

КАКАЯ ХИМИЯ ДОЛЖНА ИЗУЧАТЬСЯ В СОВРЕМЕННОЙ ШКОЛЕ?

Эрлих Г.В.

Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Химическое образование в нашей стране пребывает в очевидном кризисе. Отчасти его проблемы обусловлены общим кризисом нашего образования, которое на протяжении вот уже двадцати лет сотрясают непрерывные, непродуманные реформы, внешне выглядящие как попытки пересадить на российскую почву западную систему и стандарты образования, а по сути представляющие собой целенаправленное движение в сторону всеобщего платного образования, превращения образования в платную услугу (с этой точки зрения проводимые реформы выглядят очень даже продуманными).

Другой корень проблем имеет не чисто российское, а глобальное происхождение. Это – всеобщее падение интереса молодежи к естественным (техническим) дисциплинам [1]. Поразительно, но наиболее сильно эта тенденция выражена в высокотехнологических странах, таких как США и Япония. Современная американская молодежь отдает предпочтение гуманитарной сфере, а образовавшуюся нишу в исследовательских подразделениях и на производстве заполняют выходцы из Китая, Индии, стран бывшего СССР. Наиболее мотивированы к получению естественнонаучного образования школьники из африканских стран. Россия занимает промежуточное положение [2] в точном соответствии с уровнем технологического развития, тем не менее, падение интереса к естественным дисциплинам налицо, что не может не внушать беспокойства.

Наиболее ярко эта проблема высветилась в ходе недавнего широкого общественного обсуждения грядущей, очередной реформы нашего школьного образования, переводящей естественные науки в разряд необязательных для изучения предметов, предметов «по выбору». Справедливости ради заметим, что отношение общественности к этой реформе в целом отрицательное – согласно опросу, проведенному ВЦИОМ 19-20 февраля 2011 г. [3], 61% опрошенных высказались за сохранение действующей сегодня системы, когда все старшеклассники на базовом уровне осваивают основные 20 предметов. Показательно, что против реформы высказались, в основном, 25-44-летние (57%) россияне, наиболее активная часть населения, и жители средних городов (61%), оплот здравого смысла.

В то же время, почти четверть опрошенных идею реформы поддержала, а в ходе обсуждения в Интернете в адрес химии было сказано много нелицеприятных слов вплоть до нецензурных, что, к сожалению, характерно для интернет-общения. Лейтмотив этих высказываний: зачем я четыре года учил в школе химию, если она мне ни разу в жизни не понадобилась? Можно, конечно, просто отмахнуться от этих слов, как явно абсурдных. Но, поступив так, мы уподобимся страусу, прячущему голову в песок при виде явной опасности. Вместо этого следует честно признать, что приведенное высказывание служит крайним выражением отрицательного отношения к химии значительной части общества. К химии как к части нашей жизни, к химии как науке и к химии как школьному предмету.

И в этом заключается еще одна, возможно, основная проблема современного химического образования. Оно вполне удовлетворительно справляется с работой с «одаренными» детьми, существенно скромнее успехи в подготовке будущих кадров для науки и производства, что проявляется в неуклонном понижении среднего уровня знаний абитуриентов, поступающих в институты химического профиля. Все прочие школьники, подавляющее большинство, приобретают если не отвращение, то стойкий иммунитет против химии, который сохраняется в их взрослой жизни.

У этого прискорбного явления множество причин. Часть их них лежат за рамками школы – в обществе, государстве, властных структурах и, соответственно, могут быть решены только на этом уровне. Речь идет, например, об обязательном возврате в школы лабораторных работ, которые еще в начале 90-х годов были исключены де факто, по экономическим причинам. Без практической работы с веществом пробудить интерес к химии невозможно. Научить же чему-либо безразличного к твоему предмету школьника, мягко говоря, трудно, а при отсутствии побудительного стимула в виде выпускного и вступительного экзамена так и вовсе невозможно. Следующий узел проблем – хемофобия, активно насаждаемая и раздуваемая средствами массовой информации с их апокалипсическими сюжетами и катастрофическими репортажами. При отсутствии позитивной информации у обывателя складывается впечатление о безусловной вредности, опасности и ненужности химии.

Но часть вины, и значительная часть, лежит на собственно школьном образовании. Если судить по результату, то учат не тому и не так. Попробуем разобраться, в чем тут дело и что можно предпринять, чтобы выправить ситуацию. Проблема эта многогранна, поэтому сосредоточимся только на одном аспекте – содержании школьного учебника по химии, учебника для общеобразовательной, *современной* школы. Попытаемся сформулировать требования к такому учебнику, перечислить темы, которые целесообразно осветить в нем, и обсудить способы подачи учебного материала. Начнем же обсуждение с краеугольного вопроса.

Зачем нужна химия в школе?

Вопрос этот можно и нужно сформулировать более широко как вопрос о цели образования вообще и химического образования в частности. Ответ на него далеко не однозначен, более того, некоторые авторы (см., например, [4]) полагают, что эта цель российским образованием утрачена, и объясняют этим хаотичность и непоследовательность проводимых реформ. Действительно, вот далеко не исчерпывающий перечень декларируемых целей образования,

разнородность которого только подчеркивает царящий в этой области педагогики хаос:

- 1) подготовка к будущей профессии, приобретение профессиональных знаний (умений);
- 2) подготовка к общественно-полезному труду;
- 3) подготовка к будущей деятельности в обществе (причем деятельность может рассматриваться как функция индивидуума или в более широком плане – как функция общества в целом, при этом индивидуум только участвует в осуществлении, реализации этой деятельности [4]);
- 4) подготовка к взрослой самостоятельной жизни;
- 5) развитие личности, «создание» культурного человека, гармоничное развитие;
- 6) развитие умственных и творческих способностей.

Еще одна цель образования была озвучена после известных событий на Манежной площади, в которых приняло участие множество старшеклассников. В школе-де учат не тому и слишком много, надо сократить время изучения предметов, а основное внимание уделить патриотизму и нравственному воспитанию. Такое высказывание можно было бы воспринять как курьез (ну, перепутал человек образование с воспитанием, бывает), если бы оно не исходило из уст депутата Государственной думы.

Но будем надеяться, что этим высказыванием законодательная инициатива депутата ограничится, и рассмотрим приведенные выше, более внятные цели. Основная из них, на наш взгляд, это развитие умственных способностей – тренировка памяти, обучение логике, умению устанавливать причинно-следственные связи, построению моделей, развитие абстрактного и пространственного мышления и т.д., всему тому, что отличает человека от животного. Определяющую роль в этом становлении человека играют естественные науки с их объективными законами и количественным подходом. Химия с ее вариабельностью, множественностью путей направления химических реакций и разнообразием средств воздействия на систему занимает в

ряду естественных наук особое, если не центральное место именно как инструмент развития умственных способностей. Да, может сложиться так, что человек в своей профессиональной деятельности никогда не столкнется с химическими проблемами, но мозги-то ему потребуются, а «ставят» их в школе, в частности, с помощью изучения химии.

Так что сугубо утилитарный подход – понадобится / не понадобится – здесь не проходит. Заметим, что сегодняшняя ситуация с химией весьма напоминает ситуацию с иностранными языками в прошлом. Подавляющей части населения СССР иностранный язык был совершенно ни к чему, потому что за границу если ездили, то преимущественно на танке, а литература на иностранных языках исчерпывалась научными журналами для узкого круга специалистов, более того, хорошее знание иностранного языка в известные годы оборачивалось статьей обвинения. Тем не менее, даже в разгар борьбы с космополитизмом и низкопоклонством перед Западом иностранный язык в школе преподавали, причем в объеме, превышающем сегодняшний курс химии. Объяснение этого парадокса чрезвычайно простое: задолго до большевиков было доказано, что изучение иностранных языков способствует развитию интеллекта в целом и памяти в частности, так что советская педагогика, отдадим ей должное, учитывала и опиралась на предшествующий опыт.

Но, повторимся, одних только иностранных языков и других гуманитарных дисциплин недостаточно для формирования интеллекта современного человека. Четкое понимание того, как одни явления с неизбежностью порождают другие, составление плана действий, моделирование ситуаций и поиск оптимальных решений, умение предвидеть последствия предпринимаемых действий – всему этому можно научиться только на базе естественных наук. Эти знания и умения необходимы всем, от домохозяйки до крупного государственного чиновника.

К чему приводит отсутствие этих знаний и умений, мы постоянно наблюдаем на примере действий наших властей, почти сплошь – юристов, экономистов, государственных менеджеров. Как совместить призывы к иннова-

циям в технологической сфере, углублению переработки сырья, внедрению энергосберегающих технологий и т. п. с курсом на тотальное сокращение естественнонаучных предметов в школе и технических специальностей в вузах? Непонятно. Впрочем, у властей есть готовый рецепт – информационные технологии (понимаемые, впрочем, весьма однобоко и утилитарно). Главным на их взгляд является улучшение связей между наукой и производством, PR достижений отечественной науки и подготовка специалистов в этой области. При этом они совершенно упускают из виду, что для реализации этой прекрасной схемы в первую очередь нужны: а) наука, б) производство. Во вторую очередь – кадры для науки и производства. В третью – система подготовки этих кадров. И т. д.

Следующая важнейшая цель школьного образования, опять же на наш взгляд, это подготовка к будущей взрослой жизни. Молодой человек должен войти в нее во всеоружии знаний о мире. А он включает не только мир людей, но и мир вещей, и окружающую природу. Знания о материальном мире дают естественные науки. Усиливающийся крен в сторону гуманитарных дисциплин приводит к тому, что молодые люди перестают понимать материальный мир и, как следствие, начинают бояться его. Отсюда – побег от реальности в виртуальное пространство.

Явление это распространенное, но, к счастью, не повсеместное. Оно и не может быть повсеместным, потому что кто-то же должен производить еду, одежду, машины, компьютеры и прочие гаджеты для обитателей виртуального пространства. Большая часть людей живет все же в материальном мире, постоянно контактирует с различными веществами и материалами и даже подвергает их, часто неосознанно, различным химическим и физико-химическим превращениям.

Чтобы чувствовать себя в современном мире уверенно и безопасно, надо быть с веществом если не на ты, то хотя бы шапочно знакомым. А эти знания человек получает в школе, на уроках химии. Он может забыть формулу серной кислоты, но обращаться с ней всю жизнь будет с осторожностью. Спро-

сите у него, откуда он это знает, в ответ он пожмет плечами: знаю – и все тут. Точно так же он не закурит на бензоколонке и вовсе не потому, что видел, как горит бензин. Просто в школе на уроке химии ему объяснили, что бензин имеет свойство испаряться, образовывать взрывоопасные смеси с воздухом и гореть. Химически безграмотный человек в нашем мире легко может попасть впросак, причинить вред не только себе, но и окружающим. С этого станется закурить на бензоколонке, не только от разгильдяйства, но и по безграмотности.

Еще одна характерная примета нашего времени – разгул разного рода мракобесия, веры в сверхъестественное, в паранормальные явления, в астрологию, обилие магов, предсказателей, ворожей, «народных целителей» и т. п. Давно известно, что лучший способ борьбы с предрассудками – просвещение народа, в первую очередь естественнонаучное. С другой стороны, пренебрежение изучением естественных наук с неизбежностью приводит к разгулу мракобесия, что мы наблюдаем воочию.

Эту проблему можно рассматривать и в более широком плане – как умение адекватно оценивать информацию, сыплющуюся на нас со всех сторон. Если безоговорочно верить всему, что преподносят нам СМИ, то жить становится страшно. Тут просто жизненно необходимо уметь отличать мнимые опасности от истинных, руководствоваться здравым смыслом, который есть не что иное, как понимание сути вещей. А это понимание дают только естественные науки, усвоенные хотя бы на уровне базовых принципов.

Другой обширный массив информации – реклама, разного рода заманчивые предложения, сулящие решение всех ваших проблем без усилий с вашей стороны и со значительными скидками. Здесь тоже нужно обладать определенным запасом естественнонаучных знаний, чтобы не попасться на удочку мошенников и шарлатанов, тем более что они часто ссылаются на достижения современной науки и употребляют всякие звучные термины – матрица воздействия, волновой геном, ДНК-код, молекулярное распознавание, биоэнергетические поля и т.п. Страшно не то, что человек при этом потеряет

деньги (хотя это, конечно, тоже неприятно), но он может нанести непоправимый вред своему здоровью или здоровью своих близких.

Человеком, лишенным естественнонаучной базы образования, легче манипулировать как на бытовом, так и государственном уровне. Это в полной мере ощутили советские руководители – основная фронда в СССР исходила от представителей технической интеллигенции. Но КПСС была вынуждена плодить и размножать эту интеллигенцию, потому что без нее нельзя было добиться преимущества в военно-политическом противостоянии с Западом. У сегодняшней российской власти иные приоритеты и основная ставка во внутренней политике делается на манипулирование людьми. Может быть, именно в этом кроется одна из причин последовательного выдавливания естественных наук из школьного курса? Если это так, то власти рискуют угодить в вырываемую ими яму. Толпу, послушно голосующую «за», более искусные манипуляторы могут заставить двинуться в противоположную сторону, что доказали, в частности, упомянутые выше события на Манежной площади в Москве. Так что если мы хотим, чтобы молодые люди вступали во взрослую жизнь без груза предрассудков (включая расовые и националистические), чтобы они могли адекватно оценивать пропаганду и делать осознанный выбор, чтобы они были *свободными* людьми, без естественных наук нам не обойтись.

Еще одна декларируемая цель образования – подготовка к будущей деятельности в обществе. Здесь, на первый взгляд, возможен утилитарный подход: понадобится / не понадобится. Собственно, именно его используют апологеты грядущей реформы: если школьник хочет в будущем стать модельером, финансовым директором или президентом страны, то зачем ему тратить время на физику, химию, биологию? Предоставим ему право самому выбирать, какие предметы изучать и в каком объеме, в соответствии с его склонностями и способностями. Проблема в том, что школьники в 14 лет за редчайшим исключением сами не знают, чего они хотят, они подвержены влиянию друзей, СМИ, кумиров и семьи. В прежние времена выбор, чем зани-

маться после окончания школы, делался в выпускном классе (или после службы в армии). Сегодня момент истины отодвинулся еще на несколько лет, и многие начинают всерьез задумываться о том, где работать и чем заниматься, только после получения диплома о высшем образовании. Вот тогда-то они и делают выбор в соответствии со своими склонностями и способностями. Это одна из причин того, что значительная доля выпускников даже престижных вузов, получивших востребованные профессии, не идут работать по специальности.

Но все ли пути им открыты? Это зависит от того, какое образование они получили. «Естественник» может трансформироваться в кого угодно, мы наблюдали это воочию во время постперестроечного экономического коллапса, когда в условиях закрытия институтов и предприятий научные сотрудники, инженеры и преподаватели технических вузов переквалифицировались в предпринимателей, биржевых брокеров, губернаторов, риэлторов, бухгалтеров, журналистов и работников автосервиса. Многие из них достигали успеха во вновь обретенной профессии, достаточно сказать, что большая часть российских олигархов имеет естественнонаучное или техническое образование. Заглядывая в более древние времена, вспомним, сколько великих русских писателей вышло из врачей. Обратный переход представляется невозможным, гуманитарий не может превратиться в инженера или исследователя-экспериментатора, филолог если и станет медиком, то только шарлатаном.

Возможность и успешность описанной кардинальной смены деятельности определяется особым складом мышления людей, получивших естественнонаучное образование, основы которого закладываются в школе. Предоставляя школьнику право «освободиться» от естественных наук, сделав «демократический» выбор, идеологи реформы в реальности существенно ограничивают возможности выбора им будущей сферы деятельности. Это ущербный путь как с точки зрения обеспечения прав и свобод личности, так и с позиций государственной стратегии, ведь предсказать, какие профессии будут наиболее востребованы через 20 лет, невозможно.

Рассмотренные цели образования носят общий характер и распространяются на всех или большую часть школьников. Цель подготовки к будущей профессии, приобретения профессиональных знаний (умений) более локальна, ведь работать в областях, непосредственно связанных, например, с химией, будет заведомо меньше 10% нынешних школьников. Поэтому можно было бы поспорить с утверждением авторов [5], что «одна из главных задач химического образования – привлечение молодых людей к химии и создание им условий для продолжения образования в высшей школе», тем более что за отсутствием других перечисленных задач эта автоматически становится главной. Это точка зрения людей, имеющих самое непосредственное отношение к высшей школе и болеющих душой за катастрофическую ситуацию, сложившуюся с подготовкой кадров для науки и химической промышленности. Но так как автор находится с ними по одну сторону баррикад и озабочен теми же проблемами, то желание полемизировать с коллегами пропадает.

Цели образования и содержание школьного курса химии

Цель столь длинного приступа к проблеме заключается отнюдь не в том, чтобы убедить вас в необходимости химии как школьного предмета. Уверен, что вы и так безоговорочно разделяете эту точку зрения. Люди же, придерживающиеся иного взгляда, вряд ли прочитают эту статью. Они, подозреваю, вообще ничего не читают, кроме выписок с личных счетов, блогов и Твиттера.

Существенно для нас то, что содержание школьного химического образования и, соответственно, школьного учебника химии непосредственно связано с целью образования. Лучшие современные учебники химии, написанные в русле советской (немецкой) педагогической школы, вполне удовлетворительно справляются с задачей развития системного мышления. В сущности, их содержание не сильно изменилось за сорок лет, что прошли с моей юности. В принципе, такой подход оправдан, ведь «ставить мозги» лучше всего на классических, многократно апробированных примерах. (Опять аналогия с языками: обязательное изучение «мертвых» языков в гимназиях XIX

века.) Приемлем он и для целей подготовки к будущей профессии, которая подразумевает систематическое многолетнее образование, постепенное движение от «классики» к современности. Собственно, учащийся достигает и постигает современность только после окончания обучения, когда он приступает к работе по полученной специальности.

Но доля таких учащихся не превышает 10%, для подавляющего же большинства знакомство с химией начинается и заканчивается в школе. И в плане подготовки к будущей взрослой жизни важно вложить в них как можно больше сведений об окружающем их материальном мире, о веществах, материалах и технологиях, с которыми они могут столкнуться в повседневной жизни или прочитать в СМИ. На первый план выходят не теории и умозрительные схемы, а конкретное знание, современность, речь уже не идет о систематическом образовании, а о фрагментарном освещении, и задача составителей школьных программ и авторов учебников сводится к тому, чтобы части этой мозаики сложились в более или менее целостную картину.

Еще одна проблема – создание у школьника мотивации к изучению химии. Собственно, проблема эта существовала всегда, решали и решают ее организацией системы внешкольного химического образования, кружков, лекториев, химических олимпиад разного уровня и т.д. Так рекрутировали учащихся для будущего профессионального образования. Все остальные, подавляющее большинство, немотивированные к изучению химии, получали хоть какой-то минимум знаний в рамках обязательного школьного курса. В свете грядущей реформы¹ ситуация усугубляется: химическое образование школьника может закончиться, едва начавшись, если он не выберет химию как предмет для дальнейшего изучения. Это вынудит превратить вводный курс химии в своего рода рекламу широчайших возможностей химии и ее важнейшей роли в нашей жизни, чистейшей воды пропаганду, потому что сообщаемые сведения не будут базироваться на понимании сути явлений и могут

¹ Не будем питать иллюзий. Общественное мнение в нашей стране интересует только общественность, власти же с упорством, достойным лучшего применения, доведут объявленную реформу до конца, чего бы это им ни стоило и к каким бы очевидным отрицательным последствиям в будущем это ни приведет.

быть восприняты только на веру. Увлечь школьника, побудить его заниматься какой-нибудь наукой можно, только поразив его воображение. Наше поколение поражали опытами «вулкан» и «фараонова змея». Для поколения Интернета и виртуальной реальности этого явно недостаточно. Необходимы более яркие, современные примеры. Попытаемся их найти.

Достижения современной науки и техники и школьный курс химии

Привнесение свежей научной «крови» в школьные учебники химии давно назрело и перезрело. Как уже отмечалось, их содержание не сильно изменилось за последние сорок лет, в чем автор лишний раз убедился при написании этой статьи, терпеливо одолев, в частности, всю линейку наиболее массового учебника О.С. Габриеляна с соавт. Проблема заключается в оптимальном выборе концепций, методов исследования и технологий, которые можно было бы рекомендовать для включения в школьный курс химии.

К ее решению можно подойти с разных сторон. В первую очередь, со стороны максимального приближения учебника к реалиям нашей жизни. Необходимо, чтобы выпускник школы хотя бы понимал химические термины, которые могут ему встретиться в повседневной жизни. Поразительно, но этот вопрос практически не изучен педагогической наукой. В уникальном исследовании [6] авторы проанализировали материалы СМИ (газеты, телевидение, радио, Интернет, за исключением специализированных изданий и сайтов) и установили, что из 240 наиболее часто встречающихся химических терминов 80 отсутствуют в школьном курсе химии. Из материалов это, например, керамика, жидкие кристаллы и композиционные материалы. Еще более широк перечень изгоев в разделе «химическая технология и экология»: возобновляемые ресурсы (источники энергии), топливные элементы, биотопливо, взрывчатые вещества, отравляющие вещества, аккумуляторы, АЭС, ПДК и другие. Понятно, что такая ситуация недопустима, тем более что многое из перечисленного имеет прямое отношение к безопасности нашей жизни и служит предметом активного обсуждения в обществе.

Второй разрез – это наиболее значимые достижения химии за последние 30-40 лет. «Утвержденного» списка этих достижений нет, поэтому автор рискнет привести свою, сугубо субъективную первую десятку в порядке перечисления, а не значимости.

1) *Открытие фуллерена, углеродных нанотрубок, графена.* В более широком плане – прогресс химии простых соединений, в еще более широком – ренессанс неорганической химии. Открытие графена в 2004 году и Нобелевская премия по физике 2010 года, полученная за это нашими соотечественниками, – именно тот факт, который может поразить воображение школьника.

2) *Сверхпроводящие керамики.* Еще один пример феноменального прогресса неорганической химии, что уж говорить о впечатлении от объектов, левитирующих в поле сверхпроводящих магнитов.

3) *Создание сканирующих зондовых микроскопов,* позволяющих «увидеть» атомы и изучать структуру вещества с атомарным разрешением.

4) *Проводящие органические полимеры.*

5) *Твердофазный синтез пептидов и олигонуклеотидов.* В более общем виде – машинный синтез сложных органических соединений. Синтез «по программе» в полной мере отвечает умонастроению современных школьников.

6) *Расшифровка генома человека.* Вершина айсберга, включающего создание разнообразных методов трансформации ДНК, получение генетически модифицированных организмов, генную терапию и т.п.

7) *Полимеразная цепная реакция (ПЦР).* Уникальная реакция, позволяющая размножать фрагменты молекулы ДНК. Дополнила многочисленные типы химических реакций (соединения, разложения, замещения, полимеризации и т.д.) принципиально новым – размножением по шаблону. Не случайно, что создатель ПЦР – Кэри Маллис – получил Нобелевскую премию по химии.

8) *Прогресс микроэлектроники,* в более широком плане – прогресс в области получения полупроводниковых материалов и структур.

9) *«Зеленая» химия.* Принципиальный курс на разработку технологий, наносящих минимальный вред окружающей среде, а также технологий, использующих возобновляемые источники сырья.

10) *Абиогенный природный газ.* Доказательство возможности абиогенного образования природного газа в земной коре переводит природный газ в ряд возобновляемых источников сырья и энергии и позволяет по-новому взглянуть на перспективы развития цивилизации.

Необходимо также учитывать, что химия как наука претерпела за последние десятилетия существенные изменения и далеко ушла от тех концепций, которые излагаются в школьном курсе. Разрыв резко усилился со вступлением науки в эпоху нанотехнологий. Непонимание и неприятие нанотехнологий как неспециалистами, так и многими людьми, имеющими самое непосредственное отношение к химии, обусловлено в определенной мере тем, что они противоречат принципам, усвоенным еще на школьной скамье.

Отметим лишь некоторые особенности современной химии, акцентируя внимание на их взаимосвязи со школьным курсом.

1) *Использование атомов как химических реагентов*

Как строится методически рассмотрение свойств конкретного химического элемента в школьном курсе? Строение атома, структуры его электронных оболочек. Простые вещества элемента: строение, свойства, применение. Сложные соединения: строение, свойства, применение. В этой привычной схеме есть очевидное упущение – свойства и применение атомов элемента. Раньше это выглядело вполне обоснованным. Собственно химия начиналась с молекул вещества, атомы если и появлялись в уравнениях химических реакций, то лишь в качестве промежуточных, короткоживущих и реакционно-способных частиц. Едва ли не единственный пример в школьном учебнике химии – атомы хлора в процессе радикального хлорирования углеводородов.

Между тем атомы как химические реагенты широко используются как в научных исследованиях, так и в технологии, в частности, для прямого синтеза химических соединений. В качестве примера можно привести метод моле-

кулярно-лучевой (атомно-пучковой) эпитаксии, с помощью которого получают полупроводниковые гетероструктуры – «слоеный пирог», состоящий из слоев различных веществ нанометровой толщины. Отработаны методы получения атомарных газов различных элементов и манипулирования ими. Через стадию образования атомарных газов проходит синтез таких практически важных веществ, как металлические наночастицы и фуллерены.

Но каковы химические свойства, например, атома золота? Школьный курс не дает ответа на этот вопрос. Более того, многие, даже специалисты, проецируют свойства простого вещества на свойства атомов² и соответственно полагают, что атомы золота химически инертны. Это не соответствует действительности. Атомы золота – реакционноспособные частицы, легко вступающие во взаимодействие с компонентами окружающей среды и между собой с образованием кластеров, состоящих из нескольких атомов золота, а по мере их роста – частиц нанометровых размеров. За счет образования химических связей между атомами золота их реакционная способность уменьшается, так что наночастицы золота по своей химической активности занимают промежуточное положение между атомами золота и массивным образцом. «Особые» свойства наночастиц получают простое, логичное объяснение, понятное даже школьнику, которому рассказали о химических свойствах атомов золота (в этой связи обращаем внимание читателя на серию статей об «особости» золота, опубликованную в журнале «Химия в школе» [7–9]).

2) *Зависимость свойств веществ от метода их получения*

Понимаю, что это очень жесткая формулировка, могущая вызвать протест профессиональных химиков-исследователей, но со стороны дело выглядит именно так. Чтобы не умножать примеры, возьмем то же золото. В зависимости от метода синтеза наночастицы золота могут иметь разную окраску от фиолетовой до красной, они могут быть как проводниками электричества, так и диэлектриками, они могут быть каталитически неактивными или пре-

² Корни этой аналогии лежат, возможно, в упомянутом единственном примере с хлорированием углеводов: высокая реакционная способность атомов хлора соединяется в сознании с высокой химической активностью молекул хлора.

восходить по активности лучшие катализаторы на основе платины. Везде речь идет об элементарном золоте и эти сведения находятся в вопиющем противоречии с тем, что сообщает нам школьный учебник химии.

Методической основой школьного курса химии является закон Пруста, который как раз и гласит, что состав и свойства веществ не зависят от метода их получения. Конечно, в учебниках есть оговорка об ограниченности этого закона, но эта оговорка быстро выветривается из памяти школьников, тем более что все дальнейшее изложение ведется строго в рамках этого закона.

3) Примеси как один из важнейших инструментов влияния на свойства вещества

В сущности, этот пункт продолжает предыдущее обсуждение. В школьном курсе обсуждаются свойства индивидуальных, идеально чистых веществ. Методически это абсолютно правильно, но в реальной жизни мы всегда имеем дело со смесями веществ. Профессиональные химики на протяжении всей истории развития химии тоже рассматривали примеси как досадную помеху, влияющую на протекание химических реакций и приводящую к невоспроизводимости результатов эксперимента. Отсюда – разработка все более совершенных методов очистки веществ.

На современном этапе развитие технологии получения особо чистых веществ и методов аналитического контроля позволило перейти к контролируемому введению малых и сверхмалых количеств примесей, открывшему путь к воспроизводимому получению новых материалов с уникальными свойствами. Приведем в качестве примера полупроводниковые материалы на основе кремния. Два образца кремния, содержащих легирующие добавки фосфора или бора в количестве 10^{-5} масс. %, абсолютно идентичны как по химическим свойствам, так и по результатам анализа большинством доступных методов, но при этом принципиально отличаются по типу проводимости и с этой точки зрения представляют собой два разных вещества.

4) *Нестехиометрические соединения*

Помимо закона Пруста, школьный курс методически базируется на подходе Дальтона. Опять же есть оговорка о неабсолютности закона кратных отношений, упоминается исторический спор Дальтона и Бертолле и фамилия русского ученого Н.С. Курнакова в связи с существованием соединений нестехиометрического (переменного) состава. Но вся эта информация, не подкрепленная примерами в дальнейшем курсе, испаряется из памяти учащихся, что существенно искажает их представление о современной химии, ее методах и возможностях.

5) *Супрамолекулярная химия*

Этот термин употреблен просто потому, что он на слуху, кроме того, за исследования в области супрамолекулярной химии была присуждена Нобелевская премия по химии 1987 года. Речь пойдет не об этом, а о сути. Школьный курс химии акцентирует внимание на молекуле, на типе связей внутри молекулы, на превращении молекул в результате химического взаимодействия. В то же время взаимодействия между молекулами, которые не приводят к перераспределению электронов и химических связей (т.е. взаимодействия, которые нельзя описать уравнением химической реакции), рассматриваются в значительно меньшем объеме и не остаются в памяти учащихся. Водородная связь преподносится как довольно экзотический вид химической связи, нужный преимущественно для объяснения свойств воды (но об этом говорят скороговоркой, потому что единая точка зрения на структуру воды отсутствует даже в научном сообществе). Ван-дер-Ваальсовы взаимодействия, по сути, выведены за пределы химии, хотя именно два упомянутых типа взаимодействия в значительной мере ответственны за превращение совокупности молекул в вещество – основной объект химии.

б) *Поверхность*

Так одним словом можно обозначить огромный круг явлений, который обходят авторы школьных учебников. Как отмечалось выше, в школьном курсе обсуждаются свойства индивидуальных, идеально чистых веществ, как

во всякой модели тут нет места краевым эффектам – поверхности раздела фаз. Тем более что тонкий поверхностный слой отличается по свойствам, а зачастую и по составу от основной массы вещества. Но именно поверхность определяет каталитические и сорбционные свойства веществ (кстати, важнейшие явления катализа и сорбции также практически не отражены в школьном курсе), многие уникальные свойства нанообъектов определяются поверхностными атомами, доля которых может достигать десятков процентов от массы вещества, и так далее.

Можно привести и другие примеры. В какой мере эти изменения химии как науки должны быть отражены в школьном курсе химии? Или в более общем виде: насколько школьный курс должен соответствовать уровню развитию современной науки?

Ответ на этот вопрос далеко не очевиден. В любом случае, наука развивается быстрее, чем меняются школьные программы и учебники, и догнать ее невозможно в принципе. При этом в погоне за «современностью» можно утратить понимание фундаментальных основ науки, разъяснению которых и служит школьный курс.

Более того, высокая «научность» учебника зачастую даже вредит пониманию. Классический пример – фактическое фиаско реформы математического образования, во главе которой стоял выдающийся ученый и педагог А.Н. Колмогоров. От безукоризненных с научной точки зрения формулировок школьники впадали в ступор.

Подобные крайности возможны и в химии. Так, например, один очень уважаемый ученый, академик, полагает, что на пятой странице учебника химии для VIII класса следует привести уравнение Шредингера, из которого должно быть выведено все остальное. Легко представить остаточный объем знаний по химии в этом случае – нулевой. Менее экстремистский вариант реализован в хорошем во многих отношениях учебнике Н.Е. Кузнецовой с соавт. В самом начале курса, еще до рассмотрения свойств химических элементов и многообразия химических реакций, вводится понятие энтропии и с

его помощью объясняется, почему протекают химические реакции. По сути все правильно, но вряд ли школьники VIII класса, едва знакомые с начатками физики, способны «переварить» это понятие, которое даже многие студенты химических специальностей вузов усваивают весьма формально.

Так что вводить «современные» примеры в школьный курс химии следует взвешенно, осторожно и точно. Они должны удовлетворять целому ряду требований (довольно очевидных):

- иметь отношение к повседневной жизни или к обсуждаемым в обществе проблемам;
- быть достаточно простыми и понятными школьнику в рамках имеющихся у него знаний по химии и другим естественнонаучным предметам;
- иллюстрировать основные принципы и методы химии;
- не вступать в противоречие с другими примерами, содержащимися в курсе;
- привлекать внимание школьников к химии;
- способствовать созданию положительного образа химии.

Впрочем, выбор примеров зависит от содержания курса, а здесь возможны два варианта.

Модернизация или реконструкция?

Введение современных примеров в нынешний школьный курс химии, его «модернизация» – это по сути дела паллиатив. Тем более что этот курс в его нынешнем объеме останется только в профильных классах, а в общеобразовательной школе он будет сильно сокращен. Так что целесообразно вести разговор о коренной переработке курса, его реконструкции. Возможности привлечения современных примеров в этом случае расширяются, потому что можно построить курс на основе другой логики. Обсуждение конкретных методических вопросов, как совместить расширение круга современных примеров с сокращением объема курса³, выходит за рамки настоящей статьи. Сейчас нас интересуют общие вопросы.

³ Сделать это трудно, очень трудно, но, по моему глубокому убеждению, невозможно.

Так что для начала попробуем спокойно разобраться в том, почему же так не любят предмет химию многие школьники, а также их родители, бывшие школьники, в том числе люди, не чуждые естественным наукам, вплоть до профессиональных физиков-экспериментаторов.

Помимо уже известного нам тезиса «никогда не понадобится», звучат следующие претензии: химия – предмет сложный для понимания, «мутный» и скучный, скопище разрозненных фактов, отсутствие закономерностей, сплошные исключения, которые надо тупо заучивать, обилие формализма. Мы-то с вами понимаем, что это не так, что те же претензии с большим основанием могут быть адресованы биологии и тем более медицине, но: глас народ – глас божий.

Можно, конечно, сетовать на отсутствие лабораторных работ, на сокращение часов, но часть вины за такой отрицательный имидж химии как школьного предмета лежит и на нас, химиках, и на педагогах. Нам не удастся донести до учеников красоту и важность химии. Перечитав несколько линеек наиболее распространенных школьных учебников, вынужден с сожалением признать: действительно скучно. И детей жалко.

Контурсы современного курса химии

Каким должен быть курс химии, чтобы он мог увлечь современного школьника? Максимально приближенным к жизни, понятным, напористым, динамичным, поражающим воображение, интригующим.

Позволю себе привести примерный перечень главных, сквозных идей, которые, на мой взгляд, должны пронизывать весь этот курс и за счет этого накрепко засесть в головах школьников. Не буду скрывать, что многие из этих идей порождены представленными выше «претензиями» к химии как школьному предмету, служат противовесом им и средством исправления сложившейся ситуации.

1) Область химии – весь материальный мир

Конечно, эта мысль и так является центральной в школьном курсе, и во всех учебниках приводится много сведений о строении и свойствах природ-

ных веществ. Но на все это наслаиваются многочисленные реакции синтеза веществ. В результате с химией ассоциируются исключительно синтетические, искусственно полученные вещества, которые противопоставляются природным. «Кока-кола – это химия, а квас – натуральный продукт». Вполне допускаю, что некоторые из тех, кто разделяют эту точку зрения, с недоверием воспримут информацию, что квас состоит из молекул. Ведь молекулы – «это что-то химическое»⁴.

Более того, даже не все синтетические вещества и материалы ассоциируются с химией. Обычный человек назовет стиральные порошки и моющие средства, синтетические ткани и пластмассы, минеральные удобрения (часто с негативным оттенком, опять же с противопоставлением природным веществам). Куцый, скучный перечень, но таковы остаточные знания от школьного курса.

Причина этого заключается, на наш взгляд, в том, что школьный курс сконцентрирован на процессах, которые можно описать уравнениями химических реакций⁵. Все прочие процессы получения и превращения веществ, как менее интересные с дидактической точки зрения, рассматриваются вкратце или вовсе выводятся за рамки курса. Наиболее показателен здесь раздел, посвященный кремнию. Процессам получения сверхчистого монокристаллического кремния, его легирования, превращения в микросхему, многочисленным химическим реакциям, протекающим при этом на поверхности кремниевой пластины, в большинстве учебников уделяется один-два абзаца. После этого неудивительно, что учащиеся «не видят» химии в компьютерах, мобильных телефонах, плеерах и прочих устройствах, которые заполняют их жизнь.

⁴ Автору неизвестно, проводились ли такие опросы по химии. Но есть пример из смежной области. Сотрудники Института общей генетики РАН провели на территории *Московского университета* им. М.В. Ломоносова блиц-опрос. Вопрос был один: «Считаете ли вы, что генетически модифицированные продукты опасны тем, что в них есть гены, тогда как в обычных продуктах никаких генов нет?». Утвердительно на этот вопрос ответили 10% опрошенных, еще 40% «затруднились с ответом». Ген для современной биологии такое же ключевое понятие, как молекула для химии.

⁵ Зачастую эти реакции имеют сугубо теоретический интерес, как, например, реакция тримеризации ацетилена в бензол, которая в учебниках О.С. Габриеляна и соавтр. приведена четыре раза. В результате даже школьники, интересующиеся химией, пребывают в уверенности, что это один из методов промышленного получения бензола.

Под химией понимают воздействие химическим реагентом, при котором протекает некая химическая реакция, описываемая конкретным уравнением. Все прочие воздействия из арсенала современной науки и техники, включая различного рода излучение, плазму, даже температуру и электрический ток, приводящие к превращению вещества, рассматривают как физические, соответственно все вещества и материалы, получаемые с их помощью, стойко ассоциируются с физикой.

Чтобы вернуть химии подобающее ей место в представлении людей об окружающем мире, акцент необходимо делать на веществе как основном объекте химии, на материалах, на широчайших возможностях их трансформации с помощью различных воздействий, в том числе, химических реагентов.

2) *Современная химия – «пир высоких технологий»*

Химия в изложении большинства школьных учебников выглядит чрезвычайно допотопной наукой, и это впечатление усиливается на фоне сообщений СМИ и различных научно-популярных телевизионных передач о феноменальных успехах и потрясающих открытиях в области биологии и физики (по разным причинам химии в СМИ и научно-популярной литературе уделяется значительно меньше внимания).

Конечно, цветные качественные реакции и титрование важны с методической точки зрения, особенно, если школьник с их помощью своими руками определяет содержание каких-либо веществ в объектах окружающей среды. Но в отсутствие лабораторных работ рассматривание соответствующих картинок в учебнике производит гнетущее впечатление. То же относится и к синтезу веществ в установках столетней давности. (Поразительно, но многие мои знакомые-нехимики, доктора разных наук, считают, что один из основных лабораторных приборов – реторта. Именно это слово почему-то засело в их сознании, не сохранившем со школьных времен даже формулы серной кислоты). Химические технологии представлены домнами и ректифика-

кационными колоннами, вызывающими отвращение у всех школьников, особенно у увлеченных химией.

Необходимо показать школьнику, что химия – передовая наука, использующая, в том числе, все новейшие достижения смежных наук и технологий. И делать это надо с первого дня изучения химии, а не в выпускном классе, когда интерес к химии безнадежно утрачен.

Начнем с методов анализа. Чрезвычайно легко вписать даже в нынешний курс метод атомно-абсорбционного (-эмиссионного) анализа, связав его с рассмотрением строения электронных орбиталей атома. Для объяснения принципа действия атомно-силового микроскопа также не требуется привлекать никаких дополнительных сведений, но вид этого прибора и описание его возможностей, несомненно, потрясут школьника. После освоения в курсе физики рентгеновского излучения и интерференции, полезно рассказать школьникам о принципах рентгенофазового и, особенно, рентгеноструктурного анализа, который позволяет установить точную геометрию молекул⁶. Упомянем также хроматографию, хотя объяснить ее, как ни странно, сложнее, чем принцип действия атомно-силового микроскопа и других описанных приборов. Это потребует более глубокого описания в школьном курсе свойств поверхности и поверхностных явлений, что, впрочем, находится в русле современной науке и полезно, в том числе, и с этой точки зрения.

Необходимо продемонстрировать школьникам несколько современных технологических приемов получения разнообразных веществ. Например, метод прямого синтеза веществ из атомов в варианте молекулярно-лучевой эпитаксии. Его чрезвычайно легко объяснить даже на начальном этапе изучения химии, потому что для него не требуется никаких специальных знаний. От этого *химического* процесса протягивается ниточка к столь любимым школьниками лазерам, а вид установок для молекулярно-лучевой эпитаксии, прообразов мини-фабрик будущего, восхищает даже специалистов.

⁶ В школьном курсе много рассуждений о геометрии молекул, о направленности связей, приводятся многочисленные данные о длинах связей, но как химики получили всю эту информацию, остается для школьников загадкой. Тогда как в курсе физики детально описано, как можно определить, например, заряд электрона или другие фундаментальные константы.

Следует упомянуть также о машинном синтезе веществ, как в варианте твердофазного синтеза полипептидов и олигонуклеотидов по Меррифилду, так и в варианте комбинаторной химии. Нет нужды погружаться в конкретный детальный химизм этих процессов, это требует дополнительных знаний и времени, главное – принцип действия и возможности использования. Я разделяю мнение многих коллег, что машинный синтез – это рутинная, убивающая романтику химии. Но такое уж сейчас время – неромантическое, и молодые люди, работающие в химии, не любят стоять у тяги, а отдают предпочтение различным автоматизированным установкам, исследовательским приборам и экранам мониторов. И надо продемонстрировать школьникам, что химия может удовлетворить эти их устремления. А использование компьютерных технологий в химии достойно того, чтобы бы его вынести в отдельный пункт.

3) Всесилие химии

Лейтмотив: химия может получить все, что не запрещено Природой; может придать веществу наперед заданные свойства; можем определить строение любого вещества и его содержание в объектах окружающей среды. И представляется не только оправданным, но абсолютно правильным, когда авторы известного пособия для школьников и поступающих в вузы [10] уже в предисловии пишут: «В химии возможно «абсолютно все» (!), даже то, что на протяжении десятков лет кажется невозможным или нелепым».

4) Химия как количественная наука

Необходимо усилить в школьном курсе разделы, посвященные физической химии – термодинамике, кинетике, равновесию, с проведением расчетов для нескольких конкретных примеров или хотя бы объяснением принципов такого расчета.

5) Предсказательная способность химии

В химии множество закономерностей, позволяющих делать предсказания о свойствах веществ, но в нынешних школьных учебниках на эти закономерности наслаиваются разного рода частности и исключения, которых в

химии действительно в избытке. Акцент, на наш взгляд, следует сделать все же на закономерностях, пожертвовав частностями и исключениями. Необходимо познакомить школьников с работами в области установления соотношений «структура – свойство», а также с методами дизайна молекул и материалов. Дизайн – ключевое слово!

б) Роль компьютерных технологий

Современные школьники не мыслят жизни без компьютеров, поэтому необходимо постоянно подчеркивать широкое использование компьютерных технологий в химии для расчета характеристик молекул, их дизайна, установления структуры, машинного синтеза и т.д.

7) Перспективы

Все учебники грешат запелляционностью, преподношением истины в последней инстанции, в какой-то мере это даже оправдано, потому что молодость любит определенность, сомнения приходят с годами вместе с размышлениями. В то же время молодые люди хотят видеть перспективу (перспективный/бесперспективный – одни из наиболее употребляемых слов молодежного сленга), а вот этого школьный учебник химии им и не дает. Все сделано, причем сделано давно! Там больше нечего делать!⁷

Не надо бояться показать молодым людям, что в химии есть еще много неясного, есть точки роста, есть целые направления, которые предстоит разрабатывать им, если они выберут химию в качестве дела своей жизни. Водородная энергетика, материалы для квантовых компьютеров, утилизация диоксида углерода и спасение нашей планеты от климатической катастрофы, промышленная реализация процесса фотосинтеза, создание новой химической технологии на основе возобновляемых источников сырья, получение метаматериалов с отрицательным показателем преломления для плащаневидимки – эти и другие задачи должны воодушевить молодых людей и привлечь их внимание к химии. Пусть не как к будущей профессии, но хотя

⁷ Признаюсь, что именно так мы с товарищами относились к неорганической химии в школьные и студенческие годы. Как же мы ошибались!

бы как к школьному предмету, достойному изучения, – это интересно и может понадобиться!

О структуре школьного химического образования

Грядущая реформа не оставляет пространства для маневра. Если думать не только об «одаренных» и «избранных», а обо всей массе школьников, обучающихся в общеобразовательной школе, то для преподавания им основ химии у нас будет один учебный год, от силы два. Трезвая оценка реалий нашей жизни и богатый опыт реформ заставляют исходить из худшего сценария.

Итак, первый (для большинства единственный) год обучения – это своеобразный пропедевтический курс, то, что в наши студенческие годы называли вводным концентром. Школьники должны получить самое общее представление о химии с упором на основные закономерности, описание веществ, встречающихся в природе и в быту, практическую значимость химии, экологию. Одна из главных задач курса – привлечение внимания к химии как школьному предмету и подавление в зародыше хемофобии, которая, к сожалению, царит сейчас в обществе. Именно на этом этапе чрезвычайно важна роль примеров, отражающих достижения современной химической науки и химической технологии.

Следующие два года обучения *мотивированных* школьников могут быть посвящены «классическому» курсу химии с учетом «современных» дополнений и изменений, которые мы обсуждали выше. Резкие изменения содержания курса и методики преподавания здесь вряд ли целесообразны, ведь они в целом довольно успешно справляются с главной задачей – развитием мышления школьников. Кроме того, необходимо принимать во внимание степень подготовки педагогических кадров.

Напоследок – обобщающий курс. В сущности, эта идея реализована и в нынешнем школьном курсе химии и это совершенно оправданно, потому что до восприятия обобщающих концепций школьники дорастают только в старших классах. Но здесь есть один нюанс, заключающийся в том, в каких

рамках проводить обобщение – одной лишь химии или всех естественных наук.

Идея курса естествознания не нова. Ее активно пропагандирует (=внедряет) Министерство образования. Она вызывает резко негативную реакцию как специалистов (см., например, [11]), так и здравомыслящих родителей. Мы полностью разделяем их мнение, что внедрение в нынешнюю российскую школу курса естествознания *вместо* отдельных курсов физики, химии и биологии приведет к тому, что выпускники школ не будут знать ни физики, ни химии, ни биологии и общее невежество населения резко усилится. И тем не менее...

Смею предположить, что идею курса естествознания руководители нашего образования подхватили на Западе, как и многие другие идеи, положенные в основу проводимых в нашей стране реформ, не только в области образования. Как и другие идеи, эта была воспринята механически, без понимания ее сути и механизма реализации. Действительно, курс естествознания активно внедряется в американских школах [12] и это выглядит вполне обоснованным. Дело в том, что современная наука не на словах, а на деле пришла к «великому объединению» [13,14].

Поле для такой интеграции – нанотехнологии. Именно так понимают нанотехнологии идеологи Национальной нанотехнологической инициативы США. В рамках реализации этой программы, начатой в 2000 г., и предусмотрено введение в школах курса естествознания. Реформа, как принято в цивилизованных странах, проводится «по уму», последовательно, постепенно, методично: разработка учебных программ, создание учебников, подготовка учителей в университетах. То же относится и к курсам нанотехнологий в университетах с целью подготовки специалистов для исследовательских подразделений и промышленности⁸.

⁸ Нанотехнологии – один из многочисленных примеров искаженного восприятия нашим руководством западных идей. Из обширной американской программы был выхвачен и усвоен только последний пункт – о *потенциальном* многотриллионном рынке продуктов нанотехнологий. Последовало указание о немедленном развертывании производства этих продуктов с ориентацией на экспорт и завоевание заметной доли мирового

Специалист, работающий в области нанотехнологий, на магистральном направлении развития современной науки и технологий, должен свободно ориентироваться в физике, химии, молекулярной биологии⁹. Приучить к такому холистическому взгляду на науку и на мир в целом человека можно только в школе.

Именно поэтому курс естествознания в школе, на мой взгляд, целесообразен, но только как обобщающий *после* овладения школьниками комплексом элементарных знаний по физике, химии, биологии. Речь не идет об аналоге вузовского курса «Концепции современного естествознания», представляющего собой ликбез для гуманитариев, хотя некоторые пересечения именно в концепциях (системность, дискретность и непрерывность, порядок и хаос, симметрия, эволюция и т.д.) несомненно будут. Помимо этого курс естествознания для профильных классов должен включать разбор конкретных примеров единения наук, не только межпредметных связей (которые в специализированных курсах выглядят зачастую притянутыми за уши и неубедительными), но и примерами использования методов различных наук для создания общего объекта. Некоторые такие примеры были перечислены ранее. Это реакция ПЦР и различные методы медицинской диагностики и идентификации на ее основе, процессоры компьютеров, магнитные элементы памяти и жидкокристаллические дисплеи, высокотемпературные сверхпроводники, твердофазный синтез белков и фрагментов ДНК.

Понятно, что такой курс дело далекого будущего. Ведь для этого нужны: программы, учебники, подготовленные учителя, педагогические эксперименты. Много работы.

го рынка. Вопросом, кто будет заниматься разработкой нанотехнологий, да и что это такое, авторы постановления, похоже, не задавались.

⁹ Как совместить призывы к всемерному развитию нанотехнологий и преподаванием даже в профильных классах только двух предметов из этой триады, остается непостижимой загадкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стрельникова Л.Н. В Кн.: Наука России. От настоящего к будущему. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009, с. 428-436.
2. www.ils.uio.no/english/rose
3. <http://wciom.ru/index.php?id=459&nid=111414>
4. Боровских А.В., Розов Н.Х. Деятельностные принципы в педагогике и педагогическая логика. – М.: МАКС Пресс. 2010. – 80 с.
5. Еремин В.В., Кузьменко Н.Е., Рыжова О.Н., Лунин В.В. Эксперименты с химическим образованием в России. В кн.: Современные тенденции развития химического образования: от школы к вузу/ под ред. В.В.Лунина. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006, с. 5-15.
6. Лисичкин Г.В., Карпухин А.В. Химические термины и понятия в средствах массовой информации. – Химия в школе, 2007, №9, с. 30-35.
7. Пичугина Д.А., Рыжова О.Н. Неизвестные свойства известного металла. – Химия в школе, 2006, №3, с. 6-14.
8. Пичугина Д.А., Рыжова О.Н., Пичугин И.А. Круговорот золота в природе. – Химия в школе, 2006, №4, с. 7-18.
9. Пичугина Д.А., Рыжова О.Н. Золото – катализатор XXI века. – Химия в школе, 2006, №5, с. 7-11.
10. Кузьменко Н.Е., Еремин В.В., Попков В.А. Начала химии. – М.: Изд-во «Экзамен», 2010. – 831 с.
11. Лисичкин Г.В., Леенсон И.А. Естествознание вместо физики, химии и биологии? – Химия в школе, 2007, №6, с. 2-5.
12. Эрлих Г.В. Нанотехнологии как национальная идея. Химия и жизнь, 2008, № 3, с. 32-37.
13. Эрлих Г.В. Малые объекты – большие идеи. Широкий взгляд на нанотехнологии. – М.: БИНОМ, 2011, в печати.
14. Еремин В.В., Плутенко А.Д. Нанотехнологическое образование: проблемы и перспективы. В кн.: Современные тенденции развития химического образования: фундаментальность и качество / Под ред. В.В. Лунина. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009, с. 141-153.