



**Конкурс работ молодых ученых «Просто о сложном»
Научно-популярная статья призера II степени Шекуновой Таисии
Олеговны (аспирант 1 года обучения, ФНМ МГУ, г. Москва).**

Этюд в черных тонах¹

Часть I. Знакомство

Смеркалось... Уставшие жители Ортофосфатска потихоньку начинали разбредаться по своим домам после тяжелого рабочего дня. Ортофосфатск представлял собой большой город, почти мегаполис, жителями которого являлись ортофосфаты трехвалентных редкоземельных элементов. Все они имели разную внешность, отличались привычками и устройством внутреннего мира, но жили в добром согласии и зачастую работали на одном производстве, поскольку обладали схожими навыками и умениями. Многие были задействованы в изготовлении датчиков для рентгеновского и гамма излучений; материалов для удаленного измерения температуры; матриц для биоматериалов и т.д. Происхождение даже одинаковых на первый взгляд жителей могло отличаться – кто-то появился на свет из водного раствора, кто-то из перегретой жидкости, а кто-то из муфельной печи. Сам Ортофосфатск был разделен на районы – в одном жили соединения лантана, в другом соединения иттрия или неодима. Таких районов были десятки, однако речь в нашей истории пойдет о районе, заселенном ортофосфатами церия.

Итак, постепенно на улицах гас свет. Однако в одном из окон свет горел до самого утра. В этой квартире беспокойно ходил из угла в угол блюститель закона, который на протяжении многих лет бдительно охранял покой вверенной ему территории цериевого участка. Надо сказать, что жители даже не знали имени своего защитника и дали ему прозвище ФосфатИкс, хотя и не были уверены, действительно ли он является фосфатом, поскольку вся его биография была скрыта завесой тайны. Беспокойство ФосфатИкса было связано с тем, что за последние дни к нему обратились многие граждане, встревоженные появлением на улицах неизвестного им жителя. Говорят, что лицо его было надежно спрятано под широкополой черной шляпой и маской, а тело облакал длинный черный плащ. По наблюдениям очевидцев этот неизвестный (а может он преступник?!) часами бесцельно бродил по окрестностям. В общем, этот незнакомец взбудоражил обычно тихий район.

Только к утру ФосфатИкс принял волевое решение поймать это соединение в маске и устроить ему беспристрастный допрос, а может быть, и с пристрастием. Немного успокоившись, он решил чуток вздремнуть, и уже начал проваливаться в сон, как вдруг раздалась противная трель дверного звонка. ФосфатИкс, бурча, направился к двери, – он подозревал, что это какой-нибудь прохожий с нелепой просьбой. Каково же было его удивление, когда на пороге он увидел перед собой того, кого совсем недавно решил поймать – перед ним стоял незнакомец, облаченный в черное. ФосфатИкс непроизвольно попятился, но быстро приобрел прежнее самообладание. Черная фигура надвинулась на него и вдруг тихо произнесла: «Мне нужна Ваша помощь». ФосфатИкс чуть не сел мимо стула. «Простите?» – только и смог он ответить. Незнакомец продолжал: «Я совсем недавно в вашем городе, но проблема в том, что я не помню, как в нем оказался. Я даже не знаю, кто

¹ Научно-популярная статья основана на материалах публикации:

Shekunova T.O., Baranchikov A.E., Ivanova O.S., Skogareva L.S., Simonenko N.P., Karavanova Yu.A., Lebedev V.A., Borilo L.P., Ivanov V.K. Cerous phosphate gels: Synthesis, thermal decomposition and hydrothermal crystallization paths. J. of Non-Crystalline Solids, 2016, 447, 183 – 189.

я и откуда сюда пришел. Я бы Вас не побеспокоил и нашел бы здесь работу, чтобы трудиться на благо города, но я совершенно не представляю, на что могу сгодиться, поскольку ничего не знаю о своих умениях. Единственное, что я точно знаю, так это то, что я какой-то фосфат церия, поэтому и пришел именно в этот район. Вы сможете узнать, кто я?» После этого незнакомец замолчал, а ФосфатИкс задумался. Для него все теперь стало понятным, и он не видел никаких причин для отказа этому бедняге. Оставалось только решить, с чего начать. ФосфатИкс решил действовать сразу двумя путями: во-первых, поднять все сводки о пропавших соединениях в городе, а также обзвонить окрестные города и поселения, из которых мог прийти этот фосфат. Во-вторых, организация, в которой работал ФосфатИкс, обладала хорошо оснащенной лабораторией для идентификации жителей, и эта лаборатория могла помочь в решении проблемы. Поскольку поспать ФосфатИксу уже явно не удавалось, он вместе с незнакомцем отправился к себе на работу.

Часть II. Химическое расследование

Сперва ФосфатИкс решил проверить, к какому классу веществ – аморфных или кристаллических относится Неизвестный, и, если повезет, определить его структуру. Не повезло. По характеру отпечатков Неизвестного, ФосфатИкс при помощи метода рентгенофазового анализа определил, что незнакомец относится к аморфным веществам. Из этого следовало, что его отпечатков не может быть в специальной картотеке, которая часто помогала идентифицировать подозреваемых. Единственное, что смог выяснить ФосфатИкс из полученных данных, так это то, что возможно в теле Неизвестного имеется нечто упорядоченное, с расстоянием между этим «нечто» около 1.2 нм. Это следовало из наличия одного пика на дифрактограмме. Поскольку результаты несколько не проливали свет на то, кем является незнакомец, ФосфатИкс решил продолжить расследование. Еще одним способом, связанным с применением «метода отпечатков», было использование ИК-спектроскопии. Однако и в этом случае результаты были малоинформативными. Но все же ФосфатИкс хотя бы смог подтвердить, что нежданный гость действительно является фосфатом. Использование других методов требовало проведения с незнакомцем некоторых манипуляций, которые, как подозревал ФосфатИкс, ему могли не понравиться. Во-первых, он заметил, что Неизвестный оставляет повсюду мокрые следы, которые не испарялись, и, по всей видимости, были следствием присутствия фосфорной кислоты в составе исследуемого соединения. Тогда ФосфатИкс предложил ему принять ванну, чтобы избавиться от этой кислоты, если гость, конечно, не против. Иначе нельзя было продолжать расследование, ведь нужные приборы были очень чувствительны к любым загрязнениям. Незнакомец ничего не имел против и отправился принимать водные процедуры, а ФосфатИкс пока занялся наведением справок по окрестным населенным пунктам.

Спустя некоторое время Неизвестный, хорошо отмытый и обсохший, вновь предстал перед ФосфатИксом, и их расследование продолжилось. Они отправились в микроскопную, где ФосфатИкс с помощью мощных растрового и просвечивающего электронных микроскопов узнал, что на наноуровне незнакомец состоит из плотно переплетенных волокон длиной несколько микрометров и толщиной около 20 нм. Это было интересным фактом, поскольку ФосфатИкс впервые видел такую структуру.

Оставшиеся методы исследования сначала показались Неизвестному пугающими – они подразумевали термический отжиг, и незнакомцу представилось, как его сжигают заживо. Однако ФосфатИкс развеял его страхи и объяснил, что для таких экспериментов необязательно целиком лезть в муфельную печь, а достаточно пожертвовать лишь небольшим кусочком своего тела. С таким риском Неизвестный согласился, поскольку это

грозило ему, как максимум, снижением веса. Смысл проведения опытов с термическим отжигом состоял в том, что исследование полученной золы тем же методом рентгенофазового анализа позволит сделать предположение о том, что представляет собой исходное соединение. Отжиг хорош еще и тем, что вместе с ним можно применять метод масс-спектрометрического анализа, позволяющий регистрировать газообразные вещества, выделяющиеся при отжиге. После проведенных манипуляций ФосфатИкс с удивлением обнаружил, что образующиеся соединения ему хорошо знакомы – это были триполифосфат церия и монацит. Также присутствовал и фосфат четырехвалентного церия – пирофосфат, который был известен ФосфатИксу еще со школьной скамьи. Таким образом, в этот день на свет появились очередные работники, пополнившие ряды Ортофосфатска. Также ФосфатИкс узнал, что в процессе отжига выделялся кислород, что свидетельствовало о том, что в исходном незнакомом соединении церий находился в степени окисления +4, а значит, незнакомец был точно не из их города. В заботах день незаметно сменился вечером, и ФосфатИкс решил отправить уставшего незнакомца отдыхать, а сам принялся за расчеты, пытаясь определить состав неизвестного соединения. Расчеты оказались достаточно простыми, и скоро ФосфатИкс, сладко посапывая, спал прямо за столом, не имея сил добраться до кровати. Рядом с ним лежала бумажка, на которой обведенная в кружок виднелась формула $\text{CeP}_{1.04}\text{O}_{9.2} \cdot 0.03\text{H}_2\text{O}$.

Новый день принес новые идеи. Не нужно и говорить, что незнакомец, узнав свой брутто-состав, несказанно обрадовался, поскольку для неидентифицированного соединения это все равно что узнать свои паспортные данные (но без кода подразделения). Однако этого было недостаточно, ведь эта информация не давала никакого знания о характере, умениях, и месте происхождения Неизвестного. Поэтому расследование продолжилось, и ФосфатИкс поделился с исследуемым своими соображениями – существовал еще один способ, который мог пролить свет на эту загадочную историю. Дело в том, что по аналогии с термическим отжигом можно было прибегнуть к гидротермально-микроволновому методу воздействия (или попросту варке в закрытой емкости), который мог повлиять на структуру соединения, превратив ее в кристаллическую, но сохранив при этом степень окисления церия. ФосфатИкса интересовали те изменения, которые могут произойти с Неизвестным в исходном состоянии, поэтому он предложил провести гидротермально-микроволновую обработку в среде ортофосфорной кислоты (если читатель помнит, до принятия ванны с незнакомца эта кислота просто стекала). Таким образом, незнакомец еще слегка похудел, а ФосфатИкс принялся за работу. Он решил сделать серию опытов при разных температурах от 155 до 210°C. Такая работа заняла достаточно много времени. В итоге, ФосфатИкс смог получить несколько порошков, и вновь применил метод рентгенофазового анализа. На этот раз дифрактограммы имели совсем другой вид и явно принадлежали одному и тому же кристаллическому соединению. При взгляде на полученные результаты, ФосфатИкс испытывал какое-то странное ощущение, словно он их уже где-то видел. Волнуясь, он быстро сравнил их с картотекой известных соединений, но, к своему удивлению, не нашел там совпадений. Тогда ФосфатИкс решил поднять архивы новостей и статей из газет и журналов полицейской хроники. Большинство из них хранилось у него в бумажном виде, поэтому скоро комната была заполнена стопками бумаг, среди которых ползал ФосфатИкс и рассматривал интересующие его заголовки. Неизвестный тоже решил присоединиться и аккуратно перекладывал просмотренные ФосфатИксом журналы в другую стопку. Поиски затягивались. Вдруг ФосфатИкс издал торжествующий вопль и вскочил, подняв столб бумажной пыли. Он держал в руке статью, в которой рассказывалась история, наподобие той, что случилась с незнакомцем. На нескольких страничках расписывалось, что в 2005 году удалось идентифицировать неизвестное кристаллическое соединение, которое оказалось гидроортофосфатом церия состава $\text{Ce}(\text{PO}_4)(\text{HPO}_4)_{0.5}(\text{H}_2\text{O})$. На данный момент это соединение

проживало в небольшом городке рядом с Ортофосфатском, заселенным другими соединениями четырехвалентного церия. ФосфатИкс бросился к телефону, чтобы позвонить туда. Разговор получился долгим и оживленным. Все время разговора Неизвестный беспокойно ходил из угла в угол. Наконец раздался звук опущенной телефонной трубки.

«Поздравляю, – произнес ФосфатИкс, обернувшись к Неизвестному, – мы нашли твой дом!» Оказалось, что упомянутый в статье гидроортофосфат жил неподалеку от того места, где появился на свет незнакомец. Открылась и тайна его происхождения – он образовался в результате взаимодействия диоксида церия с ортофосфорной кислотой и водой. «Что же мне теперь делать?» – растерянно спросил ФосфатИкса Неизвестный, который уже таковым не являлся. «Мне кажется, что тебе нужно ехать туда, где ты родился. Тебя там ждут и говорят, что ты можешь очень пригодиться в производстве ионообменных материалов и солнцезащитных кремов». «Наконец-то, – прошептал незнакомец в ответ, – наконец-то я знаю кто я, и что мне делать!»

Часть III. Дорога домой

Небольшой автобус отъезжал от вокзала Ортофосфатска. В нем сидели наш знакомый незнакомец и его новообретенные друзья – пирофосфат и гидроортофосфаты церия. Они шумели и веселились. Вслед удаляющемуся автобусу смотрел ФосфатИкс, радуясь успешно завершённому делу. Скоро автобус скрылся из вида, а ФосфатИкс сладко потянулся и отправился домой отдыхать, чтобы затем снова блюсти порядок в своем районе.

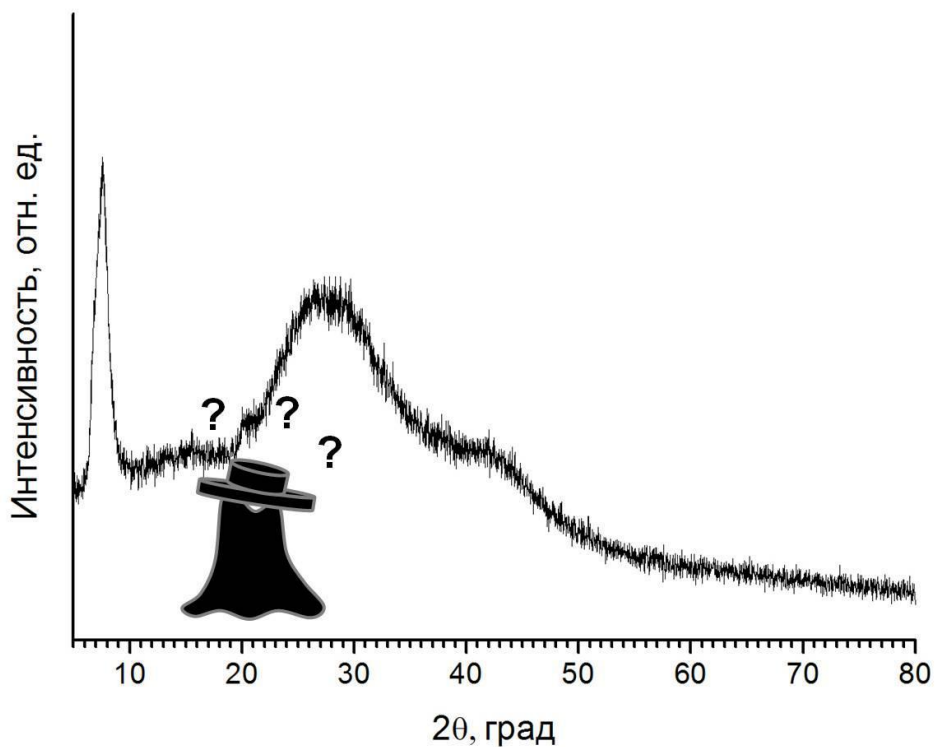
Иллюстрации



«...Говорят, что лицо его было надежно спрятано под широкополой черной шляпой и маской, а тело облакал длинный черный плащ...»



«...Незнакомец ничего не имел против и отправился принимать водные процедуры...»



«...Единственное, что смог выяснить ФосфатИкс из полученных данных, так это то, что возможно в теле Неизвестного имеется нечто упорядоченное, с расстоянием между этим «нечто» около 1.2 нм. Это следовало из наличия одного пика на дифрактограмме...»