

## ЯЗЫК ХИМИИ: СОВМЕСТНЫЙ ВЗГЛЯД ХИМИКА И ЛИНГВИСТА

**Жилин Д.М.<sup>1</sup>, Бурлак С.А.<sup>2</sup>, Иткин А.И.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Политехнический музей, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт Востоковедения РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Школа «Муми-тролль», Москва, Россия

В начале 1990-х г.г. шотландский педагог Алекс Джонстон предложил модель, согласно которой существует три взаимосвязанных аспекта представлений о веществе (см. Рис.). Это макроскопический аспект (как вещество выглядит), микроскопический (как оно устроено) и символичный (какими символами оно обозначается) [1]. Основная идея этой модели была в том, что во избежание перегрузки рабочей памяти аспекты следует формировать отдельно и, потом отдельно формировать связи между ними. С тех пор эта модель активно разрабатывается и развивается на Западе [2].



Рис. Три аспекта представлений о веществе («треугольник Джонстона»).

В этой статье мы коснёмся одного из углов треугольника Джонстона, а именно – символического аспекта представления о веществе. На Западе принимают, что его важнейшая задача – представление и передача информации о макро- и микроскопическом

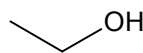
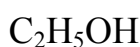
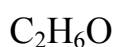
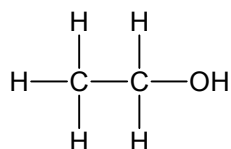
аспекте [3]. По большому счёту, символичный аспект весьма многообразен (например, к нему относятся записи  $N 1s^2 2s^2 2p^3$ ,  $m = v \cdot M$  и т. д.), но мы остановимся на химических формулах и химических уравнениях. Именно набор используемых в них символов и правила порождения и распознавания уравнений мы и будем называть «химическим языком». Набор используемых символов будет являться словарём этого языка, а правила порождения и распознавания – его грамматикой; сами же уравнения будут являться высказываниями на нём.

Обучение химическому языку есть неотъемлемая часть обучения химии. Тем не менее, за рубежом эта тема практически не рассматривается. Так, в базе данных scopus.com по ключевым словам «language of chemistry», «chemical language» и «chemistry language» в разделах «химия» и «общественные науки» обнаружено 74 работы. Но они обсуждают в основном терминологию, номенклатуру или историю символики, а не символичный язык, и при этом практически не цитируются. В России есть весьма ограниченное количество работ, обсуждающих химический язык, но среди их авторов нет ни одного лингвиста, то есть специалиста по науке о языке. Между тем, аппарат лингвистики достаточно хорошо разработан и направлен на решение проблем использования языков и обучения им. Привлечение аппарата лингвистики к анализу проблем обучения химическому языку (а, следовательно, и химии) может быть весьма многообещающим, что мы и хотим показать данной статьёй.

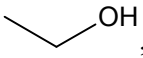
*Структура языка.* Любой язык имеет иерархическую организацию. Элементарной единицей звукового строя языка является фонема. Фонема – представление о звуке, образ, принадлежащий языковому сознанию (см., например, [4]), не имеющий собственного значения, но позволяющий различать единицы, обладающие смыслом. Компоненты более высокого уровня иерархии являются значимыми. Минимальный значимый компонент называется морфемой [5]. В русском языке к морфемам относятся корни, приставки, суффиксы, окончания; одиночными морфемами являются также неделимые служебные слова

(такие, как первообразные предлоги, союзы и т.п.). В химическом языке морфемами будут символы элементов, знаки «+», «=», «↑», «↓» и индексы (последние, впрочем, можно отнести к супрасегментным единицам, уподобив ударению и интонации обычного естественного языка). Интересно, что в химическом языке, в отличие от естественных языков, по-видимому, не имеет смысла выделять незначимые фонемы – его иерархия начинается сразу со значащих единиц – морфем. Следующий уровень иерархии – слово. Слова могут состоять как из одной морфемы (как предлоги или союзы), так и из нескольких. Определение слова – предмет спора филологов, но проще всего пользоваться определением А.А. Зализняка: словом является любая совокупность графических символов между двумя пробелами [6]. Тогда словами химического языка будут формулы веществ, знаки «+», «=», «↑», «↓» и коэффициенты. Как и в естественных языках, слова собираются в предложения – наиболее крупные грамматические единицы, могущие «естественно функционировать в речи в качестве полноценного сообщения» [7]. Уравнения реакций суть предложения химического языка.

*Стили языка.* Как и в живом языке, в химическом языке можно выделить разные стили. Но если стили живого языка различаются в первую очередь словами и построением предложений (сравните, как один и тот же смысл может быть выражен средствами жаргона: «я отбашлял ему косарь зелени», – нейтрального стиля: «я заплатил ему тысячу долларов», – и официально-делового стиля: «ему мною была выплачена одна тысяча долларов США»), то в химическом языке – формами записи слов. Например, для этилового спирта такими формами будут



При этом люди, понимающие одни стили, не обязательно будут понимать другие. Так, те, кто не знаком с сокращённой формой

записи, не поймут запись , как не поймут жаргон те, кто не знает, что такое «косарь» и «зелень». Кроме того, некоторые формы записи оказываются омонимичными (многозначными), как например форма «C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O» (аналогично слову «зелень» в вышеприведенной фразе).

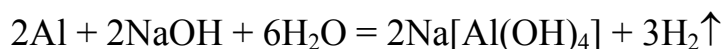
*Конвенциональность языка.* Правила любого язык конвенциональны, то есть являются следствием соглашения между его носителями. Например, в русском языке обозначение предмета мебели, имеющего приподнятую горизонтальную поверхность, словом «стол» является не более, чем плодом соглашения и никак не вытекает из каких-то логических правил. Так называемые «правила языка» при этом оказываются не более, чем привычкой, характерной для подавляющего большинства его носителей. С другой стороны, во многих языках правила литературного языка, особенно письменного, кодифицируются. В результате носители языка легче и менее многозначно понимают друг друга (сравните «моя твоя не понимай» и «я тебя не понимаю»). Кодификация письменного языка значительно ускоряет чтение «про себя», ибо при таком чтении читатель выхватывает образ слова целиком, а не прочитывает его по буквам (попробуйте, например, прочитать текст «химийа йэсть наука авицьсьтвах»).

В отличие от живых языков, слова химического языка, то есть химические формулы, часто можно логически вывести. Например, правила валентности позволяют составлять формулы бинарных соединений, те же правила с некоторыми дополнениями про стериические ограничения – формулы соединений из трёх элементов, и так далее. Поэтому если компьютерные программы, автоматически проверяющие правописание на живых языках, приходится снабжать обширными словарями, то для проверки правописания химических формул в большинстве случаев достаточно снабдить эти программы неким набором алгоритмов. Это происходит потому, что во многих естественных языках большинство слов носители просто помнят, и лишь меньшее число выводят по алгоритмам из составляющих

морфем (но такая возможность тоже есть: например, услышав или увидев впервые слово «корчеватель», мы сразу поймём, что это либо инструмент или машина для корчевания, либо человек, занимающийся корчеванием).

*Избыточность языка.* Значительная часть живых языков прощает ошибки и недоговорки. Например, если человек скажет в хлебном киоске «мне жетон беглого», то этот человек получит батон белого хлеба (хотя продавец может и переспросить). Так происходит потому, что языки избыточны. То есть не всякое сочетание фонем образует морфему, не всякое сочетание морфем – слово, не всяким способом слова можно сочетать в предложения. Получив слово или выражение с ошибкой, мозг сам подбирает ближайший правильный аналог. С другой стороны, такой подбор требует дополнительного напряжения мозга, поэтому коммуникация с использованием ошибок затрудняется.

Может показаться, что химический язык недостаточно избыточен. То есть ошибки в двух-трех символах часто делают невозможным понимание предложения. Например, если в уравнении



заменить, например «Al» на «Ag» или «Na» на «Ca», то получится бессмыслица. Однако любой грамотный химик легко скорректирует эти ошибки. Более того, в этом предложении можно вообще утратить больше половины символов, и грамотный химик их восстановит – именно потому, что не всякое сочетание символов соответствует реальному веществу и не всякий набор формул, соединённый знаками и имеющий в своём составе коэффициенты, представляет собой химическую реакцию:



Поэтому химический язык весьма избыточен. Его избыточность определяется жесткими правилами грамматики, о которых мы будем говорить ниже.

Существует и ещё один вид избыточности: количество способов, которыми можно изложить тот или иной смысл. Такого рода

избыточность у химического языка, видимо, невелика, поскольку мы не можем описать одну и ту же реакцию разными уравнениями или вставить в уравнение различные способы обозначения одного и того же вещества.

*Достраиваемость языка.* Очень важным свойством естественного человеческого языка является его достраиваемость. Человек, когда в детстве овладевает языком, не выучивает все формы слов (и уж тем более все возможные высказывания) наизусть, – у него формируются некие порождающие алгоритмы, позволяющие склонять и спрягать слова (если они в его языке склоняются и спрягаются) и строить из них высказывания, понятные для других носителей того же языка. Существенно, что эти порождающие алгоритмы вырабатываются как привычка, произвольно; заучивание же правил наизусть, как это происходит при изучении иностранного языка в школе, к успеху не приводит: на выученном в школе иностранном люди обычно говорят гораздо менее бегло и легко, чем на родном. В этом смысле язык химии тоже достраиваемый, но, поскольку он изучается в зрелом возрасте, очень небольшое количество людей способно выстроить соответствующие произвольные алгоритмы.

*Свойства высказывания.* Любое высказывание на любом языке обладает следующими свойствами.

– У него есть прагматика (коммуникационная цель; зачем оно сказано/написано).

– У него есть грамматика (внутренние связи в нём; как оно сказано/написано). Из грамматики можно выделить морфологию (как устроены слова) и синтаксис (как слова связаны друг с другом). Именно она отвечает за достраиваемость и избыточность языка.

– У него есть семантика (смысл; что в нём сказано/написано).

Разберем соответствующие свойства химического языка.

*Прагматика химического языка.* У языка существуют разные коммуникативные цели: сообщение, просьба, вопрос,

предупреждение, обещание, оценка, поздравление... Анализ этих целей занял бы довольно много времени, но в случае химического языка он очень сильно упрощается по сравнению с естественными языками. Для этого примем следующие посылки.

– Химический язык есть научный язык.

– Задача науки – создавать и распространять адекватные и фальсифицируемые модели, отображающие действительность в тех или иных границах.

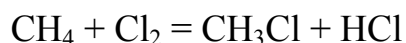
Из этого следует, что коммуникативная цель у химического языка (как и у любого другого научного языка) одна: адекватно (в тех или иных границах) отображать (моделировать) действительность и передавать информацию о ней (что вполне согласуется с мнением как специалистов в обучении химии [3], так и специалистов в химической терминологии [8]). В этом его прагматическое отличие от естественного языка и из этого есть явное следствие. В научном (в том числе в химическом) языке могут существовать недопустимые предложения. Это предложения, не соответствующие действительности. Любое уравнение реакции, которая не идет, будет недопустимым предложением. В естественном языке такого ограничения нет. Например, предложение «эльфы победили орков» никакой действительности не соответствует, но оно допустимо, например, в коммуникационных целях спровоцировать работу воображения.

Таким образом, предложения языка химии – химические уравнения – должны отражать реально происходящие процессы. Более того, как мы покажем далее, грамматика языка химии позволяет, хотя и в определенных пределах, достраивать уравнения, то есть, по сути, предсказывать реальные процессы.

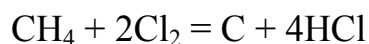
Поскольку задача языка химии – отражение действительности, это отражение может происходить грубее или точнее [9]. В химическом языке эти уточнения проявляются непосредственно в словах. Например, оксид цинка грубо отражается словом  $ZnO$ , более точно – словом  $ZnO_{1-x}$ , ещё точнее – словом  $ZnO_{0.99993-1}$ . Аналогично в живом

языке: грубым описанием действительности будет «встал рано утром», а более точным – «встал часов в пять утра» или «встал утром в пять пятнадцать». Богатое владение химическим языком, как и живым, позволяет точнее описывать разные ситуации, но это не всегда требуется. Например, для предсказания продуктов реакции оксида цинка с соляной кислотой достаточно слова  $ZnO$ , а для объяснения, почему это вещество желтеет при нагревании, приходится описывать его как  $ZnO_{1-x}$ .

Интересно, что в заданиях ЕГЭ по химии недопустимые предложения часто считаются «правильными», а допустимые «неправильными». Например, уравнение



считается «правильным», а уравнение



как «правильное» экзаменатор не зачтёт. При том, что в большинстве условий действительности соответствует именно второе уравнение, а проведение первой реакции требует очень специфических условий [10]. То есть коммуникационная цель языка, которым требуется изъясняться на ЕГЭ, отличается от коммуникационной цели химического языка. Какова же коммуникационная цель языка ЕГЭ?

Для ответа на этот вопрос нужно вспомнить, что любой язык неосознанно воспринимается не только как средство передачи информации, но и как система распознавания «свой-чужой». «Свои» употребляют те же слова в тех же формах и в тех же предложениях, «чужие» делают в них «ошибки». Например, выражение «косарь зелени» изначально употреблялось в околопреступных кругах, и его употребление было сигналом «я свой» для представителей этих кругов. Наказание за ошибки в использовании определенных слов и предложений есть признак использования языка как системы распознавания «свой-чужой» (представьте себе реакцию уголовников на человека, сказавшего «косарь зелёнки» или реакцию интеллигентов-нелингвистов на «вкусное кофе»). Именно такое наказание мы наблюдаем в ЕГЭ. То есть ЕГЭ проверяет не столько



знания химии, сколько относится ли экзаменуемый к «своим» для составителей заданий. Таким образом, ЕГЭ оказывается неадекватным инструментом проверки знаний уже на уровне прагматики языка.

*Грамматика химического языка.* В любом естественном языке есть определенные правила составления слов (морфология) и предложений (синтаксис). Например, в русском языке слова состоят из корня, перед которым может идти приставка, а после которого – один или несколько суффиксов. Перед словом «стол» может идти притяжательное местоимение «мой», но не может местоимение «моя» или непереходный глагол «бежать».

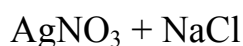
В химическом языке также есть морфология и синтаксис, хотя их правила сильно отличаются от правил морфологии и синтаксиса естественных языков.

По сути, морфология химического языка есть правила составления химических формул. Эти правила, по крайней мере, для языка школьного уровня, достаточно жестко алгоритмизированы на основе понятия «валентность» (хотя оказываются не вполне адекватными, например, в химии твёрдого тела [11]). А это значит, что химический язык оказывается не только средством представления и передачи информации о веществе [3], но и средством предсказания его состава. Конвенциональным здесь остается только порядок записи элементов (например, «NaOH», а не «HNaO»), что обусловлено легкостью чтения кодифицированных слов (см. раздел «конвенциональность языка»).

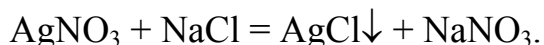
Синтаксис химического языка основывается на правилах взаимодействия веществ друг с другом. Их свод достаточно обширен, но, тем не менее, занимает гораздо меньший объём, чем весь корпус предложений химического языка.

Таким образом, морфология и синтаксис химического языка обуславливают его высокую избыточность. Настолько высокую, что химический язык сам по себе оказывается инструментом, обладающим предсказательной силой. Например, в русском языке из начала предложения «Вася пошёл гулять и...» никакими грамматическими правилами нельзя предложить его завершение (хотя,

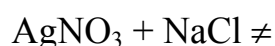
безусловно, зная конкретного Васю можно предположить, что с ним случится). А вот в химическом языке начало предложения



путём классификации соответствующих веществ, как электролитов и использования правила Бертолле завершается как



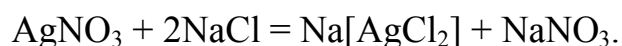
Однако, если вернуться к прагматике химического языка как отображения реальных процессов, то с его грамматикой всё оказывается не так просто. Предложенное выше завершение фразы молчаливо предполагает, что речь идёт о водных растворах соответствующих соединений. Между тем, если мы в качестве растворителя возьмём не воду, а жидкий аммиак, то эта реакция не пойдёт вовсе:



Если мы смешаем твердые вещества и нагреем их, то в реакцию вступит только нитрат серебра:



Если мы возьмём насыщенный водный раствор хлорида натрия и добавим к нему раствор нитрата серебра, то образуется растворимый комплекс:



Таким образом, грамматика химического языка зависит от условий, не отражаемых средствами этого языка, а молчаливо подразумеваемых.

В свете этого для адекватного обучения химическому языку приходится поставить два вопроса: (а) откуда берутся правила грамматики и (б) как люди их усваивают.

Ответ на первый вопрос показывает серьёзное отличие химического языка от естественных языков. Происхождение грамматики естественных языков есть до сих пор тема дискуссий, но, видимо, возникли они, когда в коммуникационных ситуациях слова или морфемы с определенными значениями оказывались рядом [12]. При этом грамматика естественных языков гораздо древнее, чем

грамматика химического языка и потому в современных языках она есть продукт долгой эволюции, связанной с изменением окружающей действительности, коммуникационных целей и т.д. Что касается химического языка, который призван отражать действительность, то источник его грамматических правил может быть только один: эксперименты, в которых устанавливаются правила превращения одних веществ в другие. При этом речь об эволюции грамматики может идти только тогда, когда открываются новые данные о результатах новых экспериментов. То есть источником грамматических правил в живых языках являются сообщества его носителей, а в химическом языке он лежит вне носителей языка. Носители языка их только формулируют и кодифицируют.

Что касается усвоения языка, то правила родного языка усваиваются путём подражания: ребёнок говорит (а позже – пишет) так, как говорит (а позже – пишет) его окружение [13]. Именно поэтому при общении с маленькими детьми важно говорить грамотно, а детские книжки не должны содержать грамматических ошибок и опечаток. Однако языку химии обучают тогда, когда детский возраст, так называемый чувствительный период, когда овладение языком происходит автоматически, уже давно закончился. При обучении языку в этом возрасте раньше грамматические правила явно формулировали, заучивали и пытались использовать. Однако такой подход оказался неэффективным и сейчас эффективными считаются различные «живые» методы, в которых грамматические правила усваиваются по образцам и потом отрабатываются по аналогии.

Однако тут опять проступает различие в источниках грамматических правил химического языка и живых языков. Коль скоро источником правил живого языка есть сообщество его носителей, для их «живого» усвоения достаточно общения с носителями. В химическом языке этого недостаточно, так как носители языка не являются источником его правил. Это значит, что при обучении химическому языку приходится обращаться не только к его носителям, но и напрямую к источнику правил, то есть к

эксперименту. И здесь мы плавно переходим к семантике химического языка, то есть смыслу химических формул и уравнений.

*Семантика химического языка.* Для владения языком недостаточно владения грамматикой языка. Более того, человек может достигать коммуникационных целей, не владея грамматикой (что может почувствовать любой носитель русского языка, пообщавшись с гастарбайтерами). И, наоборот, человек, безукоризненно владеющий грамматикой, может вместо достижения коммуникационной цели нарваться на неприятности. Например, произнеся вместо «спасибо» грамматически безукоризненную фразу «пошёл к чёрту, вонючий ублюдок». В чём здесь проблема? Проблема в том, что перед ответом на вопрос «как сказать» нужно ответить на вопрос «что сказать», то есть какой смысл хочется передать. То есть нужно понимать значения слов, каковыми занимается семантика.

Избыточность и предсказательная сила химического языка создаёт для преподавателей химии опасную ловушку. Они начинают преподавать только грамматический аспект языка, полностью игнорируя семантический. В результате учащиеся умеют грамматически правильно записывать химические уравнения, полностью не понимая их смысла. Наука о веществах превращается в науку о правилах написания химических формул.

Чтобы вернуть смысл химическому языку нужно ответить на вопрос, какой смысл несут химические формулы и химические уравнения. А для этого вообще осветить вопрос о смысле слов и предложений в любом языке.

Слово в языке есть некая модель какого-то объекта. «Понимать смысл слова» означает представлять свойства объекта, обозначаемого этим словом, и его взаимосвязи с другими объектами. Иными словами, в терминах когнитивной психологии [14] «смысл» это находящиеся в долговременной памяти связи между словом и свойствами соответствующего объекта. То есть при чтении формулы  $ZnO$  хорошо знающий химию читатель поймёт, что это белый нерастворимый в воде порошок, амфотерный оксид (со всеми

следующими из этого свойствами), может применяться как белила и т.д. В терминах треугольника Джонстона, смысл слова химического языка – это связь между символическим аспектом представления о веществе с одной стороны и микро- и макроскопическим аспектом – с другой.

Чем лучше человек владеет языком, тем более сложная система связей сформирована в его мозгу между этим словом и свойствами соответствующего объекта. А поскольку все люди разные, то оказывается, что одно и то же слово для разных людей обладает несколько разным смыслом (именно поэтому многие споры оказываются столь же яростны, сколь и бесплодны, – если бы люди скорректировали своё понимание смысла того, о чём ведётся спор, спорить сразу стало бы не о чем). В идеале смыслы должны совпадать, но реально они не более, чем пересекаются. Это вызывает проблемы непонимания участников коммуникации. Ибо если человек построит высказывание, используя выражение «желтый ZnO», а тот, кто будет это высказывание воспринимать, никогда не видел этого вещества при нагревании и считает, что оно может быть только белым, то данное выражение для него не будет иметь смысла.

Как люди постигают смыслы слов? Прежде всего – по контекстам, в которых они их слышат. Если, например, человек слышал слово «лебедь» только по отношению к большим белым птицам, он может быть совершенно уверен, что чёрных лебедей не бывает (собственно, до открытия Австралии в этом были уверены все европейцы). А это значит, что обучение химическому языку возможно только в реальном взаимодействии с объектами, которые он описывает, то есть с веществами. Вопрос организации наиболее эффективных взаимодействий с точки зрения лингвистики остаётся темой отдельных статей. Но оказывается, что даже взгляд со стороны такой, казалось бы, далёкой от химии науки, как лингвистика, подтверждает ведущую роль эксперимента в обучении химии – то, что признаётся на словах, но совершенно не реализуется на деле [15].

### Выводы

Во-первых, прагматика химического языка заключается в моделировании веществ и их реакций. Во-вторых, с лингвистической точки зрения, правила составления формул веществ и уравнений реакции есть грамматика химического языка. И, в-третьих, основная проблема при обучении химическому языку заключается в обучении его семантике, то есть приданию смысла химическим формулам и уравнениям реакций. Ей реально обучить только на опыте.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Johnstone A.H.* The nature of chemistry // *Education in Chemistry*, 1999, 36(2), p. 45-48.
2. *Taber K.S.* Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. // *Chemistry Education Research and Practice*, 2013, 14, p. 156-168.
3. *Taber K.S.* Learning at the symbolic level / *Gilbert J.K. and Treagust D.F.* (Ed.), *Multiple Representations in Chemical Education*, Dordrecht: Springer, 2009, pp. 75–108.
4. *Кодзасов С.В., Кривнова О.Ф.* Общая фонетика. – М.: РГГУ, 2001, с. 24-25.
5. *Плунгян В.А.* Общая морфология: Введение в проблематику. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012.
6. *Зализняк А.А.* «Русское именное словоизменение» с приложением избранных работ по современному русскому языку и общему языкознанию. – М.: Языки славянской культуры, 2002, с. 19.
7. *Тестелец Я.Г.* Введение в общий синтаксис. – М.: РГГУ, 2001, с. 232.
8. *Dermer O.C., Gorin G., Loening K.L.* The Standardization of Chemical Language // *Linguistics*, 1977, 15(189), p. 61-83.
9. *Жилин Д.М.* Заблуждения в химии – объект борьбы или вехи обучения? / *Естественнонаучное образование: вызовы и перспективы* / Под ред. В.В. Лунина и Н.Е. Кузьменко. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2013, с. 171-191.
10. *Жилин Д.М.* Как на самом деле реагирует метан с хлором / *Химия в школе*, 2011, №3, с. 64-67.
11. *Norpe R.* On the Symbolic Language of the Chemist. *Angewandte Chemie International Edition in English*. 1980, 19(2), p. 110-125.
12. *Бурлак С.А.* Происхождение языка. Факты, исследования, гипотезы. – М.: Астрель Corpus, 2011, – 464 с.

13. *Tomasello M.* Constructing a language: A usage-based approach to language acquisition. – Cambridge, MA: Harvard University Press, 2003. – 388 p.

14. *Жилин Д.М.* Когнитивная психология: ключ к решению некоторых проблем преподавания химии // Первое сентября. Химия. Октябрь 2015, с. 3-8.

15. *Жилин Д.М.* Химический эксперимент в российских школах. Естественнонаучное образование: тенденции развития в России и в мире / Под ред. В.В.Лунина и Н.Е. Кузьменко. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2011, с. 125-149.