

СОДЕРЖАНИЕ

0. ВВЕДЕНИЕ	7
0.1. Предисловие от автора	9
0.2. Случайность или непознанная закономерность?	13
1. ВЕЩЕСТВА, КОТОРЫЕ ПРИНЯТО СЧИТАТЬ «НЕЖИВЫМИ»	31
1.0. В начале XIX века Йёнс Якоб Берцелиус	33
1.1. Соляная кислота	34
1.2. Мел, или карбонат кальция	40
1.3. Карбонат лития	46
1.4. Уголь, сера, нитрат натрия, хлорат калия и не только	52
1.5. Фуллерены — еще одна разновидность углерода	71
1.6. Циановодород	76
1.7. Озон	84
1.8. Угарный газ, который не стоит путать с веселящим	92
1.9. Веселящий газ, который не надо путать с угарным	99
1.10. Ртуть	107
1.11. Диоксид титана	113
1.12. Ультрамарин	118

1.13. Берлинская лазурь	121
1.14. Гексафторид урана	127
1.15. Мочевина	135
1.16. Что чем пахнет	141

2. ТО, ЧТО МЫ ПРИНИМАЕМ ВНУТРЬ

2.0. Обоняние и вкус	189
2.1. Химия новогоднего застолья	192
2.2. Пятьдесят оттенков натуральных пищевых красителей	198
2.3. Каротин	214
2.4. Хлорофилл.	219
2.5. Гемоглобин	227
2.6. Химия чайной церемонии.	232
2.7. Ботокс.	247
2.8. Тетрациклин	252
2.9. Лидокаин	258
2.10. Галоперидол	264
2.11. Талидомид	268
2.12. Рицин	273
2.13. Парабены	278
2.14. Антифризы	285

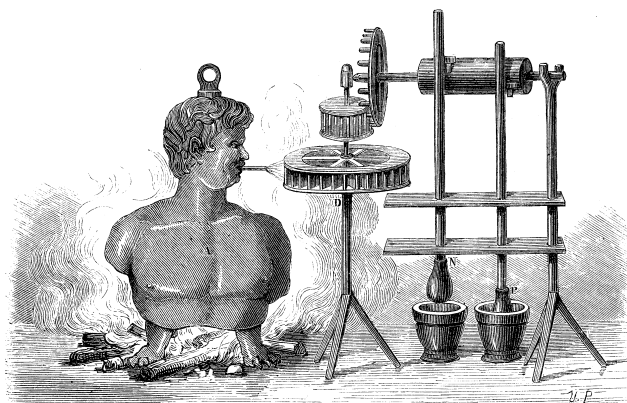
3. ПОЛИМЕРЫ СИНТЕТИЧЕСКИЕ

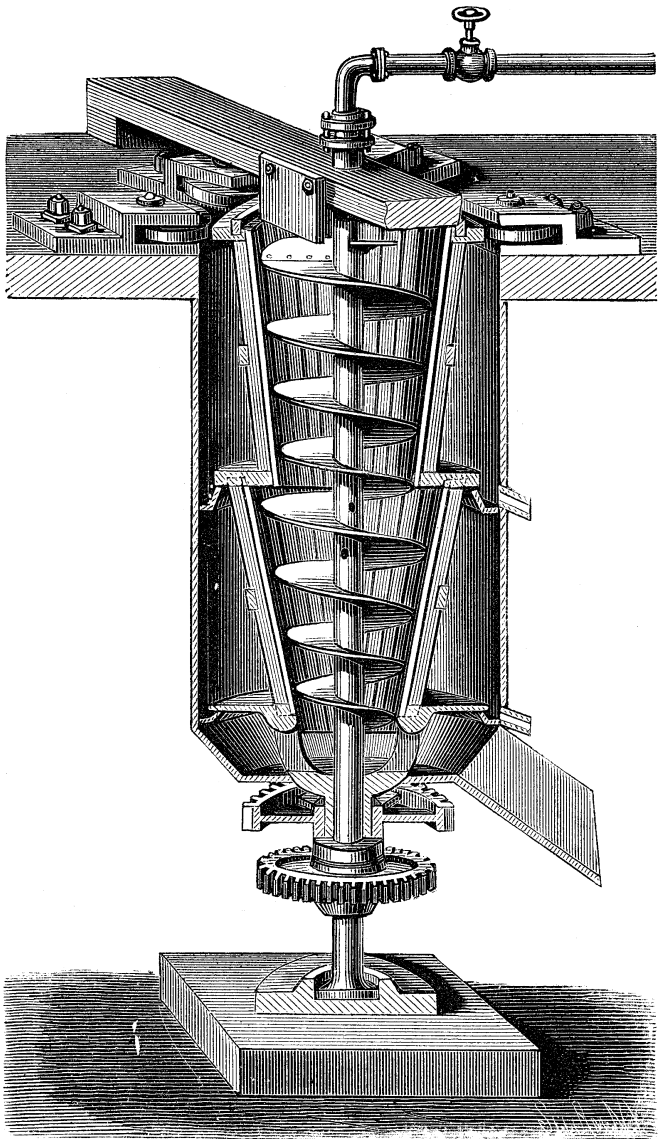
И НАТУРАЛЬНЫЕ.

3.0. Очень часто наше время	295
3.1. Кератин.	297
3.2. Нитроцеллюлоза	303
3.3. Полиэтилентерефталат (он же ПЭТ)	309
3.4. Тефлон	314
3.5. Кевлар	320
3.6. Пектин	326

- 3.7. Молочная кислота.....331
3.8. Зеленый флуоресцирующий белок 336

- 4. ЖИЗНЬ ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ341**
4.1. Вещества с необычными названиями ... 343
4.2. Вещества-рекордсмены..... 354





0. ВВЕДЕНИЕ

0.1. ПРЕДИСЛОВИЕ ОТ АВТОРА

Когда я учился в школе, в кабинете химии друг напротив друга висело два плаката с классическими для позднесоветских кабинетов химии цитатами. Одна из них висела рядом с портретом М.В. Ломоносова: *«Широко распространяет химия руки свои в дела человеческие... Куда ни посмотрим, куда ни оглянемся, везде обращаются перед очами нашими успехи её прилежания»*, а поверх текста второй суровыми глазами на наш класс смотрел первый пролетарский писатель М. Горький: *«Химия — это область чудес, в ней скрыто счастье человечества, величайшие завоевания разума будут сделаны именно в этой области»*.

С момента окончания школы прошло три десятка лет, за которые изменилось многое: химию в школах стали изучать меньше, к первому пролетарскому писателю стали относиться без пиетета и придыхания. В итоге за эти годы мы пришли к тому, что в наши дни химия все так же продолжает широко распространять свои руки в наши дела, но вот людей, которые склонны считать её «областью чудес», стало гораздо меньше. Как-то так произошло, что химия стала вызывать опасе-

ние и страх, расцвёл иррациональный страх перед всем «химическим» — хемофобия.

Приметой времени являются книжки-советы из серии «Как убрать дом без химии», в которых рекомендуется пользоваться содой, уксусом и лимонной кислотой, самыми что ни на есть продуктами крупнотоннажного химического производства (возможно, для некоторых читателей может оказаться неожиданностью, что в наше время лимонную кислоту не получают из лимонов, точно так же как и муравьиную кислоту уже давно не получают из муравьев). В Интернете регулярно появляется кто-то, разоблачающий пищевые добавки или дающий советы из серии: «Чем опаснее химическое вещество, тем сложнее его название» (по логике таких советчиков хлор гораздо менее опасен, чем ДНК, полное название которой «дезоксирибонуклеиновая кислота»). В конечном итоге и в российской, и в международной инфосфере мы можем столкнуться с огромным количеством легенд и страшных историй на ночь, связанных с химией.

Бывает, что коллеги, которым «не за себя, а за химию обидно», высмеивают подобные нелепости, запуская «контрлегенды». Чего стоит одна мистификация с дигидрогена монооксидом — использование незнакомого широкой публике названия воды и описание её фатальных (но при этом вполне реальных) свойств в попытке убедить общественность в необходимости тщательной регуляции или даже полного запрета на использование этого вещества. И хотя шутка зашла далеко — первое упоминание о злокозненном дигидрогена

0. ВВЕДЕНИЕ

монооксиде датируется 1990 годом, а в 1998 году, несмотря на большое количество промежуточных разоблачений, член австралийского парламента объявил о начале кампании по запрещению дигидрогена монооксида на международном уровне, — людей, которых пугает «дигидрогена монооксид», можно встретить где угодно.

Однако настоящие истории, связанные с открытием химических веществ, обнаружением их полезных свойств, просто рассказы о веществах гораздо интереснее придуманных (и чаще всего неправильных) легенд. Мне всегда казалось, что такие рассказы смогут избавить тех, кто их прочтет, от иррационального страха перед всем химическим, заинтересовать химией и сделать так, чтобы все больше и больше людей (причём не обязательно тех, чья профессия так или иначе связана с химией) перестали бы воспринимать вещества, полученные с помощью химического синтеза, как что-то опасное и приблизились к горьковскому восприятию химии. Идеальным, конечно же, было бы всеобщее отношение к химии как к «области чудес», но будем реалистами — к сожалению, даже среди моих коллег есть те, кто опасается химии гораздо больше, чем следовало бы (справедливости ради стоит отметить, что работать в химическом институте и совсем не бояться химии — тоже не самый лучший способ поведения).

Можно сказать, что материал для этой книги подбирался, обрабатывался и писался более 10 лет. С 2006 года я начал ежедневно следить за новостями в химии и областях, с ней связанных,

а наиболее интересные факты и открытия адаптировать для краткого рассказа о них в Сети, обеспечивая работу раздела «Новости химии» сайта www.chemport.ru, в 2012 году появилось название этой книги «Жизнь замечательных веществ». Тогда это был тег для рассказов об известных и не очень известных веществах на страницах Живого Журнала (в 2013 году цикл рассказов о веществах, объединенных этим названием, даже занял первое место в конкурсе научных блогов, организованном интернет-изданием «Наука и технологии России — STRF.ru»). С 2016 года я регулярно сотрудничаю с журналом «Химия и жизнь. XXI век», где ежемесячно освещаю новости химии в разделе «Хемоскоп» и пишу рассказы и про замечательные вещества, и про не менее замечательных ученых, открывших эти вещества. Материалы, вошедшие в эту книгу, были написаны в период с 2006 по 2017 год, хотя, конечно, большая их часть датируется последними двумя-тремя годами.

Надеюсь, что читателю понравится читать рассказы о жизни замечательных веществ хотя бы так, как мне нравилось их писать, подбирая материал, отбирая его по различным источникам. Ну а наилучшей наградой, которую я бы мог заслужить, станет то, что читатели этой книги заинтересуются химией и она не будет последней научно-популярной книгой (а может, и серьезной научной), которая будет ими прочитана. Всё же я искренне вместе с М. Горьким считаю, что химия — это область чудес, а настоящие замечательные открытия в области химии нас ещё ожидают впереди.

0.2. СЛУЧАЙНОСТЬ ИЛИ НЕПОЗНАННАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ?

Химия — наука экспериментальная, и без корректно поставленного эксперимента, проверяющего теоретические догадки учёного, представить её невозможно. Иногда эксперимент удаётся (и это хорошо), иногда — не удаётся (это, конечно, нехорошо, но без этого никуда не денешься), а иногда (и это самый интересный случай) эксперимент даёт нам замечательные, но неожиданные результаты.

Если бы в результате экспериментов мы получали то, что планируем, в принципе, экспериментальная наука, наверное, была бы и не нужна. Но нам не всегда удаётся предугадать результаты эксперимента, что, с одной стороны, плохо — бывает жаль потраченного времени и усилий, а с другой, иногда и хорошо — опытный экспериментатор может обернуть любую конфузию в викторию, и даже если что-то пошло не так или даже кто-то что-то пролил, облизал испачканные реагентом пальцы или просто вдохнул пары реагента — есть ещё шанс получить из этого выго-

ду в виде нового знания или полезного вещества. Особенно часто ситуация, описанная в бессмертной комедии А. С. Грибоедова: «Шёл в комнату, попал в другую...» — встречалась в те времена, когда у химии не было теоретической базы (точнее говоря, база-то была, но была она несколько своеобразной) и сначала алхимии, а потом и химики вели свой научный поиск методом проб и ошибок.

Например, открытие углеродных нанотрубок уже нельзя полноправно считать достижением XXI века. Оказывается, их открытие было предвосхищено средневековыми арабскими оружейниками, их дамасские клинки, показавшие крестоносцам истинное значение выражения «холодная сталь», обладали своими уникальными свойствами из-за армирующего материала клинка углеродных нанотрубок.

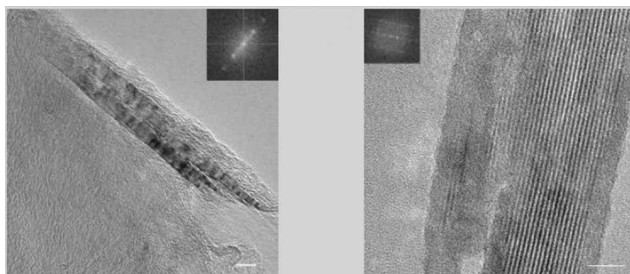
Петер Пауфлер (Peter Paufler) и его коллеги из Дрезденского технического университета обнаружили углеродные нанотрубки в дамасской сабле 17 века при изучении ее микроструктуры (*Nature*, 2006, 444, 286). Наиболее интригующим являлось то, что нанотрубки были инкапсулированы в линейные структуры, образованные карбидом железа. По мнению учёных, такая организация материала клинка могла обуславливать механическую прочность и остроту дамасских мечей.

Европейцы приписывали дамасским клинкам волшебные свойства. Только волшебством можно было объяснить столь острую заточку меча, способного разрезать шелковый платок, просто падающий на лезвие, и одновременно способ-

0. ВВЕДЕНИЕ

ность клинка рубить оружие и доспехи из менее качественной стали, не теряя своей остроты.

Проблема, с которой сталкивались средневековые оружейники, заключалась в том, как получить одновременно жёсткую и ковкую сталь. Большое количество углерода сделает сталь твердой, но хрупкой, малое содержание углерода приведёт к образованию более ковкого материала, который, однако, будет настолько мягок, что не сможет образовать жёсткой режущей кромки при заточке. Клинки дамасской стали ковали из небольших по размеру слитков железа, содержащих 1,6–1,7% углерода. Эти слитки (их еще называют вутц — wootz) производились в Индии, экспортировались в Дамаск, где опытные оружейники превращали их в клинки.



Сканирующий электронный микроскоп позволяет разглядеть нанотрубки в дамасском клинке (рисунок из *Nature*, 2006, 444, 286).

Сталь, содержащая такое количество углерода, обычно образует пластины цементита (Fe_3C), который в свою очередь делает сталь ломкой. Однако в ходе выплавки дамасской стали при

температуре около 800 градусов Цельсия в исходный материал вносили небольшое количество добавок, представляющих собой элементы первого ряда переходных металлов (например: ванадий, хром, марганец, кобальт и никель), вольфрам и некоторые редкоземельные элементы. Совместное и одновременное внесение этих добавок в сталь приводило к тому, что отдельные пластины цементита объединялись, формируя его нановолокна. Все это давало клинкам прочность, ковкость и характерный волнообразный рисунок микроструктуры. Искусствоковки дамасской стали было потеряно к XVIII веку благодаря истощению запасов сырьевой базы как для железосодержащих руд, так и для легирующих добавок.

Ранее проводимые исследования микроструктуры дамасской стали показывали на наличие нановолокон цементита в материале. Сейчас группа Пауфлера обнаружила наличие нанотрубок в стали. Это открытие было сделано следующим образом: небольшой образец материала клинка был корродирован действием плавиковой кислоты, после чего материал изучался с помощью сканирующего электронного микроскопа с высоким разрешением.

Нанотрубки могли образоваться в результате добавок некоторых растительных ингредиентов ещё на стадии образования вутца. Ученые предполагают, что образованию углеродных нанотрубок могла способствовать древесина *Cassia auriculata* и листья *Coltropis gigantean*. Таким образом, эмпирически оптимизируя процесс выплавки стали иковки клинка, средневековые мастера по-

0. ВВЕДЕНИЕ

лучили наноматериалы ещё несколько сотен лет назад, правда, естественно, ответить на вопрос: «Благодаря чему клинок, скованный на Востоке, превосходит свойствами клинок, скованный на Западе», — металлурги и алхимики и Саладина, и европейских правителей не могли, и переход на древесный уголь из других сортов древесины привёл в конечном итоге к «утере» секрета дамасской стали.

Пожалуй, учитывая все обстоятельства, самый приятный из всех химических сюрпризов произошёл в 1669 году, когда алхимик Хенниг Бранд попытался получить золото, нагревая мочу с песком.

Спрашивается — зачем он взял такие неожиданные исходные вещества для трансмутации? Ответ прост: принцип подобия, который использовали алхимики, в те времена касался не только растворимости, а чуть более, чем всего — запахов, вкуса, внешнего вида. Исходя из принципа подобия, теоретической базой для подбора условий проведения эксперимента послужило то, что и золото, и моча отличаются одинаковым цветом. Конечно же, Хенниг Бранд не смог выпарить золото из мочи, но в историю химии вошел как первооткрыватель нового элемента — фосфора.

Открытие удалось сделать благодаря тому, что помимо мочевины и мочевой кислоты моча содержит метафосфат натрия, а при высокой температуре её органические компоненты обугливаются до углерода, который при нагревании может восстановить фосфор из фосфата. Бранд хранил свой метод получения нового вещества в тайне (из-за свечения считая его облегчённой версией

философского камня), но в 1680 году независимо от него Роберт Бойль опубликовал рецепт получения фосфора по такой же методике — при нагревании мочи с песком. Специалисты по химии фосфора и фосфорорганических соединений до сих пор уверены в том, что главное достижение алхимии — тот самый эксперимент Бранда и позднее Бойля, который позволил открыть новый (тогда) и уникальный (до настоящего времени) химический элемент.

В наши дни фосфор производится путем восстановления фосфатов (например, фосфатов кальция — апатитов) с песком и коксом в электрической печи при температуре около 1200 °С. Основной компонент песка — диоксид кремния — вступает в реакцию с фосфатом, образуя оксид фосфора P_2O_5 , ну а входящий в состав кокса углерод восстанавливает P_2O_5 до элементарного фосфора.

Свою роль случайности сыграли и при разработке химических процессов, связанных с фотографией. К 1835 году француз Луи Дагер разработал такое светочувствительное устройство, как покрытая серебром и обработанная парами йода медная пластина. Дагер подверг пластинку действию света и положил её на шкаф, а когда через некоторое время он вернулся к ней, на пластинке проявилось изображение. Расследование показало, что в шкафу лежал разбитый ртутный термометр, и пары ртути проявили изображение.

В 1837 году Дагер запатентовал фотографическую систему, получившую название «дагеротип», для получения изображения с помощью которой

0. ВВЕДЕНИЕ

необходимо было подвергнуть металлическую пластинку воздействию света, обработать пластинку парами ртути и закрепить его солёной водой. Метод Дагера, ставший началом современной фотографии, был небезопасен для здоровья, долгов и трудоёмок, но по тем временам дагеротипы были прорывом в области создания изображений.

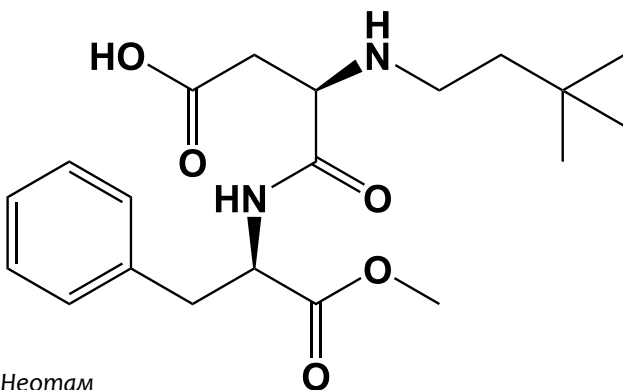
Благодаря счастливой случайности был открыт и состав нержавеющей стали. Примерно в 1910 году британский металлург Гарри Брирли (Harry Brearley) пытался создать новый сплав для ружейных стволов, способный выдержать стрельбу патронами большей мощности, однако каждый из образцов полученных сплавов проваливал тесты, не обладая достаточной прочностью, и Брирли свалил все неудачные образцы в сыром углу своей лаборатории, где те лежали и ржавели.

В один прекрасный день, глядя на плоды своих неудачных экспериментов, Брирли с удивлением обнаружил, что один образец так и не был тронут ржавчиной. Металлург взял этот кусок сплава и проанализировал его — это был первый образец нержавеющей стали. Обратив конфузию в викторию, Брирли, не получивший господдержки на производство оружейной стали, быстро сориентировался и скооперировался с производителем посуды, получив подряд на изготовление материала для столовых приборов. В наши дни мы настолько привыкли к столовым приборам из нержавеющей стали, что даже не можем оценить, каких огромных усилий и какого везения стоило Брирли его изобретение.

Хотя к концу XIX века химия накопила достаточное количество теорий и обобщений, чтобы посматривать на своего предка — алхимию — с легким пренебрежением и чувством собственного превосходства, случайные открытия не прекратились, а можно даже сказать, что участились.

Так, до целенаправленной разработки и открытия компанией NutraSweet подсластителя неотама (E-961) в 2002 году каждый из подсластителей-заменителей сахара находили неожиданно — если кто-то случайно пробовал на вкус какое-то вещество.

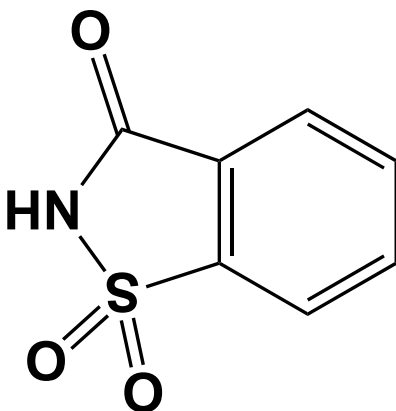
Очевидно, что первооткрывателем первого сахарозаменителя был какой-то римский винодел, обнаруживший сладкий вкус белых кристаллов, образующихся в результате воздействия на свинец уксуса. Однако первый в истории сахарозаменитель — ацетат свинца, или свинцовый сахар, — сыграл дурную роль для Рима: римляне не знали о токсичности и тератогенности соединений свин-



Неотам

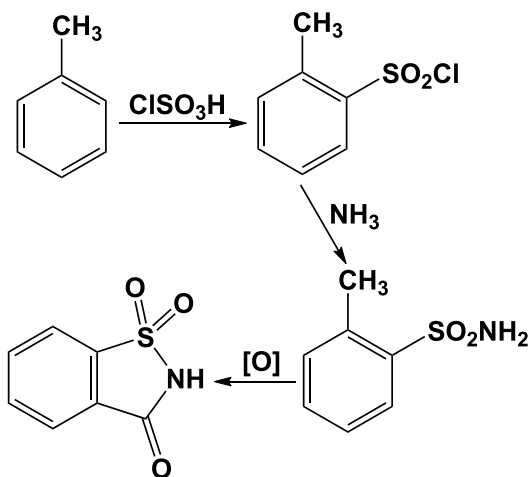
0. ВВЕДЕНИЕ

Сахарин

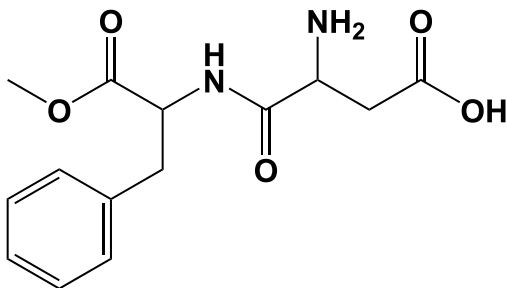


ца (собственно говоря, они не имели и понятия о том, что такое «тератогенность»), и помимо социальных процессов Рим подкосила в том числе и практика сластить вино свинцовым сахаром, вызывавшая хронические отравления свинцом.

Практика обнаружения подсластителей «на вкус» была продолжена в 19 веке Константином Фальбергом, тогда работавшим в лаборатории Айры Ремзена. После долгого дня, проведенного в лаборатории над синтезом производных толуола, Фальберг отправился обедать, не помыв руки. Взяв хлеб этими самыми немытыми руками, Фальберг обнаружил, что этот хлеб необычно сладок на вкус, и связал это с остатками вещества на своих руках. Вместе с Ремзеном Фальберг очистил сладкое вещество, которым были загрязнены его руки, и написал статью «Об окислении орто-толуолсульфонамида». Спустя несколько лет Фальберг оптимизировал условия синтеза, запатентовал его и начал промышленное производ-



Синтез сахарина по Ремзену—Фальбергу



Аспартам

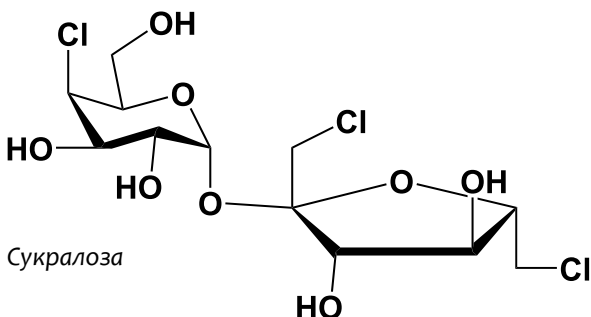
ство сахарина, уже не включив Ремзена в соавторы и патентообладатели. Именно с того момента началась история сахарина, который известен ещё и тем, что это первый продукт, продававшийся компанией «Монсанто».

0. ВВЕДЕНИЕ

Спустя почти столетие почти по такому же сценарию произошло открытие очередного сахарозаменителя — аспартама, сделанное Джеймсом Шлаттером. В процессе синтеза гормона гастринна содержимое колбы с метанольным раствором аспартама пролилось Шлаттеру на руки, однако он как ни в чем не бывало продолжил работу. Чуть позже ему потребовался кусочек бумаги. Чтобы подхватить кусочек бумаги, Шлаттер облизнул пальцы и почувствовал сладкий вкус. Первая мысль Шлаттера была о том, что ему на руки попал сахар, однако он быстро сообразил, что дело в аспартаме.

Ну и совсем уже анекдотический случай произошел при обнаружении сукралозы. Аспирант Шашикант Пхандис (Shashikant Phadnis) получил хлорированную сахарозу в рамках проекта по разработке новых пестицидов, и его научный руководитель Лесли Хью (Leslie Hough) дал ему задание протестировать препарат (test), однако шотландский акцент Хью и неродной для Пхандиса английский привели к тому, что аспирант понял, что шеф требует от него попробовать новое вещество на вкус (taste), что он тут же и сделал, сунув небольшую порцию порошка прямо в рот, и сообщил шефу о сладком вкусе. На следующее утро, убедившись в том, что за ночь с аспирантом ничего не случилось, Хью и сам добавил сукралозу в кофе.

Вообще химики ничуть не отстают от врачей-подвижников, которые, чтобы доказать безопасность и эффективность вакцинации, в первую очередь делали прививки от смертельных болезней. Даже в XX веке, спустя полтора столетия после



смерти Шееле, описавшего вкус синильной кислоты, находились люди, испытывавшие результаты своих экспериментов на себе.

Одним из самых известных химиков, ставивших эксперименты на себе, был американский химик Александр Шульгин, фармаколог, публицист и разработчик многих психоактивных веществ. Неоднократно применяя синтезированные им же вещества, в том числе и для «расслабления», Шульгин известен многим химикам в первую очередь из-за неоднозначности оценки своих взглядов на жизнь, химию и отношение к тайне публикации методик синтеза некоторых препаратов (синтетический протокол, описывавший синтез любого психоактивного вещества, полученного в своей лаборатории, Шульгин тут же делал достоянием общественности).

Имея лицензию американского агентства DEA на исследование психоактивных веществ и свободу в выборе направления исследований (в конечном итоге она была отозвана от греха подальше), Шульгин проводил независимые исследования в области контролирующего сознание

0. ВВЕДЕНИЕ

веществ, потенциально применяемых в психотерапии, сообщая о результатах экспериментов над собой. Испытание нового препарата начиналось с небольших доз, в 10–50 раз меньших, чем эффективная доза уже известного препарата, наиболее близкого по строению синтезированному, потом доза увеличивалась. Всё это делалось без мероприятий, которые кажутся обязательными и естественными для каждого химика сейчас: изучение цитотоксичности, опыты на животных, определение фармакокинетики. В конечном итоге, по версии Шульгина, эффективная доза нового препарата определялась как доза, после которой изменённое сознание уже прекращало меняться. Для выражения активности Шульгин даже придумал специальную систему измерений — мескалиновые единицы, сравнивая «расширители сознания» с известным психоделиком — мескалином.

Лабораторные журналы Шульгина подтверждают, что он был опытным и умелым химиком-синтетиком, но отсутствие учёной степени и какой-либо официальной должности в вузе или отделе R&D фирмы так и не позволило ему получить при жизни признание среди коллег-профессионалов, хотя люди, увлекающиеся психофармакологией, иногда называют в шутку Шульгина «папой».

Из книг Шульгина, которые можно считать автобиографическими — PiNKAL («Phenethylamines I Have Known And Loved») и TiNKAL («Tryptamines I Have Known And Loved»), становится однозначно понятно, что Шульгин компенсировал галлюциногенными эффектами тяжесть и сложность ра-

боты в лаборатории и проверка новых рецептов на себе скорее была для него в радость.

К сожалению, история химии XX века знает и другого ученого, экспериментировавшего на себе, судьба которого гораздо более печальна, — Гельмута Фельбингера (Helmut H. Velbinger). В начале XX века Фельбингер посвятил свою научную карьеру исследованию нейротоксичных инсектицидов, проводя исследования их токсикологии на позвоночных, включая млекопитающих. С помощью экспериментов с хлорорганическими пестицидами (включая ДДТ) на себе Фельбингер пытался установить безопасные дозировки применения этих веществ как для защиты урожая, так и по той причине, что ДДТ и его аналоги в 1940-х годах изучались в том числе и как потенциальные препараты для химиотерапии. Первоначальная дозировка инсектицидов для испытания подбиралась на основе экспериментов с животными, а также окончившихся без последствий примеров случайного контакта сельскохозяйственных рабочих с инсектицидами. В конечном итоге Фельбингер установил на себе, что минимальное однократное воздействие ДДТ на организм человека, которое не приводит к токсичному поражению, составляет 10–12 мг/кг. В этих экспериментах отсутствие токсичного воздействия определялось не по уровню самочувствия, как в экспериментах Шульгина, а по результатам анализа крови и мочи. Экспериментируя на себе, Фельбингер также установил дозы ДДТ и пестицидов, безопасные для многократного воздействия, возможно, смог бы определить

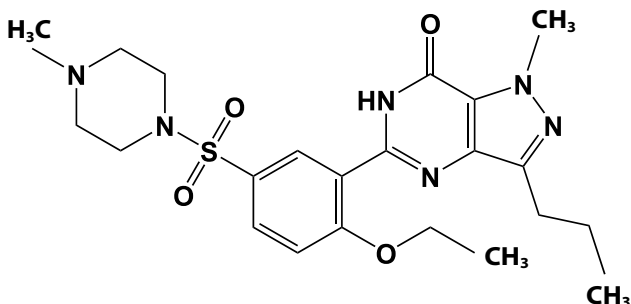
0. ВВЕДЕНИЕ

и другие свойства веществ, но в возрасте 33 лет умер от слишком частых экспериментов на себе.

Некролог Фельбингера был опубликован в том же номере немецкого журнала *Die Pharmazie*, что и его последняя статья. В некрологе упоминалось о том, каким изобретательным и усердным химиком был покойный. Тем не менее, хотя слова в некрологе и были хорошие, в наше время химикам лучше проводить эксперименты с новыми веществами не на своём организме (и не на организмах своих коллег по работе), а как положено — на культурах клеток и лабораторных животных.

История полимерной химии также сообщает о ряде счастливых случайностей, первой из которых является история о Чарльзе Гудииере (Charles Goodyear), случайно смешавшем на горячей печи каучук и серу, получив продукт вулканизации (реакции серы с двойными связями в нитях каучука), который в наше время известен как резина или эбонит; так же случайно был открыт и тефлон, но об этом мы поговорим немного позже.

Некоторые композитные материалы тоже были открыты благодаря счастливой случайности — одним из таких материалов был триплекс, который первоначально применялся для изготовления защитных очков. По легенде Эдуард Бенедиктус (Edouard Benedictus), пытаясь достать склянку реактива с верхней полки, смахнул с неё пузырек, содержащий раствор нитроцеллюлозы. Пузырек упал и треснул, но, как заметил Бенедиктус, сохранил свою форму — осколки стекла склеила нитроцеллюлоза. Бенедиктуса осенило, и через сутки, в течение которых исследователь



Силденафил — обладающий фармакологической активностью компонент «виагры».

не прерывался ни на отдых, ни на сон, были получены первые образцы небьющегося триплексного стекла, в которых два листа стекла были склеены полимером, не дающим осколкам разлетаться.

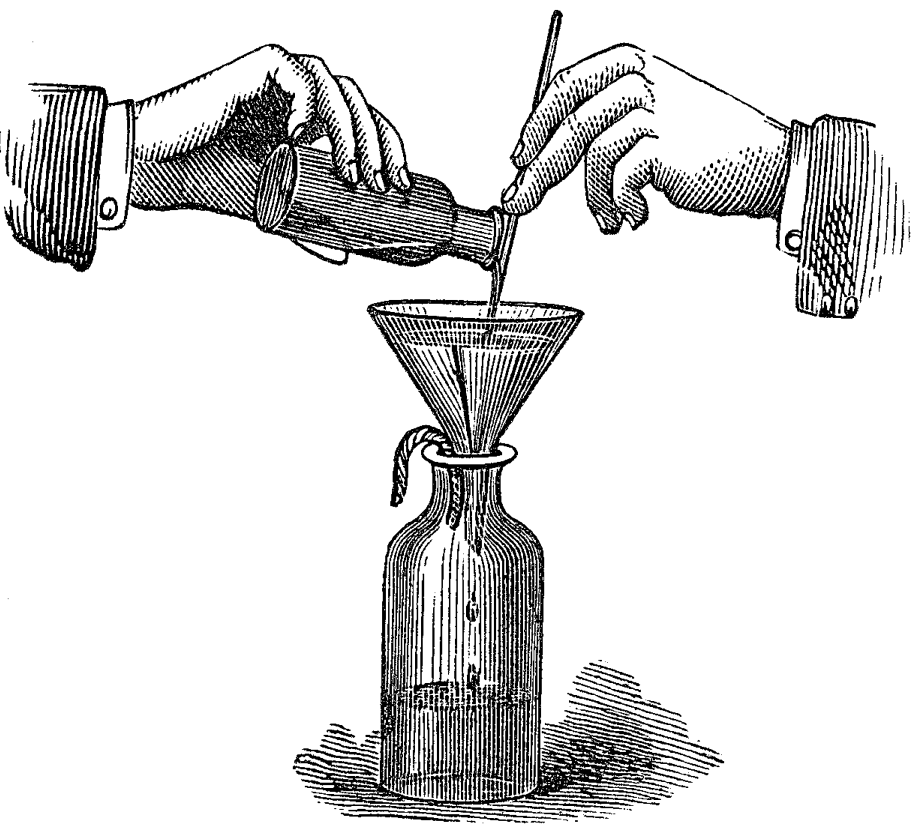
Где-где, а в химии лекарственных препаратов таки существует непаханое поле случайных открытий, сводящихся, например, к тому, что лекарство начинали использовать совсем не для того, для чего оно изначально предназначалось. Классикой жанра, естественно, является открытие виагры.

История виагры началась в 1992 году в ходе фармакологических исследований фирмы «Пфайзер». Исследователи проводили клинические испытания нового лекарственного вещества — цитрата силденафила, который разрабатывался как средство для лечения ряда сердечных недугов.

Ученые рассчитывали на то, что цитрат силденафила будет способствовать увеличению притока крови к сердечной мышце и снижению артериального давления. Однако было отмечено,

0. ВВЕДЕНИЕ

что цитрат силденафила не оказывает существенного влияния ни на кровообращение в сердечной мышце (миокарде), ни на артериальное давление. Параллельно обнаружилось, что многие пациенты мужского пола, которые участвовали в исследовании, отказываются возвращать таблетки силденафила, несмотря на окончание тестирования. Причина отказа у всех этих пациентов была одна — все они отметили у себя резкое улучшение качества эрекции. Таким образом, несмотря на минимальное влияние нового лекарства на кровообращение в миокарде, силденафил вызвал ощутимый приток крови к мужским половым органам. Исследователи фармакологической компании «Пфайзер» отнеслись к этому неожиданному свойству цитрата силденафила с должным вниманием и сумели распознать в нем мощное средство для борьбы с нарушениями эрекции. Новый препарат получил название «Виагра» — название родилось как бы в результате слияния слов «Vigor» (власть, энергия, сила) и Ниагара — самый мощный водопад в Северной Америке.



**1. ВЕЩЕСТВА,
КОТОРЫЕ ПРИНЯТО
СЧИТАТЬ
«НЕЖИВЫМИ»**

1.0. В НАЧАЛЕ XIX ВЕКА ЙЁНС ЯКОБ БЕРЦЕЛИУС...

разделил существующую в те времена химию на «органическую», которую он и его последователи рассматривали как «химию живых организмов», и «неорганическую» — «химию неживого». Хотя уже через 20 лет после такого размежевания Фридрих Вёлер (случайно, правда) показал, что границы между «химией живого» и «химией неживого» нет, а в 1850-х годах Эдуард Франкланд добавил третий раздел химии — «металлоорганическую», для большинства людей, представление которых о химии ограничивается курсом средней общеобразовательной школы, в памяти сохраняется это противостояние живого и неживого, ведь как иначе можно объяснить то, что на полном серьёзе появляется термин «органические продукты питания», ведь из того, что мы едим или пьём, «неорганическими» являются только поваренная соль и вода. Вместе с тем, как учит диалектика, противоположности не только борются друг с другом, но и находятся в единстве. Точно так же многие неорганические вещества важны для нормальной работы живых систем, а некоторые образуются в результате их жизнедеятельности, и, конечно же, каждое по-своему замечательно.

1.1. СОЛЯНАЯ КИСЛОТА

подавляющая часть людей, отсидев на уроках химии в школе, сохраняет в памяти названия четырех кислот — азотной, серной, соляной и уксусной. При этом большинство если и догадывается, что уксусную кислоту мы можем найти на кухонной полке в виде раствора уксуса для консервирования или готовки, серную — в аккумуляторе автомобиля, то насчёт азотной и соляной кислот уж точно уверены, что с ними они попрощались, выйдя за ворота школы. Однако я гарантирую вам, что соляная кислота сопровождает вас с самого рождения и является неотъемлемой частью вашей жизни — она играет существенную роль в процессах, протекающих в организме.

Эта сильная кислота, водный раствор хлороводорода в воде, была известна очень давно. Ранние названия этого замечательного вещества были связаны с её запахом, который, как казалось алхимикам, связан с морской свежестью (из чего я делаю вывод, что либо они нюхали какое-то не то море, либо не обжигали хлороводородом слизистые носоглотки), а также с тем, что эту кислоту получали из морской (каменной, поваренной) соли. В алхимических трактатах хлороводород упоминается как «дух соли» или «соляной спирт»

1. ВЕЩЕСТВА, КОТОРЫЕ ПРИНЯТО СЧИТАТЬ «НЕЖИВЫМИ»

(spiritus salis), потом появился термин «муриевая кислота» (muria — рассол, солёная вода). Термином «muria» называлось особо едко-солёное ощущение. В одном из трактатов XVII века можно встретить разъяснение: «Muria — это едко-солёное».

Кстати, становление номенклатуры в России проходило через причудливые этапы, одним из которых была попытка пойти своим собственным путем и русифицировать все названия. Так, в одной из российских рукописей, относящихся к 1870 году, можно прочесть: «Водород хлорович взаимодействует с глиноземием с образованием глиноземия хлоровича». В 1870–1875 гг. в Петербургской академии наук обсуждалась возможность использования для названий химических веществ таких сочетаний слов, которые напоминали бы русские фамилии и отчества. Например, для воды H_2O предлагалось название «водород кислородович», для хлорида калия KCl — «калий хлорович» или «потассий хлорович», для хлороводорода HCl — «водород хлорович», для гипохлорита калия $KClO$ — «калий хлорович кислот», для хлората калия $KClO_3$ — «калий хлорович трёхкислот» и т. п. В приведенной цитате говорилось о взаимодействии алюминия («глиноземия») с раствором хлороводорода в воде — соляной кислотой HCl :
$$2Al + 6HCl = 2AlCl_3 + 3H_2.$$

Точная дата первого получения соляной кислоты неизвестна. Алхимики могли получать смеси, содержащие соляную кислоту, практически с самого начала алхимических изысканий. Существует предположение, что первым соляную кислоту

получил в начале IX века Джабир ибн Хайян — знаменитый арабский алхимик, врач, фармацевт, математик и астроном, которому также приписывается открытие мышьяка, сурьмы и висмута.

Естественно, соляная кислота в Средневековье применялась при изготовлении царской водки (смеси соляной и азотной кислот). Известно, что чистый газообразный хлороводород был впервые получен Джозефом Пристли в 1772 году, а в 1818 году Хэмпфри Дэви успешно доказал, что полученный газ состоит из хлора и водорода.

Первоначально хлороводород, образующийся попутно при переработке каменной соли и получении соды, был отходом промышленного производства, просто стравливавшимся в воздух. Однако в середине XIX века такой подход и загрязнение окружающей среды стали рассматриваться как неприемлемое решение. К счастью, к тому же самому времени газообразный хлороводород стал применяться как ценный источник для производства соляной кислоты. Несмотря на то что подходы с тех времен значительно изменились, соляная кислота до сих пор получается как продукт утилизации отходов производства. Правда, сейчас большую часть соляной кислоты получают, утилизируя хлороводород, выделяющийся при хлорировании органических соединений.

При этом хлороводород очень часто применяют для получения хлорорганических соединений. Например, в результате присоединения хлороводорода к тройной связи ацетилену образуется хлорвинил, из которого с помощью полимеризации получают полихлорвинил (ПВХ) — материал,

1. ВЕЩЕСТВА, КОТОРЫЕ ПРИНЯТО СЧИТАТЬ «НЕЖИВЫМИ»

применяющийся для электроизоляции проводов и кабелей, производства листов, труб (преимущественно хлорированный поливинилхлорид), плёнок, плёнок для натяжных потолков, искусственных кож, поливинилхлоридного волокна, пенополивинилхлорида, линолеума, обувных пластикатов, мебельной кромки и т. д.

Поскольку хлороводород образуется в качестве побочного продукта производств органических соединений и используется в промышленном производстве органических соединений, чаще всего хлороводород эффективно получают и употребляют в рамках одного и того же производства, что выгоднее выделения отдельного производства хлороводорода и логистики по его доставке потребителю. Ещё одним способом масштабного промышленного применения раствора хлороводорода — соляной кислоты — является травление металлических поверхностей.

Хотя соляная кислота играет определенную роль в пищевой промышленности (корректировка кислотного уровня воды, применяющейся при приготовлении пищи), гораздо более существенную роль она играет в потреблении пищи. В нашем желудке содержится порядочное количество соляной кислоты, а pH желудочного сока может достигать единицы (это соответствует раствору с примерным содержанием кислоты 0,35%).

Сильнокислая среда желудочного сока отчасти служит для защиты желудка от инфекций, но главная её роль — участие в пищеварении. Кислота способствует денатурации белков (примером такой денатурации, вызванной, правда, не

химическим, а температурным воздействием, являются процессы, протекающие с куриным яйцом при варке или жарке), попадающих к нам в организм с пищей, они меняют форму, расплетаются и становятся более уязвимыми к действию пищеварительных ферментов, расщепляющих их на отдельные аминокислоты.

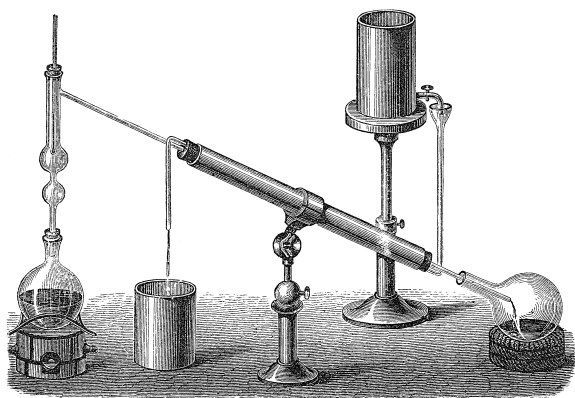
Наш желудок защищён от содержащейся в нем кислоты за счет слоя слизи, а специальный мускул — пилорическая створка (желудочный клапан) надёжно удерживает соляную кислоту в желудке. Однако по каким-то причинам может произойти нарушение работы этого клапана, и желудочный сок попадает в пищевод, а соляная кислота этого желудочного сока вызывает чувство жжения, в ряде случаев нарушение работы пилорической створки может привести к несварению желудка. В общем случае мы называем результат такой дисфункции просто — «повышенная кислотность».

Для лечения повышенной кислотности существует целый ряд препаратов со сложными названиями, однако в подавляющем большинстве это неорганические вещества, способные нейтрализовать кислоту. Ранее для понижения кислотности использовались карбонаты кальция, магния или натрия (до сих пор народным средством от изжоги является раствор соды), однако применение таких препаратов не совсем комфортно, а иногда может быть и опасно. Дело в том, что при нейтрализации соляной кислоты карбонатом происходит образование слабой угольной кислоты, которая разлагается с выделением углекислого газа, в данном случае покидающего наше тело

1. ВЕЩЕСТВА, КОТОРЫЕ ПРИНЯТО СЧИТАТЬ «НЕЖИВЫМИ»

через не совсем приспособленный для этого пищевод. В результате этого понижение кислотности желудка карбонатными препаратами чревато в лучшем случае обильной отрыжкой, а если переборщить с содой, намудрив с народными рецептами, то можно доиграться и до перфорации пищевода. Выделения углекислого газа можно избежать, применяя антациды на основе смеси гидроксидов магния и алюминия (торговые марки: «Алмагель», «Алтацид», «Алюмаг», «Гастрацид», «Маалокс», «Маалукол» и «Палмагель»).

Используется ли соляная кислота для очистки заржавевшего металла, синтеза полихлорвинила или расщепления белков, она, как рабочая лошадка, просто делает свое дело. Конечно, мы можем обвинять соляную кислоту за дискомфорт в нашем желудке, вызванный перееданием, но не стоит во всем обвинять это замечательное вещество — переели вы, а не соляная кислота: она всего лишь играет свою роль в ежедневном переваривании пищи.



1.2. МЕЛ, ИЛИ КАРБОНАТ КАЛЬЦИЯ

Хотя в школы сейчас и приходят всякие новшества вроде белых досок с маркерами или даже интерактивных досок, темная доска — черная, коричневая или зеленая — и мел до сих пор остаются главной атрибутикой учебного процесса.

Даже если кто-то, окончив школу, прекращает свой контакт с органами образования раз и навсегда, его руки не продолжают прикасаться к ближайшему родственнику мела: каждый раз, когда мы берем в руки яйцо, чтобы очистить его от скорлупы, мы касаемся известняка — формы карбоната кальция, придающей жесткость яичной скорлупе и раковинам моллюсков.

Многоликий карбонат калия существует (и известен) в виде различных форм. Формула этого соединения — CaCO_3 , оно представляет собой соль, в которой катион кальция связан ионной связью с карбонат-анионом. Это вещество достаточно распространено в природе, в качестве самостоятельного вещества оно образует два минерала — кальцит и арагонит, а также является основным компонентом таких минералов, как известняк, мел и мрамор. В состав последней тройцы поми-

1. ВЕЩЕСТВА, КОТОРЫЕ ПРИНЯТО СЧИТАТЬ «НЕЖИВЫМИ»

мо карбоната кальция входит его «кузен» — карбонат магния $MgCO_3$, а также оксиды металлов; именно оксиды переходных металлов придают мрамору характерную окраску — оксид трёхвалентного железа дает оттенки красного, а оксид трёхвалентного хрома — оттенки зелёного.

Что же касается школьных мелков, времена, когда они состояли практически из чистого мела, канули в Лету. Гарантированно, что в моем школьном детстве мы писали практически чистым мелом, в котором иногда попадались кусочки раковин, и мы любили испытывать нервы учителей, специально проводя таким кусочком раковины по доске. Современный формованный школьный мелок на 40% состоит из собственно мела (карбоната кальция) и на 60% из гипса (это родственник карбоната кальция — двухводный кристаллогидрат сульфата кальция — $CaSO_4 \times H_2O$), ну а добавление к нему пигментов органического или неорганического происхождения позволяет разнообразить белый цвет школьного мелка, придав ему окраску.

Большая часть известных в настоящее время скальных пород, содержащих карбонат кальция, имеет осадочное происхождение — они образовались из раковин и скелетов мертвых обитателей моря, уплотнявшихся в результате давления следующих слоёв осадочных пород. Мел и известняк представляют собой похожие друг на друга материалы, различие состоит лишь в том, что мел является менее компактным и по этой причине более мягким. Для формирования мрамора, кальцита и арагонита требуется большее время: исходным веществом является известняк

или мел, которые под воздействием высоких давлений и температур (условий, обычных для геологического формирования минералов) перестраиваются в форму с более компактной и плотной кристаллической решеткой.

Био-, а точнее — зоогенные отложения карбоната кальция дали название целому геологическому периоду — меловому периоду (или Мелу). Этот период — последний период мезозойской эры, он продолжался 80 миллионов лет (145 миллионов лет — 65 миллионов лет назад) и наиболее известен «меловой катастрофой», в результате которой произошло массовое вымирание видов: вымерли многие голосеменные растения, водные рептилии, птерозавры, все динозавры (но уцелели птицы). Исчезли аммониты, многие брахиоподы, практически все белемниты. В уцелевших группах вымерло 30–50% видов.

Одной из интересных форм минералов карбоната кальция является прозрачный кальцит, или исландский шпат. В 1669 году датский естествоиспытатель Расмус Бартолин описал странное свойство исландского шпата, известное в настоящее время как «двойное лучепреломление». Оно заключается в том, что если луч света падает перпендикулярно к поверхности кристалла, то на этой поверхности он расщепляется на два луча. Первый луч продолжает распространяться прямо и называется обыкновенным, второй же отклоняется в сторону, нарушая обычный закон преломления света, и называется необыкновенным, и, соответственно, глядя через кристалл кальцита, мы видим «удвоенное» изображение.

1. ВЕЩЕСТВА, КОТОРЫЕ ПРИНЯТО СЧИТАТЬ «НЕЖИВЫМИ»

Двойное лучепреломление в кристаллах исландского шпата применялось и применяется на практике, например для дальномеров в бомбовых прицелах, однако естественно, что применение человечеством карбоната кальция началось очень давно.

Карбонат кальция в форме известняка и мрамора использовался с древних времен в качестве строительного материала. Несмотря на определенную мягкость известняка, человечество не отказывалось от его практического применения: так, великая пирамида Гизы, четыре тысячелетия остававшаяся самым высоким зданием в мире, построена примерно из двух с половиной миллионов блоков известняка.

Так, одним из первых примеров «ландшафтного дизайна» могут быть считающиеся доисторическими белые лошади британского графства Вилшир, которых получали, удаляя дерн и плодородный слой почвы, обнажая лежащий ниже слой мела.

Опять же с древности карбонат кальция породил ещё один строительный материал, правда, для этого потребовалось первое химическое производство. Со времен Древнего Египта зодчие знали, что прокаливание карбоната позволяет получить негашеную (или прокаленную) известь, основным компонентом которой является оксид кальция CaO . Негашеная известь используется в связующих строительных растворах и при изготовлении цемента — сама по себе или после обработки водой (гашеная известь или гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Известны случаи примене-

ния негашеной извести при обороне замков — негашеная известь активно взаимодействует с водой, а поскольку кожа здорового человека всегда влажна (особенно если этот здоровый человек ползет по осадной лестнице на чужую крепостную стену), осажденные высыпали на осаждающих негашеную известь, вызывая у них ожоги кожи и органов зрения.

Также с древних времен карбонат кальция применяется для понижения кислотности почвы (это в том числе и тот самый рецепт садовода-любителя, коих в стране советов было миллионы: бросать в почву, на которой начал «колоситься» мох, скорлупу от яиц — мох растет на кислых почвах, а карбонат кальция, являясь солью слабой кислоты, реагирует со свободной кислотой почвы, связывая её).

С начала XX века карбонат кальция находит применение во многих промышленных производствах помимо строительной отрасли, например — целлюлозно-бумажной для производства высококачественной мелованной бумаги. Карбонат кальция используется в качестве наполнителя, придающего дополнительную прочность полимерным материалам, его использовали в хлебопекарном производстве (для увеличения потребления кальция). В наши дни карбонат кальция применяется в пищевой промышленности как белый пищевой краситель (E170). Карбонат кальция применялся и применяется в зубных порошках и зубных пастах, правда, для этой цели применяют не «органический» мел, образовавшийся из останков вымерших видов животных, а синте-

1. ВЕЩЕСТВА, КОТОРЫЕ ПРИНЯТО СЧИТАТЬ «НЕЖИВЫМИ»

тический — для гигиены полости рта карбонат кальция получают, пропуская углекислый газ через гашеную известь: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Причиной такого подхода является то, что в природном (или как это принято говорить сейчас — натуральном) карбонате кальция содержатся окаменелости организмов, не переживших меловую катастрофу, и те самые кусочки раковин, которые, испытывая нервы наших учителей, скрипели на доске, оставляя на ней царапины, точно так же могут повреждать эмаль зубов.

К сожалению, то, что карбонат кальция реагирует с кислотами, в настоящее время стало целой проблемой для сохранения архитектурного и художественного наследия: здания и скульптуры из различных форм карбоната кальция, в особенности из менее плотного известняка (хотя и мрамора эта проблема касается, пусть он и разрушается с меньшей скоростью), повреждаются из-за эрозии, причиной которой являются кислотные дожди.

Ни одно вещество не внесло такой вклад в культуру человечества (и продолжает вносить его до наших дней), как карбонат кальция. Мы можем проследить его путь в человеческой цивилизации от первых наскальных рисунков на стенах пещеры мелом, пирамид и до школьной доски и зданий из стекла и бетона. И, зная, как человеческая цивилизация обязана карбонату кальция, мы не ошибёмся, если скажем, что человеческая цивилизация выросла на костях — костях огромного количества вымерших в конце мелового периода организмов.

1.3. КАРБОНАТ ЛИТИЯ

Ещё со школы я и мои ровесники усвоили, что литий и его соли окрашивают пламя в карминово-красный цвет, хотя в школе я с трудом представлял, что это за цвет — «карминово-красный», и уже совсем не представлял, что при желании препарат одного из активных щелочных металлов можно купить в обычной аптеке, чтобы посмотреть на этот цвет своими глазами. Литий тогда казался химической экзотикой, смотрящей на нас с олимпиадных задачников, и мы, участники олимпиад, не представляли, что он ближе, чем кажется, и мы имеем шансы пересечься с его соединениями, среди которых наиболее часто можно встретить карбонат лития Li_2CO_3 .

Но начнем с цвета. Пожалуй, наиболее частым примером из реальной жизни, связанным с применением характерной окраски пламени солями лития, является случай, произошедший в молодости с американским физиком Робертом Вудом. Осенью 1891 года Вуд приехал в Университет Джона Гопкинса, намереваясь получить там степень доктора философии по химии. В университетском пансионе, где он жил, уже давно ходило страшное подозрение, что утреннее жаркое готовится из остатков вчераш-

1. ВЕЩЕСТВА, КОТОРЫЕ ПРИНЯТО СЧИТАТЬ «НЕЖИВЫМИ»

него обеда, собранных с тарелок. Так, если во вторник на обед подавался бифштекс, то в среду на завтрак подавалось жаркое. Но как доказать такое обвинение? Вуд немного подумал, почесал в затылке и сказал: «Я думаю, что мне удастся это доказать при помощи бунзеновской горелки и спектроскопа».

Вуд знал, что хлорид лития — совершенно безопасное вещество, похожее на обыкновенную поваренную соль, а также что спектроскоп дает возможность открыть мельчайшие следы лития в любом материале, если его сжечь в бесцветном пламени — ионы лития дают хорошо известную красную спектральную линию или же карминово-красное окрашивание.

Когда студентам на обед был подан бифштекс, Вуд на своей тарелке оставил несколько больших обрезков мяса, посыпанных хлоридом лития. На следующее утро кусочки завтрака были спрятаны в карман, отнесены в лабораторию и сожжены перед щелью спектроскопа, а появившаяся красная линия лития полностью подтвердила страшную догадку студентов и аспирантов.

Вернемся же к карбонату лития. В отличие от карбонатов других щелочных металлов (сода — карбоната натрия и поташа — карбоната калия) карбонат лития плохо растворим в воде и поэтому теоретически может накапливаться в природе в виде минерала. Минерал, основным компонентом которого является карбонат лития, — забуелит, был обнаружен в 1987 году у озера Забуйе в Тибете, однако это скорее исключение: карбонат лития практически не встречается в природе.

К счастью, низкая растворимость карбоната лития облегчает его получение из растворимых солей лития, обычно того самого хлорида лития, который, в свою очередь, можно выделить из месторождений поваренной соли (ну любят хлориды щелочных металлов залегать в природе совместно — свойства у них общие). Особенно богаты хлоридом лития некоторые минеральные источники Южной Америки — Чили и Аргентины. Карбонат лития был впервые получен шведским химиком Йоханом Августом Арфведсоном (Johan August Arfwedson) в 1817 году вместе с другими соединениями лития.

Применение карбоната лития достаточно разнообразно, что необычно для вещества, которое хоть и замечательное, но не так чтобы чрезвычайно известное. Карбонат лития можно найти в детекторах на диоксид углерода: там он обеспечивает электрохимическую реакцию, протекающую на катоде в присутствии диоксида углерода. Естественно, карминово-красная окраска пламени обеспечивает карбонату лития постоянное место в пиротехнических составах, он может применяться при изготовлении керамики и стекла.

Небольшие количества карбоната лития применяются в качестве флюсов для понижения температуры плавления оксида кремния, особенно часто эта особенность применяется при изготовлении стекла для жаропрочной посуды. В глазировке, которая обеспечивает цвет и блеск керамики, карбонат лития сам по себе не является красителем, но усиливает окраску других пигментов, в частности оксида железа. Это разностороннее соединение также используется в клеевых

1. ВЕЩЕСТВА, КОТОРЫЕ ПРИНЯТО СЧИТАТЬ «НЕЖИВЫМИ»

композициях и цементах — там карбонат лития ускоряет время затвердевания композиций.

Несмотря на то что анионом в литий-ионных аккумуляторах обычно является смешанный оксид лития-кобальта, а не карбонат, сырьем для получения электродов является карбонат лития. Процесс получения электрода заключается в перетирании карбонатов лития и кобальта при температуре 900 °С в течение 60 часов.

Вместе с тем наиболее частое и наиболее противоречивое применение карбоната лития заключается в том, что он представляет собой лекарственный препарат для лечения биполярных расстройств. Карбонат лития оказался в арсенале врачей не более чем через 25 лет после открытия — первоначально его применяли для растворения камней в мочевом пузыре, затем в XIX веке его назначали для лечения головной боли, ревматизма и подагры. Помогал ли карбонат лития от этих хворей или нет — непонятно. В XIX веке врачи часто использовали новые соединения «от всего»: псевдонародная медицина под маской научности (при этом не забываем, что эффект плацебо работал и тогда).

Эффект плацебо или реальная польза от карбоната лития привели к тому, что он был запатентован как лекарство, а затем как компонент популярных напитков. Так, в 1929 году был создан новый литийсодержащий напиток «Литиированная содовая с лимоном и лаймом». В этом напитке литий содержался до 1940 года, сейчас же этот напиток (уже без лития) известен нам как 7Up.

В 1949 году американский психиатр Джон Каде обнаружил, что карбонат лития является эффектив-

ным препаратом для лечения заболевания, которое тогда называлось «маниакальной депрессией», а сейчас — «биполярным расстройством». Открытие произошло случайно: Каде предположил, что психическое расстройство связано с содержанием мочевой кислоты в моче, поэтому он использовал урат лития (литиевая соль мочевой кислоты) для растворения мочевой кислоты и её вывода из организма. Экспериментируя, Каде обнаружил, что ионов лития достаточно, чтобы успокоить человека, находящегося в состоянии маниакального психоза.

Эффект купирования приступов оказался серьезным, что позволило Каде предположить, что маниакальная депрессия вызывается недостатком лития в пище, и предложил компенсировать недостаток лития с помощью карбоната лития. Вывод был неправильным, но на фоне того, что в те лихие годы большинство психических заболеваний лечилось с помощью лоботомии или электрошоковой терапии, возможность химиотерапии биполярного расстройства карбонатом лития рассматривалась родственниками больных (да и самими больными) как подарок судьбы.

К несчастью, лечение биполярного расстройства карбонатом лития не лишено опасностей: слишком высокий уровень лития в организме может вызывать смерть, и до того, как психиатрам удалось подобрать нужные дозировки для лечения биполярного расстройства, без смертей пациентов не обошлось. Из-за того, что литий взаимодействует с гормоном, помогающим почкам реабсорбировать воду из мочи, применение лития может вызывать серьезную дегидратацию организма. Лечение карбонатом ли-

1. ВЕЩЕСТВА, КОТОРЫЕ ПРИНЯТО СЧИТАТЬ «НЕЖИВЫМИ»

тия также сопровождается такими побочными эффектами, как насморк и головная боль. Увы, но шансы на получение эффективных препаратов без побочных эффектов из карбоната лития невелики: поскольку карбонат лития является встречающимся в природе соединением, его нельзя запатентовать, что, очевидно, не стимулирует фармацевтические компании вести исследования, направленные на повышение эффективности этого вещества.

В настоящее время известно, что причиной биполярного расстройства является не дефицит лития в диете, и влияние карбоната лития сводится к тому, что ионы лития могут блокировать некоторые сигнальные системы в мозгу человека — именно те, которые перегружаются во время маниакальных приступов биполярного расстройства. Точный механизм действия на молекулярном уровне неизвестен, хотя и предполагается, что ионы лития мешают работе калий-натриевых насосов, позволяющих ионам проникать через мембраны клеток. Карбонат лития до сих пор применяется в качестве нормотимического средства (в наших широтах его выпускают под торговой маркой «Седалит»), и, естественно, в наши дни за побочными эффектами и дозировкой препарата следят гораздо более тщательно, чем шестьдесят лет назад.

Итак, хотя на первый взгляд карбонат лития кажется простым белым порошком, о котором из неспециалистов мало кто слышал, его способность лечить биполярное расстройство, а также применение в фейерверках и глазировке с полным правом позволяет говорить о нём как о замечательном веществе.

1.4. УГОЛЬ, СЕРА, НИТРАТ НАТРИЯ, ХЛОРАТ КАЛИЯ И НЕ ТОЛЬКО

Как говорит народная мудрость, огонь — одна из тех трёх вещей, на которые можно смотреть бесконечно. Пламя пробуждает наши страхи и мечты, огонь говорит с нами на языке, появившемся прежде наших слов и мыслей. Куда бы мы ни торопились, ни летели по делам, языки огня, будь то горящий камин, костёр в лесу или фейерверк, привлекают наше внимание и завораживают нас.

Магия огня объективна — она породила не только человеческую цивилизацию, но и привела к появлению человека разумного. С того момента, когда наши далёкие предки начали жарить пищу на кострах, её потребление позволило древним человекообразным существам тратить меньше времени на пережевывание и переваривание сырых продуктов. У них оставалось больше времени и энергии на другие занятия (к примеру, на общение), а снижение энергетических затрат на расщепление термически обработанной еды позволило перенаправить ресурсы организма на

1. ВЕЩЕСТВА, КОТОРЫЕ ПРИНЯТО СЧИТАТЬ «НЕЖИВЫМИ»

другие биохимические процессы, что в конечном итоге привело к росту мозга и биологическому эволюционированию нашей нервной системы. Так, благодаря огню появилась жизнь человека разумного.

Благодаря огню появилась и химия — когда первобытные люди поняли, что можно не собирать «огненный цветок» на месте природных пожаров, а разводить огонь самостоятельно, высекая камушками искры в сухую листву и костре. Ещё чуть позже, методом проб и ошибок или просто в результате случайной находки, было обнаружено, что если посыпать на топливо для костра чёрный порошок, который можно получить, растирая какие-то тёмные камни, огонь разводится гораздо легче: при раскопках стоянок неандертальцев археологи обнаружили подвергавшиеся трению куски оксида марганца с повышенным содержанием диоксида марганца. Сейчас нам известно, что если присыпать MnO_2 к дровам и сухой лучине, то температура их воспламенения понизится примерно на 100 °С. Конечно, ни про температуру возгорания, ни про диоксид марганца неандертальцы ничего не знали, но поскольку причинно-следственную связь между обработкой дров порошком пиролюзита и легкостью разведения костра им все же удалось найти (*Sci. Rep.*, 2016, DOI: 10.1038/srep22159), первыми химиками-технологами вполне можно считать неандертальцев.

Итак, огню нужно топливо и окислитель. Для разведения пламени необходимо инициирование — искра, которую можно получить трением.

Тепло вспышки инициирует реакцию горения — взаимодействие топлива с окислителем, и далее экзотермическая реакция идет сама собой. Кажется, что всё просто, но детали этого процесса остаются тайной даже и для современной науки.

Шли годы, огонь помогал человеку и строить цивилизации, и разрушать их. В какой-то момент (снова методом проб и ошибок) было обнаружено, что поддерживать горение может не только кислород воздуха и для огненного цветка можно использовать твердый окислитель. Опять же это было сделано задолго до открытия кислорода и кислородной теории горения, равно как и до появления первых представлений о процессах окисления и восстановления. Китайские алхимики получили горючий состав, в котором топливом служили уголь и сера, а окислителем — селитра. При горении этого состава выделяющееся тепло способствует разложению селитры и высвобождению кислорода, который ускоряет горение. Горючий состав стал не просто гореть, а взрываться, и появился порох. Воины Поднебесной использовали порох в военных кампаниях в качестве зажигательной смеси, для снаряжения первых ракет, которые, пугая лошадей, расстраивали ряды кавалерии противника и наносили вред легкой пехоте, а также для изготовления предтеч современного ружья — «копий яростного огня». Последнее оружие представляло собой бамбуковую трубку, закрытую с одного конца и открытую с другого. В трубку сначала насыпали порох, а потом немного круглых камешков.

Европейцы не мелочились на ручное вооружение, и европейский «открыватель» пороха монах

1. ВЕЩЕСТВА, КОТОРЫЕ ПРИНЯТО СЧИТАТЬ «НЕЖИВЫМИ»

Бертольд Шварц (в миру — Константин Анклитцен) сразу же изобрел пороховую артиллерию. По легенде, Шварц растирал в ступке куски серы, селитры и древесного угля и получил черный порошок, который взорвался, выбросив всё содержимое ступки, которая при этом раскололась. Дальнейшие эксперименты показали, что если что-то, похожее на ступку, но размером побольше, изготовить не из керамики, а из бронзы, оно не разрушается взрывом, а вот содержимое бросает на вполне хорошее расстояние. Так на вооружении венецианцев, а потом и других европейских армий появились первые пороховые артиллерийские системы — мортиры, получившие название в честь погибшей при эксперименте Шварца ступки (ступка по латыни — *mortarium*).

Изобретение порохового оружия перевернуло военное дело: не только перекроило карты Старого и Нового Света — об этом написано столько книг, что только одно перечисление их заглавий займет не один том, но и, что более важно, породило новый тип химиков-технологов, даже химиков-биотехнологов, которые финансировались за счет государственной казны.

Когда мы слышим про биотехнологию, нам в голову приходят образы сверкающих реакторов из нержавеющей стали, специалистов в белоснежных халатах, пипетки, шприцы и управляемые компьютерами процессы, протекающие в безукоризненно чистых лабораториях. Вряд ли мы думаем о лопатах, ржавых котлах в человеческий рост, моче и навозе. Тем не менее именно этими инструментами работали со своими реагентами се-

литрянщики — химики-биотехнологи, оплата труда которых шла из государственного бюджета.

Возможно, современных химиков это сравнение может и покоробить, однако именно с селитрянщиков начиналась спонсируемая государством химическая промышленность. Презируемые нанимателями и дворянством, но, тем не менее, хорошо организованные отряды селитрянщиков были ужасом крестьян XVI–XVII веков — с дозволения Короны или парламента они перерывали хлева, конюшни, а иногда и отхожие места, собирая селитру, или нитрат калия KNO_3 .

Из трех компонентов дымного пороха селитра оказалась самым редким. Если в те времена леса покрывали большую часть Европы, в сырье для производства древесного угля недостатка не было, серу добывали во многих, в том числе и европейских государствах, то вот селитра была завозным товаром, который импортировался в государства Северной или Западной Европы из Южной Европы и Азии. Одним из основных экспортеров нитрата калия была Индия, отсюда его несколько более позднее название — «индийская селитра».

Появление и повышение значения огнестрельного оружия приводило к зависимости боеспособности армий от привозного сырья, что не могло не беспокоить королей и парламенты таких стран, как, например, Франция, Англия и Швеция, и поэтому стратегия импортозамещения селитры своими местными источниками вскоре стала одним из приоритетных направлений военно-экономической политики государств Европы.

1. ВЕЩЕСТВА, КОТОРЫЕ ПРИНЯТО СЧИТАТЬ «НЕЖИВЫМИ»

Вскоре после того, как было обнаружено (опять же, скорее всего — случайно), что если прокипятить в большом количестве воды верхний слой почвы стойла, отфильтровать воду от твердых остатков жизнедеятельности животных, а затем добавить к раствору поташ, то из кипящего котла можно выделить белые кристаллы селитры, королевские дома и парламенты Европы организовали целую сеть концессий селитрянщиков, работа которых регламентировалась соответствующими ордонансами. Единственными аналитическими инструментами селитрянщиков были их интуиция и вкусовые соочки их языков. Без сомнения, для работы этим химикам, трудившимся на военно-промышленный комплекс стран и княжеств эпохи Возрождения, требовались недюжинные умения и опыт.

Хотя разорение амбаров и добыча стратегических ресурсов для селитрянщиков было весьма прибыльным делом, крестьяне, чьи постройки подвергались регулярным налетам, не получали никакой компенсации. Чтобы отвести «химиков с большой дороги» от своих построек, образительные фермеры начали мостить полы в хлевах. Твердое напольное покрытие портило лопаты селитрянщиков. Эта практика распространилась широко, но селитра стоила столь дорого, что в странах, испытывающих наибольший её дефицит, — Англии и Швеции, практика постройки помещений для скота с твердым напольным покрытием была объявлена вне закона. Король Швеции Густав I Васа так вообще объявил, что земля в шведских конюшнях и коровниках является собственностью Короны.

Интенсивность переработки продуктов жизнедеятельности крупного рогатого скота в компоненты чёрного пороха немного снизилась после Великих географических открытий — в Новом Свете были найдены залежи нитрата натрия (чилийской селитры), но всё равно изготовление чёрного пороха оставалось недешёвым, и воюющие армии почти всегда испытывали его дефицит. Так, свидетельства участников Испанской кампании Наполеона (с британской стороны) часто говорят о том, что, успешно отбив обоз противника, солдаты, даже находившиеся в крайней степени истощения, первоначально наполняли пороховницы и набирали порох про запас, а только потом набрасывались на еду.

Спустя некоторое время после изобретения и потери репутации «дьявольского порошка» порох, конечно, использовался не только для штурмов и осад, он находил применение и в исключительно мирных целях — для фейерверков, но было это крайне редко. Во-первых, всё же было чрезмерным расточительством расходовать стратегическое сырьё на развлечение горожан и изнеженных аристократов, и разумные правители это понимали. Во-вторых, горящий и взрывающийся порох отвратительно пах диоксидом серы, и далеко не все утонченные и изнеженные аристократы могли выдержать этот запах. В-третьих, поскольку при разложении нитратов выделяется сравнительно мало кислорода что на единицу количества вещества, что на единицу массы, горение пороха не давало достаточной энергии для ионизации металлов, придающих окраску пламени современ-

1. ВЕЩЕСТВА, КОТОРЫЕ ПРИНЯТО СЧИТАТЬ «НЕЖИВЫМИ»

ной пиротехники, и пороховые фейерверки были однообразно скучного желтого цвета.

Яркие краски в «развлекательных взрывах» появились благодаря работам Луи Бертолле, а бертолетова соль (хлорат калия KClO_3) стала первым окислителем не нитратной природы, который стали добавлять в пиротехнические составы. Впервые это вещество французский химик получил в 1786 году, пропуская хлор через горячий концентрированный раствор гидроксида калия: $6\text{KOH} + 3\text{Cl}_2 \rightarrow \text{KClO}_3 + 5\text{KCl} + 3\text{H}_2\text{O}$. При охлаждении раствора был получен белый осадок (при низких температурах бертолетова соль растворяется в воде гораздо хуже других солей калия). Больше в сравнении с селитрами количество кислорода, выделяемое бертолетовой солью при нагревании, обеспечивает более интенсивное горение топлива, энергии которого хватает для возбуждения металлов и окраски их ионами пламени. Сейчас, создавая фейерверки, специалисты подбирают такие химические компоненты, которые при вспышке дают определенные цвета. Соли бария, например, окрашивают пламя в зелёные цвета, соли меди — в зелёные и голубые, соли натрия — в жёлтые. Литий даёт красные тона, магний при горении выделяет сверкающий белый цвет, а стронций — искрящийся красный.

Работы Бертолле привели не только к тому, что фейерверки заиграли новыми красками (хотя и к этому тоже). Благодаря новым подходам к химии горения и окисления ученые получили возможность определения металлов по цвету их пламени (о, эти знакомые со школьных учеб-

ников карминово-красный, малиново-красный и кирпично-красный цвета) — сначала качественного, а потом, с развитием метода атомно-адсорбционного анализа, — и количественного.

В наши дни бертолетова соль практически не используется в создании пиротехнических составов по соображениям безопасности — она чересчур реакционноспособна. Так, смесь бертолетовой соли с серой небезопасна уже своей экстраординарной чувствительностью к трению, и она была запрещена в Британии еще в XIX веке. В настоящее время окислителем для пиротехники являются более стабильные и, следовательно, менее опасные перхлораты калия $KClO_4$ и аммония NH_4ClO_4 .

С работ Бертолле и появления огневых составов, предназначенных исключительно для не смертельного использования, появился и термин «пиротехника», который в современной интерпретации звучит так: «Пиротехника представляет собой смесь материалов, способных к сгоранию с определённым эффектом при подходящем способе инициирования». В большинстве случаев современные пиротехнические составы состоят из топлива, окислителя и связующего, дающего составу структурное однообразие. Иногда к пиротехническим составам добавляют дополнительные вещества, придающие составу особые свойства. Топлива пиротехнических составов должны сгорать с большим экзотермическим эффектом, и поэтому чаще всего в качестве топлив используются простые вещества-металлы (алюминий, хром, магний, марганец, титан) и простые вещества-неметаллы (бор, кремний, сера).

1. ВЕЩЕСТВА, КОТОРЫЕ ПРИНЯТО СЧИТАТЬ «НЕЖИВЫМИ»

Окислителями в большинстве пиротехнических составов являются перхлораты и нитраты (органические и неорганические), реже — хлораты, хроматы и пероксиды. И, наконец, связующие в пиротехнике могут быть как природного (пчелиный воск, шеллак, отвержденное льняное масло), так и искусственного происхождения (полихлорвинил, бакелит, хлорированные каучуки и полиэфирные смолы).

Так как помимо фейерверков в ведении современной пиротехники находятся ещё и автомобильные подушки безопасности, ракетное топливо, сигнальные ракеты военного и гражданского назначения, конкретная область применения того или иного состава диктует необходимость введения добавок, отвечающих либо за увеличение объема продуктов сгорания, либо за особо яркое и окрашенное пламя. Есть добавки, которые отвечают за звуковые сигналы (многие помнят анекдот про сигнал, который подается «тремя зелёными свистками»), есть добавки, позволяющие пиротехническим составам давать густой и устойчивый сигнальный дым или дымовую завесу. Естественно, что при взрыве пиротехнического изделия высвобождается целый «коктейль» ядовитых соединений, опасных для человека и для окружающей среды: тяжелые металлы, хлораты и диоксиды, аэрозоли дымов, монооксид углерода, оксиды серы (*Angew. Chem. Int. Ed.*, 2008, DOI: 10.1002/anie.200704510).

В связи с необходимостью создания новых пиротехнических составов, способных демонстрировать новые «спецэффекты», а также для реше-

ния вопросов защиты окружающей среды в наши дни ситуация с химией и пиротехникой изменилась. Если где-то до середины XIX века открытие нового взрывчатого вещества или состава с новым цветом пламени влекло за собой новые открытия в химии и других естественных науках и пиротехника была одним из локомотивов химического прогресса, то сейчас мы имеем дело с обратной ситуацией — наши представления о строении и свойствах веществ, наши знания о химии теперь применяются для рационального создания пиротехнических составов, в первую очередь оказывающих минимальное воздействие на состояние окружающей среды.

Очевидно, что одним из способов решения экологических проблем, связанных с применением пиротехники, является простая оптимизация её горения, исключающая образование продуктов неполного сгорания. В идеале необходимо, чтобы пиротехника при срабатывании не образовывала неполных продуктов сгорания, и единственными веществами, образовавшимися во вспышке, были вода и диоксид углерода, до которых должны окислиться органические вещества, входящие в состав, а также оксиды металлов (MgO , Al_2O_3), если топливом состава является металл. Способность пиротехнического состава к полному сгоранию за счёт «внутренних ресурсов» окислителя выражается таким его параметром, как кислородный баланс. Кислородный баланс взрывчатого вещества или пиротехнической смеси является положительным, если общего количества связанного кислорода, входящего в их состав, хватает до полного