

Динамика развития химической науки

О. В. Крылов

ОЛЕГ ВАЛЕНТИНОВИЧ КРЫЛОВ — доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории гетерогенных комплексных катализаторов Института химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, действительный член Международной академии творчества, член редколлегий ряда научных журналов. Область научных интересов: гетерогенный катализ, химическая физика поверхности, молекулярная спектроскопия, переработка природного газа.

117977 Москва, ул. Косыгина, д. 4, Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, тел. (095)939-71-68.

Рассмотрена динамика открытий в химии в целом и по отдельным разделам химии. Обнаруженная закономерность подтверждает отмеченное ранее автором на основании анализа Нобелевских премий снижение значимости открытий в химии. Максимум числа открытий в химии приходится на 1930-е гг., после чего идет их снижение. В большинстве отдельных разделов химии число открытий также проходит через максимум, приходящийся на различные периоды XX века.

Еще раз о «конце науки»

В статье «Будет ли конец науки?», опубликованной в 1999 г. [1], мною было показано, что многие науки уже перешли через максимум своего развития, в значительной степени исчерпали свой предмет и что возможность появления новых открытий в таких науках, как физика, химия и даже биология в ближайшее время уменьшается. В географии, описательной ботанике и зоологии максимум пройден уже давно. Иными словами, Америка открыта только один раз и второй Америки не будет. Эти выводы были подтверждены уменьшением научной значимости Нобелевских премий в конце XX в., появлением теорий, которые не могут быть подтверждены экспериментом в ближайшее столетие, увеличением трудностей и средств, необходимых для достижения одного результата.

После опубликования статьи [1] состоялись многочисленные дискуссии на тему о конце науки. Основные возражения носили эмоциональный характер типа: «Этого не может быть, потому что не может быть никогда!». Никому не хочется верить, что такая увлекательная сфера деятельности, отождествляемая с прогрессом, как наука, может когда-нибудь кончиться.

В качестве доводов против «конца науки» приводились различные прогнозы из прошлых времен, когда также были высказывания о завершенности науки, опровергнутые ее дальнейшим развитием. Например, говорили о завершенности физики после открытий Дж. Максвелла в XIX в., объединившего электричество, магнетизм и свет едиными уравнениями. Считали, что после этих открытий в физике делать нечего, однако в XX в. появились теория относительности, физика атомного ядра, квантовая механика и другие замечательные разделы новой физики. Все это правильно, однако эти достижения физики относятся к первой половине XX в. Во второй же половине XX в. Нобелевские премии присуждались за значительно менее значимые вещи. Как уже было сказано [1], критерием правильности теории является возможность ее экспериментальной проверки,

а новые теории во многих случаях не могут быть экспериментально проверены, в том числе и из-за финансовых трудностей. В основном прекратилось финансирование строительства сверхгигантских ускорителей или работ по связи с внеземными цивилизациями. Дело не в том, что физика или химия уже кончилась, а в том, что вероятность новых открытий становится все меньше и меньше.

Интересно отметить, что оппоненты признавали возможность исчерпания отдельных разделов науки. Например, термодинамика считалась законченным разделом науки, но не физика или химия в целом. Но если один из разделов науки уже завершен, почему это не может случиться с совокупностью таких разделов?

О Нобелевских премиях

Оппоненты также высказывали мнение, что Нобелевские премии не являются критерием развития науки. Это возражение принять нельзя. Конечно, в присуждении Нобелевских премий бывают ошибки, бывают политические или национальные пристрастия. Однако широкий анализ Нобелевских премий, проведенный в последнее время во многих странах, в том числе в России, в связи со 100-летием их первого присуждения, показал, что они присуждались за наивысшие достижения в химии, физике, физиологии и медицине, экономике. Чтобы присудить премию, Нобелевский комитет опрашивает всех ведущих ученых в данной области. Факт снижения значимости работ, награжденных Нобелевской премией в конце XX в., указывает не на ошибки Нобелевского комитета, а на действительное снижение числа значимых открытий.

Анализ Нобелевских премий, проведенный ранее [1], можно продолжить. В 1998 г. Нобелевская премия по химии была присуждена Дж. Поплу и У. Кону за разработку компьютерных вычислительных методов квантовой химии. Первыми в этой области они не были. До них Нобелевские премии за расчетные методы в квантовой химии получили Р. Малликен, Р. Хофман и К. Фукуи. Заслугой новых лауреатов явилось упрощение математических моделей, позволившее рассчитывать структуру достаточно сложных молекул [2]. Эти результаты можно назвать достижением, но не открытием и не новым направлением в науке. Начало было положено не ими.

В 1999 г. Нобелевскую премию по химии получил А. Зевейл за изучение переходных состояний в химических реакциях с помощью фемтосекундной спектроскопии. В этом случае претензий к Нобелевскому комитету предъявить нельзя: Нобелевская премия присуждена за

выдающуюся работу. А. Зевейл начал новое направление в химической кинетике и спектроскопии, применив ультракороткие лазерные импульсы для изучения переходных состояний в химических реакциях [3]. Таким образом, за 15 лет всего две премии — за фемтосекундную спектроскопию (1999 г.) и за фуллерены (1996 г.) — были присуждены за действительно выдающиеся открытия.

В 2000 г. Нобелевскую премию по химии получили А. Хигер, А. Мак-Диармид и Х. Сиракава за открытие и развитие области электропроводящих полимеров [4]. Это — очень хорошие работы, однако уже в самой формулировке указано, что открыты не электропроводящие полимеры, а «область электропроводящих полимеров». Работы же по полиненасыщенным электропроводящим полимерам проводились и ранее, например, А.А. Берлиным в Институте химической физики АН СССР.

В 2001 г. Нобелевская премия по химии была присуждена Р. Нойори, К. Шарплесу и У. Ноулесу за работы по асимметрическому катализу [5]. И в этом случае указанных ученых нельзя называть основателями данного научного направления. Еще в 1950 г. Е.И. Клабуновский начал применять катализаторы, модифицированные оптически активными (хиральными) добавками, для получения оптически активных продуктов, однако «оптические выходы» были небольшими. С тех пор в работах многих исследователей оптические выходы постепенно росли и, наконец, были синтезированы катализаторы, которые позволили получить оптические выходы, близкие к 100%. Таким образом, упомянутые лауреаты не открыли, а скорее завершили новую область науки.

Нет сомнения в том, что все четыре премии последних лет присуждены за хорошие работы, однако среди различных работ по химии найдутся десятки равнодостоинных работ. Лишь действительно пионерскую работу А. Зевейла можно поставить на одну доску с работами великих Нобелевских лауреатов начала XX в. Таким образом, тенденция снижения значимости Нобелевских премий, отмеченная в [1], продолжается.

Динамика числа открытий и достижений в химии

Число научных статей, публикуемых в мире ежегодно, пока еще продолжает расти, хотя темп роста постоянно уменьшается [6]. В ряде разделов науки число публикуемых работ перешло через максимум. В России в последнее десятилетие происходит снижение числа публикаций. Возникает вопрос, можно ли по числу публикаций судить о развитии науки. На ранних стадиях развития науки число публикаций характеризовало рост науки, сейчас этого сказать нельзя. Если число Нобелевских премий недостаточно для суждения о динамике развития науки, то число статей явно избыточно для подобного суждения, поскольку в огромной массе выходящих статей лишь немногие существенны для развития науки.

О динамике развития науки можно судить лишь по наиболее значимым публикациям, которые сообщают об открытиях и достижениях, попадающих затем в учебники и энциклопедии. Такие работы в совокупности составляют содержание данной науки.

Автор просмотрел последнее издание «Химической энциклопедии» (1988—1998 гг.) [7]. Это издание отличается фундаментальностью, статьи написаны ведущими

специалистами. Для данного рассмотрения особенно важно, что в большинстве случаев (хотя и не во всех) указаны даты главнейших научных открытий и достижений в химии и в смежных областях физики и биологии.

На рис. 1 представлен график открытий и достижений в химии после 1750 г., где по оси ординат отложено среднее ежегодное число открытий (достижений) за десятилетие, соответствующее году на оси абсцисс. Учитывались все сообщения о дате того или иного открытия или достижения, указанного в «Химической энциклопедии». В тех случаях, когда была указана фамилия автора открытия, но не указана дата открытия, автор устанавливал ее по доступным ему источникам. Если было указано несколько дат, учитывались все. Например, реакция Арндта—Айстерта была открыта Ф. Арндтом в 1927 г. и Б. Айстертом в 1935 г.; для учета взяты обе даты. Закон сохранения энергии был открыт Ю.Р. Майером в 1841 г., Дж. Джоулем в 1843 г. и Г. Гельмгольцем в 1849 г.; были учтены все три даты. В список включены также даты открытий, удостоенных Нобелевской премии по химии.

Конечно, разные авторы статей в «Химической энциклопедии» придерживались разных принципов указания наиболее достойных работ. В одних случаях число таких работ было чрезмерно велико, в других — недостаточно. Однако при большом массиве данных (1323) подобные различия нивелируются. Действительно, несмотря на некоторый разброс данных, общая картина выглядит закономерной. Число открытий в химии непрерывно росло вплоть до максимума в 1930-х гг., а затем быстро снижалось.

Отдельные отклонения от суммарной кривой до XX в. легко объясняются сравнительно малым общим числом открытий. В 1770-х гг. точки лежат выше кривой благодаря блистательным открытиям новых элементов К. Шееле; в начале XIX в. были не менее блистательные открытия Г. Дэви. В 1830-х гг. Й. Берцелиус ввел ряд основополагающих понятий химии: катализ, полимеры, изомерия и др. Ускоренный рост числа открытий в 1870-х гг. связан с тремя великими открытиями, состоявшимися почти одновременно: химической термодинамики (Г. Гельмгольц, Дж. Гиббс), периодической системы элементов (Д.И. Менделеев) и структурной теории в органической химии (А. Кекуле, А.М. Бутлеров).

В XX в. число открытий быстро росло во всех областях химии. Два резких спада в 1910-х и 1940-х гг. связаны с уменьшением числа публикаций во время первой и

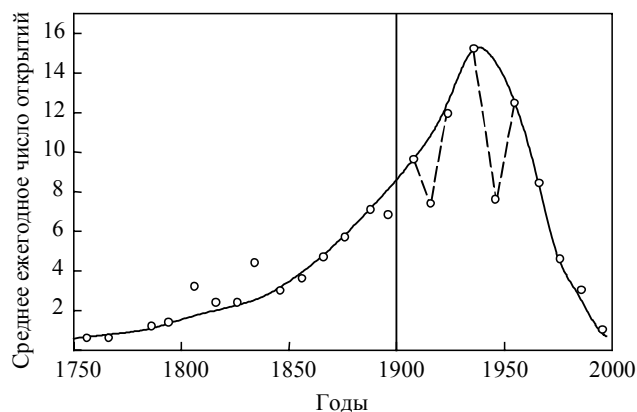


Рис. 1. Динамика изменения числа открытий в химии

второй мировых войн. Максимум приходится на 1930-е гг. За десятилетие с 1931 по 1940 г. сделано 159 открытий. После 1930-х гг. произошел резкий спад числа открытий.

Уменьшение числа открытий, отмеченных в «Химической энциклопедии», во второй половине XX в. отчасти связано с замедленностью восприятия, с необходимостью некоторого периода признания важности открытия, однако вряд ли такое отставание может быть больше двух—трех десятилетий. Скорее наблюдается обратное явление: преувеличенное внимание к последним работам. Как уже упоминалось [1], открытие графита К. Шееле в 1770-х гг. почти забыто. Оно не упомянуто и в «Химической энциклопедии». Меньшее по значению открытие другой формы углерода — фуллеренов справедливо отмечено Нобелевской премией 1996 г. Заметим, что эта премия выглядит значительнее премий соседних лет.

Можно было бы сопоставить данные этого издания «Химической энциклопедии» [7] с предыдущим ее изданием: проверить, насколько изменилось восприятие. Однако в разные годы к авторам предъявлялись разные требования. При сопоставлении дат, приведенных в последнем томе «Химической энциклопедии», изданном в 1998 г., с данными из первого тома, изданного на 10 лет раньше, в 1988 г., оказалось, что при равном числе страниц в первом случае в томе приведено 259 дат, а во втором — 240. Это различие свидетельствует скорее об уменьшении числа ранее признанных открытий со временем. Распределение по годам практически не изменяется.

Распределение открытий по годам для разных разделов химии отличается от суммарного распределения. Сам этот факт свидетельствует о том, что наблюдаемые изменения присущи истинной динамике развития, а не связаны с субъективными особенностями восприятия.

На рис. 2 приведено изменение числа открытий по годам для различных разделов химической науки. Неорганическая химия равномерно развивалась в течение двух с половиной столетий. В XVIII—XIX вв. равномерно открывались химические элементы, в XX в. равномерно открывались новые классы химических соединений. Небольшие пики в 1770-х, 1800-х и 1890-х гг. относятся к открытию ряда элементов (W, Ba, Mn, Mo, O₂ (К. Шееле), щелочных и щелочноземельных элементов (Г. Дэви), радиоактивных элементов и инертных газов (П. и М. Кюри, У. Рамзай).

Органическая химия развивалась по-другому. Рост ее начался в 1820-х гг. и достиг максимума около 1900 г., т.е. намного раньше, чем химии в целом. К началу XX в. были открыты важнейшие органические реакции и создано основное здание науки. В последней трети XX в. уже не присуждали Нобелевских премий по органическому синтезу. Техника органического синтеза постоянно совершенствовалась, синтезировали все новые вещества, но больших качественных сдвигов не было.

В области биохимии, химии физиологически активных соединений и смежных областях молекулярной биологии максимум открытий приходится на значительно более поздний период: на 1950-е гг. За 30 лет ежегодное число открытий здесь выросло почти в четыре раза. Именно в 1950-е гг. было сделано величайшее открытие века: двойная спираль ДНК (Дж. Уотсон и Ф.

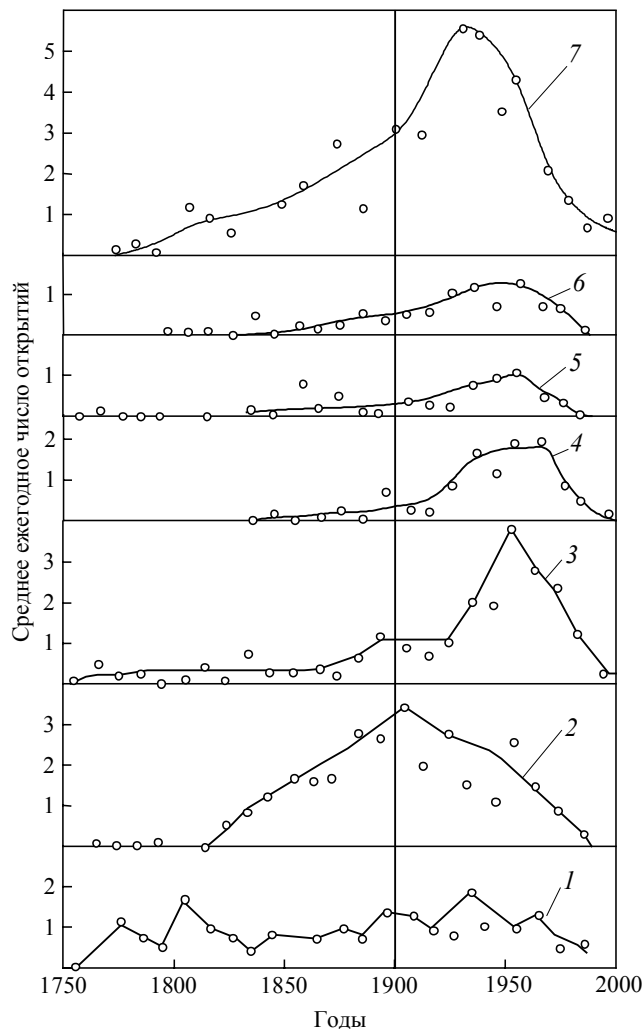


Рис. 2. Динамика изменения среднего ежегодного числа открытий в различных разделах химии:

1 — неорганическая химия; 2 — органическая химия; 3 — биохимия, химия физиологически активных соединений, смежные проблемы молекулярной биологии; 4 — химия высокомолекулярных соединений; 5 — аналитическая химия; 6 — катализ; 7 — физическая химия, химическая физика и смежные проблемы физики

Крик, 1953 г.). После этого развитие науки происходило скорее количественным образом.

В химии полимеров (см. рис. 2) максимум приходится на еще более поздний период — на 1960-е гг. Создание катализаторов стереорегулярной полимеризации (К. Циглер и Дж. Натта, 1954 г.) стимулировало подъем исследований в области полимеров и новые открытия.

В аналитической химии и катализе число открытий меньше; максимумы развития находятся около 1950-х гг.

В области физической химии, химической физики и смежных вопросов физики большой максимум наблюдается в конце XIX в., связанный с созданием химической термодинамики и кинетики. Главный максимум приходится на 1920-е гг.; он связан с работами по строению атома, атомного ядра и созданием квантовой механики. Точки, расположенные ниже кривой, как и в предыдущих случаях, объясняются первой и второй мировыми войнами.

К сожалению, не удалось построить аналогичную кривую для химической технологии, потому что в боль-

шинстве соответствующих статей даты не были указаны. В этой области число новых технологических процессов, создаваемых ежегодно, очень велико, однако новых процессов такого масштаба, как синтез аммиака, серной и азотной кислот, каталитического крекинга и риформинга, в последние десятилетия не было.

Таким образом почти во всех разделах химии (за возможным исключением неорганической химии) развитие науки шло по одинаковому закону: рост, переход через максимум и далее спад. Максимум соответствует периоду, когда в основном завершается создание основ данной науки. Для разных отраслей химии этот максимум различен во времени, соответственно сменялся интерес к разным разделам химии, но кривой с двумя большими максимумами в химии в целом пока не наблюдалось. Подобно тому, как в географии после открытия Америки были открыты лишь два континента — Австралия в XVII в. и Антарктида в XIX в., а дальнейшие открытия такого масштаба невозможны, в химии и в ряде других наук основное древо науки построено.

О прогнозах на будущее

Означает ли проведенный анализ, что развитие химической науки в основном закончено и что в будущем невозможно появление новых открытий? Автор считает, что вероятность фундаментальных открытий, изменяющих направление развития науки, возможна, но невелика. В связи с началом нового века и тысячелетия статей по прогнозам развития различных наук в печати появилось довольно много, в частности в «Российском химическом журнале». В их числе и статьи автора о прогнозах в области катализа [8, 9]. Однако большинство прогнозов относится к прикладной науке, в которой пока происходит рост. Прогнозы в фундаментальной науке как правило не оправдываются [1].

В классических областях органической, неорганической и аналитической химии большие открытия мало вероятны. Наиболее вероятны открытия в области физической химии и химической физики благодаря бурному развитию новых физических методов исследования в конце XX в., таких, как туннельная микроскопия и спектроскопия, фемтосекундная спектроскопия и др. Молекулярная биология продолжает развиваться. Поэтому можно ожидать больших открытий в области биохимии и химии физиологически активных соединений. Возникшая в последнее время новая наука — информатика (ведется много споров, считать ли ее наукой или техникой) определенно не достигла максимума развития и ее применение в химии может привести к новым достижениям.

Наиболее важное возражение против рассуждений о «конце науки» [1] заключается в том, что принимая этот тезис, мы проявляем ненужный пессимизм и таким образом не привлекаем молодежь в науку. Однако потеря престижа фундаментальной науки (это относится в первую очередь к физике и химии) среди молодежи является реальным фактом не только в России, но и в западных странах. Лучше признать этот факт и искать пути повышения престижа науки. Снижение престижа науки вызвано не только невысокой зарплатой научных

работников, но и трудностью достижения успеха в науке. На получение такого же результата, как и раньше, теперь приходится затрачивать значительно больше усилий и времени.

Познание мира — сам по себе чрезвычайно увлекательный процесс, и надо пропагандировать среди молодежи этот вид деятельности. Кроме того, сделанные выше выводы относятся в основном к фундаментальной науке. Техника и прикладные науки продолжают быстро развиваться и число новых технологических процессов, механизмов, устройств растет. В особенности большое значение получает наука (прикладная, но, возможно, и фундаментальная) в настоящее время, когда человечество подошло к всеобщему кризису ресурсов и экологическому кризису [1, 10]. Как показывает опыт последних лет, никакие международные соглашения для решения этих глобальных проблем невозможны без учета последних достижений науки. Кроме того, познание фундаментальной науки повышает общий интеллектуальный уровень граждан и нации (и человечества) в целом. Задачей науки XXI в. является синтез различных фундаментальных и прикладных наук и создание целостного представления о мире, позволяющего решить глобальные задачи. Решение этих проблем является достоянием задачи для будущего поколения ученых.

Следует отметить еще один момент, важный как для финансирования науки, так и для привлечения молодежи, желающей заниматься наукой. Вместо «старых» наук могут появиться новые. Так, в случае биологии на кривой могут быть два максимума, если считать систематику животных и растений, анатомию, молекулярную биологию и генетику единой наукой. Развитие описательных наук — ботаники и зоологии закончилось давно, а молекулярная биология появилась в XX в. В последнее время успешно развивается нелинейная динамика, позволяющая предсказывать развитие экономики мира и отдельных государств [11]. Учитывая огромную важность этой науки, можно надеяться, что она в какой-то степени заменит науки, уже построившие свои основы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крылов О.В. Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 1999, т. 43, № 6, с. 96—108.
2. Грибов Л.А. Природа, 1999, № 1, с. 94—96.
3. Еремин В.В. Там же, 2000, № 1, с. 78—83.
4. Кобрянский В.М. Там же, 2001, № 1, с. 7—10.
5. Природа, 2002, № 1.
6. Арутюнов В.С., Стрекова Л.Н. Динамика научной и образовательной системы. М.: Изд-во РХТУ, 2001, 130 с.
7. Химическая энциклопедия. Т. 1—5. М.: Большая Российская энциклопедия, 1988—1998.
8. Кустов Л.М., Крылов О.В. Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2000, т. 44, № 2, с. 3—9.
9. Крылов О.В. Там же, 2000, т. 44, № 4, с. 53—57.
10. Арутюнов В.С., Стрекова Л.Н. Наука как общественное явление. М.: Изд-во РХТУ, 2001, 110 с.
11. Калица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. М.: Эдиториал УРСС, 2001, 284 с.