

УДК 54 + 378

## Химия и химическое образование на рубеже веков: смена целей, методов и поколений специалистов

Ю. А. Устынюк

*ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ УСТЫНЮК — доктор химических наук, заведующий лабораторией ЯМР Химического факультета Московского университета им. М. В. Ломоносова, заслуженный профессор МГУ. Область научных интересов: металлоорганическая и координационная химия, физическая органическая химия, спектроскопия, катализ, проблемы химического образования.*

119899 Москва, Ленинские горы, МГУ им. М. В. Ломоносова, тел. (095)939-26-77,  
E-mail yust@nmr.chem.msu.su

В дискуссии о том, что представляет собою химическая наука в целом и ее отдельные области на рубеже веков, уже высказались многие очень авторитетные специалисты. При некоторых различиях в частностях общий тон всех высказываний явно мажорный. Единодушно отмечаются выдающиеся достижения на всех основных направлениях химических исследований. Все специалисты отмечают исключительно важную роль, которую сыграли в достижении этих успехов новые и новейшие методы исследования структуры вещества и динамики химических процессов. Столь же единым является мнение об огромном влиянии на развитие химии произошедшей за последние два десятилетия на наших глазах всеобщей и всепроникающей компьютеризации науки. Все авторы поддерживают тезис об усилении в этот период междисциплинарного взаимодействия как на стыках химических дисциплин, так и между всеми естественными и точными науками.

Значительно больше различий в прогнозах будущего химической науки, в оценках основных тенденций ее развития на ближайшую и отдаленную перспективу. Но и здесь преобладает оптимистический настрой. Все согласны с тем, что прогресс будет продолжаться ускоренными темпами, хотя некоторые авторы и не ожидают в химии в ближайшем будущем новых фундаментальных открытий, по своей значимости сравнимых с открытиями начала и середины ушедшего века [1].

Нет сомнений в том, что научному химическому сообществу есть чем гордиться. Очевидно, что химия в истекшем столетии не только заняла центральное место в естествознании, но и создала новую базу материальной культуры современной цивилизации. Совершенно ясно, что эта ее важнейшая роль сохранится и в ближайшем будущем. А потому, казалось бы, нет особых причин сомневаться в светлом будущем нашей науки. Однако

не смущает ли Вас, уважаемые коллеги, тот факт, что в стройном хоре, сегодня возглашающем хвалу химии и химикам, явно не хватает отрезвляющих голосов «контрамотов», которые на мой взгляд, составляют важную, хотя и не очень многочисленную, часть любого здорового научного сообщества. «Контрамот-скептик», наперекор общему мнению, по возможности стремится погасить взрывы всеобщего восторга по поводу очередных выдающихся успехов. Напротив, «контрамот-оптимист» сглаживает приступы столь же всеобщего отчаяния в пору крушения очередных несбывшихся надежд. Попытаемся, мысленно усадив за один стол этих почти антиподов, взглянуть на проблемы химии на рубеже веков с несколько иной точки зрения.

Век закончился. Вместе с ним заканчивает свою активную жизнь в науке блестящее поколение химиков, чьими усилиями были достигнуты всем известные и признанные всеми выдающиеся успехи. На смену приходит новое поколение химиков-исследователей, химиков-педагогов, химиков-инженеров. Кто они, эти сегодняшние юноши и девушки, которых мы видим перед собою в учебных аудиториях? Чему и как мы должны научить их, чтобы их профессиональная деятельность была бы успешной? Какие умения должны дополнять полученные знания? Что из нашего жизненного опыта мы можем передать им, а они согласятся принять в виде советов и наставлений. В короткой статье нельзя ответить на все эти сложнейшие и вечные вопросы. Пусть данная публикация станет приглашением к более обстоятельной дискуссии и затравкой для неторопливых личных размышлений.

Один из моих хороших друзей, маститый профессор-химик с сорокалетним стажем, когда я, обдумывая эту статью, перечислил ему приведенные выше вопросы, раздраженно ответил: «А что

собственно особенное и неожиданное произошло? Что уж так сильно изменилось? Мы все учились понемногу у своих учителей, учились чему-нибудь и как-нибудь. Теперь они, студенты, учатся тому же у нас. Так оно и идет от века к веку. Так оно и будет идти всегда. И нечего тут новый огород городить». Надеюсь, что сказанное мною в ответ тогда и написанное здесь не станет причиной нашей с ним размолвки. А ответил я ему весьма решительно: «В химической науке на рубеже веков изменилось все!» Исключительно трудно найти в химии даже малозначимую область (речь, конечно, не идет о глухих закоулках, в которых удобно устроились маргиналы-реликты), где в последние четверть века не произошли бы глубокие кардинальные изменения.

### Методический арсенал химических исследований

Как справедливо отмечал С.Г. Кара-Мурза [2], историю химической науки можно рассматривать не только в рамках традиционного подхода как эволюцию основных концепций и идей на фоне открытий и накопления новых экспериментальных фактов. С полным правом ее можно изложить и в ином контексте, как историю совершенствования и развития методического арсенала науки. В действительности роль новых методов не ограничивается тем, что они многократно расширяют исследовательские возможности. В междисциплинарном взаимодействии метод подобен троянскому коню: вместе с методом в науку проникает его теоретический и математический аппарат, эффективно используемый при создании новых концепций. Кстати, опережающий характер развития методического арсенала химии особенно ярко проявился именно в последней четверти ушедшего столетия.

К числу самых ярких достижений в этой области безусловно следует отнести практическое достижение физических пределов в пространственном, временном и концентрационном разрешении ряда новых методов в химических исследованиях. Так, создание сканирующей туннельной микроскопии с пространственным разрешением на уровне 0,1 нм обеспечивает наблюдение отдельных атомов и молекул. Разработка лазерной фемтосекундной спектроскопии с временным разрешением на уровне 1—10 фс открывает возможности исследования элементарных актов химических процессов во временных интервалах, соответствующих одному периоду колебаний атомов в молекуле. Наконец, открытие туннельной колебательной спектроскопии позволяет теперь следить за поведением и превращениями отдельной молекулы на поверхности твердых тел. Не менее важно, пожалуй, также и то, что практически отсутствовал разрыв во времени между созданием этих методов и их непосредственным применением для решения химических задач. Данный факт вряд ли удивителен, поскольку все эти и многие другие наиболее

важные результаты последних лет были получены коллективами междисциплинарного характера, объединяющими физиков, химиков, инженеров и других специалистов.

Прорыв на новый уровень разрешения и чувствительности был мощно поддержан исключительно быстрым совершенствованием тех физических методов, которые давно составляют основу арсенала химика-исследователя. За последние 10 лет разрешающая способность и чувствительность всех спектральных методов улучшились на порядок и более, а производительность научных приборов возросла на два и более порядков. В ведущих исследовательских лабораториях основу приборного парка сейчас составляют инструменты 5-го поколения — сложнейшие измерительно-вычислительные комплексы, которые обеспечивают полную автоматизацию проведения измерений и обработки результатов, а также дают возможность *on line* применять базы и банки научных данных при их интерпретации. Химик-исследователь с помощью комплекса таких приборов получает в единицу времени примерно в 2000 раз больше информации, чем 50 лет назад. Вот лишь некоторые примеры.

Рентгеноструктурный анализ (РСА) монокристаллов еще 10 лет назад был одним из самых трудоемких и длительных экспериментов. Определение молекулярной и кристаллической структуры нового вещества требовало нескольких месяцев работы, а иногда затягивалось на годы. Новейшие автоматические рентгеновские дифрактометры позволяют сегодня при изучении соединений не слишком большой молекулярной массы получать весь необходимый массив рефлексов за несколько часов и не предъявляют при этом слишком высоких требований к размерам и качеству кристалла. Полная обработка экспериментальных данных с помощью современных программ на персональном компьютере занимает еще несколько часов. Таким образом, казавшаяся ранее несбыточной мечта «один день — одна полная структура» стала повседневной реальностью. За последние 20 лет с помощью РСА было исследовано, по всей видимости, больше молекулярных структур, чем за весь предшествующий период его применения. В некоторых областях химической науки использование РСА в режиме рутинного метода привело к прорыву на новый уровень знания. Так, например, полученные данные о детальном строении глобулярных белков, в том числе наиболее распространенных ферментов, а также других типов биологически активных молекул имели принципиально важное значение для развития молекулярной биологии, биохимии, биофизики и смежных дисциплин. Проведение экспериментов при низких температурах открыло возможности построения прецизионных карт разностной электронной плотности в сложных молекулах, пригодных для прямого сопоставления с результатами теоретических расчетов.

Повышение чувствительности масс-спектрометров уже обеспечивает надежный анализ фемтограммовых количеств вещества. Новые методы ионизации и времяпролетные масс-спектрометры с достаточно высоким разрешением (системы MALDI-TOF) в сочетании с двумерным электрофорезом позволяют сейчас проводить идентификацию и исследование строения биомолекул очень большой молекулярной массы, например клеточных белков. Это привело к возникновению новой бурно развивающейся области на стыке химии и биологии — протеомики [3]. Современные возможности масс-спектрометрии высокого разрешения в элементном анализе отлично описаны Г.И. Рамендиком [4].

Новый шаг вперед сделала спектроскопия ЯМР. Методы вращения образца под магическим углом с кросс-поляризацией позволяют получать спектры высокого разрешения для твердых тел. Применение сложных последовательностей радиочастотных импульсов в сочетании с импульсными градиентами поляризующего поля, а также инверсное детектирование спектров ядер тяжелых и редких элементов обеспечивают возможность прямого определения трехмерной структуры и динамики в растворе белков с молекулярной массой до 50 кД.

Увеличение чувствительности методов анализа, разделения и исследования веществ имело еще одно важное последствие. Во всех областях химии произошла или происходит миниатюризация химического эксперимента, в том числе переход в химическом лабораторном синтезе с полумикро-на микромасштаб. Это существенно снижает затраты реактивов и растворителей, значительно ускоряет проведение всего цикла исследований. Успехи в разработке новых эффективных общих методов синтеза, обеспечивающих проведение типовых химических реакций с высокими выходами, близкими к количественным, привели к возникновению комбинаторной химии. Целью синтеза в комбинаторной химии является получение не одного, а одновременно сотен, иногда и тысяч веществ близкого строения — синтез «комбинаторной библиотеки». Такой синтез осуществляют в отдельных микрореакторах для каждого продукта, помещенных в большой реактор, а иногда и в одном общем реакторе. Столь кардинальное изменение задач синтеза стимулировало разработку совершенно новой стратегии планирования и осуществления экспериментов, а также, что особенно важно в свете обсуждаемых нами проблем, привело к полному обновлению техники и аппаратуры проведения синтеза, реально поставив на повестку дня вопрос о широком внедрении в практику химических роботов.

Наконец, последнее по порядку перечисления в этом разделе, но далеко не последнее по значимости, изменение методического арсенала химических исследований состоит в новой роли, которую играют сегодня в химии методы теоретических расчетов и компьютерного моделирования структуры и свойств веществ, а также химических про-

цессов. Например, еще совсем недавно химик-теоретик видел свою главную задачу в систематизации известных экспериментальных фактов и в построении на основе их анализа теоретических концепций качественного характера. Беспрецедентно быстрый рост возможностей вычислительной техники привел к тому, что методы квантовой химии высокого уровня, обеспечивающие получение надежной количественной информации, стали реальным инструментом исследования сложных молекулярных и надмолекулярных структур, включающих сотни атомов, в том числе атомов тяжелых элементов. В связи с этим неэмпирические расчеты ЛКАО МО ССП с корреляционными и релактивистскими поправками, а также квантовохимические расчеты с использованием метода функционала плотности в нелокальных приближениях в расширенных и расщепленных базисах теперь можно применять на начальных этапах исследования, предваряя ими выполнение синтетического эксперимента, который становится значительно более целенаправленным. С проведением таких расчетов легко справляются студенты и аспиранты.

По мере все большего внедрения вычислительной техники в химию происходят и весьма характерные изменения в составах лучших научных коллективов, ведущих экспериментальные исследования. В них все чаще органично включаются химики-теоретики. В научных публикациях высокого уровня сплошь и рядом описание новых химических объектов или явлений приводится вместе с их обстоятельным теоретическим анализом. О замечательных возможностях компьютерного моделирования кинетики сложных многомаршрутных каталитических процессов и удивительных успехах, достигнутых в этой области, прекрасно рассказано в статье О.Н. Темкина [5].

Даже очень краткий и далеко неполный перечень основных изменений в методическом арсенале химии на рубеже веков позволяет сделать ряд важных заключений:

— эти изменения носят кардинальный, принципиальный характер;

— темпы освоения новых методов и методик в химии в последние десятилетия были и остаются очень высокими;

— новый методический арсенал создал возможности ставить и успешно решать химические задачи невиданной ранее сложности в исключительно короткие сроки.

Уместно, на мой взгляд, утверждать, что в рассматриваемый период *химические исследования превратились в область широкомасштабного применения целого комплекса новых и новейших высоких технологий, связанных с использованием сложнейшей аппаратуры*. Очевидно, что освоение этих технологий становится одной из важнейших задач в подготовке нового поколения химиков.

## **Информационное обеспечение химической науки и новые информационно-коммуникационные технологии**

Время удвоения объема научной химической информации, по последним оценкам И.В. Мелихова [6], сейчас составляет 11—12 лет. Стремительно растет число научных журналов, монографий и обзоров. Исследования по каждому из актуальных направлений одновременно проводятся в десятках научных коллективов разных стран. Свободный доступ к источникам научной информации, который всегда был необходимым условием продуктивной исследовательской работы, а также возможность быстрого обмена текущей информацией с коллегами в новых условиях достаточно полной интернационализации науки превратились в лимитирующие факторы, определяющие не только успех, но и целесообразность осуществления любого научного проекта. Вне постоянной оперативной связи с ядром научного сообщества исследователь теперь быстро превращается в маргинала даже в том случае, если он получает результаты высокого качества. Эта ситуация особенно характерна для той значительной части российских химиков, которые не имеют доступа к Интернет и редко публикуются в международных химических журналах. Их результаты становятся известными членам международного сообщества с задержкой в несколько месяцев, а иногда и вовсе не привлекают внимания, будучи опубликованы в малодоступных и малоавторитетных изданиях, к числу которых, к сожалению, все еще относится большинство российских химических журналов. Запоздавшая, пусть и ценная информация почти не оказывает влияния на ход мирового исследовательского процесса, а стало быть, теряется основной смысл всей научной работы. В условиях бедности наших библиотек Интернет стал главным источником научной информации, а электронная почта — главным каналом связи. Мы должны быть весьма благодарны Джорджу Соросу, который первым выделил средства для подключения к Интернет наших вузов и научных институтов. К сожалению, далеко не все научные коллективы имеют доступ к электронным каналам связи, и пройдет, по всей видимости, не менее десятка лет, пока Интернет станет общедоступным.

Сегодня наше российское научное химическое сообщество распалось на две неравные части. Значительная, вероятно, большая часть исследователей испытывает острейший информационный голод, не имея свободного доступа к источникам информации. Это остро чувствуют, например, эксперты РФФИ, которым приходится рецензировать инициативные научные проекты. В конкурсе химических проектов 2000 года, например, по отзывам некоторых авторитетных экспертов, участвовавших в их оценке, до трети авторов проектов не располагали самой последней информацией по разрабатываемой ими теме. В связи с этим пред-

ложенные ими программы работ были не оптимальны. Запаздывание с обработкой научной информации для них, по ориентировочным оценкам, могло составлять от полутора до двух лет. Более того, попадались и проекты, направленные на решение проблем, которые либо уже были решены, либо в свете результатов, полученных в смежных областях, потеряли свою актуальность. Их авторы, вероятно, не имели доступа к современной информации не менее 4—5 лет.

Вторая часть ученых-химиков (к которой отношу себя и я) испытывает трудности другого рода. Это состояние постоянной информационной перегрузки. Огромные объемы информации просто захлебываются. Вот самый свежий пример из личной практики.

При подготовке ключевой публикации из новой серии научных работ я решил самым тщательным образом собрать и проанализировать всю относящуюся к теме литературу. Машинный поиск по трем базам данных по ключевым словам за период последних пяти лет выявил 677 источников общим объемом 5489 страниц. Введение дополнительных более строгих критериев отбора позволило сократить число источников до 235. При работе с рефератами этих научных статей было отсеяно еще 47 не очень значимых публикаций. Из оставшихся 188 работ ранее мне были известны и мною уже были изучены 143. Из 45 новых источников доступными для непосредственного просмотра оказались 34. В первой же из новых работ я нашел ряд ссылок на работы ее авторов более раннего периода, в которых изучаемая мною проблема рассматривалась с других позиций. Движение по научным ссылкам к истокам выявило в конечном счете еще 55 источников. Беглый просмотр двух обзоров, входивших в их число, заставил внести в список для изучения еще 27 работ из смежных областей. Из них 17 уже присутствовали в первоначальном списке из 677 источников. Таким образом, после трехмесячной весьма напряженной работы я имел список из 270 работ, непосредственно относящихся к проблеме. Среди них явно выделялись высоким качеством публикации шести научных групп.

Я написал руководителям этих коллективов о моих основных результатах и попросил прислать ссылки на их последние работы по проблеме. Двое ответили, что они более не занимаются ею и не опубликовали ничего нового. Трое прислали 14 работ, часть из которых была только что завершена и еще не вышла из печати. Один из коллег не ответил на запрос. Двое из коллег в своих письмах упомянули имя молодого японского ученого, который начал исследования в том же направлении всего два года назад, имел по теме только две публикации, но сделал, по их отзывам, блестящий научный доклад на последней международной конференции. Я немедленно написал ему и получил в ответ список из 11 работ, в которых использовался тот же метод исследований, что применял я, но с некоторыми дополнительными модификациями. Он также обратил мое внимание на некоторые неточности, допущенные в тексте моего письма при изложении собственных результатов. Детально изучив лишь 203 работы из 295, имеющих прямое отношение к теме, я, наконец, заканчиваю подготовку публикации. В списке литературы оказывается более 100 наименований, что обычно неприемлемо по

правилам наших журналов. Сбор и обработка информации заняла почти 10 месяцев.

Из этой достаточно типичной истории следует, на мой взгляд, четыре важных вывода:

— *на сбор и анализ информации по профилю исследования современный химик должен тратить до половины и более рабочего времени, что вдвое или втрое больше, чем полвека назад;*

— *быстрая оперативная связь с коллегами, работающими в той же области в разных странах мира, т.е. включение в «незримый научный коллектив», резко повышает эффективность такой работы;*

— *важной задачей в подготовке нового поколения химиков становится овладение современными информационными технологиями;*

— *исключительно важное значение приобретает языковая подготовка молодого поколения специалистов.*

В отношении практики языкового обучения я хочу поделиться также личным опытом. В своей лаборатории некоторые коллоквиумы мы проводим на английском языке даже в том случае, если на них и нет иностранных гостей, которые, кстати, у нас не редкость. В прошлом году студенты моей специализированной группы, узнав, что я читал лекции по учебному материалу за рубежом, попросили меня прочитать часть курса органической химии на английском. Такой эксперимент в целом мне показался интересным и удачным. Около половины студентов не только хорошо усваивали материал, но и активно участвовали в дискуссии, посещаемость занятий повысилась. Однако примерно четверти студентам из состава группы, которые с трудом воспринимали сложный материал даже на русском, эта затея явно пришлась не по душе.

Замечу также, что описанная мною ситуация позволяет в реальном свете понять происхождение известного тезиса о непорядочности и коварстве наших некоторых зарубежных коллег, которые недостаточно активно цитируют работы российских химиков, якобы с целью присвоения чужого приоритета. Действительная причина — жесточайшая информационная перегрузка. Ясно, что собрать, прочитать и процитировать все нужные работы невозможно. Опять обращаюсь к личной практике. Я всегда цитирую работы тех, с кем постоянно сотрудничаю, обмениваюсь информацией, обсуждаю результаты до их публикации. Иногда, когда мои работы пропускались, мне приходилось посылать коллегам вежливые письма с просьбой исправить оплошность. И она всегда исправлялась, хотя и без особого удовольствия. В свою очередь и мне однажды пришлось принести извинения за невнимательность.

## **Новые цели и новая структура химических научных исследований**

О новых целях и новых тенденциях в развитии химии на рубеже веков блестяще написал А.Л. Бучаченко в своем обзоре [7], я ограничусь лишь коротким комментарием. Отмеченная им доминирующая в последние два десятилетия тенденция к интеграции отдельных химических дисциплин свидетельствует о достижении химической наукой «золотой зрелости», когда имеющихся средств и ресурсов достаточно для решения традиционных задач в каждой из областей. Яркий пример представляет современная органическая химия. Сегодня синтез органической молекулы любой сложности может быть осуществлен с помощью уже разработанных методов. Поэтому даже очень сложные синтетические задачи можно рассматривать как задачи чисто технические. Сказанное, конечно, не означает, что разработка новых методов органического синтеза должна быть прекращена. Работы такого типа будут актуальны всегда, но на новом этапе они составляют не главное, а фоновое направление развития дисциплины.

В [7] выделены следующие генеральные направления современной химической науки:

- химический синтез,
- химическая структура и функция,
- управление химическими процессами,
- химическое материаловедение,
- химическая технология,
- химическая аналитика и диагностика,
- химия жизни.

В реальной научной деятельности в каждом научном проекте, как правило, ставятся и решаются частные задачи, относящиеся сразу к нескольким генеральным направлениям. А это, в свою очередь, требует разносторонней подготовки от каждого члена научного коллектива.

Важно также отметить, что во всех перечисленных выше направлениях химии отчетливо прослеживается переход к все более сложным объектам исследования. В центре внимания все чаще оказываются супрамолекулярные системы и структуры. *Новый этап развития химической науки, который начался на рубеже веков, можно в связи с этим назвать «этапом супрамолекулярной химии».*

### **Особенности российской химической науки сегодня**

Десять лет так называемой перестройки нанесли страшный удар по российской науке в целом и по российской химии в частности. Об этом написано много, и не стоит здесь повторяться. К сожалению, приходится констатировать, что среди научных коллективов, доказавших свою жизнеспособ-

ность в новых условиях, практически нет бывших отраслевых химических институтов. Огромный потенциал этой отрасли фактически уничтожен, а материальные и интеллектуальные ценности разграблены. Нищенское финансирование академической и вузовской химии, в течение всего этого периода ограничивавшееся зарплатой на уровне или ниже прожиточного минимума, привело к значительному сокращению численности научных работников и преподавательского состава. Из вузов и институтов ушла большая часть энергичной и талантливой молодежи. Средний возраст преподавателей подавляющего числа вузов перешагнул критическую отметку — 60 лет. Налицо разрыв поколений — среди сотрудников химических институтов и преподавателей очень мало людей в наиболее продуктивном возрасте (30—40 лет). Остались старые профессора и молодые аспиранты, которые часто поступают в аспирантуру лишь с одной целью — освободится от службы в армии.

Большинство научных коллективов можно отнести к одному из двух типов (это деление, разумеется, весьма условно). *П р о д у ц и р у ю щ и е* научные коллективы выполняют крупные самостоятельные исследовательские проекты с получением значительного объема первичной информации. *Э к с п е р т н ы е* научные коллективы, как правило, меньшие по численности, но имеющие также в своем составе высококвалифицированных специалистов, ориентированы на анализ информационных потоков, на обобщение и систематизацию результатов, полученных в других научных коллективах мира. Соответственно их научная продукция — это в основном обзоры и монографии. Ввиду колоссального роста объема научной информации эта работа становится очень важной, если она выполняется с соблюдением тех требований, которые предъявляются к таким вторичным источникам информации, как обзор и монография [8].

В условиях нищенского финансирования, недостатка современного научного оборудования и сокращения численности в российском научном химическом сообществе количество производящих коллективов уменьшилось, а экспертных коллективов несколько возросло. Отчетливо наблюдается снижение доли сложных экспериментальных исследований в работе большинства коллективов обоих типов. Такие изменения в структуре научного сообщества в неблагоприятных условиях вполне закономерны и на определенном этапе обратимы. При улучшении ситуации экспертный коллектив легко может быть пополнен молодежью и станет производящим. Однако, если период неблагоприятных условий затягивается, экспертные коллективы гибнут, поскольку лидерами в них являются ученые старшего возраста, прекращающие научную деятельность по естественным причинам.

Таким образом, налицо удручающее положение современной отечественной химической науки.

*Доля работ российских химиков в общем объеме исследований и в мировых информационных потоках быстро сокращается. Наша страна не может более считать себя «великой химической державой». За какой-нибудь десяток лет в связи с уходом лидеров и отсутствием эквивалентной смены мы уже потеряли значительное число научных школ, составлявших гордость не только нашей, но и мировой науки. По всей видимости, в ближайшем будущем мы будем продолжать их терять. На мой взгляд, российская химическая наука сегодня достигла критического рубежа, за которым распад сообщества становится лавинообразным и более неконтролируемым процессом.*

Такая опасная ситуация достаточно ясно осознается международным научным сообществом, которое стремится оказывать нашей науке посильную помощь по разным каналам. У меня складывается впечатление, что лица, власть предрежащие, в полной мере еще не осознали реальность такого обвала. Ведь нельзя же, в самом деле, серьезно рассчитывать на то, что его можно предотвратить путем реализации программы поддержки научных школ через РФФИ и программы «Интеграция». Не осознается тот факт, что выделяемые на эти программы средства значительно ниже (по грубым оценкам, на порядок) того минимального предела, после достижения которого эффект воздействия становится отличным от нуля.

В ответ на высказывание в таком тоне в беседе с лицом, близким к обозначенным выше властным структурам, я услышал: «Не кипятись зря, читай «Поиск». Слава Богу, худшие времена позади. Конечно, общий фон пока довольно безрадостный, но существуют же вполне благополучные научные коллективы и целые институты, которые приспособились к новым условиям и демонстрируют заметный рост продуктивности. Так что не нужно впадать в истерику и хоронить нашу науку».

В самом деле, такие коллективы существуют. Для их оценки я проделал такую работу: составил список из десяти таких лабораторий, работающих близко по тематике к области моих научных интересов, обратился к Интернет и базе данных Chemical Abstracts — и вот сразу бросившиеся в глаза общие свойственные этим лабораториям особенности:

1) все десять коллективов имеют прямой доступ в Интернет, пять из десяти имеют в нем хорошо оформленные собственные страницы с достаточно полной и обновляемой информацией о работе;

2) все десять лабораторий активно сотрудничают с зарубежными коллективами. Шесть имеют гранты международных организаций, три выполняют исследования по контрактам с крупными зарубежными фирмами;

3) более половины членов научных коллективов, информация о которых была найдена, не менее одного раза в год выезжала за рубеж для уча-

ствия в международных конференциях или для научной работы;

4) работа девяти из десяти лабораторий поддерживается грантами РФФИ (в среднем по два гранта на лабораторию);

5) шесть из десяти лабораторий представляют институты РАН, но три из них активно участвуют в кооперации с Высшим химическим колледжем РАН, поэтому в составе их коллективов достаточно много студентов. Из четырех вузовских коллективов три возглавляют члены РАН;

6) от 15 до 35% научных публикаций руководителей лабораторий за последние пять лет опубликовано в международных журналах. Пятеро из них за этот период опубликовали совместные работы, а семеро представляли совместные доклады на научных конференциях с зарубежными коллегами;

7) в заключение самое главное — руководят всеми этими лабораториями совершенно замечательные личности, высококультурные, разносторонне образованные, увлеченные своей работой.

Квалифицированный читатель сразу заметит, что делать какие-либо выводы общего характера на основании столь малой и непредставительной выборки научных коллективов не имеет смысла. Я не располагаю полными данными о других успешно работающих научных коллективах химиков страны, а было бы интересно их собрать и проанализировать. Но по опыту работы своей лаборатории, в целом не самой слабой, могу ответственно заявить, что без участия в международном сотрудничестве, без постоянной помощи со стороны зарубежных коллег, от которых за последний год только одних химических реактивов и книг мы получили почти на 4000 долларов, без постоянных командировок сотрудников, аспирантов и студентов за рубеж мы не смогли бы работать вовсе. Заключение напрашивается само собой.

*Сегодня в области фундаментальных исследований в нашей химической науке продуктивно работают в основном коллективы, которые включены в международное научное сообщество, получают поддержку из-за рубежа, обладают свободным доступом к источникам научной информации.* Интеграция уцелевшей в перестройке российской химии в мировую химическую науку завершается. А раз так, то наши критерии качества научной продукции должны соответствовать самым высоким международным стандартам. Почти лишенные возможности приобретать современную научную аппаратуру, мы должны ориентироваться на использование центров коллективного пользования с их весьма ограниченными возможностями и/или на выполнение наиболее сложных и тонких экспериментов за рубежом.

### **О проблеме подготовки нашей научной смены**

О подготовке научных кадров хорошо сказано в статье деканов химических факультетов двух бес-

спорно лучших университетов страны [9], поэтому можно не вдаваться во многие детали.

Так кто же они, молодые люди, сидящие на студенческой скамье перед нами? К счастью, в человеческой популяции существует небольшая часть индивидов, которым судьба стать учеными предопределена генетически. Нужно только найти их и привлечь к занятиям химией. В нашей стране существуют давние и славные традиции выявления талантливых ребят посредством химических олимпиад, создания специализированных классов и школ. Еще активно работают замечательные энтузиасты занятий с одаренными школьниками. Ведущие химические вузы, принимающие самое активное участие в этой работе, вопреки козням Министерства образования, собирают поистине золотой урожай. До трети студентов Химического факультета МГУ в последние годы уже на 1-ом курсе определяют область своих интересов, и почти половина начинает научную работу к началу 3-го курса.

Начиная учебу в университете, молодой человек часто еще не знает, в какой области ему придется работать после завершения образования. Большинство исследователей и инженеров приходится неоднократно менять сферу деятельности за время профессиональной карьеры. Поэтому будущий специалист на студенческой скамье должен приобрести твердые навыки самостоятельно овладевать новыми областями науки. Самостоятельная и индивидуальная работа студента составляет основу современного образования. Главное условие эффективности такой работы — доступность хороших современных учебников и учебных пособий. «Время жизни» современного учебника, по всей видимости, должно примерно равняться времени удвоения объема научной информации, т.е. должно составлять 11—12 лет. Одна из главных бед нашего образования состоит в том, что у нас не только нет новых вузовских учебников по базовым химическим дисциплинам, но катастрофически не хватает даже старых. *Необходима эффективная программа написания и напечатания учебников по химическим дисциплинам для вузов.*

Одаренным и хорошо ориентированным студентам, как заметил еще Р. Фейнман в своих знаменитых лекциях, по существу стандартное образование не нужно. Им необходима среда общения соответствующего уровня, в которой они сами найдут своих наставников и получат необходимые знания. Что же должна представлять собою такая среда? Это некоторая «критическая масса» коллективного интеллекта, создаваемого сообществом ученых и преподавателей, а также соответствующая ей творческая атмосфера постоянного научного поиска на переднем фронте науки. Современная молодежь исключительно остро чувствует эту атмосферу. Увы! Немногие наши химические вузы и химические институты соответствуют этому требованию. И в этом не вина их, а большая

беда. По разным причинам, часть которых упоминалась выше, «настоящих ученых» и «блестящих профессоров», всегда любимых студентами, осталось мало, и число их сокращается. Выход, вероятно, может быть найден в усилении интеграции как между академическими институтами и вузами, так и вузов друг с другом. Возможной формой такой интеграции могло бы стать создание профильных региональных межвузовских учебно-научных центров.

Требования к содержанию химического образования достаточно полно изложены в [9]. Автор настоящей статьи в свое время также много говорил и писал об этом [10—12]. Исключительно высокие темпы развития химической науки требуют непрерывной подстройки структуры учебных планов и программ учебных дисциплин к изменяющейся ситуации и в самой науке, и на рынке труда. Рискуя выступить «контрамотом-пессимистом», заявляю, что такой подстройки в должной мере в наших вузах не происходит. Причин тому несколько. Каждая модификация учебного плана и программ требует немалых средств и свежих сил. Средств нет, а потому и свежие силы привлечь не удастся. Вторая причина — психологическая консервативность в целом пожилого преподавательского корпуса. Приведу характерный пример.

Давно обсуждается во многих химических вузах необходимость переноса преподавания аналитической химии со второго на более поздние курсы в учебном плане. Эта наука, как показано выше, имеет мало общего с аналитической химией 1960-х годов. Она стала интегральной дисциплиной, полное овладение которой требует не только хорошего знания физики, математики, физической и органической химии, но также и определенной зрелости суждений. В МГУ заведует кафедрой аналитической химии великолепный педагог академик Ю.А. Золотов, ученый с мировым именем. Его мнение по этому поводу звучало в одной из бесед так: «Да, пожалуй, такая перестановка была бы для пользы дела целесообразна. Но вряд ли она практически выполнима. Ведь переделывать программы придется всем, а не только аналитикам. Кто это будет делать в существующих условиях? Где взять на это средства? К тому же я совершенно не уверен, что и мои сотрудники поддержат меня в таком деле». В учебных планах всех наших вузов по-прежнему преобладают обязательные курсы, очень мало курсов по выбору, велика перегрузка обязательными аудиторными занятиями.

Химическое образование — это не только получение определенного объема знаний, которыми будущий химик должен владеть активно. Это еще освоение тех высоких технологий современной химической науки, о которых было сказано выше. Здесь дело обстоит совсем плохо. Приборный парк вузов имеет средний возраст, приближающийся к 30 годам, т.е. отстает от мирового уровня на три (!) поколения приборов. С горечью можно констатировать и тот факт, что мы не только не

можем научить наших выпускников работе на современных приборах, но во многих вузах лабораторные работы сведены к позорному минимуму в связи с нехваткой химической посуды и простейших реактивов. Возможно, интеграция в приобретении современного научного оборудования в совместное пользование — путь хотя бы частичного решения проблемы. Здесь также представляется целесообразным создавать учебно-научные межвузовские центры на этой основе. Академия тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова и Химический факультет МГУ по инициативе академика В.В. Лунина и академика РАЕН В.С. Тимофеева уже начали работу в этом направлении. Опыт активного сотрудничества в течение двух лет, в котором принимает участие и лаборатория автора статьи, внушает определенный оптимизм.

### Несколько слов в заключение

Перечитав написанное, начинаю сомневаться, а не ушли ли к концу обсуждения из-за нашего стола все «контрамоты-оптимисты». Поэтому вновь предоставляю слово моему маститому другу-профессору, с которым не хочу поссориться, поскольку действительно очень дорожу его дружбой. Вот что было сказано им в заключение нашей не совсем мирной беседы о судьбах химической науки и образования: «Все сказанное тобой справедливо, а кое в чем даже банально. Таков нормальный ход событий. Беда в том, что общее положение в стране особого оптимизма не вызывает. Тяжело больна наша страна — тяжело болеет образование, почти при смерти наука. Но тут уж нужно держать марку. Что-то, друг мой, ты раскис. Подумаешь, Атлант нашелся! Не волнуйся, смена тебе будет. Хотя, я надеюсь, и не очень скоро. Ведь свято место пусто не бывает. А ты уж сам позаботься, чтобы оно досталось достойному человеку. Это твой прямой долг перед *Alma Mater*. Подготовка достойной замены — важное и очень длительное дело. А ты вел себя до сих пор как глупый мальчишка. К сожалению, многие ученые зрелого возраста ведут себя так, будто бы они будут жить вечно. Не очень-то продвигают они вперед самых талантливых своих учеников, если начинают ощущать в них будущих соперников. Ты, к глубокому сожалению, прав в том, что хороших химиков и профессоров осталось маловато. Иных уж нет, а те далече..... А потому пора забыть распри и споры, и начать относиться друг другу более терпимо и бережно. Собирать нужно силы здесь в МГУ, привлекая все лучшие силы Академии и других вузов. На самом-то деле самая трудная для нас с тобой задача — свой собственный уровень не потерять. Нужно трезво смотреть правде в глаза — сил-то уже маловато. Пора потихоньку сбрасывать с себя лишние нагрузки, во всякие новые дела не ввязываться. А вот совсем не нравится мне, что ты нынешних студентов ставишь ниже, чем нас в их возрасте. Мы ведь тоже в свое время многим были



недовольны. Но когда нам казалось, что нас плохо учат, создали же мы «Клуб нерешенных проблем», и славно в нем друг друга учили. Нынешние нам сто очков в этом отношении вперед дадут. Лично я теперь считаю, что мой студент или аспирант стал хорошим химиком, если начинаю замечать, что получаю от него новых знаний больше, чем сам ему даю. Так что я буду оставаться на своем месте до тех пор пока не потеряю способность и желание у них учиться. А вот пропадет охота — тогда буду выращивать розы и гулять с внучками». На этой оптимистической ноте позвольте и завершить.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Крылов О.В. Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева), 1999, т. 43, №6, с. 96.
2. Кара-Мурза С.Г. Технология научных исследований. М.: Наука, 1989.
3. Арчаков А.И. Вопросы медицинской химии, 2000, т. 46, с. 335.
4. Рамендик Г.И. Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева), 2000, т. 44, № 4, с. 22.
5. Темкин О.Н. Там же, 2000, т. 44, № 4, с. 58.
6. Мелихов И.В. Там же, 1999, т. 43, № 6, с. 88.
7. Бучаченко А.Л. Успехи химии, 1999, т. 68, с. 99.
8. Бочков А.Ф. Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева), 2000, т. 44, № 2, с. 119.
9. Лунин В.В., Кузьменко Н.Е., Еремин В.В., Корольков Д.В. Там же, 2000, т. 44, № 4, с. 82.
10. Устынюк Ю.А. Химия и жизнь, 1988, № 8, с. 4, № 9, с. 14.
11. Устынюк Ю.А. Вестн. высш. школы, 1988, № 2, с. 11.
12. Устынюк Ю.А. Ж. Всес. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева, 1990, т. 35, № 3, с. 275, см. также другие статьи этого номера журнала.