

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ ХИМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ СУНЦ МГУ

Морозова Н.И., Колясников О.В.

*Специализированный учебно-научный центр (факультет) –
школа-интернат имени А.Н. Колмогорова
МГУ имени М.В. Ломоносова*

В СУНЦ МГУ учатся школьники 10-11 классов, обычно планирующие свое дальнейшее обучение на факультетах МГУ и в других вузах. Это мотивированные учащиеся с неплохими базовыми знаниями, которые интересуются естественными науками либо считают их глубокое изучение необходимым для своей будущей профессии. Поэтому одна из задач, стоящих перед преподавателями (но, разумеется, не единственная) – формирование у выпускников всего комплекса компетенций, необходимых для участия в научной деятельности (в том числе для дальнейшего успешного обучения в вузе, предполагающего выполнение квалификационных исследовательских работ) [1].

На кафедре химии СУНЦ МГУ эта задача решается разными способами, объединёнными в целостную систему преподавания [2]. Это и разнообразные формы взаимодействия преподавателя с учеником [3], и комплекс химических практикумов [4], и система проектных / творческих / исследовательских работ школьников [5], и, конечно, специфика заданий, предлагаемых учащимся на уроках.

Почему мы считаем обычные задачи из учебников и сборников недостаточными для профильного обучения школьников СУНЦ? Потому, что воспроизведение изученного материала и комбинирование исходных данных в ограниченных рамках условия задачи тренирует

в первую очередь только способность воспроизводить материал и решать типовые задачи. Это необходимый элемент обучения, но к развитию научного мышления он отношения не имеет. Использование олимпиадных задач тоже не всегда помогает: зачастую они отрабатывают те же навыки, но при этом – на неоправданно усложнённом материале. Гораздо более ценны задания с открытым ответом («Предложите способ...», «Обоснуйте...», «Объясните...» «Предскажите...»), в которых рассматриваются как простые вопросы, богатым источником которых является, в частности, незаслуженно забытый [6], так и предлагаются многоуровневые творческие задания, описанные, например, в [7].

Здесь нам хотелось бы рассмотреть некоторые типы задач по химии, специально разработанные для развития навыков научной деятельности у школьников. А именно, задачи «с открытым условием», решаемые с помощью справочной литературы, и задачи, в основе которых лежат оригинальные научные тексты известных ученых.

Задачи «с открытым условием»

Неотъемлемый компонент исследования – это поиск информации по его тематике. Поэтому мы поставили себе цель разработать задачи, которые невозможно свести к комбинированию всех данных условия с тем, чтобы получить похожий на правду ответ. Они имитируют реальные моменты научной работы, когда исследователь должен принять решение, какими из имеющихся данных воспользоваться с той или иной целью, а каких не хватает и где их можно было бы найти и как оценить. По аналогии с задачами с открытым ответом, в которых ответ неоднозначен, мы назвали такие задачи «*заданиями с открытым условием*», поскольку неоднозначно в них как раз условие – школьнику самому следует найти исходные данные.

Пример одного из простых заданий. *Какой атом легче отдаёт электрон – серебро или золото? Почему?*

К сожалению, многие школьники, несмотря на огромные возможности, предоставляемые интернетом, склонны ограничиваться учебником (и даже порой упрекают нас, что в них не хватает той или

иной информации для решения некоторых заданий). А в учебнике написано, что радиусы атомов элементов одной группы растут с номером периода, и более крупные атомы отдают электроны легче, чем более маленькие. И основную тенденцию эта информация вполне отражает. Но, как говорится, есть нюансы.

Это конкретное задание про конкретные атомы направлено не на воспроизведение информации из учебника, а на поиск фактических данных и их объяснение. Чтобы ответить на первый вопрос, необходимо вспомнить, что «лёгкость отдачи электронов» определяется таким количественным параметром, как первый потенциал ионизации, затем следует найти значения этого параметра для серебра и золота в справочной литературе и сравнить их: Ag – 731,0 кДж/моль, Au – 890,2 кДж/моль [8]. Из этих данных следует, что серебро отдаёт электрон легче золота, что противоречит указанной выше тенденции.

Чтобы объяснить этот факт, посмотрим в том же справочнике радиусы атомов: Ag – 0,144 нм, Au – 0,144 нм. Они одинаковы! От чего ещё, кроме радиуса атома, зависит сила притяжения внешнего электрона к ядру? От заряда ядра. Тогда становится ясно, что золото (79-й элемент, т. е. заряд ядра +79) действительно должно притягивать свои электроны сильнее, чем серебро (47-й элемент, т. е. заряд ядра +47).

Можно также обсудить, почему радиусы атомов Ag и Au оказались одинаковыми (лантаноидное сжатие), поработать со справочником дополнительно и найти другие примеры и т. д.

В исходных формулировках заданий не было ограничений и предложений, где искать фактические данные. Это привело к тому, что некоторые ребята, предпочитающие интернет учебникам, ударились в другую крайность, бездумно доверяя любым сайтам и не подвергая информацию критическому анализу. Так, весьма простой вопрос о том, какова максимальная массовая доля кислорода в его бинарном водородном соединении, вылился в дискуссию с аргументацией: «В интернете же написано!». Действительно, поиск выдает несколько ссылок с упоминанием H_2O_5 (рис. 1). Но очевидно, что

не всякий интернет-ресурс может считаться авторитетным с точки зрения научной истины. Калькуляторы молекулярных масс считают по тем формулам, которые в них вводят; на форумах могут обсуждаться любые фантазии. Почему бы тому же школьнику не заглянуть на серьёзный ресурс (к примеру, [9])? Однако даже если использовать исключительно Википедию, следует научиться делать это разумно. Одно упоминание об H_2O_5 на [10] не делает это соединение существующим: на этой же странице приведена ссылка на оригинальную статью [11], где говорится о некоем интермедиате $(\text{HO}_2)(\text{HO}_3)$ – вряд ли его можно назвать полноценным веществом H_2O_5 .

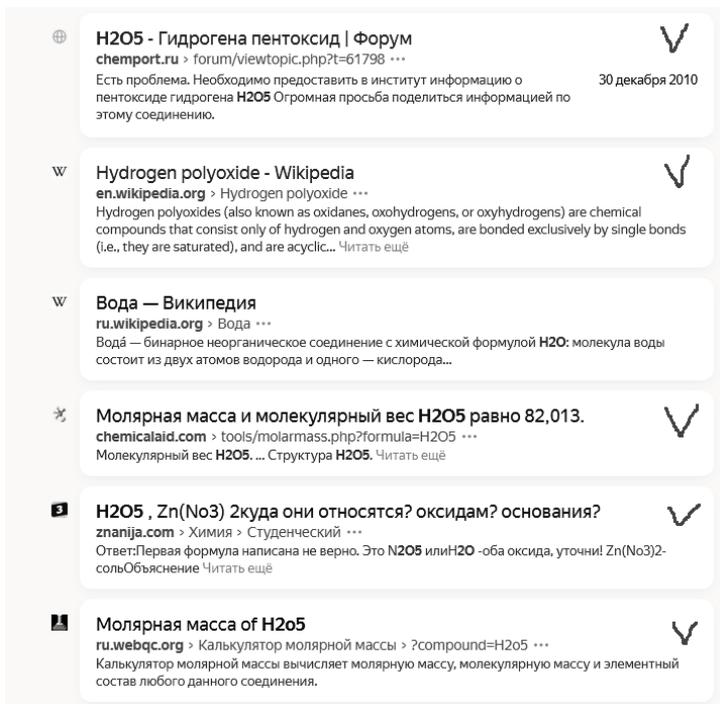


Рис. 1. Результат поиска «H₂O₅» в Яндексе

В итоге в качестве рекомендуемых источников данных было выбрано несколько справочников [8, 12, 13].

Приведем ещё несколько примеров заданий «с открытым условием».

Вопрос с простой формулировкой, но не таким уж простым решением. *Рассчитайте pH аккумуляторной серной кислоты.*

Во-первых, нужно найти в достоверных источниках (например, ГОСТ) массовую долю кислоты, используемой в свинцовом аккумуляторе (или плотность кислоты, а из неё по справочнику – молярную концентрацию). Во-вторых, несмотря на то что мы знаем серную кислоту как сильную, стоит поискать в справочнике константу диссоциации ($K_{a2} = 1,15 \cdot 10^{-2}$) и правильно провести расчёт (если это не учесть и считать серную кислоту сильной по обоим ступеням, pH будет отличаться на 0,3 – довольно заметная ошибка). Продвинутые школьники могут воспользоваться дополнительной литературой (например, [14]) и провести расчёт с использованием активностей или сразу привлечь значения известных функций кислотности для растворов H_2SO_4 .

Задание посложнее. *Рассчитайте pH 0,001 M растворов K_3PO_4 , K_2HPO_4 и KH_2PO_4 . Какие из этих растворов можно использовать в качестве калийно-фосфорного удобрения для а) традесканций; б) кактусов?*

Здесь необходимо не только найти константы диссоциации фосфорной кислоты и правильно рассчитать pH гидролиза, но и выяснить, какая кислотность почв предпочтительна для традесканций и кактусов, и сделать окончательный вывод. Подскажем: для кактусов подойдёт слабокислый раствор KH_2PO_4 (pH = 5,1), а традесканций – слабощелочной K_2HPO_4 (pH = 9,1).

Сложное задание. *Рассчитайте тепловой эффект нейтрализации сильного основания сильной кислотой в бесконечно разбавленных растворах.*

При решении можно пойти двумя путями: 1) найти теплоты или энтальпии образования воды, иона водорода и гидроксид-иона и рассчитать тепловой эффект по закону Гесса; 2) воспользоваться температурной зависимостью ионного произведения воды (реакция, обратная реакции нейтрализации) и найти стандартную энтальпию нейтра-

лизации графически из тангенса угла наклона прямой $\ln K^W - 1/T$ или аналитически (решив систему уравнений на основании пары данных). Преподаватель может конкретизировать задачу, а может предоставить учащемуся самостоятельно выбрать путь решения, исходя как из доступности данных, так и из личных предпочтений.

Некоторые задания «с открытым условием» нацелены на расширение химического кругозора и обращают внимание учащегося на удивительные для него факты. Приведём примеры таких заданий.

Рассчитайте рН нейтрального раствора при n у. (на основании таблицы значений ионного произведения воды при разных температурах; ответ 7,5).

Найдите в таблице самую малорастворимую соль калия, вычислите молярную концентрацию её насыщенного раствора и произведение растворимости при 20°C (на основании таблицы растворимости солей при разных температурах).

Найдите в таблице растворимости два твёрдых вещества, растворимость которых уменьшается с увеличением температуры (по той же таблице; например, это $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Li_2CO_3 , Li_2SO_4 , $\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3$ и др.).

Найдите в таблице самую сильную одноосновную кислоту и рассчитайте для её натриевой соли константу гидролиза. Действительно ли эта кислота является самой сильной? Почему? (согласно [12], это HSCN с $K_a = 10$, константа гидролиза ее соли 10^{-15} ; естественно, это не самая сильная кислота – сильные кислоты в таблице констант диссоциации отсутствуют).

Задачи на основе научных текстов

Этот блок задач связан с развитием в последние годы проектной и исследовательской деятельности на уровне средней школы. Подготовка к экспериментальному выполнению проекта или исследования сопряжена с предшествующим анализом литературы. Как правило, беглый поиск литературы по теме проекта в сети Интернет выводит учащихся на русскоязычную Википедию и статьи на популярных сайтах, легкие для чтения, но почти бессмысленные с точки зрения науч-

ного содержания. Опыт чтения более серьёзных научных и научно-популярных текстов у детей зачастую отсутствует даже на русском языке, не говоря уже об оригинальных статьях на иностранных языках.

Проблема с чтением и интерпретацией научных текстов осложняется тем, что даже старательный школьник, освоивший школьную программу в объёме основной школы, по новизне знаний по химии находится примерно на уровне начала XX века в лучшем случае, и это знание местами резко контрастирует как с бытовым опытом школьника, так и с доступными ему сообщениями современных СМИ. Дополнительной проблемой является то, что само по себе знание, почерпнутое из учебника, не даёт ответа на вопрос, как это знание было получено. Вследствие совокупности описанных причин современная оригинальная научная статья для школьника является некоей *Terra Incognita*, не позволяющей зачастую её осознать без специального отдельного внимания научного руководителя к данному аспекту работы.

В принципе, одним из путей смягчения проблемы является использование исторических текстов. Научный метод сформировался столетия назад, и задания, построенные на материале, хотя бы отдаленно знакомом учащемуся по курсу средней школы, позволят ему менее болезненно преодолеть описанный барьер. К тому же книги, посвящённые различным аспектам истории химии, не являются редкостью. Среди них хотелось бы упомянуть замечательный материал Б.Д. Степина и Л.Ю. Аликберовой [15], в котором можно найти задания, построенные на базе реальных исследований. При этом сами исследования пересказаны современным языком, и вопросы носят в основном качественный характер, что несколько смещает фокус рассмотрения с понимания научного текста на решение задачи в необычной формулировке. Академические издания (например, [16]) великолепны как источник для исследователей по истории химии, но слишком громоздки для непосредственного чтения детьми.

Преподнесение исторических текстов в виде хрестоматии с заранее выбранными фрагментами, ключевыми для понимания того или

иною тезиса, имеющего отношение к школьной программе, а также с вопросами качественного и количественного характера, построенными на материале этих фрагментов, может быть полезным для знакомства учащихся с научным методом до начала написания литературного обзора исследовательской работы. Элементы обработки численных данных, интерпретации деталей эксперимента, соотнесения незнакомой номенклатуры с современной, требуемые для понимания содержания фрагментов исторических текстов, подготавливают учащихся к встрече с современной научной литературой.

В качестве примера текста для тренировки распознавания знакомой тематики в незнакомом отображении можно привести фрагмент классического текста А.М. Бутлерова [17] с рис. 2.

«Имеющиеся налицо факты позволяют предположить существование очень большого количества изомерных алкоголей. Однако, несмотря на их разнообразие, я думаю, что им легко дать рациональные наименования. Прежде всего по количеству атомов водорода, связанных с углеродом, содержащим водяной остаток, следует различать алкоголи первичные, вторичные и третичные. Затем каждому алкоголю может быть присвоено наименование, если рассматривать его как производное, полученное посредством замещения из простого алкоголя. При этом сразу видно, что в высших рядах может существовать много первичных алкоголей, которые, вероятно, будут мало отличаться от нормального алкоголя.

Теория здесь идет, следовательно, дальше, чем опыты, но последние должны решить вопрос, все ли теоретически возможные алкоголи могут существовать в действительности».

Учащимся предлагается ответить на вопрос, соответствует ли количество изомеров, предсказанных Бутлеровым для 4-го и 5-го рядов, современным представлениям. Дополнительной подсказкой служит подвопрос: какая структура, вероятно, пропущена Бутлеровым, и как её можно назвать в современной и в исторической номенклатуре?

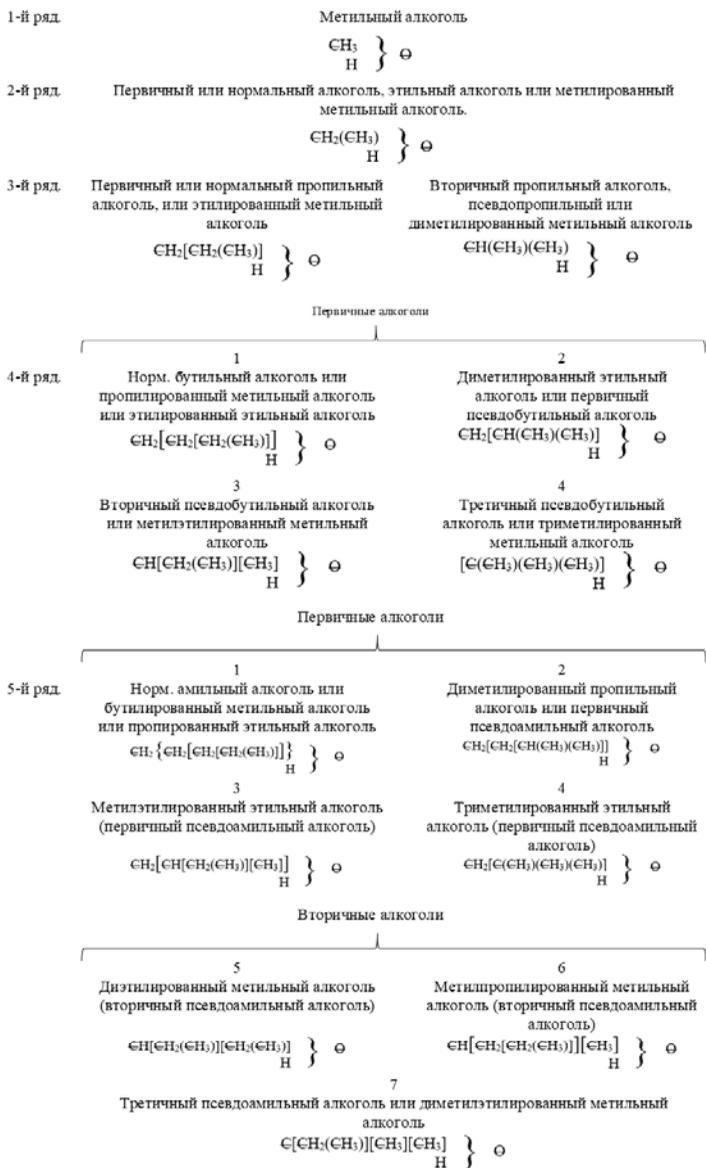
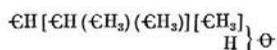


Рис. 2. Алkohоли по Бутлерову [17]

Систематический поиск изомеров подсказывает, что спиртов с четырьмя атомами углерода должно быть четыре, что соответствует числу изомеров 4-го ряда у Бутлерова. Для пяти атомов углерода современная теория предсказывает восемь изомеров, в то время как Бутлеров в данной статье описывает семь. Остается соотнести изомеры Бутлерова с современными структурными формулами. Систематический анализ приводит к пониманию, что искомый пропущенный изомер должен быть вторичным спиртом, так как количество приведённых Бутлеровым первичных и третичных спиртов совпадает с теорией. Что касается вторичных спиртов, Бутлеров приводит лишь изомеры с неразветвленной углеродной цепью, что позволяет найти недостающий изомер – его современное наименование 3-метилбутанол-2. К чести Бутлерова, он сам заметил и исправил свою ошибку и в том же 1864 году опубликовал дополнение к статье, в котором привел следующую структуру:

Метилпсевдопропилированный метильный алкоголь



Примером количественной обработки данных может служить нижеследующее задание, построенное на классической статье Виктора Мейера от 1878 года [18], посвящённой анализу плотности паров веществ с целью определения их относительных молекулярных весов. В статье приводится следующая таблица плотности паров по воздуху:

Хлороформ (в парах воды)

Теория	Найдено
4,13	4,32 4,51 4,44 4,34 4,40 4,38 4,36

Сероуглерод (в парах воды)

Теория	Найдено
2,63	2,87 2,91 2,92

Хлороформ (в парах анилина)

Теория	Найдено
4,13	4,31

Вода (в парах анилина)

Теория	Найдено
0,62	0,69 0,66 0,62

Ксилол (в парах анилина)

Теория	Найдено
3,66	3,87 3,83

Бромбензол (в парах анилина)

Теория	Найдено
5,43	5,11 5,77 5,59 5,13 5,0

Анилин (в парах этилбензоата)

Теория	Найдено
3,21	3,29

Цимол (в парах этилбензоата)

Теория	Найдено
4,63	4,75

Фенол (в парах этилбензоата)

Теория	Найдено
3,25	3,28 2,98

Требуется оценить молярную массу воды и ксилола по результатам применения этого метода и сравнить с теоретическими значениями.

Расчёт для воды приводит к следующим вычислениям:

$$M = ((0,69 + 0,66 + 0,62)/3) \cdot 29 = 19 \text{ г/моль.}$$

Аналогичный расчёт для ксилола даёт:

$$M = ((3,87 + 3,83)/2) \cdot 29 = 111,6 \text{ г/моль.}$$

В обоих случаях наблюдается превышение над теоретическим значением молярной массы около 5%, что для конца XIX века было достаточно хорошим результатом.

Само приведённое задание является лишь небольшой частью фрагмента исторической статьи, в которой подробно описываются детали опыта Мейера, его экспериментальная установка, обсуждаются плюсы и минусы методики. Сам по себе эксперимент в данном инструментальном оформлении десятилетиями служил исследователям для прямого определения молярных масс летучих веществ, пока не был вытеснен более современными методами, что показывает его историческую значимость.

Приведённые примеры были проработаны со школьниками СУНЦ МГУ, изучающими химию на углублённом уровне. Задания

позволяют проявить себя наиболее знающим школьникам и дают материал для разбора с остальным классом.

К настоящему моменту ряд заданий подобного рода уже опубликован нами, в частности задания, относящиеся к общей теме «Химическая связь», были собраны в отдельном издании [19]. Сама концепция и примеры заданий обсуждались с коллегами на научно-практических конференциях (например, [20]) и были хорошо приняты в профессиональной среде.

Описанные типы задач могут найти применение не только в работе с химическими и биологическими классами СУНЦ МГУ, но и в практике других школ с углублённым изучением химии и прочих естественных наук, в работе профильных кружков, конкурсов и турниров, а также могут использоваться студентами младших курсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морозова Н.И., Загорский В.В., Менделеева Е.А., Колясников О.В., Галин А.М. Особенности преподавания на химико-биологическом отделении СУНЦ МГУ // III Конференция «Новые образовательные программы МГУ и школьное образование». Москва, МГУ им. Ломоносова, 16 ноября 2013 г. – М.: МГУ, 2013. – С. 199-200.

2. Колясников О.В., Загорский В.В., Галин А.М., Менделеева Е.А., Сигеев А.С., Алёшин Г.Ю., Морозова Н.И. Система преподавания химии в химическом и биологическом классах СУНЦ МГУ // Российский и международный опыт и перспективы работы с одарёнными детьми: материалы всероссийской научно-практической конференции. – Якутск: Ленский край, 2014. – С. 17–20.

3. Сергеева М.Г., Морозова Н.И. Учиться в МГУ с 10 класса // Потенциал. Химия. Биология. Медицина, 2011. № 1. – С. 64–67.

4. Морозова Н.И. Практикум по химии в профильных классах: проблемы и решения. // Инновационные процессы в химическом образовании в контексте современной образовательной политики: материалы VI Международной науч.-практ. конф. 12–14 октября 2021 г. / Под ред. Г.В. Лисичкина. – Челябинск: Изд-во Южно-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2021. – С. 80–84.

5. Колясников О.В., Морозова Н.И., Тишкин А.А. О системе организации выполнения исследовательских работ учащихся на кафедре химии СУНЦ МГУ // Исследователь/Researcher, 2019. №3. – С. 109–114.

6. Гольдфарб Я.Л., Ходаков Ю.В. Сборник задач и упражнений по химии для средней школы: Учеб. пособие для учащихся. – 3-е изд. – М.: Просвещение, 1980. – 190 с.

7. Оржековский П.А., Давыдов В.Н., Титов Н.А., Богомолова Н.В. Творчество учащихся на практических занятиях по химии. Книга для учителя. – М.: АРКТИ, 1999. – 152 с.

8. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. – 3 изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1991. – 432 с.

9. Химический факультет МГУ. – URL: <http://www.chem.msu.ru/rus/weldept.html>

10. Hydrogen polyoxide. // Wikipedia. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_polyoxide

11. Xu X., Goddard W.A. Peroxone chemistry: Formation of H_2O_3 and ring- $(\text{HO}_2)(\text{HO}_3)$ from $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ // Proceedings of the National Academy of Sciences, 2002, 99 (24), p. 15308–15312.

12. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. – М.: Химия, 1989. – 448 с.

13. Справочник химика / Ред. Б.П. Никольский. – М.–Л.: Химия, 1966–1968. – В 7 т.

14. Островский В.А. За нижней границей шкалы pH // Соросовский образовательный журнал, 1998. №12. – С. 58–64.

15. Степин Б.Д., Аликберова Л.Ю. Книга по химии для домашнего чтения. – М.: Химия, 1994. – 400 с.

16. Менделеев Д.И. Жизнь и труды. – М.: АН СССР, 1957. – 256 с.

17. Butlerow A. Über den tertiären Pseudobutylalkohol (den trimethylirten Methylalkohol). // Zeitschrift für Chemie und Pharmacie, 1864, 7, s. 385-402. Цит. по Бутлеров А.М. Избранные работы по органической химии. – М.: АН СССР, 1951. С. 119–136.

18. Meyer V. Zur Dampfdichtebestimmung. // Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, 1878, 11 (2), s. 1867–1870.

19. Колясников О.В. Строки в учебнике химии. Методическое пособие. – Калуга: Изд-во АКФ Политоп, 2021. – 76 с.

20. Колясников О.В. О метапредметных заданиях по химии на материале исторических текстов // Профильное образование и специализированное обучение: эффективные практики в условиях трансформации образовательного пространства: сб. материалов Всеросс. научн.-метод. конф. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2021. – С. 63–67.