

НОВОЕ В НАУКЕ И ЕГО ОТРАЖЕНИЕ В СОДЕРЖАНИИ ХИМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Тюльков И.А.

Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

DOI 10.55959/MSU012444-6-2026-22-215-242

Виноделы убеждены в необходимости выдержки вина. Они тщательно отбирают виноград, подвергают его соответствующей переработке, обеспечивают контролируемую ферментацию, выдержку в специальной таре, осветление и фильтрацию, после чего разливают по бутылкам. Нарушение любого из этих этапов чревато утратой продукта и репутации винодела. Прямую аналогию между виноделием и образованием провести вряд ли можно, однако некоторые параллели очевидны – в частности в скрупулёзном выполнении каждого этапа, строгом контроле процессов и понимании роли выдержки и созревания. Содержание образования должно «вызреть», пройдя последовательные стадии: от озарения в голове учёного и научной идеи, сформулированной в научной статье, к формированию теории и модели, их принятию научным сообществом и готовности к интеграции в педагогическую практику. Ключевым остаётся вопрос: в рамках какой образовательной концепции (парадигмы) функционирует это содержание и какова цель такого образования. Отсюда следует необходимость анализа сущности нового содержания, его актуальности и соотношения с современными научными концепциями и роли в решении задач образования.

Начиная рассуждения, давайте договоримся о терминах. Заглянем в толковый словарь, чтобы разбираться с тем, что такое «новое», «актуальное» и «современное»:

НОВЫЙ, -ая, -ое; нов, -а, -о, новы и новы; новейший. 1. Такой, который не существовал раньше, впервые созданный, выведенный, открытый или только что, недавно вышедший, появившийся, выросший и т. п. 2. Только что, недавно сделанный, приобретённый, купленный или прибывший, поступивший куда-л. 3. для кого. Незнакомый, неизвестный; ранее неизведанный. 4. Появившийся вместо прежнего, ранее бывшего, заменивший или предназначенный заменить его; следующий, очередной. 5. Относящийся к ближайшему прошлому или к настоящему времени, эпохе; современный [29]. Таким образом, мы должны понимать, что новое содержание может быть таковым для учебного курса, но не для науки, или новым по сравнению с уже существовавшим до этого в образовании, или новым как для преподавателя, так и для обучающегося.

АКТУАЛЬНЫЙ, -ая, -ое; -лен, -льна, -льно. [лат. *actualis* действительный, настоящий]. Важный, существенный для решения проблем, задач настоящего времени; насущный, злободневный, современный [29]. Значит, содержание образования должно быть в первую очередь конгруэнтно целям образования.

СОВРЕМЕННЫЙ, -ая, -ое; -менен, -менна, -менно. 1. только полн. кому-чему. Относящийся к одному времени, к одной эпохе с кем-, чем-л. 2. только полн. Относящийся к настоящему времени, к настоящей эпохе. 3. Стоящий на уровне своего века, отвечающий требованиям своего времени [29]. То есть современная теория химического строения стоит на уровне развития современной органической химии, но не является современной по отношению к высказываниям А.М. Бутлерова и при этом относится к настоящему времени.

Содержание образования – совокупность систематизированных знаний, умений, навыков, взглядов и убеждений – по факту характеризует личность [40]. Вопрос «чему учить?» – проблема отбора содержания – является одним из краеугольных камней образовательной

системы. Он напрямую связан с понятием образованной личности. В разные времена и эпохи понятие «образованный человек» было разным. Это понятие преобразуется в соответствии с изменением общественных представлений о научно-техническом прогрессе, востребованных чертах личности, о месте и функции человека в мире и в обществе. В истории педагогики выделяют теории материального и формального образования. Теория материального образования фокусирует внимание на отборе знаний, относящихся как к основам наук, так и к прагматическим знаниям, нужным и полезным в жизни (на вульгарном уровне – полезным в быту). Теория формального образования центрируется на развитии обучающихся, их познавательных способностях, то есть отбирается то содержание, которое более всего этому способствует.

Авторы [23] выделяют два подхода отбора содержания образования: знаниевый подход – знание важно само по себе; личностно-ориентированный (культурологический) подход – свобода выбора содержания образования. Новые теории вводятся либо а) на смену ранее изучавшимся, либо б) интегрируются в учебную программу в качестве дополнительных. Ранее изучавшийся материал не подлежит исключению из учебного предмета, если он не утратил фундаментального значения. Принцип соответствия в развитии научного знания предполагает, что прежние теории, не опровергнутые новыми, включаются в них как составная часть, сохраняя свою справедливость в пределах известных границ. В учебный курс следует включать исключительно те факты, которые необходимы для доказательного раскрытия идей, понятий, теорий и законов химии (и других наук), а также для обучения учащихся их применению с целью демонстрации роли химии в жизни и науки как производительной силы общества. Акцент целесообразно сместить на развитие личности и её роли в науке или экономике.

Содержание образования обязательно отбирается и систематизируется. Если основанием отбора материала является соответствие учебного предмета основам наук, то его центральным звеном будут

научные знания. Если функция учебного предмета – формирование представлений о той или иной области действительности, то материал учебного предмета будет преимущественно описательным. Если функция – развитие тех или иных сторон личности, то учебный материал будет предполагать специально организованную деятельность обучающихся, имеющую развивающий характер.

Школа, подчеркивает А.А. Аузан [3], – продукт общества, а не государства. Государственные органы управления образованием стремятся регламентировать процесс конструирования содержания образования. У нас от начальной школы к университету у человека падает креативность (точнее, она есть, но суррогатная и довольно корыстная: в производстве «мыльных пузырей» и желании продавать то, что схватил на несколько лет осознанной жизни – репетиторство в современном его формате). Школа меняется, школу меняют. Говоря о введении нового образовательного содержания, необходимо, в первую очередь, рассмотреть причины его введения. На наш взгляд, основными являются: или смена государственного заказа, или смена научных представлений. При этом необходимо учитывать готовность образовательной системы, в первую очередь её участников, к введению нового содержания. Можно выделить следующие условия внедрения: требования со стороны науки; требования со стороны личности; требования со стороны заказчика (бизнеса, государства, общества).

Школа не может не откликаться на изменения в обществе, но официально она чётко откликается на распоряжения государства. Введение современного научного материала иногда бывает декларативным, а иногда существенным. Тут можно было бы увидеть время активации научных теорий, которые из современных становятся актуальным для образовательного процесса. Но вмешиваются различные факторы: неготовность учительского сообщества к преобразованиям, конфликт целей образования и т. д. Есть ещё одна из причин: новый материал ещё не готов стать учебным. Для вузовской системы есть выход: спецкурсы, курсы по выбору студентов, научные коллоквиумы

и семинары. Тогда материал обкатывается и «дозревает» до состояния готовности стать учебным. В средней школе для этого частично подходит внеурочная деятельность.

Содержание образования определяется целями и задачами на том или ином этапе развития общества. Требования жизни, производства и уровня развития научного знания меняют содержание образования. Развитие учебного предмета в целом представляет собой объективный закономерный процесс и не должно определяться взглядами отдельных методистов.

Рассмотрим становление некоторых важных научных теорий, а также историю их отражения в школьном и вузовском образовании. Классическая химическая триада «состав – строение – свойства» побуждает нас рассмотреть учение о строении вещества и учение о закономерностях протекания химических превращений. Для начала приведём краткий исторический обзор становления выбранных учений. В этом существенную помощь оказало пособие профессора химического факультета МГУ О.Н. Зефиновой [22].

Атомно-молекулярная теория получила законченный вид у Каниццаро в конце 1850-х годов. Бутлеровская структурная теория 1860-х годов предполагала рассмотрение органических молекул как плоских систем. Стереохимическая концепция Вант-Гоффа появилась несколькими годами позже. Представление молекулы по Вант-Гоффу – это система атомов, соединённых связями, которые расположены под определённым углом, имеют определённую длину, а число их для конкретного атома определёнno. Кстати, предположение о четырёхвалентном атоме углерода в органических соединениях уже было принято химиками того времени как данность.

Пространственное расположение атомов стало возможным определять с помощью физическо-химических методов уже в XX веке. В начале 1890-х годов Вернер предложил координационную теорию и ввёл понятие дополнительной валентности. Открытия в области строения атома преобразовали всю систему химических знаний. Электронная теория валентности оформилась на рубеже 10-х годов XX ве-

ка Косселем, Льюисом, Ленгмюром. Концепция Льюиса, развитая Сиджвиком, о неподелённой электронной паре очень важна – она сняла необходимость в понятии дополнительной валентности в неорганической химии.

Н. Бор выдвинул свою модель в 1913 году, она работала до 1926 года, пока полностью не оформилась трёхмерная квантовая механика, построенная на стохастическом подходе и описанию электрона через волновые функции. С появлением квантово-механической теории атом стал рассматриваться с математической точки зрения как совокупность орбиталей. В 1932 году Малликен ввёл понятие «молекулярная орбиталь». Однако примерно до середины 1960-х годов в русскоязычной литературе применялся термин «молекулярная орбита». Рекомендация о замене «молекулярная орбита» на «молекулярная орбиталь» в отечественной литературе была в 1962 году.

Начало использования методов квантовой механики в органической химии связано с именем Э. Хюккеля в конце 1920-х годов. Квантово-механический редукционизм привёл к появлению в то же время теории валентных связей и метода молекулярных орбиталей. К началу 1930-х годов были заложены теоретические основы квантовой химии. В конце 1920-х годов Ф. Лондон и В. Гайтлер сформулировали модель химической связи с помощью квантовой механики (метод валентных связей или метод локализованных электронных пар). В первой половине 1930-х годов Л. Полинг в рамках этого подхода разработал теорию резонанса и теорию гибридизации. В 1951 году в Москве точка зрения Полинга была объявлена идеалистической, так как её сторонники «объективизировали мысленные конструкции» [8] (идеологические споры в науке).

Число сторонников теории гибридизации в науке возрастало с 1930–1940-х годов к середине 1950-х. В 1949 году Коулсон и Моффит предложили вывод об изогнутых (банановых) связях C–C в молекуле циклопропана. Этот подход в 1960-х годах стал активно использоваться не только для объяснения геометрии связей в малых циклах, но и для более сложных соединений. В 1950-х годах метод валентных

связей стал уступать методу молекулярных орбиталей (МО) [8]. Несмотря на разработку новых методов, метод МО продолжает применяться в квантовой механике для описания молекул, а при характеристике сложных структур, важных для биохимии, он просто незаменим.

Проникновение физических теорий в химию (физикализация), начавшееся с XIX века, затрагивает не только структуру атомов и молекул, но и играет ведущую роль в объяснении химических процессов.

В 1840 году Г.И. Гесс формулирует закон независимости теплового эффекта от пути протекания реакции. В 1884 году Ле Шателье сформулировал принцип смещения равновесия. В середине 1880-х годов Вант-Гофф ввёл понятие «константа равновесия». В 1850 году Л.Ф. Вильгельми ввёл понятие «скорость химической реакции». Во второй половине XIX века фактически было сформировано учение о скорости химической реакции. В конце 1870-х годов Гульберг и Вааге усовершенствовали закон действующих масс. Вант-Гофф вводит понятие о стадиях реакции (молекулярности), формулирует правило зависимости скорости реакции от температуры, а Аррениус – зависимость константы скорости реакции от температуры, энергии активации и частотного фактора. Учение о катализе стало востребованным в связи с активным использованием каталитических процессов в промышленности.

Фактически корпус классической химической термодинамики и химической кинетики был сформулирован, «приведён в рабочее состояние» и был готов к включению в химическое образование с середины 1930-х годов. Физикализация химии в начале XX века привела к появлению точки зрения о полном сведении химии к физике. Возможно, именно поэтому, как мы увидим позже, авторы школьных учебников, начиная с П.П. Лебедева [32] и В.Н. Верховского [11], уходили от физикализации курса химии. Повторим, квантово-механические и физико-математические концепции химии были готовы, на наш взгляд, к введению в образовательную практику уже в первой половине XX века.

В XX веке разделы физической химии получили дальнейшее развитие, в результате чего некоторые из них стали самостоятельными научными дисциплинами (химическая кинетика, коллоидная химия, электрохимия). В середине 1930-х годов была создана теория абсолютных скоростей, включающая в себя понятие активированного комплекса. Создание основ неравновесной термодинамики в 1930–1960-х годах (Л. Онсагер и И. Пригожин) очень важно в методологическом отношении, поскольку оно означало выход за рамки классической термодинамики и определяло подходы к изучению принципиально новых систем. Созданный И. Пригожиным [45] математический аппарат для описания диссипативных структур позволил применять его к некоторым биологическим направлениям. Особенно актуален его аппарат для теории неравновесных процессов при описании открытых биологических систем, что представлено в работах Рубина А.Б. [46], Л.А. Блюменфельда [5] и др.

Можно сделать предположение, что значимость научных идей, готовых стать содержанием образования, определяется в первую очередь их методологической значимостью и доступностью, что немаловажно, для понимания широкими слоями общественности, как с точки зрения научного аппарата, так и с точки зрения философии науки.

Давайте посмотрим, как эти научные идеи отражались в школьных и вузовских учебных курсах. Квантовая механика потребовала ревизии положений философии познания.

Традиционно школьный курс ориентирован на систему понятий о химическом веществе, поэтому фокус внимания практически целиком смещён на состав и строение. «Неорганическая химия» в школе – это по сути теоретические основы химии, которые потом переходят в рассмотрение химии некоторых элементов. Этот курс до сих пор не получил внятной концепции. Курс органической химии имеет более чёткую логику – по классам органических соединений, от простейших углеводородов к «кирпичикам жизни» – жирам, углеводам, белкам.

Л.В. Писаржевскому мы обязаны введением теории электронного строения в высшем химическом образовании. Разрабатывая основы электронной химии, он создал новый курс химии (1922–1927) – переход на новые атомные представления с использованием понятия электрона в современном для того времени контексте [41, 42]. Методические взгляды Л.В. Писаржевского имели большое значение для преподавания химии в вузе и в школе. Он показал способы объяснения химических процессов с электронной точки зрения.

Вслед за Л.В. Писаржевским Б.В. Некрасов изложил вузовский курс химии [37] на основе современных на тот момент представлений о строении вещества. Он очень удачно разрешил вопрос об ознакомлении учащихся с периодическим законом. В начале курса он знакомит их с периодической системой (ПС) как обобщением знаний об элементах, затем использует периодический закон (ПЗ) как путеводную нить на всём протяжении курса при изучении химических элементов. В завершении курса он ещё раз возвращается к ПЗ и ПС, чтобы дать глубокое современное теоретическое освещение их и синтезировать весь накопленный материал. На базе этого курса Н.Л. Глинка написал учебник общей химии для нехимических вузов [12]. Учебники по химии Б.В. Некрасова и Н.Л. Глинки, а также вышедшая впоследствии книга для учителя Ю.В. Ходакова, являлись настольными книгами не одного поколения советских учителей химии, на них выросли несколько поколений педагогических кадров по химии.

В.Н. Верховский [11] в начале 1930-х годов заложил основные теоретические концепции школьной химии: атомно-молекулярное учение; ПЗ и ПС; строение вещества в неорганической химии; теория электролитической диссоциации; современная теория строения органических соединений. На этих теоретических концепциях курс школьной химии простоял до конца XX – начала XXI века. «Без стройной системы невозможно воспринимать и удерживать в памяти теоретический материал», – писал В.Н. Верховский в 1931 году. У В.Н. Верховского строение атома рассматривается согласно концепции Н. Бора, приводятся схемы по модели Бора–Зоммерфельда.

«Вопрос о сложности строения атомов наукой решён окончательно ... Раскрытие сложности атомов даёт реальное подтверждение идее единства материи» [9, стр. 155]. Образование химических связей даётся с помощью кубических схем Льюиса (концепция октета). С её помощью объясняется образование химических связей в углекислом газе, кислороде, фторе, оксиде кальция и хлориде натрия.

Следует отметить, что авторы учебника говорят: «помимо этих схем (Бора и Льюиса – авт.) разработан ряд других более совершенных, но и более трудных для понимания, почему мы на них и не останавливаемся» [9, стр. 263], и при этом: «Но мы здесь не можем останавливаться на подробностях современного учения об атоме ввиду сложности этого учения» [9, стр. 148]. Химическая связь, по сути, объясняется на основе теории электронных пар (дублеты и октеты Льюиса), но геометрия молекулы не рассматривается, гибридизация не вводится. Хотя основы строения атомов даны, они не используются при изучении химии конкретных элементов, поэтому их валентные возможности вычлняются из формул веществ, которые приводятся, чтобы в «назывном» порядке сказать, что оксид марганца(II) обладает основными свойствами, а марганца(VII) – кислотными и окислительными (терминология используется современная). Много информации даётся о месторождениях полезных ископаемых. Вводятся понятия ионных равновесий (реакции ионного обмена «до конца»). Говорится о подвижном равновесии (в отличие от статического в физике), но нет ни основ термохимии, ни принципа Ле Шателье, ни скорости химических реакций. Подробно обсуждаются технологические схемы и предназначение тех или иных аппаратов, условия проведения процессов промышленного синтеза серной кислоты и аммиака, но объяснения, почему процессы проводят в тех или иных условиях, нет.

При изучении основ органической химии авторы [10] довольно «элегантно» выходят из положения: «Для изображения того, как связаны между собой атомы в молекулах, нет необходимости прибегать к моделям атомов. Для этого достаточно воспользоваться более простым приёмом... – условным обозначением валентности элементов»

[10, стр. 13]. По факту изложение органической химии у В.Н. Верховского стоит на электронной теории без её явного показа, с использованием сильно упрощённых подходов. Даже в 1948 году в учебнике по органической химии приводится теория строения Кекуле, Купера, Бутлерова, то есть молекулы рассматриваются как двумерные системы.

В школьных учебниках, начиная с В.Н. Верховского, зримо чувствуется принцип историзма: развитие теории строения (в том числе понятие валентности) идёт через органическую химию. Учебник В.Н. Верховского в некоторых моментах «застыл» на концепциях конца XIX века. При этом в учебнике органической химии [10] говорится о получении синтетического каучука методом С.В. Лебедева. Это современная на то время химия, а точнее химическая технология. Метод С.В. Лебедева был внедрён в промышленность СССР в 1932 году и вывел страну в лидеры по производству синтетического каучука. «Получать в достаточной степени свой каучук, вполне освободиться от иностранной зависимости...» [10, стр. 35].

Химия высокомолекулярных соединений, как мы уже отмечали, зародилась в начале XX века, и кроме синтетического каучука приводятся сведения о винилитовой смоле, опаноле, органическом стекле. В информационном ключе сообщается о том, что образование полимеров является следствием «раскрытия кратных связей ненасыщенных соединений». Интерес к химии ВМС в школьных учебниках проявлялся не столько из-за специфики макромолекул и механизма их получения, сколько из-за осознания широких возможностей в области их практического применения; основной акцент делался на ознакомлении с технологией синтеза, а строение нужно было, чтобы понять, как этот синтез осуществить.

Отметим, что на второй волне химизации в нашей стране (конец 1950-х годов) технологический рывок в промышленности пластмасс и волокон привёл к появлению в новых учебниках отдельной главы «Синтетические высокомолекулярные вещества и полимерные материалы», а также к изданию специальных пособий по экспериментам

с полимерами в средней школе [13, 61]. Понятия о полимерах распределялись между разделами, посвящёнными алкенам и аминокислотам (полимеризация и поликонденсация). Налицо смена актуальности данного содержания.

В учебниках В.Н. Верховского есть «отзвуки» идей П.П. Лебедева «Химия в мирной жизни и на войне» [32], то есть о роли химии в обороне страны, например, устройство термитной бомбы и её обезвреживание. Довольно много внимания уделялось отравляющим веществам и способам защиты от них. Впечатляет ряд веществ, представленных на страницах учебника: дифенилхлорарсин, льюизит, адамсит (на его примере вводится понятие гетероциклических соединений). Отметим, что в то время выходил журнал «Химия и оборона» [53] с рубрикой «занимательная химия» и, например статьёй «Вниманию юных друзей ПВХО». Так что содержание учебников 1930–1940-х годов было более чем актуально своему времени и давало современные знания о способах защите населения.

Мы отмечали, что аппарат квантовой механики разработан в 1925–1927 годах, но системное изложение основ квантово-механических представлений даётся в школьных учебниках только в конце 1980-х годов. Причём весьма осторожно (или настороженно?). Обращает на себя внимание, что в зарубежной литературе всё обстоит иначе. Например, книга коллектива авторов под руководством Г.Т. Сиборга, вышедшая в 1963 г. на английском языке и переведённая на русский язык под редакцией Г.Д. Вовченко в 1967 году [54], содержит практически все квантово-механические и физико-химические теории и практически весь физико-математический аппарат современной на тот момент химии, адаптированный для понимания школьников.

В пособии 1958 года [26] изложены методические взгляды Д.М. Кирюшкина. Декларируется развитие познавательных способностей обучающихся, а не только вооружение их знаниями. Показывается торжество электронной теории. Подчёркивается важный тезис: упрощение приводит к ошибочности. Отмечается, что содержание

обучения должно быть научным и методически оправданным. В первую очередь, доступным для сознательного усвоения учащимися. Правда, это было указано ещё в начале 1930-х годов В.Н. Верховским и другими методистами [39].

Д.М. Кирюшкин справедливо считает, что если в 1940-е годы о строении атомного ядра можно было умолчать, то в середине 1950-х годов это уже делать нельзя. После ознакомления с электронной теорией устанавливается новый взгляд на сущность химических реакций, понимание окислительно-восстановительных реакций и т. д. Автор указывает, что не надо вводить никаких математических формул, определяющих состояние атома или молекулы. Роль электронной теории состоит в объяснении известных обучающимся фактов. Выстраивается логика: первоначальные сведения о радиоактивности дают учащимся убеждение, что атомы делимы; далее даётся современное представление о строении атомов (их электронов и атомного ядра), затем схемы электронного строения атомов первых трёх периодов периодической системы Д.И. Менделеева и, наконец, переход к образованию химической связи. Выделяются два подхода: 1) через радиохимические превращения (строение ядра и его преобразование в ходе этих превращений); 2) через электронную оболочку – по мнению Д.М. Кирюшкина, этого достаточно для понимания протекания химических реакций. Отмечается один из внутренних конфликтов школьной химии: атомы и ионы одного и того же названия обладают различными химическими свойствами.

Д.М. Кирюшкин рекомендует следующий план изучения органической химии: свойства – характер связей в молекулах (выделение радикалов, функциональных групп) – пути синтеза вещества – структурная формула. Курс школьной химии строится по принципу «от фактов к теории». В некоторых учебниках в те годы (конец 1950-х – 1960-е) не было сведений о химических производствах, поскольку существовал отдельный курс «Основы производства» [24]. Органические структуры даются без валентных углов, практически ничего не говорится об ароматичности.

Особо стоит рассмотреть книгу для учителя Ю.В. Ходакова и обратить внимание на год её издания – 1954 [55]. Автор указывает, что планетарная модель атома является выявлением той стороны теории, которая обусловила её плодотворное применение в области химии. При этом он показывает, что законы движения электронов в атоме находятся в формальной аналогии с законами колебаний струн. Основное внимание при рассмотрении химической связи уделено электровалентности, а также закономерностям в изменении атомных и ионных радиусов элементов. Даются понятия ковалентной и ионной связи как предельного случая ковалентной связи. Автор указывает, что электровалентность и электроотрицательность следует рассматривать как единство противоположностей. Рассматриваются полярные и неполярные связи, а также полярные и неполярные молекулы. Автор подчёркивает важность и теоретическую значимость теории А.М. Бутлерова, затрагивает химию координационных соединений, в том числе и координационное число. При рассмотрении закономерностей химических реакций он говорит об элементарных актах и цепных реакциях, разбирает основной закон химической кинетики. Впервые в методической литературе даётся кинетический вывод константы равновесия. До этого понятия химического равновесия практически не рассматривались.

В последующие годы к выражению константы равновесия не подходили вплоть до конца 1980-х годов [51]. «Читатель может посетовать на то, что ... предложенный вывод выражения константы равновесия из кинетических уравнений сложнее, чем в других учебниках, но наука несовместима с лжедоказательствами» [55, стр. 89]. Дается энергия разрыва химических связей для сравнения прочности связей. Однако в школьных учебниках этого автора, выпущенных позднее, то, что есть в его книге для учителя, либо отсутствует, либо странным образом трансформируется. В пособии Ю.В. Ходакова [55] указывается, что Л. Полинг ошибается в теории резонанса (это отзвуки идеологических споров в науке?), а затем в учебнике, изданном совместно

с П.А. Глориозовым и Д.А. Эпштейном, приводится пятивалентный азот в азотной кислоте [57, стр. 50].

Практически через 20 лет в пособии для учителей Ю.В. Ходакова [56] отмечается, что до принятия действующей на год издания пособия (1975) программы учебники отражали состояние химии примерно 1920-х годов. Как видим, это спорное заявление.

Ю.В. Ходаков, хорошо зная химию, при написании учебника оказался в жёстких рамках традиций и не мог (не хотел?) выйти из колеи существующих установок. Например, в учебнике не рассматриваются случаи, когда валентность и степень окисления численно не совпадают.

С.Г. Шаповаленко в 1963 году [62] подчёркивает, что изучение строения атомов раскрывает физический смысл ПЗ и ПС и служит объяснению валентности элементов и свойств веществ. Сведения о строении атомов являются хорошей предпосылкой для ознакомления учащихся с ионами, с диссоциацией кислот, солей и оснований в растворе, реакциями между ионами в растворе и ионной формой химических уравнений. С теорией химического строения А.М. Бутлерова, по его мнению, целесообразно знакомить учащихся тогда, когда в ходе изучения курса накопятся факты, требующие объяснения, и следовательно, потребуется изложение теории, то есть уже при изучении алканов.

В конце 1970-х годов выходит учебник для вечерних школ Г.Е. Рудзитиса и Ф.Г. Фельдмана [47]. В этих школах учатся взрослые люди, поэтому авторы учебника дают материал предельно компактно, с большим числом обобщающих таблиц и схем. Схемы строения атомов они предлагают изображать без дуг, но не выделяют уровни и подуровни. При этом ведут объяснение химических свойств веществ, в частности валентных возможностей элементов, через электронные формулы, то есть учебник не отходит от концепции Ю.В. Ходакова.

Отметим, что рассмотренные нами учебные программы, учебники и учебные пособия отвечали на указания государства, выражен-

ные в законах и постановлениях. Выполнение этих законодательных актов требовало пересмотра школьных программ в сторону усиления сначала политехнизации, а затем теоретизации курса химии. Научные методы начали входить в практику средней школы как раз в этот период. Насколько все это оказалось доступным для понимания школьников – вопрос. О последствиях введения обязательного среднего образования см. статью Г.В. Лисичкина и И.А. Леенсона [35].

Предельно чётко о состоянии школьного химического образования пишет Л.А. Цветков в начале 1980-х годов в предисловии к методике обучения химии [58]. Он отмечает как сложившуюся закономерность выдвижение наиболее общих понятий, ведущих теорий химии, на более ранние сроки обучения – теоретизации химии.

Если учение о строении вещества было представлено в курсах химии с начала их систематического изучения, то основы химической термодинамики за всю историю преподавания химии в школе в XX веке не выходили за рамки азов термохимии, а именно вводилась характеристика реакции по выделению/поглощению теплоты и зависимости количества теплоты от количества вещества исходных веществ или продуктов. «Революционером», который сделал попытку перестроить курс школьной химии на рельсы системы понятий о закономерностях химической реакции, был Г.И. Шелинский. В 1965 году он подчёркивает, что знания о закономерностях протекания химических реакций – один из центральных вопросов химии. В 1974 году он выпускает пособие [74], перерабатывает его в 1989 году и на рубеже XX–XXI веков выпускает комплект учебников для всех лет обучения в школе, построив их на системе закономерностей химических процессов.

На закате Советского Союза вышло пособие [48], в котором авторы дают методические рекомендации, как учитель может систематически проводить изучение закономерностей химических реакций. Если у Г.И. Шелинского была попытка перестройки самого курса, то в этом пособии физико-химические закономерности дополняют существующую структуру школьного курса.

Неудачной, на наш взгляд, была попытка Н.С. Ахметова создать школьный учебник [4]. Он пошёл по пути переработки своего вузовского учебника, не учитывая специфику восприятия школьниками и учителями предлагаемого содержания. Методическим недостатком стало пересыщение материала химической термодинамикой и фактическое пренебрежение химической кинетикой.

Очень интересным опытом школьного учебника, перестроенного в концепции закономерностей химических процессов, стал учебник О.С. Зайцева [19]. Учебник научно выверен, все выкладки в нём логичны и непротиворечивы, что должно было, по мнению автора, создавать чёткую систему химических знаний в голове обучающихся. Однако уже наступало время, когда вчитывающихся в текст учеников становилось всё меньше. Учебник оказался не востребованным в школьной практике.

Более удачной попыткой стала работа коллектива авторов под руководством академика В.В. Лунина, создавших учебник [15], который при всех достоинствах всё же написан не для массовой школы, а для учителей, пришедших из классических университетов, и школьников профильных классов.

Посмотрим, что происходило на вузовском уровне. Первый курс физической химии в современном понимании этого слова был написан В. Нернстом и вышел в 1893 году под названием «Теоретическая химия с точки зрения закона Авогадро и химической термодинамики»; на русском языке он вышел в 1904 году [38].

В середине XX века насущная необходимость физикализации химии заставляет переосмыслить основания курса физической химии, насытив его физико-математическим аппаратом для успешного моделирования физико-химических объектов и процессов. Это приводит к усилению математической и физической составляющей высшего химического образования. Появляются учебники по физической химии под редакцией Я.И. Герасимова [14] и О.М. Полторака [44]. Меняются методологические подходы к изложению некоторых тем. Курс физической химии становится конгруэнтным современному уровню

науки, из него уходят некоторые разделы, которые становятся отдельными учебными курсами. Широкое применение физико-математического аппарата в химии XX века привело к усилению роли моделирования в науке. Это также стало причиной пересмотра курса физической химии (под редакцией Я. И. Герасимова, П. Эткинса [65] и В.В. Ерёмина и соавторов [16]).

В курсе О.М. Полторака [44] впервые появляется раздел, посвящённый основам неравновесной термодинамики. Теории неравновесных процессов посвящены исследования И. Пригожина [45]. В школьном курсе попытка отражения этой теории была в учебнике И.Ю. Алексашиной [1].

М.Х. Карапетьянц [25] исходил из того, что «... свойства веществ познаются, прежде всего, во взаимодействии с другими веществами. Поэтому, приступая к изучению химии, нужно знать общие закономерности протекания химических реакций и сопровождающих их процессов».

В курсе общей химии химическая термодинамика не сразу заняла то место, которое она занимает сейчас. Физикализация химии повлекла за собой насыщение физико-химическим аппаратом курса неорганической химии, пример – учебник С.А. Шукарева для Санкт-Петербургского (тогда Ленинградского) госуниверситета [64]. В то же время О.С. Зайцев вместе с Ю.Д. Третьяковым выпустил пособие для студентов нехимических специальностей вузов [20], которое стало отправной точкой пересмотра курса общей химии, перестройки его на систему понятий о химическом процессе.

Таким образом, новое в науке не сразу становилось частью образования. Модель «учебный курс – это отражение соответствующей науки» давала сбой. Л.А. Цветков – один из немногих методистов, показавших в явной степени проблемные точки школьного химического образования, некоторые из которых можно усмотреть и на уровне вузовского образования.

Приведём несколько примеров введения «нового материала» в школьные учебники, которые либо не были обоснованы, либо до сих

пор имеют внутренние конфликты, а также примеры новых научных знаний, которые до сих пор не разрешены в дидактике.

Авторы некоторых учебников заявляют, что обновили содержание, введя в учебник новые аллотропные модификации углерода (фуллерен и графен). Однако химия этих аллотропных модификаций практически не рассматривается, хотя существуют учебники для вузов, например [52], написан для спецкурса. Однако на рассмотрение химии углерода в школьном курсе это никак не влияет. Налицо погоня за модной тенденцией.

Хочется рассмотреть один из внутренних конфликтов содержания школьной химии. Когда авторы всех учебников говорят о циклоалканах, они в «назывном» порядке (информационно) сообщают о схожести свойств циклопропана и циклобутана с алкенами (реакции присоединения) и о том, что все остальные циклоалканы вступают в реакции замещения, чем становятся схожи с алканами. При этом вопрос «почему так?» уходит из рассмотрения. Хотя в конце 1940-х годов вышла в свет монография Л. Полинга [43], где была сформулирована теория гибридизации, а сама «концепция гибридизации валентных атомных орбиталей» была предложена им ещё в 1931 году.

В 1966 году в науке появляется понятие «хиральности» (В. Прелог, К. Инглоу). Введение оптических изомерии в школьную практику в начале – середине 1990-х годов можно было бы только приветствовать, поскольку это ещё один шаг, приближающий понимание школьника к научному объяснению биохимии и процессов, происходящих в живых организмах. Это хороший материал для выявления межпредметных связей с пространственной геометрией и развитие пространственного воображения в средней школе.

В 1920–1930-е годы возник метод радиоактивных индикаторов (радиоактивных меток). С его помощью в конце 1930-х годов был установлен механизм реакции этерификации [66]. Однако в школьной литературе этот метод доказательства упоминается значительно позже [59].

В 1947 году разработан радиоуглеродный метод датирования, но в учебниках по химии о нём не упоминается (считается предметом физики или геологии). Несмотря на обзорные статьи отечественных авторов по радиохимии, например [30], школьные учебники по химии обходят это молчанием.

В 1930-е годы Э. Хюккель вводит правило «ароматической» стабильности, но в школьных учебниках это появляется значительно позже (у Л.А. Цветкова во второй половине 1970-х годов).

Во второй половине XX века возникла супрамолекулярная химия, в вузовских учебниках она появилась в конце 00-х годов XXI века, а в школьных учебниках её нет. Слабые, но многочисленные взаимодействия – основа супрамолекулярной химии. Впрочем, избирательность содержания учебных курсов вузовских специальностей касается не только супрамолекулярной химии, но и обсуждавшейся выше теории самоорганизации, которая совершенно необходима студентам-биологам и медикам, но может быть не востребована студентами-географами.

Из-за необходимости привлекать представления, далеко выходящие за пределы химии, в процессе обучения возникают сложности в различении самоорганизации, свойственной теории И.Р. Пригожина, и самосборки, присущей супрамолекулярной химии [34].

На этих примерах показано, что современное научное знание не всегда имеет (возможно, и не должно иметь) мгновенный отклик в образовательной системе, не всегда актуальное научное знание становится содержанием образования, при этом некоторые технологические прорывы отражаются на страницах учебников довольно быстро.

В настоящей статье представлен опыт внедрения нового и актуального научного содержания в учебный курс на кафедре общей химии химического факультета МГУ, в котором автор непосредственно участвовал. В лекциях по общей и неорганической химии профессора Л.А. Асланова для студентов-медиков неравновесные процессы рассматривались с начала 1990-х годов. Примерно через десятилетие воз-

никла идея ввести этот материал в содержание семинарско-практических занятий как проблемный, необходимый медикам для понимания роли колебательных процессов в живых организмах. Началась активная работа, в ходе которой старший научный сотрудник, к. ф.-м. н. И.К. Кудрявцев начал готовить также специальный курс для преподавателей. В подготовке курса приняли также участие доценты О.В. Архангельская, Ю.И. Русняк, Н.Л. Абрамычева.

С.Г. Шаповаленко [62] изложил способ отбора содержания: отбор ведётся от цели, а преподавание строится «обратным» путём. Была сделана попытка использовать методику «перевернутого урока», но она оказалась малоудачной, поскольку к этому формату не были готовы ни студенты, ни преподаватели, к тому же отсутствовало методическое сопровождение [2].

В конце 1990-х начале 2000-х годов в результате преобразований при внедрении личностно-ориентированного и компетентностного подходов в образовании возникла потребность создания интегративных курсов. Примером таких курсов в высшей школе стал курс «Концепции современного естествознания» (КСЕ), а в школе – «Естествознание» в старших классах. Подобный интегрированный курс «представляет собой не просто совокупность актуальных вопросов из традиционных курсов физики, химии, биологии, экологии, антропологии и проч., а является продуктом междисциплинарного синтеза на основе комплексного историко-философского и культурологического подходов. Для изучения предлагаются те концепции и проблемы, которые определяют облик современного естествознания и задают место научного подхода в культуре» [7]. Подобный курс был создан Л.А. Аслановым и И.К. Кудрявцевым, в переработанном и дополненном варианте он вошёл в вузовский учебник [33]. Курс И.К. Кудрявцева «Введение в теорию неравновесных химических систем», написанный в 2000 году, превратился с 2010-х годов в межфакультетский курс мировоззренческого характера «Основы теории самоорганизации. Основные принципы и модели», ориентированный на студентов и аспирантов гуманитарных специальностей [27].

В средней школе была предпринята попытка изложения теории самоорганизации в учебнике «Естествознание», предназначенном для 10-го класса базового уровня [1, 17]. Однако данный курс не смог органично войти в школьную практику своего времени по ряду причин; основной из них стал знаниевый подход, а также отсутствие квалифицированных кадров [49].

Вузовский курс КСЕ зачастую распределяется между преподавателями естественных наук. Если интеграция междисциплинарных подходов не удаётся по ряду объективных причин, то происходит привлечение специалистов различных наук с просьбой представить их профессиональный взгляд на влияние собственной науки на ключевые аспекты экономики, политики, общественной жизни. Удачным примером такого подхода являются пособия [31] и [60].

В 1928 году было принято Постановление СНК СССР «О мероприятиях по химизации народного хозяйства Союза ССР» для подготовки инженеров и учёных. Оно стало одним из стимулов активного строительства индустриального общества в нашей стране. Перед образованием была поставлена задача разработки содержания, обеспечивающего усвоение учащимися систематизированных знаний основ наук и политехническую подготовку на базе общеобразовательных дисциплин. В содержание образования были положены основы наук, обучение предполагалось по стабильным учебникам. Ответом на эти требования стал учебный комплекс В.Н. Верховского для средней школы, выпущенный в 1933 году и переиздававшийся с дополнениями и изменениями до конца 1940-х годов. Политехнизм в образовании был ведущей идеей XX века. Преобразования школьной химии со второй половины XX века шли в направлении общей теоретизации курса, оставляя его при этом направленным на систему понятий о веществе. Многие современные научные тенденции не находили отражения на страницах учебников.

Конец XX – начало XXI века связан с переходом школьного образования на личностно-ориентированный подход. Если руководствоваться в отборе содержания образования исключительно компетент-

ностным подходом, то набор учебных предметов должен отличаться от существующих: вместо «Химии» – «Бытовая химия», вместо «Физики» – «Электричество в быту». Напрашивается вывод об интеграции компетентностного и предметно-ориентированного подходов. Для этого целесообразно использовать блочно-модульное построение учебного предмета, где модуль соответствует определённой теме и включает блоки актуализации знаний, теоретический блок и практикум. Подобная организация учебного процесса известна как «перевёрнутый урок», «исследовательский практикум» [21] или «перевёрнутый экзамен» [6].

В.И. Кузнецов [28] в конце 1980-х годов сформулировал в том числе роль химии в формировании химической культуры личности. Заслуживают внимания подходы к обучению химии Л.Н. Стрельниковой [36], И.И. Федораева [50] – в основе своей сократические беседы. Это эффективно для вовлечения подростков и молодых людей в науку, но в базовом массовом образовании сталкивается с проблемами подготовки преподавателей и ограниченными временными ресурсами. Говоря о содержании образования, неизбежно приходится затрагивать вопрос о готовности педагогического сообщества принять внедрение инноваций. Роль учителя часто игнорируется при разработке нового образования.

Ещё одним вызовом современному образованию является интеграция (или экспансия?) искусственного интеллекта (ИИ) во все сферы современной жизни. Возникает насущная необходимость разрабатывать методы развития у обучающихся способности к задаванию вопросов и их формулированию. Фокус внимания педагогического сообщества смещается на метапредметные достижения школьников [18].

Итак, наступает время отказаться от концепции «основ наук» в образовании? Что взамен? Пока это остается неясным. Однако у преподавателя есть возможность изменить отношение к материалу как к средству решения педагогических задач. Поэтому автор видит, например, в задании на построение узловых и граничных поверхно-

стей атомов не «задание на оценку», а один из путей обучения моделированию, что необходимо в современной науке. По этой же причине проблемы неравновесной термодинамики обсуждаются со студентами не как постулаты, а как педагогические задачи развития личности, давая возможность понять, для чего был разработан аппарат неравновесной термодинамики. Таким образом, рассуждения об отражении нового научного знания в содержании образования переходят в иную плоскость.

В заключение автор выражает глубокую благодарность профессору химического факультета МГУ, д. х. н. Леониду Александровичу Асланову и профессору механико-математического факультета МГУ, д. ф.-м. н. Алексею Владиславовичу Боровских за постоянный интерес, ценные замечания и поддержку.

Публикация подготовлена в рамках работ по теме государственного задания «Информационно-методическое обеспечение развития фундаментального химического образования и научных исследований по химии» (рег. номер 121121600197-3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексашина И.Ю., Галактионов К.В., Дмитриев И.С. Естествознание: 10 класс: учебник для общеобразовательных учреждений: базовый уровень / Под ред. проф. И.Ю. Алексашиной. – М.: Просвещение, 2007.
2. Архангельская, О.В. Введение основных понятий синергетики в курс общей химии // Актуальные проблемы современного химико-педагогического и химического образования: материалы XLVIII Герценовских чтений (г. С.-Петербург, 21–23 мая 2001 г.). – Санкт-Петербург: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2001.
3. Аузан А.А. Экономика всего: институты и общество: жизнь по правилам и без. – Испр. и доп. изд. – М.: Азбука-Аттикус, Азбука Бизнес, 2025.
4. Ахметов Н.С. Неорганическая химия: Проб. учеб. для 8-го кл. 2-е изд., перераб. - М.: Просвещение, 1984.
5. Блюменфельд Л.А. Информация, термодинамика и конструкция биологических систем // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 7.
6. Боровских А.В. Деятельностная педагогика: схемы педагогического мышления: учебное пособие. – М.: Макс Пресс, 2020.

7. Брызгалова Е.В. Концепции современного естествознания: учебник для студентов, получающих образование по социогуманитарным наукам: научная космология и космогония. Развитие наук о природе. Природа и общество. Нанотехнологии. Концепции эволюционизма. – М.: Проспект, 2013.
8. Быков Г.В. История органической химии. – М.: Химия, 1976.
9. Верховский В.Н. Неорганическая химия: Учебник для сред. школы. – 12-е изд., испр. – Москва; Ленинград: Учпедгиз, 1947
10. Верховский В.Н. Органическая химия: Учебник для 10 класса сред. школы. 12-е изд. – Москва; Ленинград: Учпедгиз, 1946.
11. Верховский В.Н., Сморгонский Л.М., Гольдфарб Я.Л. Методика преподавания химии в средней школе: Пособие к стабильному учебнику (для преподавателей). – Москва; Ленинград: Гос. учеб.-педагог. изд-во, 1934.
12. Глинка Н.Л. Общая химия. – Москва; Ленинград: Госхимиздат, 1940.
13. Гуль В.Е., Федоренко Н.П. Полимеры: Высокомолекулярные вещества: Пособие для учителей. – М.: Учпедгиз, 1960.
14. Древинг В.П., Герасимов Я.И., Ерёмин Е.Н. Курс физической химии: / Под общ. ред. чл.-кор. АН СССР проф. Я.И. Герасимова. Т. 1. – М.: Госхимиздат, 1963.
15. Ерёмин В.В., Дроздов А.А., Кузьменко Н.Е., Лукин В.В. Химия: 8 класс. – М.: Оникс: Мир и Образование, 2007.
16. Ерёмин В.В., Каргов С.И., Успенская И.А. Основы физической химии: теория и задачи. – М.: Экзамен, 2005.
17. Естествознание: 10 класс: методика преподавания: книга для учителя / Под ред. Алексашиной И.Ю. – М.: Просвещение, 2007
18. Журин А.А., Заграничная Н.А. Химия: метапредметные результаты обучения, 8–11 классы. – М.: ВАКО, 2014.
19. Зайцев О.С. Неорганическая химия. Теоретические основы. Углублённый курс. Учебник. – М.: Просвещение, 1997.
20. Зайцев О.С. Химическая термодинамика к курсу общей химии: методическое пособие для студентов нехимических специальностей / Под ред. д-ра хим. наук Ю.Д. Третьякова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970.
21. Зайцев О.С. Исследовательский практикум по общей химии. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994
22. Зефирова О.Н. Краткий курс истории и методологии химии. – М.: Анабасис, 2007.
23. Иванова Е.О., Осмоловская И.М. Теория обучения в информационном обществе. 2-е изд. – М.: Просвещение, 2014.
24. Изучение научных основ производства в общеобразовательных предметах // НИИ содержания и методов обучения АПН СССР. – М., 1978.

25. *Карпетянц М.Х.* Химическая термодинамика. – М. Л.: ГХИ, 1949.
26. *Кирюшкин Д.М.* Методика преподавания химии в средней школе. – 2-е изд., перераб. – М.: Учпедгиз, 1954.
27. *Кудрявцев И.К.* Основы теории самоорганизации. Учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2021.
28. *Кузнецов В.И.* Общая химия. Тенденции развития. – М.: Высш. шк., 1989.
29. *Кузнецов С.А.* Большой толковый словарь русского языка. – The Commercial Press, 2020.
30. *Курдюмов Г.В., Нейман М.Б., Франк Г.М.* Применение радиоактивных изотопов в СССР // Атомная энергия. 1957. Том 3, вып. 11.
31. *Черняев А.П., Дунаев С.Ф., Близнюк У.А., Загорский В.В.* Курс естествознания для психологов: курс лекций. – Москва: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2020.
32. *Лебедев П.П.* Курс опытной химии. – Москва; Ленинград: ОГИЗ – Гос. науч. изд во, 1931.
33. *Лебедев С.А., Асланов Л.А., Борзенков В.Г.* Концепции современного естествознания: философское осмысление: учеб. для гуманитарных и социальных факультетов и системы дополнительного образования / Под общ. ред. С.А. Лебедева. – Москва; Владикавказ: Иристон, 2003
34. *Лен Ж.-М.* Супрамолекулярная химия: Концепции и перспективы. - Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1998.
35. *Лисичкин Г.В., Леенсон И.А.* Школьное естественнонаучное образование в СССР и Российской Федерации: история, тенденции и проблемы модернизации // Российский химический журнал. 2011. № 4. С. 4–18.
36. Методическая среда ИСМО «Как сделать химию интересной для школьников». Запись вебинара, спикеры: Стрельникова Л.Н., Волынчук Н.И., Асанова Л.И. – URL: https://vkvideo.ru/video-215962627_456240858?list=In-opHRWanQZ8PN7u1ctK.
37. *Некрасов Б.В.* Краткий курс общей химии. – М.: ОНТИ. Глав. ред. хим. лит ры, 1936.
38. *Нернст В.Г.* Теоретическая химия с точки зрения закона Avogadro и термодинамики / Dr. Walther Nernst, проф. и дир. Ин та физ. химии при Геттинген. ун-те; пер. В. Бурдакова с 3-го нем. изд. – Санкт Петербург: тип. М. М. Стасюлевича, 1904.
39. *Парменов К.Я.* Химия как учебный предмет в дореволюционной и советской школе. – М: Изд-во Акад. пед. наук РСФСР, 1963.
40. Педагогика. Современная энциклопедия. – Минск: Современное слово, 2010.

41. Писаржевский Л.В. Учебник химии. – 2 е изд. – Одесса: Родное слово, 1918.
42. Писаржевский Л.В., Розенберг М.А. Курс лекций неорганической химии, читанный в 1926–27 учебном году на Химико-технологическом отделении Металлургического факультета Горного института. – Днепропетровск: Испол. бюро профсекции Днепропетр. горного ин та, 1927.
43. Полинг Л.К. Природа химической связи. – Москва; Ленинград: Госхимиздат, 1947.
44. Полторак О.М. Лекции по химической термодинамике: Общая и стат. термодинамика. – М.: Высш. школа, 1971.
45. Пригожин И.Р. От существующего к возникающему. – М.: Наука, 1985.
46. Рубин А.Б. Кинетика биологических процессов // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 10. С. 77–83.
47. Рудзитис Г.Е., Фельдманис Ф.Г. Химия: Пробный учебник для учащихся 7–11-го кл. веч. (смен.) сред. общеобразоват. школы. – М.: Просвещение, 1979.
48. Савич Т.З., Ярославцева Т.С., Корощенко А.С. Изучение закономерностей химических реакций: Кн. для учителя. – М.: Просвещение, 1991.
49. Тюльков, И.А., Старкова А.В. Ученический эксперимент по естествознанию в 10 и 11 классах / И.А. Тюльков, // Актуальные проблемы химического образования: материалы X Всероссийской научно-практической конференции учителей химии и преподавателей вузов. Пенза, 17 ноября 2021 года. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2022.
50. Федораев И.И. Применение сократического метода на уроках химии в школе // Актуальные проблемы химического образования: сб. науч. ст. по материалам XIII Всерос. науч.-практ. конф. учителей химии и преподавателей вузов (г. Пенза, 29 ноября 2024 г.) / под общ. ред. Н.В. Волковой. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2025.
51. Фельдман Ф.Г., Рудзитис Г.Е. Основы общей химии: Проб. учеб. пособие для 11-го кл. сред. шк. – М.: Просвещение, 1989.
52. Фуллерены: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Химия» и специализирующихся в обл. неорган., орган. и физ. химии. – М.: Экзамен, 2005.
53. Химия и оборона: Массовый попул. науч.-техн. журн. по вопр. химии и противовоздуш. обороны / Центр. орган президиума ЦС союза Осоавиахим СССР. – М.: Воентгиз, 1932–1940
54. Химия: курс для средней школы. Перевод с английского / Под ред. Г.Д. Вовченко. – М.: Мир, 1967.
55. Ходаков Ю.В. Общая и неорганическая химия: Книга для учителя. – М.: Изд во Акад. пед. наук РСФСР, 1954.

56. *Ходаков Ю.В.* Преподавание неорганической химии в средней школе. – 2-е изд. – М., 1975.
57. *Ходаков Ю.В., Эпштейн Д.А., Глориозов П.А.* Неорганическая химия: Учебник для 9 кл. – 9-е изд., испр. – Москва: Просвещение, 1978.
58. *Цветков Л.А., Иванова Р.Г., Полосин В.С.* и др. Общая методика обучения химии: Содержание и методы обучения химии / Под ред. Л.А. Цветкова. – М.: Просвещение, 1981.
59. *Цветков Л.А.* Органическая химия: Учебник для 10-го кл. – 20-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1981.
60. *Черняев А.П., Дунаев С.Ф.* Основы естествознания. Физика. Химия: учеб. пособие. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2025.
61. *Чертков И.Н.* Эксперимент по полимерам в средней школе: Пособие для учителей. – Москва: Учпедгиз, 1961.
62. *Шоповаленко С.Г.* Методика обучения химии в восьмилетней и средней школе. Пособие для учителей. – Москва: Учпедгиз, 1963.
63. *Шелинский Г.И.* Изучение основ энергетики химических реакций. – Москва: Просвещение, 1974.
64. *Щукарев С.А.* Неорганическая химия: Т. 1–2. – Москва: Высш. школа, 1970–1974.
65. *Эткинс П.У.* Физическая химия: В 2 т. / Пер. с англ. К.П. Бутина. – М.: Мир, 1980.
66. *Roberts I., Urey H.C.* The Mechanisms of Acid Catalyzed Ester Hydrolysis, Esterification and Oxygen Exchange of Carboxylic Acids // J. Am. Chem. Soc. 1939, 61, 10, 2584–2587