403/Chetvertyy_z_arodyshevyy_listok_pozvonochnykh_zarodilsya_u_nizshikh_khordovykh).

9. У морского ежа, лягушки, человека при разделении двух первых бластомеров из каждого можно получить полноценный организм. Именно так. Про такие организмы говорят, что у них хорошо развита эмбриональная регуляция, а их дробление называют недетерминированным.

10. Обонятельные клетки-рецепторы человека постоянно образуются из стволовых клеток, а слуховые – нет, поэтому после гибели они не восстанавливаются. Верно. Обонятельные клетки-рецепторы обонятельного эпителия – редкий пример нейронов человека, которые постоянно образуются из стволовых клеток в течение всей жизни.

Ответ: 1А, 2Б, 3Б, 4Б, 5А, 6А, 7Б, 8Б, 9А, 10А. По 2 балла за каждый верный ответ, максимум 20 баллов; за каждый неверный ответ – минус 2 балла.

Вопрос 8

Выберите все верные с научной точки зрения утверждения и отметьте их буквой А, а все неверные – буквой Б. Верное утверждение не обязательно содержит всю правду, но не должно содержать ничего,

кроме правды (то есть даже частично неверное утверждение считается неверным).

1. Рибосомальная РНК и белки рибосом синтезируются в ядрышке. Рибосомальная РНК – да, белки

– конечно же, нет. Они синтезируются на рибосомах в цитоплазме и затем доставляются в ядро через ядерные поры.

2. Структура белков рибосом закодирована в рибосомальной РНК. Нет, рибосомальная РНК – некодирующая. Структура белков рибосом закодирована в матричных (информационных) РНК.

3. Белки рибосом входят в ядро в виде отдельных молекул, а выходят из него в составе целых рибосом. Нет; входят они в виде отдельных молекул (в комплексе с транспортными белками), но выходят в составе половинок (субъединиц) рибосом.

4. Митохондрии – потомки бактерий, их рибосомы похожи на бактериальные, и все белки их рибосом закодированы в их собственном геноме. Все это верно, кроме последнего утверждения. В рибосомах митохондрий человека 80 белков, а белковых генов в ДНК митохондрий у человека всего 14 (и ни один из них не кодирует белков рибосом). Значит, белки митохондриальных рибосом закодированы в ядерном геноме, синтезируются на рибосомах цитоплазмы и доставляются внутрь митохондрий после синтеза.

5. Все аминокислоты присоединяются к одинаковому участку транспортных РНК, но с помощью разных ферментов. Это действительно так. Специфичность присоединения обеспечивают разные ферменты – кодазы (их настоящее название – аминоацил-тРНК-синтетазы), которые опознают антикодон тРНК и присоединяют к ней (ковалентно!) «нужную» аминокислоту.

6. Все аминокислоты присоединяются к разным антикодонам транспортных РНК с помощью фермента кодазы. Из предыдущего пункта ясно, что это не так – аминокислоты не присоединяются к антикодонам.

7. Митохондрии и пластиды – потомки граммотрицательных бактерий. Да, именно так. Предки митохондрий и пластид – граммотрицательные бактерии, и обе мембраны этих двумембранных органоидов по происхождению бактериальные (вопреки многим схемам, где изображено образование наружной мембраны пластид и митохондрий из мембраны пищеварительной вакуоли поглотившей их клетки).

8. Внутренняя мембрана митохондрий и пластид имеет бактериальное происхождение, а наружная принадлежит клетке-хозяину. Нет (см. предыдущий пункт).

9. Многие белки митохондрий и пластид кодируются ядерными генами, которые попали в ядро из предковых бактерий. Совершенно верно. Менее очевидно, что многие другие белки современных митохондрий и пластид кодируются ядерными генами эукариотического происхождения (но это действительно так).

10. И в митохондриях, и в пластидах идет синтез АТФ с использованием градиента протонов. Совершенно верно. И протонные АТФ-синтазы в них в общем-то очень похожие (только расположены на разных мембранах).

Ответ: 1Б, 2Б, 3Б, 4Б, 5А, 6Б, 7А, 8Б, 9А, 10А. По 2 балла за каждый верный ответ, максимум 20 баллов; за каждый неверный ответ – минус 2 балла.

Вопрос 9

На рисунках показано действие разных форм естественного отбора

на популяцию. F1, F2, F3 – разные поколения; они обозначены одинако-

выми цветами на рис. А, Б и В. По горизонтальной оси отложены значения какого-то признака (например, длины тела), а по вертикальной оси – процент особей в популяции, которые обладают данным значением признака.

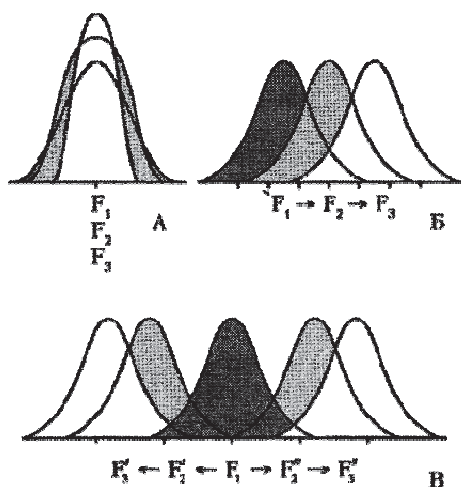


Рис. 1. Действие разных форм естественного отбора на популяцию¹⁰

Все верные утверждения, которые можно сделать на основе данных этого рисунка, означать буквой А, а неверные буквой Б. Верное утверждение не обязательно содержит всю правду, но не должно содержать ничего, кроме правды (то есть даже частично неверное утверждение считается неверным).

1. В результате действия отбора, показанного на рис. А, численность популяции снижается. Не похоже; площадь под кривой, види-

мо, остается постоянной. В реальности при действии стабилизирующего отбора численность тоже не обязана снижаться.

2. На рис. А норма реакции признака для популяции сужается, а на рис. В – расширяется. Верно. В популяции нормой реакции признака можно считать общий диапазон его значений.

3. Из рис. В ясно, что действие отбора уже привело к разделению одного вида на два новых. Нет, не ясно. Хотя между двумя группами особей появился разрыв (хиатус), то есть промежуточные значения признака отсутствуют, это не обязательно говорит о завершении видообразования. В одной популяции может длительное время сохраняться полиморфизм (например, существовать несколько цветовых морф без промежуточных вариантов).

4. На рис. Б и В показано действие движущей формы отбора. Нет. На рис. Б – движущий отбор, а на рис. В – разрывающий (дизруптивный).

5. На рис. А и Б отбор действует против носителей крайних значений признака, а на рис. В – средних значений. Да, это верно. Только на рис. А отбор действует против носителей обоих крайних значений признака, а на рис. Б – только против носителей одного (меньшего) крайнего значения.

Ответ: 1Б, 2А, 3Б, 4Б, 5А. По 4 балла за каждый верный ответ, максимум 20 баллов; за каждый неверный ответ – минус 4 балла.

Вопрос 10

Ген А подавляет активность гена В, ген В отвечает за синтез зеленого вещества из белого вещества-предшественника, ген С отвечает за синтез из этого зеленого вещества другого, красного вещества. Красное вещество ярче зеленого, зеленое яр-

че белого; окраска организма определяется самым ярким веществом, которое у него синтезируется. Рecessивные аллели генов А, В и С неактивны (полностью утрачивают функцию). Какая доля зеленых потомков родится от скрещивания

двух тригетерозигот $AaBbCc$? Ответ запишите в виде простой дроби.

$3/4$ потомков явно будут белыми: если есть аллель A , то синтез зеленого (а значит, и красного) вещества не пойдет. Это особи с генотипом $A---$ (на месте прочерка может быть любой аллель). Белыми будут также особи с генотипом $aabb--$ (таких будет $1/4 \times 1/4 = 1/16$).

Среди особей с двумя рецессивными аллелями aa будут зелеными те, у кого есть хотя бы один доми-

нантный аллель гена B и нет ни одного доминантного аллеля гена C , то есть особи с генотипом $aaB-cc$. Таких потомков будет $1/4 \times 3/4 \times 1/4 = 3/64$. Остальные ($aaB-C-$), очевидно, будут красными. Получается, что белых будет $52/64$, красных – $9/64$ и зеленых – $3/64$. В сумме получилось $64/64$, так что ошибок в расчетах мы не допустили.

Ответ: $3/64$. 20 баллов за верный ответ.

Максимальное число баллов – 200.

Калейдоскоп

Калейдоскоп

Калейдоскоп

Мир без полимеров

Полимерные материалы появились в нашей жизни не так давно, но уже сложно представить, как без них обходиться. А вдруг на Земле произойдет экологическая революция, и все продукты «чёрной химии» окажутся под запретом. С какими трудностями придётся столкнуться людям? Своё мнение представляет ученица 10 класса.

Есть много незаменимых изделий из полимеров, но некоторые всё же можно заменить.

1) Среди незаменимых вещей, например, обычные резиновые перчатки. Такие перчатки используются в медицине, всеми химиками и просто в быту. Например, с незащищенными руками категорически нельзя работать с некоторыми реактивами, а из других (натуральных) материалов таких не сделаешь. Кроме того, непонятно, как работать хирургам. Эта часть цивилизации может пострадать.

2) Также я не представляю, чем можно заменить обычные автомобильные шины. Не из ткани же их делать! А на твёрдом колесе почти без сцепления ездить опасно.

3) Затруднительно будет заменить полимерные герметичные и вакуумные упаковки.

4) Это всё ещё куда ни шло, но самой большой проблемой станет найти замену полимеров в электротехнике. Кроме полимеров, диэлектриков очень мало, а без электроизоляции пользоваться проводами под высоким напряжением нельзя – опасно! Понятно, что без электричества наша цивилизация особенно пострадает.

5) В некоторых случаях полимеры заменить можно. Примеров очень много: искусственную кожу можно заменить (к слову, она сама является заменой). Вместо пластиковой посуды (и прочей тары) можно использовать глиняную, стеклянную и т.д. Прозрачные пластиковые покрытия можно заменить стеклом, трубы – металлом, пластиковые пакеты – бумажными или тканевыми... Многое можно заменить деревом, но я всё равно не представляю деревянный или каменный ноутбук. Хотя пластиковые шариковые ручки было бы неплохо заменить металлическими паркерами – они, конечно, дороже, но намного престижнее.

В общем, часть полимеров просто необходимы, а часть можно заменить, но на это может уйти неслыханно много ресурсов.

И самое-самое-самое главное. Чем заменить воздушные шарiki???

Ксения М.



Медицина



Кандыков Евгений Владимирович

Ученик 9 класса МБОУ Лицей № 14 г. Ставрополя.

Научный руководитель – Самсонова Ольга

Евгеньевна, педагог дополнительного образования

МАН ДДТ, кандидат фармацевтических наук

Физико-химическое исследование биоминеральных патологических образований человека

Статья рассказывает об исследовании камней, образующихся в организме и причиняющих людям неприятности и страдания. Что они собой представляют, почему образуются?

Проблема камнеобразования в организме человека остается на сегодняшний день одной из актуальных в современной медицинской практике. В частности, в течение нескольких последних десятилетий отмечается прирост заболеваемости мочекаменной болезнью во всем мире. При этом особенностями заболевания являются возможность его возникновения в любом возрасте, наиболее часто в трудоспособном (20 – 50 лет), и высокая частота рецидива (до 80 %). Мочекаменная болезнь занимает второе место по числу инвалидности и является одной из причин сокращения ожидаемой продолжительности жизни.

Сейчас ученые активно изучают мочекаменную и почечную болезнь, ведь и сама болезнь является довольно интересной, так как в основе ее лежит не только образование малорастворимых соединений, но и нарушение коллоидного равновесия в тканях организма человека.

Камнеобразование – сложный физико-химический процесс. Основная причина камнеобразования – нарушение обмена ионов Ca^{2+} и солей холестерина, которое приводит к образованию различных малорастворимых соединений, называемых камнями. На данный момент процесс камнеобразования активно изучается.

Формирующиеся в организме патологические биоминеральные образования представляют собой органо-минеральные агрегаты (комплекс структурных элементов) с не-

однородной структурой и сложным химическим составом. При камнеобразовании из коллоидного раствора мочи образуются довольно крупные конкременты (рис. 1).



Рис. 1. Самый крупный образец в коллекции

По результатам исследования структуры камней под световым микроскопом было выявлено, что по своему строению они представляют собой комбинацию различных структурных элементов, таких как ядра, концентратов, радиально-лучистых срастаний, однородной аморфной массы, полостей и т.д. Для некоторых видов камней характерно зональное строение, при котором можно выделить такие структурные элементы, как ядро (или несколько ядер), окружающие ядро слои, внешняя граничная область. Формирование слоёв происходит обычно на поверхности ядра вследствие отложения минеральных или органических веществ.

Для биоминеральных образований характерна микрогетерогенность (неоднородность): собственно кристаллизация имеет подчиненное значение параллельно протекающим процессам растворения и образования более растворимых солей. Концентрические зоны окраски (по типу годовичных колец дерева) связаны с различными условиями формирования камня (периодическая выработка/застой желчи, изменение pH и др.). Неравномерная (коричнево-черная и белая окраска) камней, представленных на фото (рис. 2), дает основание предположить, что каждый камень поочередно формировался из различных по концентрации и составу растворов.

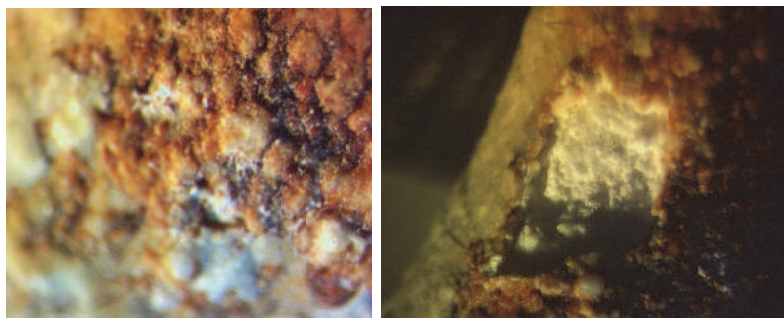


Рис. 2. На данных фотографиях можно отчетливо увидеть некоторые структурные элементы, которые могут иметь различный состав и структуру

По результатам изучения формы кристаллов изучаемого биомине-

рального образования установили (основываясь не только на форме



кристаллов, но и на ряде качественных реакций), что преобладающим в составе является карбонат кальция с незначительным образованием, исключительно на поверхности камня, оксалатов и уратов. В процессе хра-

нения камней вследствие потери кристаллической воды (усыхания) наблюдалось появление радиальных трещин (открыты и не заполнены), расположенных относительно друг друга хаотично (рис. 3).

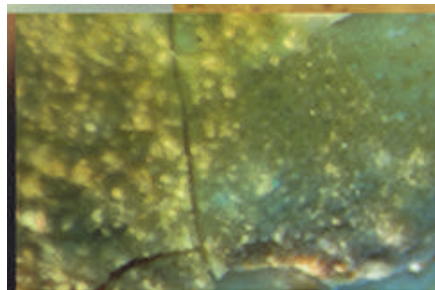
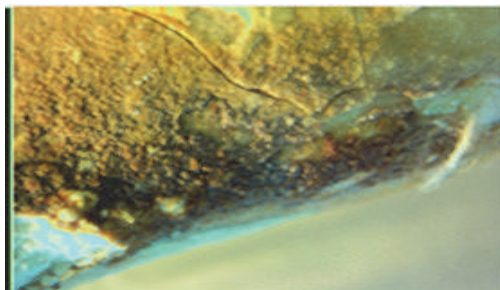


Рис. 3. На снимках хорошо видны те трещины, о которых говорилось в тексте

Далее методом компьютерной томографии было выполнено исследование структуры почечного камня. Для оценки плотности визуализируемых методом компьютерной томографии структур используется шкала ослабления рентгеновского излучения, получившая название шкалы Хаунсфилда (рис. 4). Это шкала, которая показывает рентгеновскую плот-

ность вещества. За нулевую отметку в ней принята плотность дистиллированной воды. Визуальным отражением на мониторе аппарата является чёрно-белое изображение. На снимках отчетливо видна форма камня, его размер, а также различные структурные элементы (рис. 5), что свидетельствует о том, что камни могут формироваться в различных условиях.

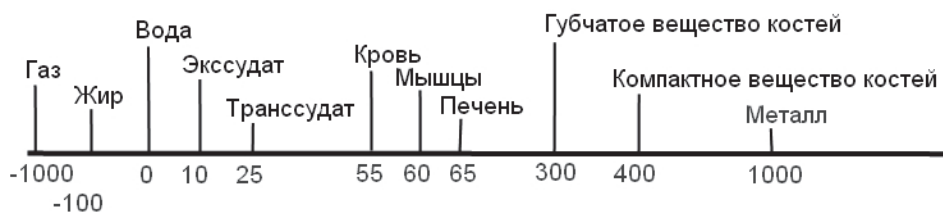


Рис. 4. Шкала Хаунсфилда. Единицы на шкале показывают, на сколько (приблизительно) плотность того или иного вещества больше плотности воды

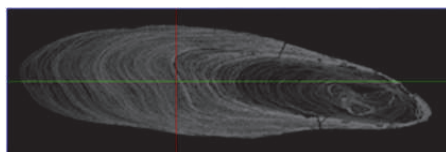
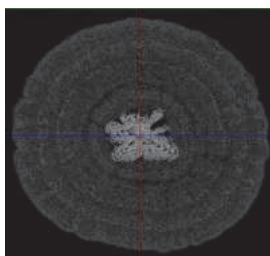
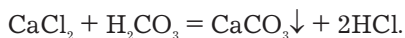
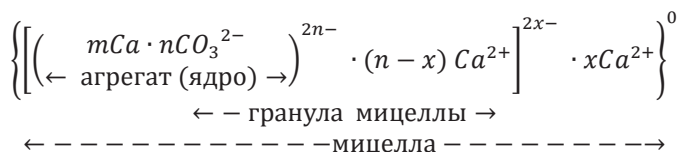


Рис. 5. Компьютерные томограммы почечного и мочевого камней

При исследовании структур камня на растворимость установлено ухудшение растворимости для органической части конкремента. В исследовании был использован ряд растворителей: петролейный эфир, этиловый спирт, 10 %-ный раствор соляной кислоты, вода. Из полученных данных о растворимости можно сделать вывод о том, что в структуре



В этом случае гранула формирующегося кристалла заряжена от-



Образуется золь карбоната кальция.

В системе присутствуют ионы других биогенных элементов: Na^+ , K^+ , Mg^{2+} . Согласно правилу Шульце – Гарди, коагулирующее действие иона возрастает с его зарядом. Поэтому в процессе формирования почечного камня происходила совместная кристаллизация карбонатов и оксалатов кальция и магния (все они белого цвета).

Данное исследование показало завершающий этап нарушений в организме человека, приводящий к формированию конкрементов. Однако первоначальные факторы возникновения данной патологии кроются значительно глубже – начиная с особенностей влияния внешних

конкремента присутствует смесь веществ гидрофобной природы.

Установленный качественный состав позволяет нам предположить механизм формирования биоминерального образования в организме. В результате нарушения микроэлементного (Ca^{2+} , CO_3^{2-}) и кислотно-основного гомеостаза в мочеиссудительной системе происходит реакция:

рицательно, в диффузном слое расположены ионы Ca^{2+} :

факторов (состав воды, воздуха, образ жизни) на организм человека и заканчивая генетической предрасположенностью. Для более детального изучения данного патологического процесса с целью разработки методов профилактики заболеваний человека необходимо проведение молекулярно-генетических исследований, а также исследование влияния внешних факторов на организм.

Выражаю особую благодарность за помощь в проведении работы ведущей научной-исследовательской лабораторией экспериментальной иммуноморфологии, иммунопатологии и иммунобиотехнологии Центра коллективного пользования СКФУ Тимченко Людмиле Дмитриевне.

Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор

Законы химии

Темпоральное правило Ковыгина. Для поисков методики времени всегда не хватает, тогда как для двух-трёхкратной переделки синтеза оно всегда находится.

Следствие. Если вы использовали все известные способы проведения данного синтеза, но не добились успеха – прочтите наконец методику!



Олимпиады



Корнейчук Андрей Яковлевич

Учитель химии, руководитель методического объединения естественных наук ГБОУ «Школа № 1535», сотрудник химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Научные интересы – квантовая химия, квалиметрия, оценка качества образования, методика подготовки к олимпиадам по химии

Трубицын Евгений Александрович

Учитель химии и физики, руководитель методического объединения естественных наук ГБОУ «Школа № 218». Победитель Московской городской олимпиады «Учитель школы большого города» в 2018-2019 уч. году. Научные интересы – методика преподавания курсов химии и физики в школе при условии реализации их одним учителем.



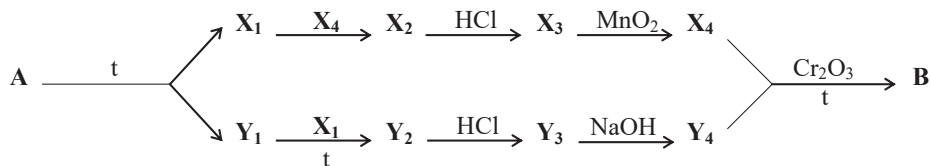
Задания LXXV Московской городской олимпиады школьников по химии 2019 г. (9 класс)

Продолжаем публикацию заданий «мосгора» с решениями. И в этом номере очередь дошла до 9 класса. В зачёт в этом году шли только пять задач из шести. Задача с минимальным числом баллов при подсчёте суммы баллов не учитывалась.

Задача 1

Определите формулы веществ
A, B, X₁ – X₄, Y₁ – Y₄, напишите

уравнения соответствующих реакций:



Дополнительно известно:

1) X_1 и Y_1 – простые вещества.

2) A – бинарное соединение азота и натрия.

3) B – жидкость при температуре 25 °С и давлении 745 мм рт. ст.

4) Отношение масс X_1 и Y_1 , образующихся из A , составляет 1 : 1,826.

5) Массовая доля более легкого элемента в Y_2 равна 16,87 %.

Решение:

1) Определим состав вещества A . Рассмотрим вариант, когда массы натрия и азота относятся как 1 : 1,826. Пусть $m(\text{Na}) = 1$ г, тогда масса азота равна 1,826 г. Количество веществ натрия и азота равны:

$$n(\text{Na}) = m(\text{Na}) : M(\text{Na}) = 1 \text{ г} : 23 \text{ г/моль} \approx 0,0435 \text{ моль};$$

$$n(\text{N}) = m(\text{N}) : M(\text{N}) = 1,826 \text{ г} : 14 \text{ г/моль} \approx 0,1304 \text{ моль}.$$

Отношение количеств веществ натрия и азота равно $0,0435 : 0,1304 \approx 1 : 3$, что соответствует азиду натрия NaN_3 (вещество A), который также подходит по условию, так как разлагается при нагревании на простые вещества. Аналогично можно проверить случай, когда натрия по массе больше, чем азота. В этом случае не получается вывести формулу реально существующего бинарного соединения натрия и азота.

2) Определим состав вещества Y_2 . Так как вещества X_1 и Y_1 – азот и натрий (пока ещё неясно, как зашифровано каждое из веществ, это ещё предстоит определить), то Y_2 –

другое бинарное соединение азота и натрия, причем более легкий элемент – это азот, и нам дана его массовая доля. Пусть масса Y_2 равна 100 г, тогда:

$$m(\text{N}) = \omega(\text{N}) \cdot m(\text{Y}_2) = 0,1687 \cdot 100 \text{ г} = 16,87 \text{ г};$$

$$m(\text{Na}) = m(\text{Y}_2) - m(\text{N}) = 100 \text{ г} - 16,87 \text{ г} = 83,13 \text{ г}.$$

Количества веществ азота и натрия:

$$n(\text{Na}) = m(\text{Na}) : M(\text{Na}) = 83,13 \text{ г} : 23 \text{ г/моль} \approx 3,614 \text{ моль};$$

$$n(\text{N}) = m(\text{N}) : M(\text{N}) = 16,87 \text{ г} : 14 \text{ г/моль} \approx 1,205 \text{ моль}.$$

Отношение количеств веществ натрия и азота равно $3,614 : 1,205 \approx 3 : 1$, что соответствует нитриду натрия Na_3N (вещество Y_2).

3) Определение остальных веществ. При взаимодействии Na_3N с соляной кислотой образуются хлорид натрия и хлорид аммония. Из них только хлорид аммония может реагировать со щелочью, поэтому Y_3 – хлорид аммония NH_4Cl . При взаимодействии хлорида аммония с гидроксидом натрия образуется аммиак, хлорид натрия и вода. С учетом того, что следующая реакция протекает при нагревании в присутствии оксида хрома (III), можно сделать вывод, что последняя реакция – это сжигание аммиака в кислороде в присутствии катализатора оксида хрома (III).



Окисление аммиака на оксиде хрома
(фото Н.И. Морозовой)

Таким образом Y_4 – аммиак NH_3 , X_4 – кислород O_2 . Жидкое при указанных условиях вещество B – вода, которая образуется при сжигании аммиака в кислороде.

С учетом того, что кислород образуется из вещества X_3 в присутствии оксида марганца (IV), можно предположить, что X_3 – пероксид водорода. Тогда X_2 – пероксид натрия, из которого при взаимодействии с соляной кислотой образуется хлорид натрия и пероксид водорода. Пероксид натрия образуется при взаимодействии кислорода X_4 с натрием, следовательно, X_1 – натрий, тогда Y_1 – азот.

Критерии оценивания:

1) Расчеты для определения формул веществ:

Расчет состава (или проверка расчетом) вещества A – 1 балл.

Расчет состава (или проверка расчетом) вещества Y_2 – 1 балл.

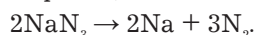
2) Определение веществ:

A – NaN_3 ; B – H_2O ; X_1 – Na ; X_2 – Na_2O_2 ; X_3 – H_2O_2 ; X_4 – O_2 ; Y_1 – N_2 ; Y_2 – Na_3N ; Y_3 – NH_4Cl ; Y_4 – NH_3 .

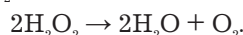
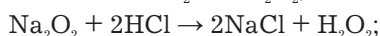
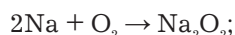
За каждое правильно определенное вещество – 1 балл (всего 10 баллов).

3) Уравнения реакций:

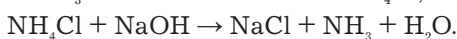
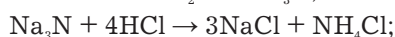
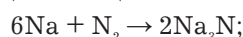
Первая реакция:



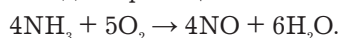
Реакции с веществами X_1 – X_4 :



Реакции с веществами Y_1 – Y_4 :



Последняя реакция:

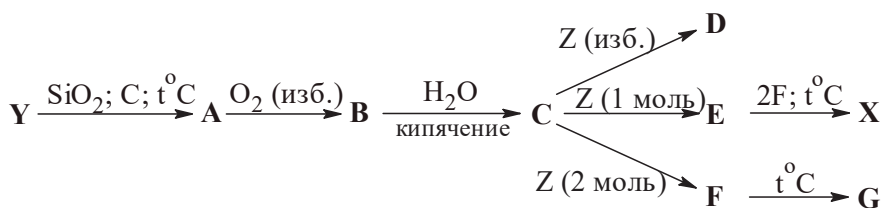


За каждую правильно написанную реакцию – 1 балл (всего 8 баллов), если реакция не уравнена, то её оценивали в 0,5 балла.

Задача 2

Соль X является распространённой пищевой добавкой. Ниже

представлена схема получения соли X из соли Y :



Одно из тривиальных названий Z – каустическая сода. Массовая доля кислорода в Z составляет 40 %. Массовая доля кислорода в соединении B равна 56,34 %. Вещество Y

представляет собой среднюю соль кислоты C и содержит 41,29 % кислорода по массе.

1) Определите вещества A – G , X , Y , Z . Ответ подтвердите расчётами.

2) Напишите все необходимые уравнения реакций (8 уравнений).

3) Какие вещества с тривиальным названием «сода» вам известны? Приведите их названия и соответствующие формулы.

Решение:

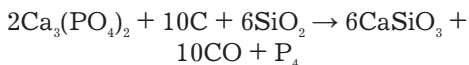
1) Вещество **С** – это кислота, тогда скорее всего вещество **Z** – это основание. Для формулы **Z** состава $\text{Me}(\text{OH})_n$ получаем:

$$0,4 = \frac{16n}{M + 17n} \Rightarrow M = 23n$$

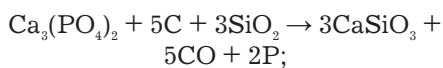
При $n = 1$ $M = 23$ г/моль, что соответствует натрию Na. Следовательно, **Z** – NaOH.

X	Y	Z	A	B
$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	NaOH	P или P_4	P_2O_5 или P_4O_{10}
C	D	E	F	G
H_3PO_4	Na_3PO_4	NaH_2PO_4	Na_2HPO_4	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$

2) Уравнения реакций:



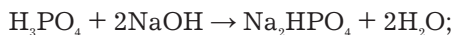
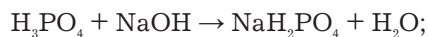
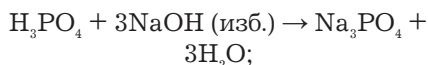
или



(засчитывали также уравнения с P_4 и P_4O_{10});



или



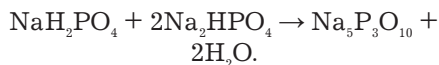
Вещество **B**, скорее всего, представляет собой оксид, тогда для вещества **B** состава $\text{Э}_2\text{O}_n$ получаем:

$$0,5634 = \frac{16n}{2M(\text{Э}) + 16n} \Rightarrow M(\text{Э}) = 6,2n$$

При $n = 5$ $M(\text{Э}) = 31$ г/моль, что соответствует фосфору P. Следовательно, **B** – P_2O_5 (или P_4O_{10}). Тогда **C** – H_3PO_4 , а вещество **Y** – соль ортофосфорной кислоты $\text{M}_3(\text{PO}_4)_n$. Выведем формулу соли:

$$0,4129 = \frac{64n}{3M + 95n} \Rightarrow M = 20n$$

При $n = 2$ $M = 40$ г/моль, что соответствует кальцию Ca. Следовательно, **Y** – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.



3) Формулы и названия «сод»:

Na_2CO_3 – кальцинированная сода;
 NaHCO_3 – питьевая сода; $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – кристаллическая сода.

Критерии оценивания:

1) Формулы веществ **Y**, **Z**, **B** с расчётом – по 1 баллу, всего 3 балла (без расчёта – 0 баллов). Формулы веществ **X**, **A**, **C** – **G** – по 1 баллу, всего 7 баллов.

2) Уравнения реакций – по 1 баллу, всего 8 баллов (если неверно указаны коэффициенты – по 0,5 балла).

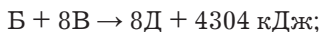
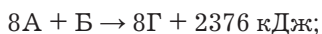
3) Любые формулы двух «сод» – по 0,5 балла, всего 1 балл. Верные названия соответствующих «сод» – по 0,5 балла, всего 1 балл.



Задача 3

Некоторые из веществ **А** – **Д** являются простыми, а некоторые бинарными, причем в их состав могут входить только атомы двух элементов $\mathfrak{A}_1$ и $\mathfrak{A}_2$, находящихся в одной подгруппе периодической системы. Соотношение молярных масс этих веществ $2 : 16 : 3 : 4 : 5$ (в порядке перечисления веществ, приведенном выше). Вещество **Д** при взаимодействии с водой превращается в вещество **Е**, производство которого превышает несколько сотен млн. тонн в год. Определите зашифрованные вещества и элементы, ответ обоснуйте.

Вычислите тепловой эффект реакции превращения вещества **А** в **В**, если известно следующее (коэффициенты во всех реакциях указаны):

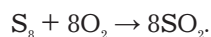


Тепловой эффект реакции превращения **Д** в **Е** составляет 418 кДж. Определите, хватит ли теплоты, выделяющейся при образовании 10 моль вещества **Е**, чтобы расплавить кубик льда с ребром, равным 10 см. Приведите соответствующие расчеты. Плотность льда составляет 900 кг/м^3 , удельная теплота плавления льда равна $3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$, начальная температура льда 0°C , давление 1 атм.

Решение:

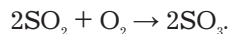
1) Так как вещества, образованные элементами из одной подгруппы периодической таблицы, могут реагировать друг с другом, то, скорее всего, эти элементы являются неметаллами, что сильно сокращает поле для поиска. Из целочисленного соотношения молярных масс веществ, в состав которых входят атомы этих элементов, следует, что атомные массы элементов кратны какому-то

числу. В первую очередь стоит предположить, с учетом стехиометрии приведенных ниже реакций, что элементы $\mathfrak{A}_1$ и $\mathfrak{A}_2$ – это кислород и сера (или наоборот). Тогда вещество **А** – кислород O_2 , вещество **Б** – сера S_8 , реакция между ними – это реакция образования сернистого ангидрида:

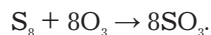


Горение серы на воздухе (фото В.В. Загорского)

Таким образом, вещество **Г** – SO_2 . Третья реакция – это реакция между сернистым ангидридом и кислородом, в результате которой образуется серный ангидрид:

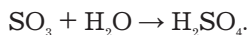


Следовательно, вещество **Д** – SO_3 . Серный ангидрид образуется непосредственно из серы при окислении более сильным окислителем, чем кислород, с учетом этого соображения, стехиометрии второй реакции и соотношения молярных масс делаем вывод, что **В** – озон. Уравнение второй реакции запишется тогда так:

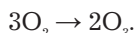


Вещество **Е**, образующееся при взаимодействии серного ангидрида с водой – это серная кислота H_2SO_4 . Это подходит под условие, что вещество **Е** получают в про-

мышленных масштабах. Соответствующая реакция:



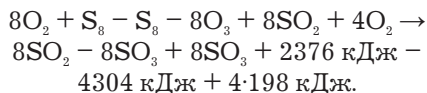
2 Необходимо рассчитать тепловой эффект реакции превращения кислорода **A** в озон **B**:



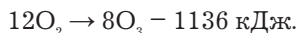
Проще всего это сделать, используя закон Гесса. Также можно сравнивать изменения энергии системы при протекании той или иной реакции. Рассчитаем тепловой эффект по закону Гесса. Для этого проанализируем реакции:



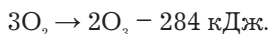
Домножим вторую реакцию на –1, а третью на 4, и сложим левые и правые части:



Или:



После сокращения получим:



Тепловой эффект реакции образования озона из кислорода составляет –284 кДж, что соответствует тому факту, что озон образуется из кислорода воздуха при грозовом разряде.

3) При образовании 10 моль серной кислоты **E** выделяется теплота:

$$Q = 418 \text{ кДж} \cdot 10 = 4180 \text{ кДж}.$$

Проверим, хватит ли этой теплоты, чтобы расплавить кубик льда. Сначала найдем объём и массу льда:

$$V_{\text{лед}} = 10 \text{ см} \cdot 10 \text{ см} \cdot 10 \text{ см} = 1000 \text{ см}^3;$$

$$m_{\text{лед}} = \rho_{\text{лед}} \cdot V_{\text{лед}} = 0,9 \text{ г/см}^3 \cdot 1000 \text{ см}^3 = 900 \text{ г} = 0,9 \text{ кг}.$$

Для плавления такой массы льда, взятого при температуре 0 °С, потребуется количество теплоты:

$$\begin{aligned} Q_{\text{плав}} &= \lambda_{\text{лед}} \cdot m_{\text{лед}} = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг} \cdot 0,9 \text{ кг} \\ &= 297000 \text{ Дж} = 297 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

Видим, что количество теплоты, выделяющейся при образовании 10 моль серной кислоты, значительно превышает то количество теплоты, которое необходимо для плавления кубика льда со стороны, равной 10 см, поэтому лёд полностью расплавится, и останется вода с температурой выше 0 °С.

Критерии оценивания:

1) Соображение о том, что атомные массы элементов кратны какому-то числу – 2 балла.

2) Определение элементов **Э**₁ и **Э**₂ – по 1 баллу (всего 2 балла).

3) Определение веществ **A**, **B**, **B**, **Г**, **Д**, **Е** – по 1 баллу (всего 6 баллов)

4) Определение теплового эффекта реакции образования озона из кислорода – 4 балла.

5) Определение объема и массы льда – по 1 баллу (всего 2 балла).

6) Расчет теплоты, требующейся для плавления кубика льда, и вывод о том, что теплоты реакции хватит для плавления льда – по 2 балла (всего 4 балла).

Задача 4

Как известно, состояние газа определяется объёмом *V*, давлением *p* и температурой *T*. Для идеального газа эти величины связаны уравнением Клапейрона-Менделеева:

$$pV = \nu RT,$$

где **R** – универсальная газовая постоянная, имеющая во внесистемных единицах значение 8,314 кПа×л/



($K \times \text{моль}$), T – температура в кельвинах, $T = 273 + t(^{\circ}\text{C})$.

Большинство школьных экспериментов проводятся при комнатной температуре 21°C и давлении 1 атм.

В школьной лаборатории решили получить углекислый газ. Для этого в аппарат Киппа поместили 110 г мраморных осколков (содержащих 10 % инертных примесей), а затем начали добавлять соляную кислоту.

1) Запишите уравнение реакции растворения. Определите максимальный объём выделившегося газа.

В лабораторию поступил баллон с газом **X**. Рабочие характеристики баллона: объём – 50 л, масса – 51,5 кг, давление газа – 150 атм при комнатной температуре, масса с газом – 63,936 кг.

2) Определите газ **X**. Ответ подтвердите расчётом. Для чего применяется газ **X** в лабораторном синтезе? Как получают газ **X**?

Смесь углекислого газа и газа **Y** массой 17,2 г при 50°C и нормальном давлении занимает объём 13,25 л. При пропускании этой смеси через известковую воду выпадает 20 г осадка.

3) Напишите необходимое уравнение реакции. Рассчитайте молярную массу газа **Y**. Приведите формулы не менее трёх газов, которые удовлетворяют условию задачи.

Решение:

1) Уравнение реакции растворения (2 балла; если неправильно составлены коэффициенты – 0,5 балла):



$$m(\text{чист. CaCO}_3) = 110 \times 0,9 = 99 \text{ г};$$

$$\nu(\text{CaCO}_3) = 99/100 = 0,99 \text{ моль};$$

$$V(\text{CO}_2) = 0,99 \times 22,4 = 22,176 \text{ л}$$

(3 балла). Или:

$$V(\text{CO}_2) = \frac{\nu RT}{p} = \frac{0,99 \times 8,314 \times 294}{101,325} = 23,9 \text{ л}$$

(в случае верного расчёта без учёта примеси – 1 балл).

2) Определим **X**:

$$m(\text{X}) = 63,936 - 51,5 = 12,436 \text{ кг};$$

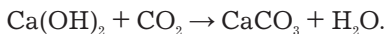
$$\nu(\text{X}) = \frac{pV}{RT} = \frac{150 \times 101,325 \times 50}{8,314 \times (273 + 21)} = 310,9 \text{ моль}$$

$$M(\text{X}) = 12436/310,9 = 40 \text{ г/моль}.$$

Следовательно, газ **X** – аргон Ar (5 баллов).

Аргон применяется в синтезах, где необходима инертная или бескислородная атмосфера (1 балл). Аргон получают перегонкой воздуха (1 балл).

3) Уравнение реакции (2 балла):



$$\nu(\text{CaCO}_3) = 20/100 = 0,2 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{газов. смеси}) = \frac{13,25 \times 101,325}{8,314 \times 323} = 0,5 \text{ моль}$$

$$m(\text{Y}) = 17,2 - 0,2 \times 44 = 8,4 \text{ г};$$

$$\nu(\text{Y}) = 0,5 - 0,2 = 0,3 \text{ моль};$$

$$M(\text{Y}) = 8,4/0,3 = 28 \text{ г/моль}.$$

(4,5 балла).

Подходят следующие газы: N_2 ; CO ; C_2H_4 ; C_2D_2 ; B_2H_6 . По 0,5 балла за формулу, засчитываются любые три, всего 1,5 балла.

Задача 5

К неокрашенному раствору, содержащему 39,72 г вещества **K**, прилили раствор вещества **L**, содержащий 20,52 г этого вещества. При этом наблюдалось выпадение белого осадка **M** массой 55,92 г. Известно,

что раствор вещества **K** имеет слабокислую среду, в ходе реакции среда стала нейтральной. В состав веществ **K** и **L** входят атомы одного химического элемента, что обуславливает их ядовитость. Если выпа-

рять такую же порцию раствора вещества **Л** и прокалить сухой остаток в токе газа **Н** при 550 °С, то образуется вещество **О** массой 20,28 г, разлагающееся при нагревании выше 750 °С (масса при этом уменьшается на 1,92 г). Про газ **Н** известно, что при охлаждении он конденсируется в жидкость голубоватого цвета, а при давлении выше 10⁵ атмосфер превращается в твердое красное вещество **П** с молярной массой 128 г/моль. Определите зашифрованные вещества, напишите уравнения всех описанных в тексте задачи реакций.



Жидкость голубоватого цвета¹

Решение:

1) Если среда раствора вещества **К** слабокислая, а после реакции среда раствора становится нейтральной, то вещество **Л** проявляет основные свойства, и в ходе реакции между ними образуется вода. Масса образующейся воды равна разнице между суммой масс реагирующих веществ (**К** и **Л**) и массой осадка **М**:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{К}) + m(\text{Л}) - m(\text{М}) = 39,72 \text{ г} + 20,52 \text{ г} - 55,92 \text{ г} = 4,32 \text{ г}.$$

Количество вещества образующейся воды равно:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O}) : M(\text{H}_2\text{O}) = 4,32 \text{ г} : 18 \text{ г/моль} = 0,24 \text{ моль}.$$

2) Определим вещество **Л**. Так как оно проявляет основные свойства, то предположим, что это основание, и тогда его состав можно выразить формулой $\text{Me}(\text{OH})_x$. Найдем молярную массу металла, предположительно входящего в состав вещества. При этом учтем, что количество гидроксид-анионов в растворе вещества **Л** равняется количеству вещества образующейся воды, и количество вещества основания равно отношению количества вещества гидроксид-анионов и значения «х». Тогда можно сделать разумный перебор, заполнив таблицу:

Значение «х»	Основание	n(Л)	M(Л)	M(Me)	Металл
1	MeOH	0,24 моль	85,5 г/моль	68,5 г/моль	—
2	Me(OH) ₂	0,12 моль	171 г/моль	137 г/моль	Ba
3	Me(OH) ₃	0,08 моль	256,5 г/моль	205,5 г/моль	—
4	Me(OH) ₄	0,06 моль	342 г/моль	274 г/моль	—

Таким образом, вещество **Л** – гидроксид бария (барий обуславливает ядовитость этого вещества) и его количество вещества равно 0,12 моль.

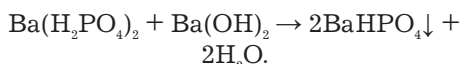
3) Определим вещества **К** и **М**. По условию известно, что **К**, так же как и **Л**, содержит барий, следовательно, это, скорее всего, соль, причем

¹https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c3/Liquid_oxygen_in_a_beaker_4.jpg/800px-Liquid_oxygen_in_a_beaker_4.jpg



соль кислая и растворимая. Условие о том, что среда раствора этой соли слабокислая, наводит на мысль о том, что это соль несильной кислоты. Всем этим условиям соответствует дигидроортофосфат бария $\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Тогда при взаимодействии этой соли с раствором гидроксида бария **Л** может выпасть гидроортофосфат бария BaHPO_4 или средний ортофосфат бария $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$. Проверим это расчетом. Учтем, что в ходе реакции вещества взяты в стехиометрическом соотношении, так как итоговый раствор имеет нейтральную среду.

А) Рассмотрим реакцию образования гидроортофосфата бария:



По уравнению реакции:

$$n(\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2) = n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0,12 \text{ моль};$$

$$n(\text{BaHPO}_4) = 2n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0,24 \text{ моль}.$$

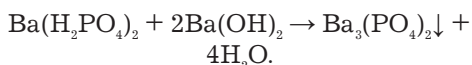
Массы этих солей равны:

$$\begin{aligned} m(\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2) &= \\ n(\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2) \cdot M(\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2) &= \\ 0,12 \text{ моль} \cdot 331 \text{ г/моль} &= 39,72 \text{ г}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m(\text{BaHPO}_4) &= n(\text{BaHPO}_4) \cdot M(\text{BaHPO}_4) \\ &= 0,24 \text{ моль} \cdot 233 \text{ г/моль} = 55,92 \text{ г}. \end{aligned}$$

Этот вариант подходит под условие задачи.

Б) Проведем аналогичный расчет для реакции образования ортофосфата бария:



По уравнению реакции:

$$n(\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2) = 0,5n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0,06 \text{ моль};$$

$$n(\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2) = 0,5n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0,06 \text{ моль}.$$

Массы этих солей равны:

$$\begin{aligned} m(\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2) &= \\ n(\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2) \cdot M(\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2) &= \\ 0,06 \text{ моль} \cdot 331 \text{ г/моль} &= 19,86 \text{ г}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m(\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2) &= \\ n(\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2) \cdot M(\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2) &= \\ 0,06 \text{ моль} \cdot 601 \text{ г/моль} &= 36,06 \text{ г}. \end{aligned}$$

Этот вариант **не** подходит под условие задачи.

Итак, веществом **К** является дигидроортофосфат бария $\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, белым осадком **М** – гидроортофосфат бария BaHPO_4 .

4) Определим вещества **Н**, **О** и **П**.

При выпаривании раствора гидроксида бария и дальнейшем прокаливании сухого основания в отсутствие какого-либо газа должен образовываться оксид бария BaO . Причем его количество вещества должно быть равно количеству вещества гидроксида бария, т. е. 0,12 моль, тогда его масса должна быть равна:

$$\begin{aligned} m(\text{BaO}) &= n(\text{BaO}) \cdot M(\text{BaO}) = \\ 0,12 \text{ моль} \cdot 153 \text{ г/моль} &= 18,36 \text{ г}. \end{aligned}$$

Это значение массы не совпадает с массой вещества **О**, образующегося при прокаливании гидроксида бария в токе газа **Н**. Проанализируем разложение вещества **О**. В ходе него образуется остаток массой:

$$m_{(\text{остаток})} = 20,28 \text{ г} - 1,92 \text{ г} = 18,36 \text{ г}.$$

Это наводит на мысль, что при разложении **О** образуется оксид бария. Газ же **Н** способен обратимо реагировать с оксидом бария, образуя продукт, неустойчивый при высокой температуре. Такими газами могут быть кислород (тогда **О** – это пероксид бария BaO_2), углекислый газ (в этом случае **О** – карбонат бария BaCO_3) или сернистый газ (**О** – сульфит бария BaSO_3). Проверим эти варианты расчетом. В случае пероксида бария от формульной единицы BaO_2 отщепляется один атом кислорода, в случае карбоната и сульфита



бария отщепляется одна молекула углекислого или сернистого газов, во всех случаях количества веществ «уходящих» атомов кислорода или молекул оксидов равно 0,12 моль. Рассчитаем молярную массу уходящего фрагмента вещества:

$$M_{\text{фраг}} = 1,92 \text{ г} : 0,12 \text{ моль} = 16 \text{ г/моль}.$$

Следовательно, из формульной единицы «уходит» при нагревании один атом кислорода, вещество **O** – пероксид бария BaO_2 , газ **H** – кислород O_2 . Углекислый газ также не подходит, т. к. при охлаждении при нормальном давлении конденсируется не в голубоватую жидкость, а в белое твердое вещество («сухой лёд»), сернистый газ конденсируется в бесцветную жидкость.

Если **H** – кислород O_2 , то вещество **П** – другая аллотропная модификация кислорода, устойчивая при указанных экстремальных давлениях. Формулу вещества **П** можно представить как O_y , тогда «у» равен:

$$y = M(\text{O}_y) : M(\text{O}) = 128 \text{ г/моль} : 16 \text{ г/моль} = 8.$$

Тогда **П** – аллотропная модификация кислорода с молекулярной формулой O_8 .

Критерии оценивания:

1) Определение количества вещества образующейся воды – 1 балл.

2) Вывод о том, что металл, входящий в состав **Л**, является барием – 2 балла.

3) Вывод, что вещество **Л** – гидроксид бария – 1 балл.

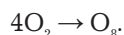
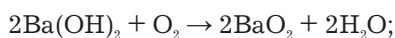
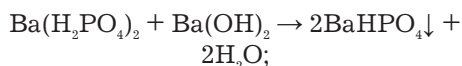
4) Вывод о том, что вещество **К** – дигидроортофосфат бария, а вещество **М** – гидроортофосфат бария – по 2 балла (всего 4 балла). Проверка расчетом этого предположения – 2 балла.

5) Вывод о том, что при разложении вещества **O** выше 750°C образуется оксид бария – 2 балла (если нет обоснования расчетом – 1 балл).

6) Вывод, что вещество **O** – пероксид бария – 2 балла (1 балл, если нет соответствующего расчета), что вещество **H** – кислород O_2 – 1 балл.

7) Вывод о том, что **П** – октакислород O_8 – 1 балл.

8) Уравнения реакций:



За каждую правильно написанную реакцию – 1 балл (всего 4 балла), если реакция не уравнена, то её оценивали в 0,5 балла.

Задача 6

Соединения, содержащие в своём составе элемент **X**, имеют широкий спектр применений. В природе одним из самых распространённых соединений **X** является минерал **A**. Для выделения простого вещества **C**, образованного элементом **X**, минерал **A** подвергают обжигу (реакция 1), при этом выделяется газ **Y** и образуется вещество **B**. Причём при сжигании 1,00 г **A** образуется 130,74 мл (н. у.) газа **Y**. Вещество **B** далее сплавляют с углём (реакция 2)

с образованием вещества **C**. Газ **Y** обесцвечивает бромную воду (реакция 3), вызывает помутнение известковой воды (реакция 4), а при реакции с другим газом **Z**, содержащим тот же элемент, что и **Y**, образует простое вещество жёлтого цвета (реакция 5). При сплавлении оксида **B** с пероксидом натрия в атмосфере кислорода (реакция 6) образуется соль **D**. Дополнительно известно, что соль **D** – это соль одноосновной кислоты с массовой долей



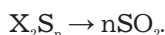
кислорода, равной 17,14 %. Эта соль обладает сильнейшей окислительной способностью, так при добавлении этой соли к раствору азотной кислоты с нитратом марганца (II) наблюдается появление малинового окрашивания раствора (реакция 7).

Определите вещества **Y**, **Z**, **A** – **D**. Ответ подтвердите расчётом. Напишите уравнения реакций 1 – 7. Как называется соль **D**?

Решение:

1) Газ **Y** обесцвечивает бромную воду и вызывает помутнение известковой воды, следовательно, газ **Y** – SO_2 , тогда газ **Z** – H_2S , а простое вещество жёлтого цвета – это сера. Тогда минерал **A** – это сульфид X_2S_n .

Составим схему горения сульфида **A**:



1,00 г вещества дает при горении 130,74 мл газа.

$$\frac{n}{2X + 32n} = \frac{0,13074}{22,4} \Rightarrow X = 69,67n$$

При $n = 3$ $X = 209$ г/моль, что соответствует висмуту Bi. Тогда **A** – Bi_2S_3 , **B** – Bi_2O_3 , **C** – Bi.



Минерал висмутин Bi_2S_3 (фото Н.И. Морозовой)

Выведем соль **D**.

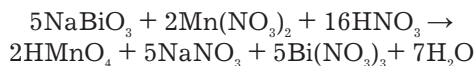
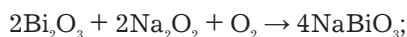
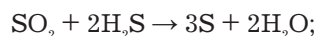
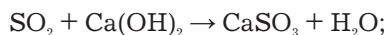
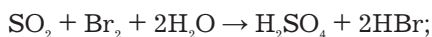
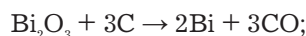
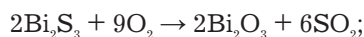
Так как **D** получают сплавлением **B** с пероксидом натрия в атмосфере кислорода, следовательно, **D** – соль натрия. Тогда, формула **D** – NaBiO_3 . Т.к. массовая доля кислорода в этой соли равна 17,14 %, можно определить n :

$$0,1714 = \frac{16n}{232 + 16n} \Rightarrow n = 3$$

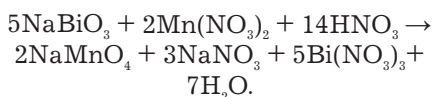
Следовательно, **D** – NaBiO_3 .

A	B	C
Bi_2S_3	Bi_2O_3	Bi
D	Y	Z
NaBiO_3	SO_2	H_2S

2) Уравнения реакций:



или



3) NaBiO_3 – висмутат натрия.

Критерии оценивания:

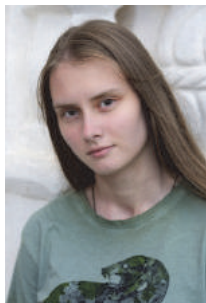
1) Расчёт и определение солей **A** и **D** – по 2 балла, всего 4 балла (без расчёта – 0 баллов). Формулы веществ **B**, **C**, **Y**, **Z** – по 1 баллу, всего 4 балла.

2) Уравнения реакций 1 – 6 – по 1,5 балла, всего 9 баллов (если неправильно расставлены коэффициенты – по 0,75 балла). Уравнение реакции 7 – 2 балла (если неправильно расставлены коэффициенты – 1 балл).

Название соли – 1 балл.



Исследовательская деятельность



Никонорова Анастасия Алексеевна

Выпускница биологического класса СУНЦ МГУ

*Студентка 1 курса Биотехнологического факультета
МГУ им. М. В. Ломоносова*

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).*



Зачем и как анализировать почву? Можно ли настроить плодородие? Часть 2

Как уже говорилось в предыдущей части статьи¹, анализ почв нужен прежде всего для определения их плодородия и путей его улучшения. В этой части статьи речь пойдет о том, как определить на практике некоторые из ключевых параметров почвы и можно ли это сделать не только с помощью профессионального лабораторного оборудования, но и с помощью обычных датчиков цифровой школьной лаборатории.

¹ Никонорова А.А., Сигеев А.С. Зачем и как анализировать почву? Можно ли настроить плодородие? Часть 1. – Потенциал ХБМ, 2019, № 3, с. 52 – 57.

Идея нашей работы возникла, как часто бывает, достаточно случайно – одна из учительниц нашей школы поинтересовалась, можно ли как-то понять, в чем проблема с плодородием почвы на ее дачном участке. Заказывать анализ в лаборатории достаточно дорого, особенно с учетом значительного количества проб, поэтому возник вопрос: можно ли это сделать подручными средствами, с минимумом усилий и оборудования. Классические аналитические методы – гравиметрия, титрование – не нуждаются в сложном оборудовании, но весьма трудоемки, тогда как более современные физико-химические – потенциометрия, спектрофотометрия, фотометрия пламени – не требуют серьезных усилий в реализации на практике, но основаны на использовании дорогого оборудования.

Однако существуют школьные цифровые лаборатории, в частности, выпускаемые ООО «Научные Развлечения» [1], в комплект которых входят датчик рН и несколько

датчиков оптической плотности, которые можно использовать как простую замену спектрофотометра. Они существенно дешевле и гораздо мобильнее полноценного прибора, но позиционируются как устройства для демонстрационных опытов и лабораторных работ, то есть, по сути, в специально подготовленных оптимальных условиях. Поэтому возник вопрос – а можно ли их использовать для решения исследовательских задач, где экспериментальные условия не столь благоприятны? Достаточно ли будет чувствительности, точности и стабильности характеристик этих сенсоров для того, чтобы провести реальный химический анализ? Поэтому целью нашей работы стало не только само исследование состава почв, но и определение применимости для этого цифровых датчиков школьной лаборатории. В рамках данной работы мы сравнили данные, полученные с помощью датчиков и с помощью лабораторного спектрофотометра.

Гуминовые кислоты

Одна из важнейших составляющих почвы – гуминовые кислоты. Они стимулируют рост и активность почвенных микроорганизмов, а также делают доступными для растений фосфор и ряд других жизненно важных питательных веществ. Гуминовые кислоты обычно определяются как сумма окисляемых компонентов почвы. Поэтому их анализ основан на окислении образца почвы подкисленным раствором бихромата калия. Поскольку спектры поглощения бихромат-иона и образующегося в ходе реакции иона Cr^{3+} разные, то можно с помощью спектрофотометрии определять концентрацию образующегося Cr^{3+} , которое пропорционально количеству окислившихся органических веществ.

Одной из особенностей физико-химических методов анализа является то, что эти методы дают нам в качестве результата измерения не концентрацию определяемого вещества, а некий параметр раствора, с ней связанный. Сам по себе спектрофотометр не показывает концентрацию, он измеряет лишь оптическую плотность раствора D , количественно выражающую, насколько сильно ослабляется луч света, прошедший через исследуемый раствор, по сравнению с чистой водой. Это происходит в согласии с законом Бугера-Ламберта-Бера

$$D = \varepsilon \times C \times l,$$

где ε – коэффициент экстинкции, характерный для данного вещества

на данной длине волны, C – концентрация в моль/л, а l – длина кюветы. Очевидно, что чем больше значение коэффициента экстинкции, тем меньшие концентрации вещества могут быть определены в растворе, поэтому измерение поглощения проводится на той длине волны, где этот коэффициент максимален.

Чтобы определить зависимость оптической плотности от концентрации, строится калибровочный график – прямая, которая показывала бы зависимость между концентрацией интересующего нас вещества в растворе и оптической плотностью. Для этого готовится серия растворов, аналогичных экспериментальным, в которых концентрация определяемого вещества заведомо известна и кратно меняется, например, увеличивается в 2, 4, 8... раз по отношению к первому

раствору серии. Поскольку состав гуминовых кислот точно неизвестен, то в качестве их «аналитического эквивалента» используется глюкоза, затем по эмпирическим коэффициентам производится пересчет в окисляемый углерод и в конечном итоге – в содержание окисляемых органических веществ в почве [2]. Глюкоза восстанавливает в кислой среде бихромат калия до ионов Cr^{3+} , концентрацию которых мы и определяем спектрофотометрически при длине волны 590 нм.

В комплект оптических датчиков фирмы «Научные развлечения» входит датчик с нужной длиной волны. По растворам глюкозы разной концентрации (рис. 1) мы построили калибровочные графики для спектрофотометра и оптического датчика (рис. 2).

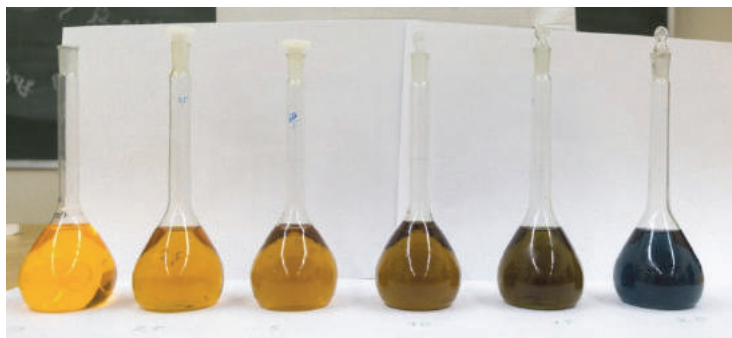


Рис. 1. Калибровочные растворы с глюкозой после реакции с раствором бихромата калия в кислой среде. Исходное содержание глюкозы 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 мг в 100 мл раствора (слева направо)

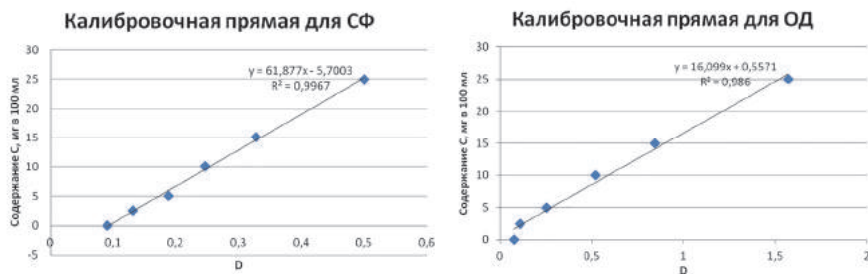


Рис. 2. Калибровка спектрофотометра (СФ) и оптического датчика (ОД) по растворам глюкозы

При измерении оптической плотности реальных образцов почвы оказалось, что датчик цифровой лаборатории дает более низкое

содержание гуминовых кислот в почве, чем спектрофотометр. Часть результатов приведена в таблице 1.

Табл. 1. Содержание гумуса в почве

№ образца	% гумуса (СФ)	% гумуса (ОД)
1	1,3	0,6
2	4,1	2,7
3	8,0	4,7
4	14,3	10,5
5	6,1	3,6
6	7,5	6,0
7	8,7	5,8
8	10,1	8,5

Для оценки корректности измерений мы построили диаграмму корреляции результатов анализа по данным с датчика и со спектрофотометра (рис. 3). По верти-

кальной оси находятся значения содержания гумуса, определенные с помощью спектрофотометра, по горизонтальной – с помощью датчика.

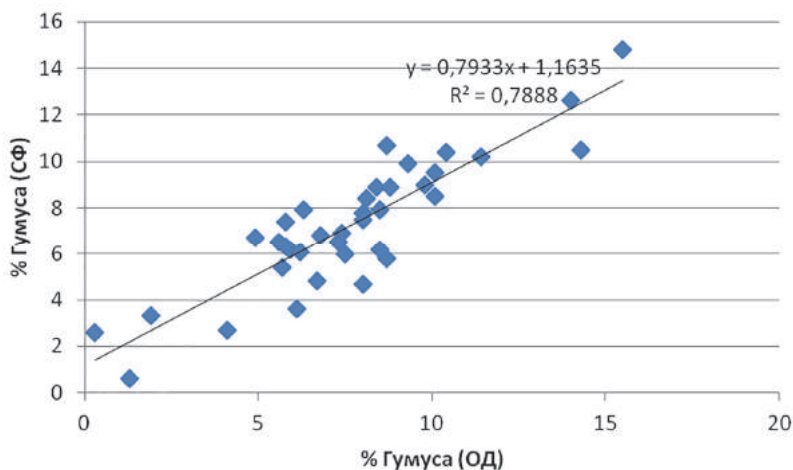


Рис. 3. Корреляция определения содержания гумуса на спектрофотометре и оптическим датчиком

Если бы два метода давали одинаковые результаты, то все точки лежали бы на одной прямой, идущей под углом 45°. Но на графике хорошо видно, что точки образуют своеобразное «облако» вокруг прямой, и она идет более полого, чем в идеальном случае. Это говорит о систематической ошиб-

ке измерений с помощью оптического датчика, которая, впрочем, не настолько серьезна, чтобы данный метод нельзя было задействовать в анализе почв в школьной лаборатории, особенно если есть возможность расчета поправочного коэффициента по более точному методу.

Кислотность

Кислотность почвы определяет множеством различных факторов, таких как насыщенность углекислым газом, растворимыми кислотами, нерастворимыми кислотами, солями алюминия и железа, которые при гидролизе дают кислую среду. Измеряя pH вытяжки из свежего образца почвы, мы получаем быструю оценку кислотно-основных параметров почвы, но, при всей ее экспрессности, она неполная, поскольку не отражает суммарной кислотности почвы.

В любом случае, для того чтобы измерить кислотность напрямую, образцы почвы должны быть свежими, не потерявшими влагу. В нашем распоряжении были лишь сухие образцы, и мы использовали адаптированные методы. В сухой почве остаются в основном нелетучие малорастворимые кислоты, поэтому, даже если развести почву водой, невозможно получить адекватную оценку кислотности свежего образца.

Однако существует такой параметр почвы, как гидролитическая кислотность, которая может быть определена даже в высушенных образцах и даёт важную информацию о плодородии почвы. Эта кислотность обозначается как Нг. Она показывает общую кислотность почвы, создаваемую не только за счет рас-

творимых кислот, но и за счет гидролиза солей железа, алюминия, обмена с нерастворимыми кислотами. От кислотности почвы зависит подвижность ионов алюминия, железа, марганца. Алюминий является вредным элементом для растений, и его избыток приводит к ингибированию роста [3]. Защелачивание почвы известью приводит к переходу Al^{3+} в неподвижную гидроксоформу, недоступную для усвоения растениями. Здесь крайне важна дозировка защелачивающих агентов, так как избыточная щелочность также вредна для растений. Определение гидролитической кислотности почвы позволяет точно рассчитать дозировку извести.

Чтобы измерить гидролитическую кислотность, мы взяли ацетат натрия, который в результате гидролиза даёт слабощелочную среду раствора. Он взаимодействует со всеми кислыми компонентами почвы: гуминовыми кислотами, нерастворимыми органическими кислотами, солями алюминия, железа и т.д. с образованием уксусной кислоты, что изменяет pH раствора. Мы измерили pH почвенных вытяжек и далее рассчитали гидролитическую кислотность (часть данных см. в таблице 2) по следующему эмпирическому уравнению:

$$\lg H_r = 6,884 - 0,941 \text{pH} [2].$$

Табл. 2. Определение гидролитической кислотности

№ образца	1	2	3	4	5	6	7	8
Нг, ммоль/100 г	3,5	2,2	5,1	7,0	5,5	1,4	7,4	4,6

Азот

Азот – один из членов ключевой триады макроэлементов NPK (азот, фосфор, калий). Основным методом определения азота в почве является метод Кьельдаля. Главной его про-

блемой является пробоподготовка. Подготовка образца почвы предполагает длительное кипячение в концентрированной серной кислоте при 380 °С, обработку полученной смеси

концентрированной щелочью и отгонку раствора аммиака. Аммиак далее определяется либо титриметрически, либо фотометрически с помощью реактива Несслера – $K_2[HgI_4]$, который дает с аммиаком коричневое окрашивание. На первый взгляд задача анализа содержания азота представлялась нереализуемой в условиях школьной лаборатории, поскольку эта методика крайне сложна и малейшие неточности в ее исполнении приводят к огромным ошибкам. Поэтому мы уже почти решили отказаться от определения азота в почве, но тем не менее провели дополнительный анализ литературы, поскольку в доступных нам источниках встречались упоминания так называемого фенольного метода определения азота.

Действительно, оказалось, что в микробиологии для определения аммиачного азота используется окисление фенола гипохлоритом натрия в присутствии солей Mn^{2+} . В этом случае из фенола образуется синий краситель, который легко можно определить спектрофотометрически [4]. Определенным минусом данного метода является то, что он не рассчитан на обнаружение всего азота, а применим только для аммиачного. Если в образце содержится нитратный азот, то требуется его восстановление. Это, с одной стороны, несколько усложняет методику, но зато позволяет определять два вида азота отдельно, что также весьма интересно, поскольку они

усваиваются растениями с разной скоростью.

Мы определяли только аммиачный азот. Если в почву не вносится большое количество нитратных удобрений, то информации о содержании аммиачного азота достаточно для того, чтобы сделать выводы о плодородии почвы. Проблемой в этом методе остается пробоподготовка, поскольку полное извлечение органического азота возможно только по упомянутому выше методу Кьельдаля, однако примененная нами обработка образца почвы раствором хлорида калия [4] позволяет извлечь от 15 до 30 % аммиачного азота. Таким образом, полученные данные позволяют оценить лишь относительное содержание азота и выявить дефицитные относительно среднего уровня участки почвы.

К сожалению, оптический датчик в данном методе задействовать не удалось. Дело в том, что максимум поглощения данного красителя наблюдается на 630 нм, а ближайший к этой длине волны доступный датчик был рассчитан на 590 нм. Мы использовали его для измерения оптической плотности, но не получили результатов – данные его измерений практически не изменялись при изменении концентрации аммиака в калибровочном растворе. По видимому, пик поглощения красителя достаточно узкий, и при 590 нм коэффициент экстинкции слишком мал. Результаты измерений для части образцов приведены в таблице 3.

Табл. 3. Определение содержания аммиака

№ образца	1	2	3	4	5	6	7	8
Содержание NH_4 , мг/г почвы	9,09	10,46	8,31	10,98	9,28	8,83	8,57	9,48

Фосфор

Один из распространенных методов количественного определения фосфора основан на получении фосфомолибдата аммония. Но он

подходит в первую очередь для гравиметрического определения фосфора. Несмотря на то, что данное соединение окрашено в желтый

цвет, коэффициент экстинкции фосфомолибдата слишком мал для использования в спектрофотометрии. Поэтому для спектрофотометрических целей используют вос-

становление жёлтого фосфомолибдата до интенсивно окрашенной молибденовой сини, где молибден имеет смешанную степень окисления (+5, +6) (рис. 4).

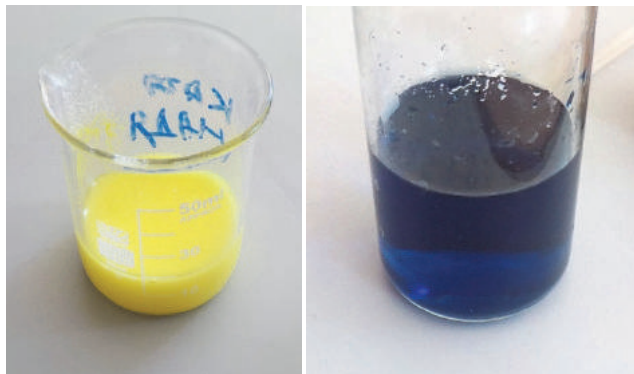


Рис. 1. Фосфомолибдат аммония (желтый) и молибденовая синь (фото Н.И. Морозовой)

Существует много способов восстановления жёлтого фосфомолибдата до синей окраски, мы использовали для этого аскорбиновую кислоту в качестве восстановителя и антимоилтартрат калия как стабилизатор. В этом случае получается молибденовая синь с двумя интенсивными пиками поглощения при 690 и 885 нм согласно спектру (рис. 5), причем для второй

длины волны коэффициент экстинкции заметно выше, что позволяет определять более низкие концентрации фосфора. Восстановление аскорбиновой кислотой или хлоридом олова (II) (рис. 5, график 2), хотя и дает подходящие для измерения фосфомолибдаты, но они менее устойчивы и могут выпадать в осадок, что снижает воспроизводимость результатов.

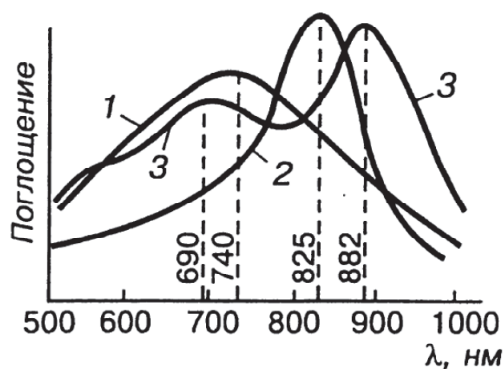


Рис. 2. Спектры поглощения синих фосформолибденовых гетерополикислот, полученных восстановлением SnCl_2 (1), аскорбиновой кислотой (2) и аскорбиновой кислотой в присутствии антимоилтартрата калия (3) [2]

Здесь мы применяли более сложную методику построения калибровочной прямой. Проблема в том, что стандартные растворы фосфата, описанные в методике, были бледно-голубыми, но разницы в оптическом поглощении практически не фиксировалось. Однако обработка в этих же условиях образцов почв дала растворы с четко выраженной голубой окраской, что дало нам основания считать, что калибровочные растворы слишком разбавлены. Поэтому мы построили свою калибровочную шкалу следующим путем: мы взяли несколько случайных образцов почвы и измерили оптическую плотность растворов, полученных из них после стандартной обработки. Затем мы разбавили образец, полученный после обработки эталонного раствора дигидрофосфата калия, так чтобы его оптическая плотность была близка к значениям для трех вышеупомянутых образцов. Таким способом мы оценили необходимую степень разбавления эталонного раствора и построили шкалу эталонных концентраций так,

чтобы оптическая плотность растворов из образцов почвы оказалась в середине шкалы.

Мы построили калибровочные прямые для каждой из двух длин волн поглощения молибденовой сини – 690 и 882 нм – и обнаружили, что обе они дают одинаковые результаты. К нашему удивлению, оптический датчик 590 нм оказался применим в данной ситуации, в отличие от определения азота. Несмотря на то, что его заявленная полоса измерения отстояла на 100 нм в более коротковолновую часть спектра, он давал вполне точные данные, соответствующие данным спектрофотометра (часть данных приведена в таблице 4). Скорее всего, это связано с тем, что у молибденовой сини пик поглощения гораздо более широкий, чем у красителя, образующегося при определении азота, и имеет коротковолновое плечо (рис. 5). Как можно видеть, при измерении количества фосфора разброса данных нет, и показания датчиков практически соответствуют данным спектрофотометра.

Табл. 4. Определение содержания фосфора

№ образца	m P, мг/г почвы (СФ, 882 нм)	m P, мг/г почвы (ОД, 590 нм)
1	0,368	0,367
2	0,272	0,266
3	0,186	0,187
4	0,198	0,195
5	0,322	0,332
6	0,405	0,399
7	0,286	0,290
8	0,293	0,296

Таким образом, мы получили данные по ряду параметров почвы и показали, что в случае анализа гуму-

са и фосфатов датчики цифровой лаборатории могут быть использованы наравне со спектрофотометром.

Анализ плодородия почвы

Табл. 5. Сводные данные по параметрам образцов почв

№	Растение или участок	Гумус (мг/г)	Аммиачный азот (мг/г)	Фосфор (мг/г)
1	Виноград	1,3	9,09	0,368
2	Сирень	4,1	10,46	0,272
3	Смородина черная 1	8,0	8,31	0,186
4	Смородина черная 2	14,3	10,98	0,198
5	Смородина красная 1	6,1	9,28	0,322
6	Смородина красная 2	7,5	8,83	0,405
7	Смородина белая	8,7	8,57	0,286
8	Черника	10,1	9,48	0,293
9	Ежевика	6,7	11,69	0,37
10	Жасмин	8,5	13,06	0,173
11	Роза	10,4	10,00	0,183
12	Шиповник	14,0	8,44	0,272
13	Незабудки	11,4	11,43	0,324
14	Черная смородина	13,7	11,63	0,24
15	Крыжовник	10,1	8,24	0,22
16	Терновник	9,3	6,29	0,414
17	Смородина розовая	5,9	11,89	0,438
18	Яблоня	8,8	9,35	0,37
19	Малина	6,2	9,80	0,298
20	Клубника	7,3	10,33	0,291
21	Теплица	8,4	- ^б	0,171
22	Горчица	8,5	-	0,212
23	Виола	9,8	-	0,292
24	Грядка 1 (огурцы)	15,5	-	0,325
25	Грядка 2 (свекла)	7,4	-	0,318
26	Грядка 3 (морковь)	8,0	-	0,222
27	Грядка 4 (лук, зелень)	5,7	-	0,291
28	Тюльпаны	8,1	-	0,375
29	Бархатцы	6,3	-	0,39
30	Капуста	5,6	-	0,27
31	Пионы	8,7	-	0,29
32	Жимолость	6,8	-	0,155
33	Малина	8,0	-	0,133
34	Картошка 1	4,9	-	0,222
35	Картошка 2	1,9	-	0,235
36	Калина Бульденеж	0,3	-	0,299
37	Береза	5,8	-	0,315

Данные агрохимического анализа приведены в таблице 5. Пробы почвы брались в разных частях садового участка, во втором столбце указано, из каких частей либо из-под каких растений брались пробы.

Содержание гумуса зависит от вида почвы [5], преобладающий вид почвы в данной местности можно определить по картам почвы. Обычно содержание гумуса в почве варьируется в широких пределах, но ес-

ли на участке оно находится около нижней границы диапазона или ниже ее, то в те места, откуда были взяты данные образцы, желательно внести торф, посадить подходящие растения-сидераты или прибегнуть к любым другим способам, позволяющим увеличить количество гумуса в почве.

Примененные нами методы анализа азота позволяют только оценить относительное содержание аммиачного азота. Но, тем не менее, в те места, где были взяты образцы с пониженным содержанием азота, было рекомендовано внести аммиачные удобрения. Содержание азота в образцах 21 – 38 не определялось.

Что касается содержания фосфора, то в большей части образцов оно находится в пределах нормы для дерново-подзолистых почв (0,3 – 1,2 мг/г) [6], хотя и соответствует её нижней границе (0,3 – 0,4 мг/г). Поэтому для улучшения плодородия желательно внесение

некоторого количества фосфатных удобрений.

Как можно видеть из табл. 6, значения гидролитической кислотности у разных образцов почвы отличаются достаточно сильно. Для приведения кислотности почвы к нормальным значениям необходимо добавлять известь, карбонат кальция. Для расчета потребности почв в извести (ППИ) в кг на м² служит эмпирическая формула [2]:

$$\text{ППИ} = 0.05 \times \text{Нг} \times \text{h} \times \rho,$$

где h – толщина слоя почвы, а ρ – плотность почвы. При расчете толщина слоя известкования бралась равной 25 см, а плотность почвы – 1,2 г/см³.

Подводя итог, можно сказать следующее – с помощью датчиков оптической плотности и pH из школьной цифровой лаборатории возможно определять ряд агрохимических параметров почвы, а их анализ позволяет давать рекомендации по улучшению плодородия.

Табл. 6. Гидролитическая кислотность и расчет потребности почвы в извести

№	Растение или участок	Гидролитическая кислотность, ммоль Н ⁺ /100 г почвы	CaCO ₃ (кг/м ²)
1	Виноград	3,5	0,53
2	Сирень	2,2	0,33
3	Смородина черная 1	5,1	0,77
4	Смородина черная 2	7,0	1,05
5	Смородина красная 1	5,5	0,83
6	Смородина красная 2	1,4	0,21
7	Смородина белая	7,4	1,11
8	Черника	4,6	0,69
9	Ежевика	4,5	0,68
10	Жасмин	4,9	0,74
11	Роза	2,4	0,36
12	Шиповник	5,5	0,83
13	Незабудки	2,0	0,3
14	Черная смородина	2,6	0,39
15	Крыжовник	5,5	0,83
16	Терновник	8,8	1,32
17	Смородина розовая	6,4	0,96
18	Яблоня	5,3	0,8
19	Малина	5,3	0,8

№	Растение или участок	Гидролитическая кислотность, ммоль Н ⁺ /100 г почвы	CaCO ₃ (кг/м ²)
20	Клубника	4,7	0,71
21	Теплица	10,3	1,55
22	Горчица	3,7	0,56
23	Виола	5,5	0,83
24	Грядка 1(огурцы)	3,8	0,57
25	Грядка 2 (свекла)	12,8	1,92
26	Грядка 3 (морковь)	1,6	0,24
27	Грядка 4 (лук, зелень)	2,0	0,3
28	Тюльпаны	3,6	0,54
29	Бархатцы	3,4	0,51
30	Капуста	2,2	0,33
31	Пионы	1,7	0,26
32	Жимолость	5,5	0,83
33	Малина	6,7	1,01
34	Картофель 1	8,1	1,22
35	Картофель 2	7,3	1,1
36	Калина Бульденеж	2,1	0,32
37	Береза	1,7	0,26

Литература

1. Цифровая лаборатория по химии (профильный уровень) [Electronic resource]. URL: <http://nau-ra.ru/education/Basic-general/tsifrovye-laboratorii/tsifrovaya-laboratoriya-po-himii-profilnyy/> (accessed: 09.04.2018).
2. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. – М.: МГУ, 1998. 272 р.
3. How important is soil pH? [Electronic resource]. URL: <http://www.agroservicesinternational.com/Balanced/pH.html> (accessed: 12.12.2017).
4. Хансон Р., Филипс Д. Химический состав бактериальной клетки // Методы общей бактериологии. Том 2. / ed. Герхардт Ф. – М.: Мир, 1984. Р. 283–373.
5. Содержание и состав гумуса в почвах // Почвоведение [Electronic resource]. 2015. URL: <http://racechron.ru/osnovy-ucheniya-o-pochvah/5651-soderzhanie-i-sostav-gumusa-v-pochvah.html> (accessed: 12.04.2018).
6. Содержание и формы фосфора в почве. Способы внесения минеральных удобрений // Biosfera Wiki [Electronic resource]. 2015. URL: <https://biosfera.wiki/sfa/soderzhanie-i-formy-fosfora-v-pochve-34.html> (accessed: 12.04.2018).

Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор

Законы химии

Первый закон Чирковой. Главное, что должен уметь химик-органик – мыть химическую посуду.

Следствие. Основной реактив в органическом синтезе – сода.

Второй закон Чирковой (контрзакон). Больше грязи – лучше катализ.

Следствие. Мытьё посуды – не только бесполезное, но и вредное занятие.

Модифицированный контрзакон Чирковой. Грязь в колбе – возможность протекания нового каталитического процесса.

Следствие (неутешительное). Чем грязнее колба, тем больше ненужных реакций в ней протекает.



Профильное образование



Загорский Вячеслав Викторович

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

Решения задач вступительных экзаменов по химии в СУНЦ МГУ в 2019 году

В прошлом номере мы опубликовали задания с трех разных экзаменов по химии в СУНЦ МГУ текущего года. Сейчас мы приводим их решения. Проверьте себя!

Экзамен 1

Задача 1.

Винни-Пух массой 0,5 кг захотел меда из дупла.

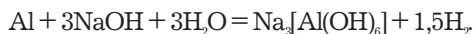
Он нашел в лесу огромный тонкостенный полиэтиленовый мешок объемом 0,5 кубометра и массой 40 г, а также три дверных ручки из алюминия массой 120 г каждая. Кроме того, он нашел забытые туристами два десятилитровых ведра, наполненные 20 %-ным раствором гидроксида натрия.

1) Каков максимальный объем водорода (н.у.) можно получить из найденных Винни веществ?

2) Сможет ли Винни-Пух стать тучкой после получения водорода из найденных веществ?

Решение:

Составим уравнение реакции алюминиевой дверной ручки со щелочью:



В двух ведрах 20 л раствора щелочи, это не менее $20 \cdot 0,2 = 4$ кг или $4000/40 = 100$ моль гидроксида натрия – огромный избыток по отношению к трем дверным ручкам общей массой 360 г, т.е. $360/27 = 13,3$ моль алюминия. Значит, вести расчет нужно по алюминию. Количество выделяющегося газа в 1,5 раза больше, чем алюминия, т.е. $13,3 \cdot 1,5 = 20$ моль или $20 \cdot 22,4 = 448$ л.

Вопрос, сможет ли Винни-Пух стать тучкой, вызвал неожиданные затруднения. Видимо, абитуриенты не смотрели мультфильм про Винни-Пуха, что казалось автору невероятным. В чем смысл вопроса? В том, сможет ли медведь взлететь в воздух с помощью созданного воздушного шара. При этом надо не забыть, что водород должен поднять и

Винни-Пуха, и полиэтиленовую оболочку шара.

Количество водорода 20 моль, разница в молярной массе между воздухом и водородом $29 - 2 = 27$ г/моль, следовательно, данное количество водорода способно поднять в воздух $27 \cdot 20 = 540$ г. Именно такова суммарная масса Винни-Пуха и оболочки шара. У Винни получится «стать тучкой»!

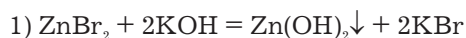
Задача 2.

Имеются водные растворы следующих веществ: 1) гидроксид калия; 2) хлор; 3) нитрат серебра; 4) нитрат натрия.

С какими из этих растворов будет реагировать водный раствор бромида цинка? Напишите уравнения реакций.

Решение:

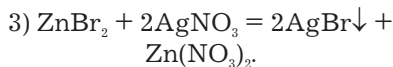
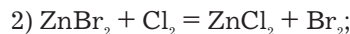
Бромид цинка реагирует с растворами 1, 2 и 3:



(выпадение осадка);



(последующее растворение осадка);



Экзамен 2

Задача 1.

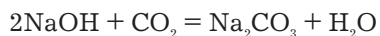
Пластиковую бутылку объемом 1,0 л наполнили углекислым газом при комнатной температуре и атмосферном давлении. Затем в бутылку насыпали примерно 2 г твердого гидроксида натрия и быстро плотно закрыли крышку. Что произойдет через некоторое время? Напишите уравнение реакции.

Решение:

2 г NaOH (0,05 моль) при н. у. могут прореагировать с 0,05 моль (1,12 л) углекислого газа по реакции



(Вторая теоретически возможная реакция



в данных условиях не будет основ-

ной, т. к. количества углекислого газа и щелочи примерно равны).

Таким образом, щелочь поглотит весь имеющийся углекислый газ (а при комнатной температуре объем поглощенного газа будет еще больше). В бутылке создастся разрежение, и ее сплющит атмосферное давление.



Бутылка сплющивается

Задача 2.

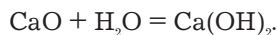
В стакане находится 90 г снега при 0 °С.

Сколько г оксида кальция нужно добавить для полного плавления снега, если при реакции 1 моля оксида кальция с избытком воды выделяется 70 кДж, а теплота плавления воды равна 6 кДж/моль?

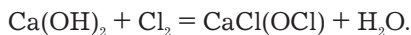
После того, как весь снег расплавился, в стакан пропустили 22,4 л хлора (н. у.). Напишите уравнение произошедшей реакции.

Решение:

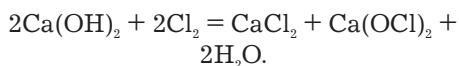
90 г снега – это $90/18 = 5$ моль, для плавления такого количества нужно $5 \cdot 6 = 30$ кДж. Рассчитаем массу CaO, необходимую для выделения этого количества теплоты по реакции



Если 1 моль (56 г) CaO дает 70 кДж, то 30 кДж выделится при использовании $56 \cdot (30/70) = 24$ г или 0,43 моль CaO. При этом получится 0,43 моль Ca(OH)₂. 22,4 л хлора составляют 1 моль – это избыток по отношению к гидроксиду кальция в реакции



Принимается также уравнение реакции, где продукт записан в виде двух разных солей, а не смешанной соли:

**Экзамен 3****Задача 1.**

Для сжигания одного объема горючего газа требуется два объема кислорода. При горении получается мокрый песок. Установите формулу горючего газа, который в 8 раз тяжелее гелия. Напишите уравнение реакции.

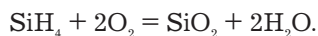
Решение:

Продукты реакции – SiO₂ и H₂O, следовательно, горючий газ – один из силанов Si_nH_{2n+2}. Молярная масса силана

$$M = D_{\text{He}} \cdot M(\text{He}) = 8 \cdot 4 = 32 \text{ г/моль}.$$

Это соответствует простейшему силану SiH₄.

Уравнение реакции:



Проверим: действительно, один объем силана реагирует с двумя объемами кислорода.

Задача 2.

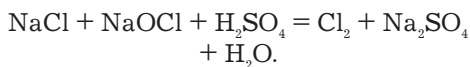
Как осуществить следующие превращения: хлор → гипохлорит натрия NaClO → хлор? Напишите уравнения реакций, укажите условия.

Решение:

Хлор дает гипохлорит натрия при взаимодействии с охлажденным раствором щелочи:



Чтобы затем получить хлор, достаточно подкислить раствор хлорида и гипохлорита:





Полевая практика



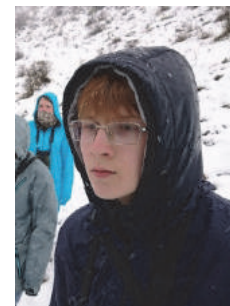
Лямина Вероника Михайловна
Ученица 10 биологического класса СУНЦ МГУ

Асташкина Ульяна Олеговна
Ученица 10 биологического класса
СУНЦ МГУ



Шипигузова Елена Игоревна
Ученица 10 биологического класса
СУНЦ МГУ

Винников Ренат Сергеевич
Ученик 10 биологического класса
СУНЦ МГУ



Токарева Анастасия Викторовна
Ученица 10 биологического класса
СУНЦ МГУ

Дневник участника Комплексной образовательной школьной экспедиции Армения- 2019. Часть 2



В прошлом номере мы опубликовали первую часть дневника, который вели ученики 10 биологического класса СУНЦ МГУ, находясь в экспедиции в Армению. Они не только наблюдали живую природу, но и посещали исторические места. Предлагаем читателю продолжение их рассказа.

День третий, 27.03.2019

В этот день мы решили сменить обстановку и отправиться в место с температурой, значительно превышающей 0 °С.

Сначала мы посетили Хор Вирап – древний армянский монастырь близ границы с Турцией в долине реки Аракс. Он расположен над подземной тюрьмой, в которой, по преданию, армянский царь Трдат III содержал в заточении в течение около 14 лет св. Григория Просветителя.

Холм Хор Вирап находится на месте древней столицы Армении Арташат, построенной около 180 года до н. э. царём Арташесом I. Гуляя по руинам древнего города, мы тут и там находили керамические осколки и обсидиановые наконечники – свидетельства тысячелетней истории этого места.

Климат в окрестностях Хор Вирапа субтропический континентальный. Природная зона – полупустыня, включающая в себя два различных биотопа: каменистые холмы и болотистые заросли. Там нам встретились уже знакомые магматические породы: базальт, обсидиан, пемза, железняк, а также осадочные породы: известняк и мергель. Что касается минералов, во время экскурсии мы обнаружили кварц и хризоколу.

Только мы приехали, и сразу увидели пролетающих белых аистов и множество обыкновенных галок. Мы встретили много привычных птиц: полевого и домового воробья, серую ворону, курганника, обыкновенную каменку, армянскую чайку,

обыкновенную пустельгу и малого баклана.



Хризоколла

В водно-болотных угодьях, заросших обыкновенным камышом и широколиственным рогузом, мы встретили черноголового чекана. Мы определили эту птичку по черной голове – откуда и название – и оранжево-розовой грудке. Также характерно его местообитание: живет чекан обычно на болотах или пустошах.

Там же мы увидели варакушку, у которой во внешнем виде особенно выделяется синяя грудка с оранжевым пятном, и болотную камышовку. В небе мы заметили лугового луня.

Интересным было то, что мы нашли мертвую каспийскую черепаху, обитающую в этом месте. Кроме того, мы видели озерную лягушку.

На земле мы обнаружили лисьи следы, которые смогли определить

по характерному размеру, округлой форме, а также расположению в одну линию.

Мы обратили внимание и на беспозвоночных: видели пестрого скакунчика и клопа-солдатика.

На каменистых холмах мы увидели хохлатого жаворонка, поющего свою громкую песню, а также красного фа-

этончика и акриду, часто встречающихся в пустынной и полупустынной местности. Как ни странно, там же мы нашли и малоазиатскую квакшу, которая отличается от обыкновенной квакши отсутствием коричневатой петельки рядом с задней ногой и полосы на боку. Мы решили её спасти и отнесли в водно-болотные угодья.



Спасение квакши

Гуляя по холмам, мы видели множество травянистых растений: сухую полынь, липкий костенец и воробьиный щавель. Среди камней нам встречались пряморогий рогоглавник, летний адонис, и даже многоцветная ноней, занесённая в Красную книгу Армении. Мы также видели растения, которые можно найти в нашей местности: герань, веронику, яснотку и гусиный лук. Из кустарников на пути изредка попадались астрагал и курчавка. Важной особенностью растительности этих мест можно считать наличие суккулентов, например, молочая, который мы нашли, спускаясь с холмов.

После мы отправились в Гораванские пески, окрестности города Веди. Оставаясь в субтропическом континентальном климате, мы неожиданно оказались в пустыне.

Заказник «Гораванские пески» расположен всего лишь на 100 га, но, несмотря на небольшую площадь, занимает первое место в Армении по количеству редких и исчезающих видов сосудистых растений. Здесь нам встретились странный астрагал, гораванская скорцонера, солянка, мускари, засохший пузырчатый клоповник и другие поразительные виды растений. К неудовольствию многих участников нашей группы, мы не нашли шиповника.



Странный астрагал, семейство Бобовые

Что касается птиц, мы снова встретили обыкновенную сороку, серую ворону и ворона. Между одинокими деревцами изредка пролетали представители семейства Мухоловковые: черноголовый чекан и обыкновенная каменка. Не обошлось и без хищника: мы обнаружили обыкновенную пустельгу. Во время прогулки меж песков нам также удалось увидеть удода, горную овсянку и хохлатого жаворонка.

На экскурсии нам встретились несколько новых птиц. Одна из них – просянка, с характерным для нее зубцом на клюве, буровато-желтой окраской и частыми черными пестринами. Мы видели эту птицу довольно близко и слышали ее песню.

Также мы обнаружили обыкновенную чечевицу, имеющую более массивный клюв (она питается семенами травянистых и древесных растений, ягодами; иногда поедает насекомых), характерную розовую окраску головы и более или менее однотонное буровато-серое тело.

Не обошлось и без хищника: в небе над нами парила птица из отряда Ястребообразные – змееяд (светлая морфа). Мы определили его по

окраске: туловище, крылья и хвост снизу белые с темно-коричневыми пятнами (на подкрыльях и хвосте эти пятна в полете выглядят как полосы), а голова, шея и зоб темные.

Удачной находкой была колония персидской песчанки. Мы наблюдали в бинокль за зверьками около 15 минут, сидя на ближайшей возвышенности. Песчанки периодически бегали между норами колонии.



Персидская песчанка, семейство Мышиные

Здесь мы нашли следы шакала, лисицы и волка. Количество следов было довольно большим, что сначала удивило нас. Вполне возможно, что хищников привлекают большие колонии песчанок, которые мы много где увидели.

Из Чешуйчатых встретили ящурку Штрауха, имеющую пестрое буровато-серое тело.



Ящурка Штрауха, семейство Настоящие ящерицы

Как известно, часто на выходах «в поле» биологи, ищущие членистоногих, переворачивают камни, так как под ними могут быть разные интересные животные, например, пережидające жаркий день или просто обитающие в таких условиях для укрытия от хищников. Мы тоже решили поискать под камнями, и наши старания увенчались успехом: мы нашли пестрого скорпиона, тело которого желто-коричневое, а конечности и хвост более светлые, желтые. Он не очень ядовитый: то, как он жалит, сравнимо с осой, однако на

себе мы этот факт проверять не стали. Как нам рассказывали, в Гораванских песках водится также черный скорпион, более ядовитый вид, но его мы не обнаружили.



Пестрый скорпион, семейство Бутиды

Среди песков периодически можно было найти активно бегающих жуков, внешне похожих на жужелиц. Это представитель семейства Чернотелки с забавным названием – медляк-вещатель. Как мы потом узнали, этого жука считали раньше вестником смерти.

Также мы увидели воронки в песке, которые сделали муравьиные львы.

Как и в Хор Вирапе, здесь нам также встретились красный фазетончик и акриды.

День четвёртый, 28.03.2019

Этот день был объявлен культурным днём нашей поездки: мы посетили несколько музеев Еревана.

Первым стал Эребуни – исторический музей, расположенный на холме Арин-Берд, рядом с остатками урартской крепости. Мы увидели экспонаты, которые были обнаружены в результате раскопок собственно крепости Эребуни и раскопок соседнего урартского города Тейшебаини: амфоры, древние украшения, завораживающие клинописные таблички того времени и многое другое.

Мы продолжили экскурсию уже на улице: гуляли по остаткам

крепостных стен и залам царского дворца, расположенным под открытым небом позади главного здания музея.

Под камнями древней крепости мы обнаружили множество жужелиц, которые не так-то просто было отличить от чернотелок.

После мы поехали в музей, который совмещает в себе два: национальную галерею Армении и национальный исторический музей. Мы разделились, и каждый отправился на экскурсию согласно своим интересам: искусство или история. К сожалению, часть экспозиции



была закрыта на реконструкцию, но даже то, что мы увидели, поразило нас до глубины души: посуда, покрытая краской из оксида радия, полотна И. Айвазовского и многое другое.

День пятый, 29.03.2019

На пятый день мы решили вернуться в умеренно-континентальный климат и отправились в Нораванк.



Близ Нораванка

Этот монастырский комплекс построен на уступе узкого извилистого ущелья притока реки Арпа близ города Ехегнадзор. В XIII – XIV веках монастырь стал резиденцией епископов Сюника и, соответственно, крупным духовным, а затем и культурным центром Армении, тесно связанным со многими местными учебными заведениями — прежде всего, со знаменитым университетом и библиотекой Гладзор.

Ущелье знаменито отвесными скалами из известняка и травертина, на склонах которых ярко выражено присутствие железа разных степеней окисления. Гуляя по этому ущелью, мы нашли множество окаменелостей позднего мелового периода и палеогена: кораллы и аммониты. Природная зона здесь — горная степь. В ущелье мы нашли огромное количество травянистых однолетних и многолетних растений, которые порадовали нас красивыми цветами: аистник, рому-

лею, альпийскую пролеску и фиалку. На своём пути мы то и дело встречали ясколку Биберштейна и малый гусиный лук. В траве прятались стеблеобъемлющая яснотка и болотная калужница.

Нам показалось интересным разнообразие суккулентов: на склонах ущелья мы нашли молочай и два вида эонима.

Но одним из самых интересных растений всей поездки можно назвать пузырчатый клоповник: мы заметили его ещё в Гораваканских песках, и нам посчастливилось увидеть его вновь.



Пузырчатый клоповник, семейство Крестоцветные

Из кустарников и деревьев мы обнаружили вавилонскую иву, которая образовала заросли вдоль реки, вишню, полюбившийся нам шиповник, кизильник, можжевельник, кавказский рододендрон и хвоцевую эфедру.

Мы встретили синего каменного дрозда: это синяя птичка, с темными маховыми и рулевыми перьями. Интересно, что он относится к семейству Мухоловковые, а не Дроздовые,



где находятся остальные дрозды. Можно, пожалуй, считать, что мы встретили птицу счастья или птицу удачи, как ещё ее называют, хотя, по ощущениям, удачливости это нам не прибавило: позже небо заволокли тучи, и начал накрапывать дождь.

Во время маршрута мы видели уже знакомых нам Врановых, а именно: обыкновенную сороку, серую ворону и альпийскую красноклювую галку. На пути нам попадались горная трясогузка, черный дрозд, малый скальный поползень и обыкновенный крапивник. Мимо пролетали суетливые птички из отряда Воробьинообразные: горихвостка-чернушка, горная овсянка, большая синица и белая трясогузка. Также повторно встретился представитель Аистообразных – белый аист.

День шестой, 30.03.2019

Заключительный маршрут проходил по окрестностям деревни Шатин. Климат здесь умеренно-континентальный. Во время нашей прогулки мы дошли до заметенной снегом крепости Смбаберд, поднимаясь по склонам ущелья, по дну которого течёт река Ерегис. Горы сложены из базальта, иногда можно встретить гранит, халцедон, мрамор.

Природная зона – горная степь, и потому мы встретили множество однолетних и многолетних растений, таких как аистник, рогатый мачок, коровяк и сухие соцветия синеголовника. В траве тут и там мы видели цветки малого гусяного лука, подмаренника, фиалки и герани. Не обошлось без Губоцветных: мы нашли стеблеобъемлющую яснотку и плющевидную будру. Из суккулентов нам попался очиток. Также мы видели небольшое количество кустарников, например, шиповник, боярышник и калину гордовину. Деревьев также было немного: мы нашли грецкий орех и дикую вишню.

Нам повезло увидеть интересную внешне птицу – азиатского кеклика. У него клюв и окологлазное кольцо красные, ото лба через глаза и вокруг передней части шеи проходит чёрная полоса, а горло, части щек и шеи, ограниченные этой черной полосой, белые. Зоб и передняя часть брюха голубовато-серые, остальное брюхо охристое. Бока тела в широких белых, черных и рыжих поперечных полосах. Также мы слышали его причудливый голос.

И тут мы не обошлись без хищника: встретили осоеда. На крыльях и хвосте снизу у него черная оторочка вдоль заднего края, на хвосте есть темная полоса.

Что касается Членистоногих, мы встретили паука из семейства Пауки-волки.

Мы видели и слышали разных крылатых хищников: сапсана, степную пустельгу, лугового луня и курганника. Сапсан – сокол, туловище и крылья которого снизу белые с частыми небольшими черными пестринами, хвост той же окраски, но еще окаймлен толстой темной полосой по заднему краю. Голова черная, это переходит в усы того же цвета. Глаз окаймлен желтой полосой. Луговой лунь – светло-серой окраски птица, крылья которой заканчиваются черными пятнами, очень ярко выделяющиеся на фоне остального тела; на подкрыльях еще имеются черные и коричневые пестрины. А пустельга и курганник – уже известные нам виды.

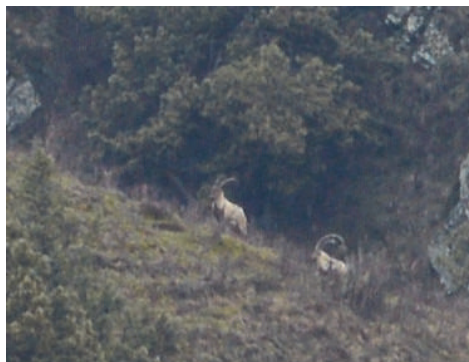
Список встреченных нами Воробьинообразных пополнился белозобым дроздом: настоящим дроздом, из семейства Дроздовые. У него, как и следует ожидать из названия, белый зоб, что выглядит контрастно: белая полоса довольно толстая, а остальное туловище темное, практически однотонное. А также видели



синего каменного дрозда, черного дрозда и обыкновенную сороку; слышали серую ворону, скального поползня и горную овсянку.

Но, главное, что мы видели в горах несколько крупных стад безоа-

рова козла. Некоторые особи спали, некоторые ходили по горам. У этих парнокопытных в области плеча от спины к груди проходит черная полоса, шерсть туловища светло-коричневая, рога загнуты назад.



Безоаровый козел, семейство Полорогие

Поездка в Армению произвела неизгладимое впечатление на каждого из нас. Благодаря этой экспедиции мы познакомились со значительным историческим периодом: от дохристианской эпохи и становления христианства до наших дней.

Как ученикам биологического класса, нам было очень интересно и важно осознать закономерности формирования ландшафтов и насе-

ляющих их живых существ. Горная местность предоставила нам такую возможность: мы побывали во множестве ландшафтов, начиная с пустыни и заканчивая широколиственными лесами.

Всё это заставило нас задуматься о многих, порой неожиданных, природных и исторических вопросах. Каждый из нас запомнит эту поездку надолго!

Калейдоскоп

Калейдоскоп

Калейдоскоп

Промышленный шпионаж по-научному

Известно, что Д.И. Менделеев создал в России производство пироколлодия – бездымного пороха. Для изучения вопроса его командировали во Францию. Существует легенда, что французы хранили в тайне технологию создания этого стратегического продукта. Менделеев поселился в гостинице рядом с железнодорожной веткой, по которой на завод шли поезда с сырьем и, согласно легенде, раскрыл секрет, подсчитав, сколько и каких вагонов с сырьем въезжает в ворота предприятия.

Е.А. Менделеева

Д.И. Менделеев о горении

«Всякая быстро совершающаяся реакция называется горением, если она сопровождается столь большим отделением тепла, что происходит накаливание. Так, многие металлы горят в хлоре, окись натрия или бария горит в углекислом газе, порошок горит от искры и т.п. Очень многие тела горят в кислороде, а от его присутствия и в воздухе. Для начала горения необходимо обыкновенно накаливать горючее вещество или только некоторую часть его. Для продолжения горения нет нужды в новом накаливании, потому что при самом горении отделяется такое количество тепла, которое достаточно для надлежащего накаливания дальнейших частей горючего вещества».

Д.И. Менделеев. «Основы химии»



Эксперимент

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.



Водород: горение или взрыв?

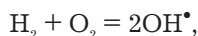
Водород – газ, опыты с которым уместны почти в любой теме: окислительно-восстановительные реакции, плотность газов, техника безопасности, принципы получения и сбора газов, гальванические пары... И это далеко не полный перечень. В одной только химической кинетике водород можно использовать как материал для обсуждения цепных процессов, влияния концентрации и поверхности соприкосновения реагентов на скорость реакции, причин торможения процессов. Кроме того, получение, сбор и изучение свойств водорода предоставляет простор для множества инженерно-технических решений. Например, банка с «дверкой для кошки»... Но не будем забегать вперед!

Прежде чем зажечь спичку, стоит быть уверенным, что рядом нет водорода. Думаете, что нигде не столкнетесь с водородом? А между тем он все больше входит в нашу жизнь, прежде всего как суперлегкое и экологичное топливо, не дающее при сгорании никаких отходов – только чистую воду. Еще в 1941 году Борис Шелищ, техник-лейтенант войск ПВО, защищавших Ленинград во время Великой отечественной войны, предложил использовать отработанный водород из заградительных аэростатов в качестве топлива для двигателей «полуторок». Лебедка «полуторки» осуществляла подъем-спуск аэростатов. В условиях блокады и отсутствия

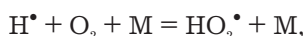
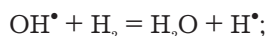
бензина перевод автомобилей с бензина на водород позволил эффективно защитить город от прицельного бомбометания вражеской авиации. В 2006 году фирма «Mazda» начала продажи автомобиля, который может потреблять и бензин, и водород, а «Ford» стал выпускать автобусы с двигателями внутреннего сгорания, работающими на водороде. К концу 2008 года во всём мире функционировало 2000 водородных автомобильных заправочных станций. В том же 2008 году в Японии началось производство водородных топливных элементов – специальных конструкций, позволяющих безопасно использовать водород как горючее.

Почему водород опасен?

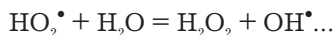
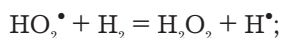
Проблема в том, что горение водорода – не просто экзотермическая реакция, а радикальный процесс с цепным разветвленным механизмом. Цепные реакции отличаются тем, что один акт инициации приводит к целой цепи последовательных превращений, которые теоретически способны продолжаться до тех пор, пока реагенты не израсходуются. Так, при сильном соударении молекул водорода и кислорода образуются два гидроксильных радикала:



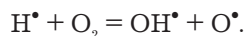
каждый из которых «заводит» цепочку стадий развития цепи:



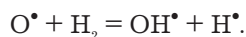
где М – частица, забирающая излишек энергии, например, частица стенки сосуда;



Но $\text{HO}_2^\bullet$ – малоактивный радикал, часто о реакции его образования говорят как о фактическом обрыве цепи. В самом деле, если бы этот путь реакции был основным, то перекись водорода H_2O_2 была бы главным продуктом окисления водорода наряду с водой. «Собака зарыта» в том, что водородный радикал чаще сталкивается с кислородом в отсутствие третьей частицы, излишек энергии буквально разрывает «спокойный» радикал $\text{HO}_2^\bullet$, и в результате такого взаимодействия получается ДВА очень активных радикала:



В свою очередь кислородный радикал «нападает» на молекулу водорода, и опять образуются два радикала:



Это и есть разветвление цепи. Радикалы размножаются, реакция протекает все интенсивнее, и в конце концов происходит взрыв.

Но почему тогда возможны ситуации, когда водород горит без взрыва? Ведь известно, что водород взрывается только в определенном соотношении с воздухом. Если много воздуха и мало водорода – взрыва не будет. При малом содержании водорода в смеси концентрация образующихся гидроксильных радикалов невелика. Многие из них успевают рекомбинировать, отдав энергию стенке сосуда или третьей частице, прежде чем встретиться с молекулой водорода. А раз в системе мало радикалов, то и взрыв не происходит.

Если водорода много – как ни странно, взрыва тоже не будет. Раз содержание водорода велико, следовательно, в смеси мало кислорода. А чтобы прошла стадия разветвления цепи, необходимо, чтобы радикал $\text{H}^\bullet$ встретился с молекулой кислорода.

Взрывоопасная смесь водорода и кислорода называется гремучим газом. Наиболее опасно соотношение водорода и воздуха 2 : 5, но гремучий газ способен взрываться в широком интервале концентраций: от 4 % до 75 % водорода по объему.

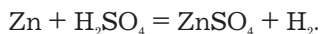
Получаем водород

Чтобы изучить горение водорода, его нужно сначала получить. Водород – самый распространенный во

Вселенной элемент, на его долю приходится около 92 % всех атомов. Он составляет примерно половину

массы большинства звезд, в том числе Солнца, содержится в газовых туманностях и межзвездных водородных облаках. Но на Земле водород по распространенности лишь 10-й, и подавляющая его часть находится в соединениях. А молекулярного водорода почти нет: H_2 составляет всего 0,00005 % атмосферы по объёму. Поэтому получать его придется с помощью химической реакции.

Обычно в лаборатории получают водород из цинка и кислоты (серной или соляной) (рис. 1):



Выделение горючего газа при взаимодействии кислот и металлов наблюдали в XVI и XVII веках на заре становления химии как науки. Английский физик и химик Генри Кавендиш в 1766 году исследовал этот газ и назвал его «горючим воздухом». Французский химик Антуан Лавуазье установил, что он входит в

состав воды, и дал ему название «водород» – от греческого «рождающий воду». Русское наименование «водород» предложил химик Михаил Федорович Соловьев в 1824 году.



Рис. 1. Взаимодействие цинка с 20 %-ной серной кислотой

Можно использовать для получения водорода и другие реакции – например, взаимодействие алюминия с раствором щелочи (рис. 2):

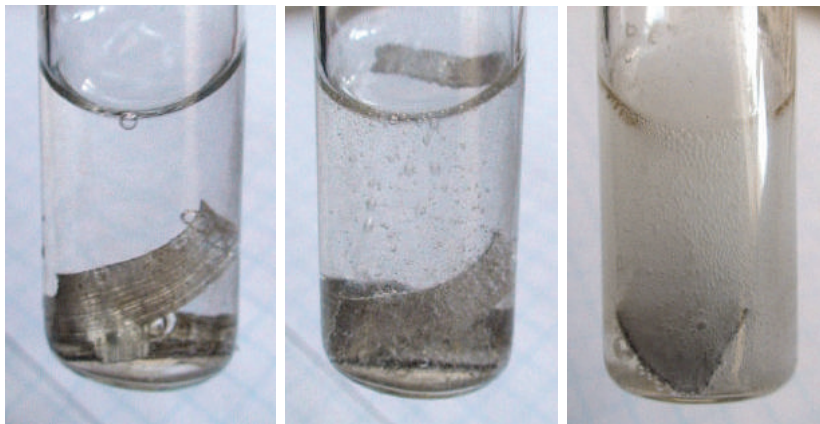
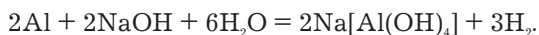


Рис. 2. Взаимодействие алюминия со щелочью

Водород можно получать в приборе непрерывного действия, например, в колбе Вюрца (колбе с отводом) (рис. 3), либо в «выключаемом» при-

боре. Приборы, получение водорода в которых возможно остановить, а потом продолжить, разумеется, предпочтительнее.



Рис. 3. Колба Вюрца с цинком

Классическая версия такого прибора – аппарат Киппа (рис. 4). Он работает по принципу сообщающихся сосудов. Твердое вещество (цинк) помещается в шар 1, через шаровую воронку 2 с трубкой, доходящей почти до дна прибора, наливается кислота. При закрытом кране 3 лишь часть жидкости проходит в нижний полушар 4, сжимая находящийся там воздух, а часть остается в шаре воронки. Когда кран 3 открывают, воздух выходит, и жидкость свободно выливается, заполняя нижний полушар и проникая в шар 1. Происходит контакт кислоты с цинком, выделяется газ, который устремляется наружу через газоотводную трубку с краном 3. Поток газа регулируется краном. Когда кран 3 закрывают, газ продолжает выделяться еще некоторое время. Он заполняет шар 1 и вытесняет жидкость в нижний полушар 4 и воронку 2. Реакция останавливается.

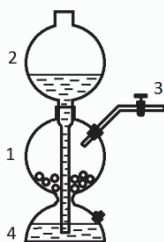


Рис. 4. Аппарат Киппа

Однако аппарат Киппа – довольно громоздкая конструкция. Сейчас чаще используется маленький прибор, принцип действия которого аналогичен – аппарат Кирюшкина, он же носит название без изысков «прибор для получения газов» (ППГ) (рис. 5). Роль перемычки между шаром и нижним полушаром играет резиновая прокладка, на которую помещается цинк, вместо крана используется резиновая трубка, перекрываваемая зажимом. На фото запечатлен момент наливания кислоты в прибор для получения газов.



Рис. 5. Прибор для получения газов

Водород легче воздуха в 14,5 раз (это самый лёгкий газ!), поэтому, чтобы собрать его в пробирку, нужно надеть ее на отвод прибора «вверх ногами» (рис. 6). Но не стоит торопиться! Ведь прибор заполнен воздухом, и выделяющийся водород должен вначале вытеснить весь воздух. Собрав водород, проверим, как он горит. Для этого, не переворачивая пробирку, аккуратно подносим ее отверстием к пламени горелки (рис. 7). Если пробирка полностью заполнена чистым водородом, слышится легкий хлопок. Но иногда звук бывает совсем другим – громким, свистящим или даже воющим. Это означает, что в пробирке – гремучий газ. Либо она заполнена водородом не до конца, т.е. в ней остался воз-

дух, либо воздух еще не до конца вытеснен из прибора водородом, ли-

бо прибор негерметичен, и воздух проникает в него.



Рис. 6. Сбор водорода в пробирку из различных приборов



Рис. 7. Проверка водорода на чистоту

Такую пробу используют для проверки водорода на чистоту. Например, если водород предполагается вводить в какую-то реакцию при нагревании (допустим, надо восстановить водородом оксид меди), обязательно нужно убедиться, что смесь кислорода отсутствует, иначе произойдет взрыв, а в масштабах всего прибора это будет далеко не так безобидно, как с одной маленькой пробирочкой.

Кстати, проводя реакции с водородом (в частности, пропуская водород над нагретым оксидом меди), надо помнить, что избыток водорода выходит из прибора, смешивается с воздухом и при соприкосновении с горячими стенками прибора или

пламенем, которым его нагревают, также может взорваться. Поэтому водород обычно поджигают прямо на выходе из прибора, пока он еще чистый и способен гореть спокойно (рис. 8). А чтобы при уменьшении потока водорода пламя случайно не проскочило внутрь прибора, в отвод вставляют медную спираль, на которой радикалы рекомбинируют.

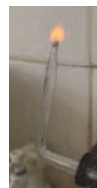


Рис. 8. Пламя водорода на выходе из прибора

Взрыв водорода

Чтобы пронаблюдать взрыв водорода, не подвергая риску прибор и себя, следует наполнить водородом жестяную консервную банку без крышки (рис. 9). Банка берется из тех, что не жалко, объем от 200 до 500 мл. В середине дна проделывается дырочка диаметром около 2 мм, а у крышки прорезается маленькое полукруглое отверстие (чуть больше диаметра выходной резиновой труб-

ки прибора для получения газа) – так называемая «дверка для кошки», заботливые хозяева часто устраивают подобные отверстия в комнатных дверях, чтобы животные свободно ходили по квартире, не ожидая, пока им откроют дверь. Банка ставится вверх дном, в «дверку для кошки» вставляется выходная трубка прибора, дырочка затыкается пальцем (реже пробкой) (рис. 10).

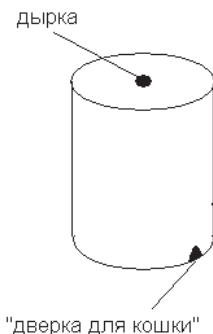
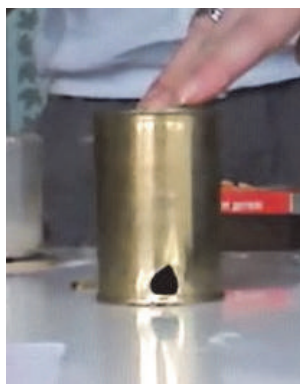


Рис. 9. Банка для сбора водорода



Рис. 10. Наполнение банки

В зависимости от производительности прибора и объема банки на ее наполнение потребуется от 3 до 7 минут. Затем закрываем кран аппарата Киппа или зажимаем резиновую трубку ППГ, а если водород получали в приборе непрерывного действия, то уносим его подальше (для этого понадобится ассистент, т. к. верхняя дырочка все еще должна быть зажата).



Рис. 11. Поджигаем банку с водородом

Теперь все готово к самому главному опыту. Быстро подносим к верхней дырочке банки зажженную лучину, убирая палец или пробку (рис. 11). Водород загорается со слабым звуком. Вначале это почти незаметно со стороны: водород горит практически невидимым пламенем. Можно показать пламя,

поднеся к нему бумажку: она загорается. Но при горении водород расходуется, и через «дверку для кошки» в банку поступает воздух. Тон звука становится выше по мере выгорания водорода, словно банка «готовится к взлету».

Когда в банке достигается предельное соотношение, при котором образуется гремучий газ, т. е. объемная концентрация водорода снижается до 75 %, происходит взрыв. Банка подскакивает, доставляя окружающим массу радости.

Стоит заметить, что чем больше объем банки, тем дольше промежуток между поджиганием и взрывом. Маленькая банка подскакивает почти сразу и может задеть экспериментатора. Поэтому, как ни парадоксально, чем больше объем, тем безопаснее опыт. Но для наполнения большой банки нужно, чтобы водорода было много и чтобы он образовывался быстро. Как ускорить реакцию кислоты с цинком?

Один из способов – уменьшить размер кусочков цинка. Но если они будут слишком малы, то станут проваливаться в нижний полушар аппарата Киппа или пространство под резиновой прокладкой ППГ, тем самым процесс перестанет быть регулируемым.

Второй способ – увеличить концентрацию кислоты. Здесь есть свои

ограничения. Серная кислота при концентрации более 25 % начинает восстанавливаться цинком до сероводорода, загрязняющего водород и придающего эксперименту «неповторимый аромат». Концентрированная соляная кислота имеет массовую долю HCl около 37 % и не дает побочных продуктов. Логично было бы выбрать ее, однако в выделяющемся газе велика примесь самого хлороводорода.

Обычно выбирают другой путь. Реакция цинка с кислотой тормозится не в последнюю очередь из-за того, что формирующиеся пузыри водорода облепляют поверхность гранул цинка, препятствуя дальнейшей реакции. В этом случае помогает создание гальванической пары с менее активным металлом – медью. В реакционную среду добавляют немного раствора соли меди (II) (рис. 12), и цинк как более активный металл вытесняет медь:

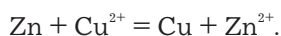


Рис. 12. Добавление раствора соли меди в колбу с цинком и кислотой

Именно поэтому в растворе появляются хлопья меди (рис. 13). В момент выделения меди оба металла находятся в непосредственном контакте, что и требуется для образования гальванической пары. Медь, обладая большей электроотрицательностью, стягивает электроны у цинка, заряжаясь отрицательно, и ионы H^+ подходят за электронами к поверхности меди, а поверхность цинка остается свободной. Реакция заметно ускоряется.

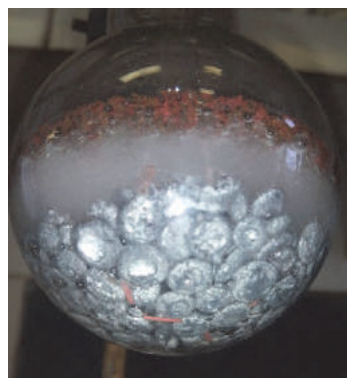


Рис. 13. Хлопья меди в колбе Вюрца

И напоследок – еще один способ взорвать водород. Не слишком познавательный, в отличие от описанного выше, зато красивый. Нужно наполнить водородом воздушный шарик, перевязать его длинной ниткой и поджечь конец нитки. Когда огонь доберется до шарика, он взорвется. Разлетающиеся цветные кусочки недогоревшей оболочки шарика выглядят эффектно. Но напоминаем о необходимости соблюдать осторожность! Проводить такой опыт в помещениях с горючей отделкой стен или пола, захламленных помещениях и т.п. категорически нельзя. Лучше всего это делать в лаборатории или на пустыре (не в сухую погоду!).



Хочу быть



Марковская Дина Валерьевна

Кандидат химических наук, младший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН», ассистент кафедры физической химии Новосибирского государственного университета. Автор и соавтор 13 научных статей и одного патента РФ

Назад, в будущее: фотокаталитический метод получения водорода

Чем занимаются современные химики? Переливание из пробирки в пробирку – этап, пройденный века назад. Сейчас химики решают важные технологические проблемы на стыке наук. Институт катализа СО РАН является одним из крупнейших в мире научно-исследовательских центров в области катализа. Основные направления деятельности Института, сформулированные его основателем и первым директором академиком Георгием Константиновичем Боресковым, включают разработку теории катализа, научных основ приготовления катализаторов, разработку и усовершенствование промышленных каталитических процессов, развитие методов математического моделирования каталитических реакторов. Фотокатализ – довольно многообещающая область каталитических явлений. Исследованиям в этой области и ее перспективам посвящается данная статья.

Открывая любой фантастический роман, мы погружаемся в необычный мир будущего: идеального общества, освоенного космического пространства, возможности путешествия между планетами и галакти-

ками... Особое внимание писатели-фантасты уделяют космическому кораблю, но не только каютам и внутренней обстановке, а ещё и материалу, из которого он сделан, а особенно – двигателю. И каких дви-

гателей только не придумали писатели: фотонные, ионные, двигатели Бассарда...

Но не будем забывать, что любая фантастика основана на науке. Так, в «Гиперболоиде инженера Гарина» фигурировал радио-водородный двигатель, внутри которого образовывались гелий и водород и выделялось большое количество энергии. Однако и чистый водород можно использовать как топливо, при сгорании одного килограмма водорода выделяется огромное количество тепла, в три раза больше, чем при сгорании одного килограмма нефти. Первые проекты использования водородного топлива были представлены ещё в начале XIX века французским изобретателем Франсуа Исааком де Ривазом. Спустя примерно пятьдесят лет Жан Жозеф Этьен Ленуар начал серийный выпуск таких двигателей внутреннего сгорания, однако с 1870 года в качестве горючего стали использовать бензин, и практически на 70 лет водородное топливо было забыто. «Вспомнили» о нем в блокадном Ленинграде, где для заправки грузовиков не хватало бензина, но зато в изобилии имелся так называемый «отработанный» водород из заградительных аэростатов. По некоторым подсчетам, в городе во время блокады на водороде работало около 600 автомобилей. После окончания войны Ленинград вернулся к привычному виду горючего – бензину, которым заправляются по сей день в России. А вот в других странах (Японии, Германии, Китае, Канаде) уже используют водородное топливо, например, в некоторых автобусах и легковых автомобилях.

Если представить, что все страны мира будут ездить на водороде,

то в первую очередь возникнет вопрос: как получить такое количество топлива, необходимое для полного удовлетворения энергетических нужд всего человечества? Наиболее распространенные на сегодняшний день методы – это обработка паром каменного угля, метана и электролиз воды – не подходят для этой цели (запасы каменного угля когда-нибудь иссякнут, метан – достаточно ценный продукт для химии, а при электролизе тратится слишком много энергии). Существует несколько альтернативных методов получения водорода, наибольшего внимания из которых заслуживает фотокатализ¹.

Термин «фотокатализ» состоит из двух частей, имеющих греческое происхождение: «фотос» (свет) и «катализис» («разрушение», в первых известных человечеству каталитических реакциях действительно происходило разрушение сложных веществ). Катализ – это особое явление, суть которого заключается в следующем: для многих реакций можно подобрать такие вещества – катализаторы – которые ускоряют ход реакции. В фотокатализе же для работы катализатора необходимо постоянное освещение.

Наиболее известной фотокаталитической реакцией является природный фотосинтез (рис. 1). Листья растений при попадании на них солнечного света «перерабатывают» углекислый газ и воду в необходимые для жизни органические вещества, например, глюкозу, и выделяют в атмосферу кислород, которым мы дышим. Фотокатализатором этого сложного процесса является зелёный пигмент хлорофилл, именно он поглощает свет и «направляет» эту энергию на протекание химических реакций.

¹ О фотокатализе и его роли в получении водорода читатель может подробнее узнать, ознакомившись с материалами электронного курса «Мост между прошлым и будущим: фотокаталитический метод получения водорода» на платформе Стемфорд (<https://stemford.org>)

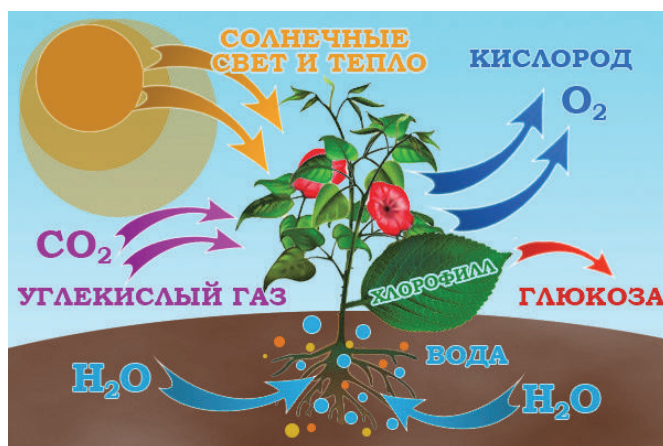


Рис. 1. Общая схема фотосинтеза растений (www.ya-uznay.ru)

Фотокаталитические реакции происходят не только в природе: учёные с начала XX века активно изучают подобные процессы в своих лабораториях. Немецкий химик Карл Ренц помещал оксиды различных металлов в органические растворители и освещал их солнечным светом. При этом оксиды металлов темнели (происходило восстановление оксидов до чистых металлов), а растворитель окислялся. Дудев и Китченер обесцвечивали разные красители ультрафиолетовым светом в присутствии наночастиц (так называют частицы, размер которых составляет 10^{-9} м) диоксида титана TiO_2 . На диоксид титана также обратили внимание японские исследователи Фуджишима и Хонда, они первыми в мире показали, что при освещении воды можно получить водород, правда, при этом должен присутствовать TiO_2 в качестве катализатора. С этого момента начались многочисленные исследования фотокаталитических процессов, направленных на получение водорода. Ученые выяснили, что выделять водород из воды достаточно сложно, гораздо легче этот процесс идет в присутствии растворенных неорганических

щелочных металлов) или органических (метанол, этанол, пропанол, глицерин, глюкоза, уксусная кислота, производные карбоновых кислот, азокрасители и т.д.) веществ. Расширялся и набор изучаемых фотокатализаторов – диоксид титана, оксиды цинка, меди, никеля, сульфиды и селениды переходных металлов, графены, нитрид углерода, сложные многокомпонентные катализаторы и т.д. Значительную часть перечисленных материалов составляют полупроводники.

Какими же особыми свойствами они обладают? Как протекают самые простые фотокаталитические реакции?

Для ответа на эти вопросы, как это часто бывает в химии, нам необходимо обратиться к строению веществ и к их свойствам. Из школьного курса физики известно, что все вещества можно разделить на три группы: проводники (как правило, металлы), полупроводники и диэлектрики. Проведем мысленный эксперимент: составим электрическую цепь из источника питания, лампочки и некоего объекта X. Если X – проводник, то лампочка будет светить ярко, полупроводник – тускло, а если взять диэлектрик, то мы не заметим и следов свечения. Теперь изменим условия нашего эксперимен-

та: возьмем в качестве мистера X полупроводник и направим на него работающий источник света – например, светодиод, лежащий за чем-то в кабине физики. В этом случае лампочка будет светить ярче. Почему?

Объяснение результатов нашего эксперимента связано с зонной структурой твёрдых тел. Эту структуру удобно рассматривать с помощью энергетических диаграмм, одна из которых показана на рис. 2. Стрелкой показано направление, вдоль которого изменяется энергия, обозначенная греческой буквой ϵ . Все твёрдые тела состоят из нескольких энергетических зон: **валентной** (в этой зоне находятся электроны), **запрещенной** (в ней ни при каких условиях не могут находиться электроны) и **зоны проводимости** (в ней могут находиться электроны, обладающие избыточной энергией; чем больше таких электронов, тем выше электропроводность и ярче горит лампочка в нашем эксперименте). Энергию, кото-

рая необходима для переноса электрона из валентной зоны в зону проводимости, называют **шириной запрещенной зоны**. Как показано на рисунке 2, в металлах валентная зона и зона проводимости перекрываются, образуется единая зона, внутри которой свободно перемещаются электроны. В полупроводниках присутствуют все три типа зон, при этом электрический ток могут проводить только те электроны, которые расположены в зоне проводимости. При освещении полупроводника электроны получают дополнительную энергию и переносятся из валентной зоны в зону проводимости, именно поэтому лампочка во втором эксперименте будет гореть ярче. В случае диэлектриков для переноса электрона требуется слишком большое количество энергии, которое трудно получить при нагревании и освещении. Тем не менее, граница между полупроводниками и диэлектриками достаточно условна и в разных книгах определяется по-разному.

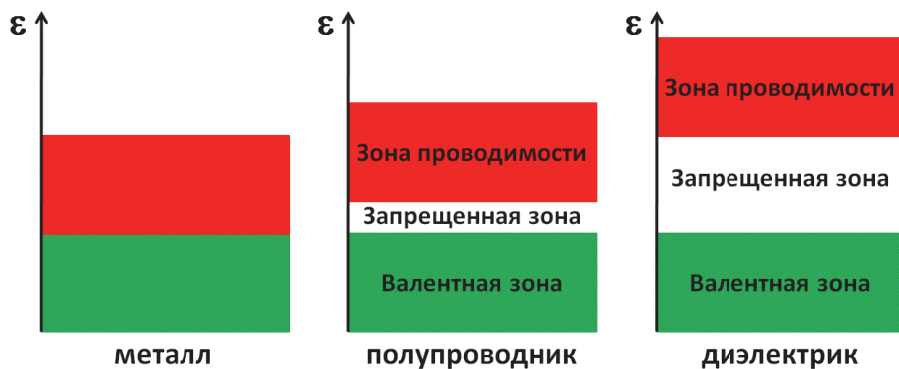


Рис. 2. Энергетическая диаграмма металлов, полупроводников и диэлектриков

Теперь вернёмся к наиболее энергичным электронам, которые уже перенесены в зону проводимости. Они могут не только проводить электрический ток, но и вступать в химические превращения с веществами, находящимися на поверхности

полупроводника, например, восстанавливать воду до водорода (см. рис. 3). Однако, если что-то восстанавливается электронами, то что-то обязательно должно окисляться. Окисляться могут как молекулы воды, так и растворенные в ней веществ-

ва. Окисление происходит с помощью **дырок** – это такие псевдочастицы, которые остаются в валентной зоне

вместо электронов, перешедших в зону проводимости. Дырки отличаются от электронов знаком заряда.

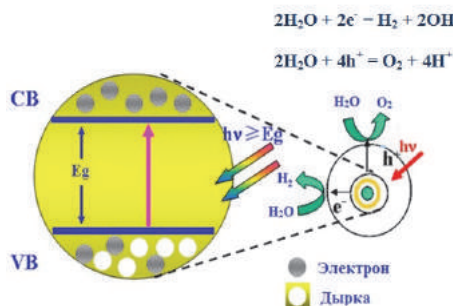


Рис. 3. Общий принцип действия полупроводниковых фотокатализаторов [3]

Теперь перед нашими глазами предстает простейшая схема фотокаталитического процесса: на наночастицу полупроводника попадает свет с такой энергией, которая превышает ширину запрещенной зоны E_g , тогда часть электронов e^- переносится из валентной зоны в зону проводимости, оставляя на своём месте дырки h^+ . Электроны и дырки вступают в различные взаимодействия, наиболее полезными для нас являются процессы восстановления воды до газообразного водорода и окисления воды или растворенных органических веществ. Сочетания фотокатализаторов и различных растворов – источников для получения водорода – являются предметом исследования многих научных коллективов как в России, так и за ее пределами. Работа сотрудников лаборатории фото- и электрокатализа Института катализа СО РАН, расположенного в г. Новосибирске, внесла значительный вклад в изучение данного вопроса. В этой лаборатории в качестве органического вещества мы используем спирт, а в качестве фотокатализаторов – сложные трёхкомпонентные системы. Основу катализатора составляет соединение $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$, одновременно содержащее сульфиды цинка и кадмия. Это соединение является полупроводни-

ком, который можно активировать (т. е. перенести электрон из валентной зоны в зону проводимости) видимым светом. Также в состав катализатора входят оксид цинка и гидроксид цинка.

Интересно понять, как частицы этих компонентов расположены в пространстве относительно друг друга. Это можно сделать с помощью просвечивающего электронного микроскопа. Правда, в условиях съёмки гидроксид цинка переходит в соответствующий оксид, поэтому $\text{Zn}(\text{OH})_2$ нельзя увидеть под микроскопом. А вот всё остальное – можно. На рис. 4 представлена фотография наших фотокатализаторов. На последнем снимке чётко видны сдавленные нанотрубки или полые сферы $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ диаметром примерно 50 нанометров и толщиной стенок около 5 нанометров. Всю вторую фотографию занимает частицы оксида цинка, они имеют форму цилиндра с диаметром около 50 нанометров. А на первой фотографии ярко показано, что частицы оксида цинка как бы «опутаны» сульфидными нанотрубками, то есть компоненты такого сложного катализатора не только образуют красивые структуры, но и находятся во взаимодействии между собой, благодаря чему эти катализаторы при прочих равных условиях выделяют больше водорода.

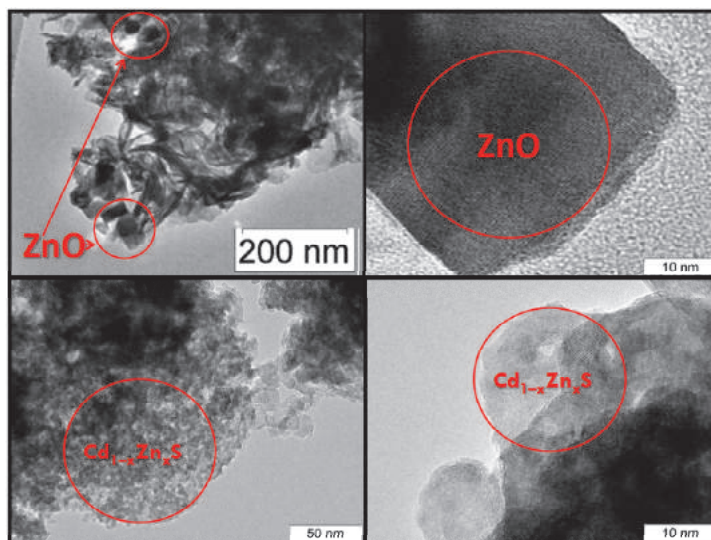


Рис. 4. Изображения катализаторов $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}/\text{ZnO}/\text{Zn}(\text{OH})_2$, полученные просвечивающей электронной микроскопией

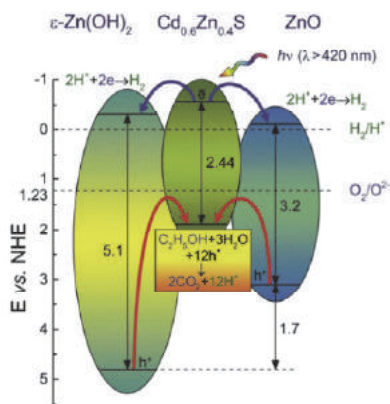


Рис. 5. Схема переноса зарядов, осуществляемая на образцах $\text{Cd}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{S}/\text{ZnO}/\text{Zn}(\text{OH})_2$. Синими стрелками показано направление переноса электронов, красными – дырок [4]

Причины высокой активности катализаторов всегда интересны для исследования. В нашем случае интересно, что все компоненты катализатора являются полупроводниками с различными положениями валентной зоны и зоны проводимости,

как показано на рис. 5. При использовании таких сложных катализаторов схема фотокатализической реакции немного изменяется. Когда на фотокатализатор попадает видимый свет, то электрон из валентной зоны $\text{Cd}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{S}$ переносится в зону проводимости. Дальнейшую судьбу электрона определяют соседи освещаемой частицы. Дело в том, что электроны, как и рыбы, ищут, где глубже, то есть стремятся занять уровень с наименьшей энергией. Если в окружении нашего электрона есть частицы с более низким положением валентной зоны, то электрон с радостью займёт это положение и переместится в валентную зону такой частицы. Этот процесс называют переносом заряда или гетеропереходом. Чем больше гетеропереходов может произойти, тем более активен такой катализатор, ведь после гетеропереходов часто происходит восстановление молекул воды или протонов до водорода. В рассматриваемых системах электроны могут переноситься в валентную зону оксида

цинка и гидроксида цинка. Гетеропереходы могут осуществлять и дырки, только они стремятся попасть на более высокий по энергии уровень зоны проводимости; в наших образцах перенос дырок осуществляется в зону проводимости $\text{Cd}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{S}$, где протекает поэтапное окисление этанола до углекислого газа и ионов водорода. Конечно, на активность фотокатализатора влияет множество факторов, среди которых не последнюю роль играют состав катализатора и концентрации растворенных веществ. Правильный подбор содержания веществ и pH среды может увеличить количество выделяемого водорода в десятки раз! Вместе с концентрациями реагентов можно изменять их состав, температуру проведения процессов и т. д. Таким образом, можно управлять скоростью фотокаталитической реакции и синтезировать все более активные катализаторы, приближающие нас к главной цели: получению

большого количества топлива и ценного для химии продукта – водорода.

В заключение хотелось бы сказать, что фотокаталитическое выделение водорода – это достаточно молодое направление в науке, однако за прошедшие пятьдесят лет было сделано многое: исследовано огромное количество различных по природе катализаторов; выбраны стратегии по улучшению их активности; подобраны различные вещества, из которых водород можно получить фотокаталитически; найдены оптимальные условия проведения процессов и т. д. Наука не стоит на месте, поэтому можно смело утверждать, что еще через несколько десятилетий фотокаталитическое выделение водорода перейдет из разряда альтернативной энергетики в практически применяемую технологию. Возможно, и в космос можно будет полететь на водородном двигателе, предоставляя писателям-фантастам и обычным учёным простор для творчества!

Список литературы

1. А.В. Воронцов, Е.А. Козлова, А.С. Бесов, Д.В. Козлов, С.А. Киселев, А.С. Сафатов. // Кинетика и катализ. – 2010. – Т. 5. – № 6. – С. 829–836.
2. K. Hashimoto, H. Irie, A. Fujishima. // Jpn. J. Appl. Phys. – 2005. – V. 44. – P. 8269 – 8285.
3. D. Jing, L. Guo, L. Zhao, X. Zhang, H. Liu, M. Li, Sh. Shen, G. Liu, X. Hu, X. Zhang, K. Zhang, L. Ma, P. Guo. // Int. J. Hydrogen Energy. – 2010. – V. 35. – P. 7087–7097.
4. Е.А. Kozlova, D.V. Markovskaya, S.V. Cherepanova, A.A. Saraev, E.Yu. Gerasimov, T.V. Perevalov, V.V. Kaichev, V.N. Parmon. // Int. J. Hydrogen Energy. – 2014. – V. 39. – P. 18758–18769.

Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор Юмор

Законы химии

Первый принцип соотношения неопределённостей. При чтении методики самый важный компонент реакционной смеси имеет наибольшую вероятность быть пропущенным.

Второй принцип соотношения неопределённостей. Банку с необходимым реактивом невозможно найти до тех пор, пока этот реактив не синтезирован заново.

Как подписаться на «Потенциал. Химия. Биология. Медицина»?

1. По квитанции через Сбербанк

Электронная подписка

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

www.potential.org.ru

www.karand.ru

Реквизиты

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

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);
2. Купить журнал и оформить онлайн-подписку на журнал можно на сайте sdo.justbrain.ru.

Теперь вы можете читать журнал со своего планшета!



График проведения трех туров Интернет-олимпиады СУНЦ МГУ для 7-10 классов

класс	1 тур	2 тур*	3 тур*
7, 8	15 января – 14 марта	20 марта – 04 апреля	04 – 20 апреля
9, 10	15 ноября – 11 января	17 января – 04 февраля	06 – 17 февраля

* Дни проведения 2 и 3 туров Интернет-олимпиады по конкретным предметам указаны в таблице ниже.

Дни проведения второго и третьего туров Интернет-олимпиады СУНЦ МГУ для учащихся 7-10 классов по разным предметам

предмет	класс	2 этап	3 этап
Химия	7, 8	20 – 24 марта	04 – 06 апреля
Математика		24 – 28 марта	09 – 11 апреля
Биология		26 – 30 марта	11 – 13 апреля
Физика		28 марта – 01 апреля	16 – 18 апреля
Информатика		31 марта – 04 апреля	18 – 20 апреля
Математика	9, 10	17 – 21 января	06 – 08 февраля
Биология		23 – 27 января	07 – 09 февраля
Физика		24 – 28 января	08 – 10 февраля
Информатика		30 января – 03 февраля	14 – 16 февраля
Химия		31 января – 04 февраля	15 – 17 февраля

В следующем номере:

- ✦ Методы биоиндикации. *Сошникова М.А.*
- ✦ Из чего состоит дистанционное обучение. *Морозова Н.И.*
- ✦ Ионные актуаторы на основе умных материалов. *Шачнева С.С.*
- ✦ Задания по химии олимпиады «Колмогоров» в 2019 году. *Загорский В.В.*

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

Наши спонсоры



АЗБУКА

Полиграфическая компания

Тел: (985) 768-25-48,

(495) 787-24-95

www.azbukaprint.ru



www.internat.msu.ru