

ВОВЛЕЧЕНИЕ ШКОЛЬНИКОВ 8-10 ЛЕТ В ХИМИЮ: ОПЫТ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО МУЗЕЯ

Жилин Д.М.

Политехнический музей, Москва, Российская Федерация

В 2013 г. Политехнический музей начал реконструкцию исторического здания, сопровождаемую полным ребрендингом музея, в том числе его научных лабораторий. Цель научных лабораторий – популяризация науки среди широкой публики путем вовлечения её в активную деятельность. При этом мы сразу же столкнулись с явно сформулированной потребностью широкой публики в практических занятиях по химии для младших школьников. Для удовлетворения этой потребности в качестве эксперимента была запущена детская химическая студия «Грани», причем мы честно предупредили родителей, что опыта подобной работы у нас нет, и группа будет экспериментальной.

По прошествии трёх с половиной лет студию «Грани» можно считать наиболее востребованным проектом научных лабораторий Политехнического музея. Опытом этой работы мы и хотим поделиться.

Обзор опыта и психологических теорий, описанных к началу работы

Зачем учить химии. Когда мы начинали этот проект, единственным ответом на этот вопрос был «потому что этого просят родители». Ответить на вопрос «зачем учить химии ваших детей» родители затруднялись – они просто говорили, что «это интересно». Поэтому нам пришлось сформулировать ответ на этот вопрос за них.

В литературе встречаются описания вовлечения младших школьников не столько в химию, сколько в естественные науки

вообще. Цели при этом могут быть весьма разнообразны. Это «позабавить школьников» [1-4] познакомить с тайной [5]; развить интерес к химии или любопытство [4-8]; помочь усвоить науку или донести некоторые химические понятия [3, 7, 9, 10]; показать важность химии в повседневной жизни [5, 10, 11]; представить химию как науку [3, 10, 12]; развить науку или научные навыки [5, 11, 13]; вдохновить учащихся на научную деятельность [7] и т. д. Весьма многообещающей представляется идея развивать взаимодействие между родителями и детьми [7, 14, 15]. Иногда образование детей сопрягают с образованием учителей [1, 8, 11, 13]. Однако нередко авторы провозглашают одну цель, а реально работают на достижение другой. Например, авторы [4] провозглашали целью развитие любопытства, а реально представляли химию как науку, развивая навыки наблюдения, предсказаний и формулирования теорий.

Однако авторы всех этих идей не обсуждали, реально ли достигаются эти цели, и действительно ли они вносят вклад в развитие школьников. Список возможных результатов, которые можно собрать из литературы, таков:

- положительное отношение к науке;
- лучшее понимание научных понятий, которые позже изучаются формально;
- влияние на окончательное формирование научных понятий;
- школьники понимают научные понятия и учатся научным рассуждениям;
- развитие критического мышления.

Идея положительного отношения к науке представляется очевидной, однако для этого нужно одно условие: успешное решение задач [16]. Как это ни парадоксально, истоки последнего утверждения скрыты: мы проследили ссылки в работе, в которой это утверждение прозвучало, однако не нашли никаких экспериментальных подтверждений ему.

Идея «развития научного мышления» противоречит особенностям возрастной психологии. Согласно теории интеллектуального развития

Пиаже, возраст 8-10 лет соответствует началу стадии конкретных операций [17]. На этой стадии человек может проводить умственные операции только над конкретными объектами, событиями и ситуациями. Отмечено [18], что учащиеся могут проводить прямые наблюдения и измерения, но не могут делать обобщенных выводов (за исключением классификаций). Также они не могут усваивать понятия, не связанные с чем-то видимым (например, понятие кислоты как донора иона H^+). Поэтому в возрасте 8-10 лет школьники не готовы к абстрактным научным теориям. Более того, научное мышление и даже простое применение химических теорий в реальной жизни требует хороших предметных знаний [19-21], которыми дети не обладают [22, 23]. С другой стороны, в возрасте 4-6 лет дети выдвигают и проверяют гипотезы, а также делают выводы, что есть основа научного мышления [24]. При этом в терминах Перри [25] дети – дихотомисты. Любую гипотезу они воспринимают как либо как «правильную», либо как «неправильную». Вопросов о границах её применимости, что есть необходимая черта научного мышления, они не ставят. В шесть лет формируется мыслительный цикл: «что представляет собой проблема – как я к ней подхожу – что я делаю – удовлетворен ли я результатом» [26]. В этом же возрасте дети распознают источник знаний: теория или опыт [27]. У них также формируются навыки оценивания источников информации и понимание принципов эксперимента [28]. Единственная черта научного мышления, которая возникает между 8 и 11 годами, это понимание роли контроля переменных («Как выяснить, влияет ли X на то, как далеко катится мяч»), [22], но это понимание требует прямого инструктирования [29].

Таким образом, низкоуровневые черты научного мышления, кроме контролирования переменных, к восьми годам уже оказываются сформированы, а для формирования высокоуровневых черт ещё слишком рано. Первое препятствие на этом пути – недоразвитость формальных операций, второе – нехватка предметного опыта.

Таким образом, мы решили сделать упор на формирование предметного опыта в терминах [30]. А именно, на накапливании

опыта взаимодействия с конкретными явлениями и формировании прямых связей между ними в долговременной памяти. Иными словами, развивать «глаза и руки», то есть процедурные навыки и навыки наблюдений, в том числе в незнакомых ситуациях. Естественно, не следовало забывать о сохранении любопытства и положительного отношения к науке.

Как оценить успех программы. Следующие вопросы после «зачем учить химии?» – «чему учить?» (содержание материала) и «как учить?» (организация процесса). Тут мы встречаемся с серьезными трудностями, ибо в большинстве стран обучение химии начинается в 12-15 лет [31]. Применимость опыта обучения в этом возрасте для наших задач сомнительна в силу различия как целей обучения, так и возрастных психологических особенностей. Тем не менее, некоторый опыт обучения химии в раннем возрасте описан. Однако для его анализа начала нужно понять, что считать успехом обучения.

Предложено [32] считать практическую работу успешной, если учащийся делает и усваивает именно то, что от него хочет учитель. Но при таком подходе родители не привели бы нам своих детей, потому что они хотят развивать детей, а не удовлетворять ожидания преподавателей. Поэтому нам, как минимум, нужно выбрать разумные ожидания, соответствующие идее развития школьника. Наиболее известная рамка для такого выбора – это таксономия Блума [33] с различными дополнениями. Мы будем базироваться на дополнениях Андерсона и Кратвола [34]. В некоторых случаях она неадекватна обучению химии (см. ниже), но ничего лучшего мы не знаем. Она разделяет результаты обучения на три области (познавательную, психомоторную и эмоциональную) с разными уровнями внутри каждой области. Большинство авторов программ обучения химии младших школьников оценивали либо эмоциональные навыки низкого уровня (принятие информации и ответ на неё), либо познавательные навыки низкого уровня (запоминание и понимание). Некоторые авторы [9, 14] только выражали мнение, что программа была полезна для дальнейшего развития школьников, не приводя

доказательств. В работе [6] поставлен вопрос о результатах, но ответ не дан.

Чаще всего обсуждается такая характеристика успеха, как интерес школьников. В терминах Блума, это принятие информации и ответ на неё: воспринимает ли школьник то, что ему предлагают, и действует ли он в ответ на полученную информацию. Проще всего оценить это, наблюдая за школьниками: делают ли они то, что ожидает учитель [10, 35], насколько они полны энтузиазма [12], доброжелательна ли их реакция [6, 10], нравится ли им в классе [3]. По этим критериям все описанные программы были успешными. Однако эти наблюдения носят лишь качественный характер. Кроме того, проблемы меньшинства школьников могут ускользнуть от внимания учителя. Можно предложить школьникам какие-то письменные опросники [35, 36], но дети очень не любят их заполнять.

Анализируя опубликованные работы, мы обнаруживаем брешь в таксономии Блума. Так, было отмечено [7, 9, 15] желание школьников продолжать эксперименты дома. Безусловно, это можно считать успехом в эмоциональной области, но такого пункта как «желание работать самостоятельно» в таксономии Блума нет. Любопытство – тоже важное условие обучения [37] и должно быть развито при обучении химии. Однако такого термина в таксономии Блума тоже нет. Просьбы от родителей о продолжении [9, 12] тоже можно считать критерием успеха, но и этот критерий лежит вне таксономии Блума.

Что касается познавательной области, то тут оценка успеха гораздо менее очевидна. В работах [1, 3, 7, 38] перечислены понятия, на формирование которых были направлены их программы, но никаких подтверждений тому, что они были действительно сформированы, нет. Автор [9] задавал детям вопросы, на которые нужно было громко ответить в одном-двух словах («Из чего всё сделано?» – «Из атомов!»), чтобы оценить успехи в запоминании. Автор [11] побуждал детей задавать вопросы и таким образом оценивал их понимание (критерии не указаны). Однако любая устная активность показывает понимание только у наиболее активных школьников, а не у всей

группы. Для оценки понимания также предложено оценить использование терминов в письменных заметках школьников или в ходе устного общения [3], но такой подход вряд ли можно назвать систематическим.

В психомоторной области таксономия Блума представляется вовсе неадекватной. Чтобы стать адекватной, она должна включить навыки получения опыта (например, как они описаны в работе [39]). В первую очередь речь идёт о навыках наблюдения, которые не упомянуты в таксономии Блума. Развитие этих навыков может быть оценено при анализе записей детей (как это сделано в работе [3]), но дети не любят делать записи [13]. Авторы [38] отметили, что школьники задавали вопросы в ходе своей работы, но не указали, был ли этот навык развит, или только продемонстрирован.

Как учить: организация деятельности. Из всех опубликованных материалов очевидно, что работа руками – самый интересный вид деятельности для школьников. Наблюдения [35] показали, что дети 9-12 лет не хотели сидеть пассивно и наблюдать эксперименты. Одаренные дети 8-11 лет предпочитали проводить собственные эксперименты, а не предписанные [3]. Автор [12] ратовал за работу руками, поскольку дети не способны долго удерживать внимание. Существует множество возражений, что работа руками не способствует осмысленному обучению [40], но они относятся к школьникам постарше. «Эксперимент должен быть простой и безопасный, иллюстрировать важные химические принципы и быть возможно более возбуждающим визуально и физически» [3]. Ролевые игры интересны скорее детям детсадовского возраста [9]. Также приводится соображение, что на часовом занятии можно разобрать только одну или две основных идеи [6].

Следующий вопрос касается жесткости сопровождения работы. Все авторы сопровождали её достаточно жестко (как работу руками, так и обсуждение). Это вполне согласуется с аргументами против самостоятельной работы без сопровождения [41, 42]: такая работа требует предметных знаний и перегружает рабочую память. Поэтому

мы тоже сопровождаем школьников достаточно жёстко, но даем им возможность работать самостоятельно, если у них возникнет интерес к вопросу, не заложенному в нашем плане.

Мы также категорически против того, чтобы приносить научную корректность в жертву внешней привлекательности (как это делали авторы [5], называя горение смеси хлората калия с серой «атомной бомбой»), поскольку это способно привести к устойчивым заблуждениям [43, 44].

Мы также решили по максимум использовать лабораторное оборудование, не сводя всю работу к возможностям, которые можно найти в быту. Тому было несколько причин. Во-первых, коль скоро такое оборудование есть, было бы странно его не использовать. Во-вторых, личные воспоминания автора данной статьи – ему было интересно работать со сложным и необычным оборудованием. И, наконец, в-третьих, это наблюдения [13] что дети «гордились» тем, что работают в реальной лаборатории, в реальных халатах, перчатках и очках, и используют профессиональное оборудование.

Таким образом, наши занятия в основном представляли собой жёстко сопровождаемую работу руками (с использованием самого разного оборудования, в том числе сложного), результат которой интересен школьникам. Иногда мы просили детей записывать наблюдения, но в основном это делалось в форме заполнения бланков (чтобы они тратили как можно меньше времени на записи). Теоретические дискуссии были весьма ограничены, но при этом мы следили за научной корректностью этих дискуссий.

Чему учить: навыки и понятия, которые имеет смысл усвоить. Важнейшая проблема при ответе на этот вопрос – насколько глубоко следует погружаться в теорию. Этому посвящена единственная статья [35], в которой отмечено: дети успешно запоминают символы элементов, но не ионов, что вполне ожидаемо для стадии конкретных операций. Мы в принципе не считали целесообразным заставлять детей запоминать символы и надеялись, что они рано или поздно запомнят символы, просто глядя на этикетки. Мы вообще исходили из

того, что на стадии конкретных операций можно осваивать только макроскопический аспект представлений о веществе [45], не затрагивая микроскопический и символичный, чтобы не перегружать рабочую память.

Второй вопрос – насколько сложными должны быть эксперименты. Границы были показаны в работе [35]. Школьники 9-12 лет успешно различали катионы в шести пробах (один катион на пробу) сразу после экспериментов с аналитическими реакциями. Через неделю после экспериментов, пользуясь своими записями, они решали ту же задачу с бóльшим трудом, но всё же успешно. Однако они даже не пытались подступиться к задаче, если в пробе было два катиона. Они также не могли справиться с экспериментом, требующим серьёзной логики, которая требовала разбавлять несколько растворов [36]. Мы предполагаем, что сложность эксперимента ограничивается когнитивными возможностями школьников, в первую очередь – ёмкостью рабочей памяти [46 и ссылки там]. Задача отличить *два* катиона может вызвать эффект расщепления внимания, который перегружает рабочую память [47]. Школьники также не понимают, что исчезновение коричневой окраски кристаллов сахара говорит о том, что сахар очистился [36]. Это говорит о возможном отсутствии в долговременной памяти связей между чистотой вещества и его цветом.

Большинство авторов не говорит об успехах или неудачах конкретных работ в своих программах. В [36] отмечено, что дети оценили как «супер» следующие работы: перегонку загрязнённой воды, запись ИК-спектров и идентификацию веществ, бумажную хроматографию, полимеры. Касательно темы «полимеры» авторы прямо замечали: «мы подозреваем, что высокий рейтинг этой темы появился за счет яркого эксперимента по образованию пены, а не более интеллектуальной работы с крахмалом и целлюлозой». Таким образом, лабораторные работы могут быть интересны школьникам, если подобрать для них оптимальную сложность. Однако

опубликованные работы не позволяют сделать вывод о том, как подобрать эту сложность. Это нам пришлось выяснять самим.

Участники и занятия

Всего с начала программы через неё прошло более 150 человек. В 2013 г. мы запустили пробный курс из 15 занятий (одна группа), а потом ещё добрали две группы на 12 занятий. Поскольку был мощный запрос на продолжение, далее мы разрабатывали занятия для продолжающих групп, постоянно набирая новые начинающие. Занятия мы делим по семестрам, в каждом семестре по 12 занятий (примерно по 45 минут; на 3-м и 4-м семестре – до 70 минут). Самая первая группа прошла в итоге 5 семестров, но позже мы решили остановиться на четырёх. Основная причина заключалась в том, что авторам пока не удалось придумать полноценные и интересные занятия на пять семестров. Кроме того, количество участников от семестра к семестру всё-таки постепенно уменьшается (Рис. 1) и всегда есть опасение, что на пятом семестре не получится набрать полную группу. Чтобы снять второе ограничение, в дальнейшем мы планируем перегруппировать занятия 2-4 семестра так, чтобы соответствующие группы были равноценны и порядок следования был не важен. Возможно, тогда мы сможем придумать ещё 12 занятий для ещё одного также равноценного потока.

В группу первого семестра мы принимаем учащихся II-IV класса (8-10 лет). То есть учащиеся, которые проходят четыре семестра, заканчивают курс в возрасте 9-12 лет. После долгих просьб родителей мы иногда принимали семилетних школьников, но работать с ними принципиально сложнее, в первую очередь потому, что у них гораздо хуже развита мелкая моторика рук.

Из всех участников не более 20% – девочки. Почему так, мы не знаем.

Занятия для учащихся платные.

Родителям можно присутствовать на занятиях. Однако за редкими исключениями совместная работа родителей с детьми не получается,

потому что родители перехватывают инициативу на себя или нервничают, когда ребёнок делает что-то неправильно. Поэтому мы просили родителей не вмешиваться в работу детей. Однако в редких случаях взаимодействие родителей и детей было полезным. Чаще всего – когда взрослые мужского пола показывали детям женского пола эксперименты (например, сжигание магния), которые дети проводить боялись. После этого дети их спокойно проводили сами. Надо заметить, что большинство родителей присутствовало только на первых двух-трёх занятиях.

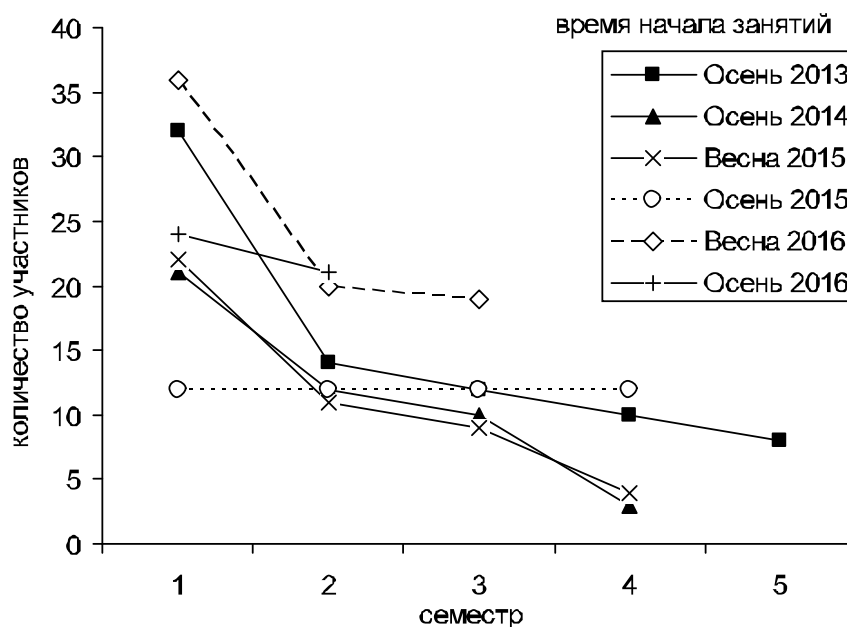


Рис. 1. Количество школьников, остающихся в программе от семестра к семестру.

В основном на занятиях школьники работают руками. При этом на первых двух семестрах давалось пошаговое инструктирование по принципу «делай как я». Каждый шаг излагается не более чем в трех-четырёх предложениях. В третьем-четвёртом семестре мы начинаем использовать письменные инструкции (не более листа А5 шрифтом 12 пт).

Оценивание успеха программы

Общий критерий успешности программы – количество школьников, переходящих из одного семестра в другой (Рис. 1). Видно, что значительная часть школьников прошла все четыре семестра, поэтому программу однозначно нельзя считать провальной. К сожалению, мы не знаем причин, по которым школьники покидают программу, но при этом нам точно известно, что некоторое количество этих школьников принимает участие в других программах научных лабораторий музея. Поэтому говорить о том, можно ли сделать программу более успешной, мы не можем.

Для оценки успешности конкретных занятий мы, вслед за [48] использовали (а) наблюдения за школьниками в процессе их работы и (б) опросы школьников, сфокусированные на том, что они помнят и как относятся к процессу. Наблюдения в основном делались преподавателем, ведущим программу, который делал заметки сразу после занятия. У этого метода есть тот недостаток, что ведущий далеко не всегда успевает отмечать всё. Иногда наблюдения и записи вели волонтеры. В первую очередь мы обращали внимание на следующие факторы. Во-первых, насколько школьники вовлечены в процесс. Во-вторых, насколько хорошо школьники вспоминают в процессе работы то, что они изучали ранее, и насколько легко они применяют сформированные ранее навыки. Однажды волонтеры опросили 12 школьников второго семестра. Их просили рассказать, что они помнят из предыдущего семестра. Были также опрошены несколько школьников первого семестра на тему, что они помнили из предыдущего занятия. Однако школьники отвечали без особого энтузиазма, поэтому нам пришлось полагаться в основном на наблюдения.

Позитивные результаты программы

По итогам нескольких семестров мы сформировали программу первого семестра, направленную на формирование важнейших навыков (Рис. 2). При этом мы отслеживали, чтобы навыки, необходимые на одном занятии, формировались на предыдущих.

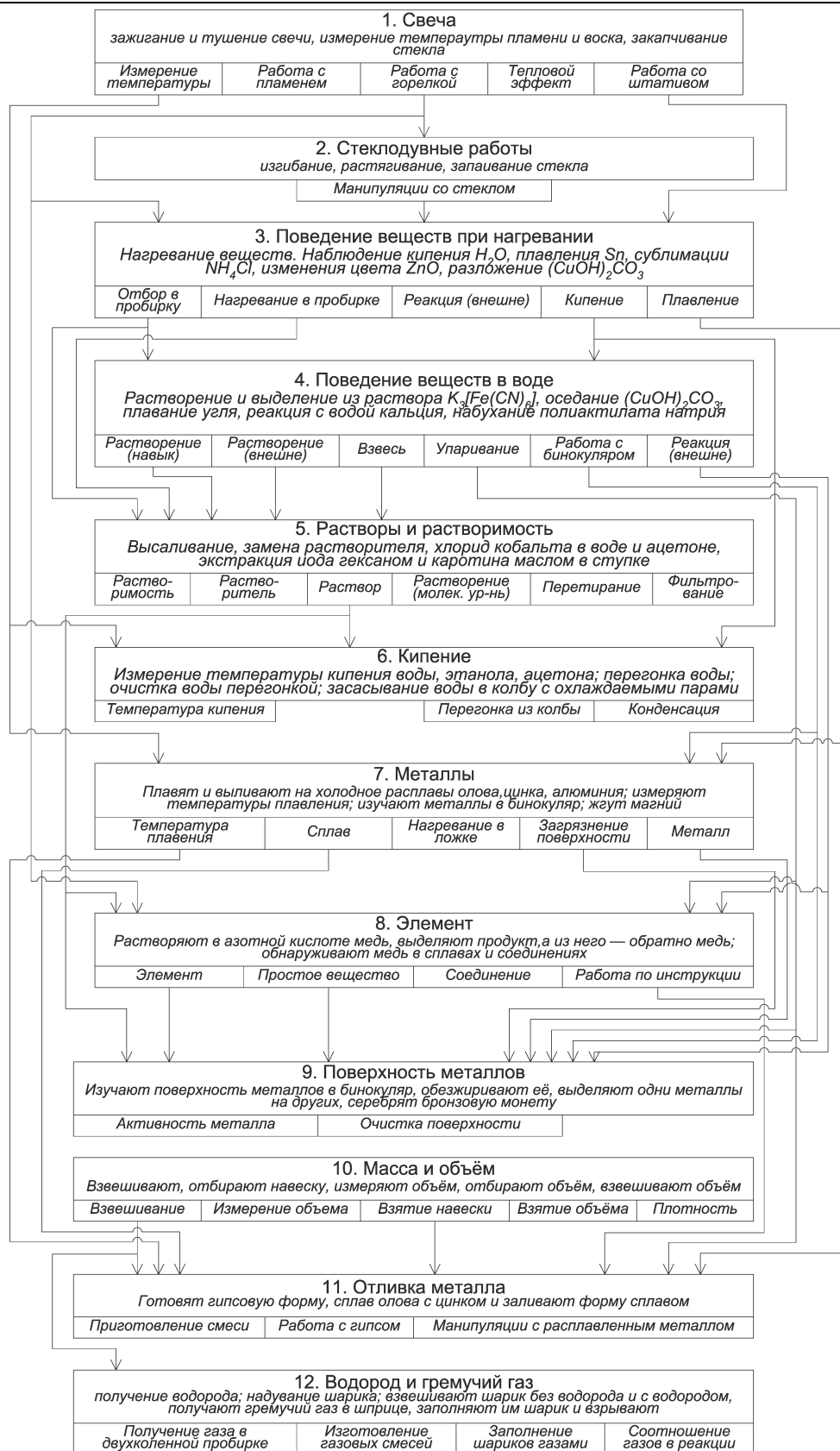


Рис. 2. Программа первого семестра с указанием формируемых и используемых навыков и понятий.

Как показывают наблюдения, на всех этих занятиях школьники оказываются включенными в работу, не отвлекаются и не проявляют признаков скуки. Также, как показывают наблюдения, почти все навыки, упомянутые на Рис. 2, формируются с первого раза. На втором занятии, где они требуются, школьникам уже не нужно показывать всю последовательность операций подробно. Исключение составляет навык нагревания пробирок: два-три занятия школьники пытаются зажимать их за середину и нагревать лапки.

Из навыков, которые формировались в 2-3 семестрах, минимум двух занятий требует навык получения газов при смешении веществ в двухколенной пробирке и заполнения ими газовых шприцов. После долгого перерыва эту процедуру приходилось напоминать.

На третьем семестре школьники по письменным инструкциям проводят перекристаллизацию; получают хлорид олова (IV) нагреванием олова с предварительно обезвоженным хлоридом меди; получают ацетиленид серебра; получают пиррофорное железо из оксалата. Школьники четвертого семестра вполне способны работать по инструкциям на уровне «растворите столько-то граммов вещества А в столько-то миллилитрах воды». В частности, они безошибочно провели опыт с колебательными реакциями, который требует приготовления трех растворов определенной концентрации.

То есть со временем школьники приобретают достаточно навыков, чтобы проводить весьма сложные работы, которые не всегда удаются и более старшим школьникам. То есть формирование навыков обращения с веществами происходит легко. При этом очень эффективным оказывается поддерживающее обучение (*scaffolding learning*, [20]), при котором сначала необходимые навыки формируются путем пошагового инструктирования, а потом используются как единое целое.

Многие манипуляции на Рис. 2 могут показаться опасными. Мы, естественно, следили, чтобы школьники работали в халатах, а все сколько-нибудь опасные операции (нагревание, работа с кислотами и

щелочами) выполняли в очках. Для работ со зловонными веществами использовались индивидуальные вытяжки. Мы также не давали им едкие вещества, типа концентрированных кислот и щелочей. Однако мы не могли (а) полностью защитить пальцы школьников от термических ожогов и (б) гарантировать безопасность действий школьника, если он действовал с нарушением инструкций. Об этом и родители, и школьники были предупреждены заранее. Также у школьников в доступе были резиновые перчатки, но их использование оставалось на усмотрение школьников. Школьники практически никогда ими не пользовались.

Оказалось, что большинство школьников относятся к реактивам и оборудованию с некоторой опаской, а потому работают аккуратно. Меньшинство школьников, «безбашенных» от природы, регулярно обжигались или проливали что-нибудь на руки, но относились к этому спокойно (как и их родители). Школьники были проинструктированы, что если они прольют что-то на руки, то это нужно смыть водой, и спокойно смывали, спрашивая «что делать» только на первых занятиях. Наиболее рискованное занятие – занятие 2 (манипуляции со стеклянными трубками). Это занятие изначально возникло из того, что школьники, увидев, как преподаватель на первом занятии оттягивает стеклянную трубку для вдувания воздуха в пламя, начали повторять эти действия. Мы намеренно оставили его вторым в качестве дисциплинирующего, ибо (о чем мы открытым текстом предупреждали заранее) примерно половина школьников обжигают на нём пальцы. Реакция школьников на ожоги разная (кто-то мужественно терпит, кто-то плачет, кто-то переносит ожоги спокойно), но после этого занятия за все время программы её покинул только один человек. Те школьники, которые не обожглись, были этим весьма горды. В любом случае и школьники, и их родители спокойно относятся к разумному риску.

Реакция школьников на внешне опасные эксперименты (например, когда ведущий показывал, как можно потушить свечу голыми пальцами или накапать расплавленный воск на руки) была опасливой.

Но те, кто решался повторить эти эксперименты, быстро входили во вкус. И тут наблюдался четкий стадный эффект: если этот эксперимент повторяли 3-4 школьника, то вслед за ними повторяли все остальные. Оказалось также, что если школьникам показать опыт целиком, то они повторяют его с меньшим энтузиазмом, чем если показать все подготовительные стадии, но завершающее действие только описать на словах. Если действие было достаточно сложным, то больше всего радости школьники испытывали, если оно получалось со *второго* раза.

Большой энтузиазм у школьников вызывало использование бинокля.

Самой сложной из доступных школьникам по логистике работ можно считать работу «Взаимодействие веществ в растворах», которую мы сначала давали в первом семестре, а потом перенесли во второй. Там нужно было смешать попарно шесть веществ, а наблюдения записывать в таблицу. Примерно половина детей сначала не понимала, что от них требуется, и приходилось объяснять каждому индивидуально. Далее дети работали нормально. Меньшинство (из самых младших) плохо понимали, в какую клеточку таблицы что записывать, либо вообще не хотели что бы то ни было записывать. Почти все называли бесцветный раствор прозрачным или белый осадок – белым раствором. Сходные проблемы отмечены ранее [13, 35]. Однако эта проблема решалась за одно занятие индивидуальными консультациями.

По теме «щелочные металлы» и «фосфор» мы проводили лекции с демонстрацией экспериментов. При этом, чтобы стимулировать внимание школьников, мы выдавали им нечто вроде опорного конспекта, в котором предлагали выбрать правильные ответы из нескольких. Большая часть вариантов была представлена в картинках (например, «отметьте, как реагирует натрий с водой»). Успех такого подхода был переменным: в некоторых группах школьники вполне держали внимание, в других – отвлекались. Это соответствует выводу [35] о том, что школьники не любят пассивно наблюдать

эксперименты. Однако, как показал наш опыт, если эксперименты достаточно яркие, а школьникам предложена хотя бы какая-то деятельность (в нашем случае – заполнение таблицы наблюдений), то иногда такие занятия проводить можно.

Скорректированные неудачи

Часть неудачных занятий удалось скорректировать.

Слишком сложным оказалось получение пластической серы (нагревание серы в пробирке до кипения и выливание её в холодную воду), которое мы пытались проводить в рамках занятия «поведение веществ при нагревании». Это занятие требует умения отличить кипящую серу и прогревания пробирки по всей длине. Школьники, как правило, не доводили серу до кипения, а если и доводили, то не прогревали стенки. Поэтому мы перенесли этот опыт на третий семестр. При этом мы сначала подробно показывали школьникам, что и как делать и на что обращать внимание, после чего они этот опыт повторяли. И всё равно получается не у всех, так как они плохо прогревают стенки пробирки.

Занятие «поверхность металлов» мы изначально делали четвертым, однако было видно, что школьники в процессе выполнения работы «подвисают». Кроме того, на следующем занятии они, покрыв железо медью, не смогли вспомнить, как покрыть медь серебром. Когда мы проанализировали, какие навыки и понятия требуются для его выполнения, оказалось, что половина этих навыков и понятий оказывается несформированной. Поэтому мы перенесли его ближе к концу первого семестра.

На занятии по теме «масса и объем», мы изначально предлагали определять плотность жидкости, взвешивая определенный её объем и деля на него массу. И хотя отдельно со взвешиванием и с измерением объема проблем у школьников не возникало, у них возникали проблемы с делением. В результате мы ввели специальное задание по теме «плотность вещества», в котором школьники осваивали понятие плотности следующей последовательностью

действий. Сначала они смотрели, в каких жидкостях – гексане, воде и четыреххлористом углероде – тонет спичка. Видели, что в гексане она тонет, а над поверхностью четыреххлористого углерода торчит выше, чем над поверхностью воды. Затем они взвешивали 1 мл каждой жидкости и делали вывод, что четыреххлористый углерод «тяжелее» воды, а та «тяжелее» гексана. И, наконец, измеряли ареометром плотность воды, а затем добавляли соль до того момента, как в воде начнет плавать яйцо и измеряли плотность полученного раствора. Таким образом, нам удалось уйти от абстрактных расчетов к наглядным наблюдениям, и это занятие протекало без затруднений для школьников.

Полные неудачи

Некоторые занятия оканчивались полным и неисправимым провалом. Школьники полностью отвлекались от рабочего процесса и ничего не понимали по итогам. Таким провалом окончились попытки научить школьников четвертого семестра составлять формулы по валентностям и рассчитывать массу одного реагента по массе другого, даже если реагенты – простые вещества. Вообще, из всех расчётных задач они с грехом пополам решали только задачи типа «какой объём метана и кислорода нужно отобрать в шприц на 150 мл, если известно их соотношение». То есть, в этом возрасте нет смысла решать расчётные задачи (даже если результат необходим для дальнейшей работы) и вводить понятие «валентность».

Также провальным было задание оценить массу вещества «на глаз», которое мы предлагали в первом семестре. Мы предлагали оценить «на глаз» массу, записать её, измерить и сравнить с предположением. Предполагалось, что путем нескольких приближений они научатся оценивать массу близко к истине. Однако школьники запутались в своих записях, то есть работа оказалась слишком сложна по логистике.

Из работ руками полностью неудачными оказалось изготовление медноаммиачного волокна, варка мыла, определение массы воды в

кристаллогидрате прокаливанием. Занятие по перегонке на третьем семестре было детям интересно в момент сборки установки, но пока шла перегонка, им было скучно, и они бесились в коридоре.

Общее обсуждение

Работа руками в целом оказывается для школьников интересной и эмоционально позитивной. Однако теоретических обсуждений, даже на самом примитивном уровне, дети не поддерживают. После первой минуты обсуждения они начинают скучать и отвлекаться, и возвращаются к работе только тогда, когда снова нужно действовать руками. Когда мы ещё пытались вводить теоретические положения, школьники в последующих интервью школьники вспоминали, что происходило, но не вспоминали никаких теоретических положений. Даже когда мы, через неделю после занятия по поведению веществ в воде, спрашивали, что может происходить с веществами в воде, некоторые школьники отвечали «разлагается» и «меняет цвет», то есть вспоминали картинки с позапрошлого занятия без их отнесения к происходящим процессам. Это полностью противоречит нашим наблюдениям для школьников 15 лет [23], для которых теория, наоборот, оказывается подсказкой для понимания происходящего. Видимо, это обусловлено принципиальной разницей в возрастной психологии.

Практические обобщения вполне можно формулировать. Так, на занятии «крахмал» после того, как школьники сравнили размер крахмальных зерен сырой и вареной картошки, им был задан вопрос «зачем варить картошку». Мы вместе пришли к выводу, что крахмал в вареной картошке доступнее и этот вывод они встретили с энтузиазмом (хотя мы и не знаем, насколько хорошо они его запомнили).

После ярких экспериментов (например, сжигания пороха) школьники часто спрашивали, «что будет, если мы сделаем так...». И это был единственный тип вопросов, которые они задавали. Они никогда не спрашивали «почему», что есть необходимое условие для

введения теории. В сочетании с неспособностью долго вести теоретические обсуждения это лишний раз подтверждает, что вводить теории в этом возрасте преждевременно (что полностью соответствует основным чертам стадии конкретных операций в психическом развитии). Однако это не мешает вводить конкретные и операционные понятия типа «плавление», «растворение», «масса», а также простейшую классификацию.

Особое внимание нужно обратить на то, чтобы деятельность школьников во время занятия была разнообразной. Так, во время работы «металлы и неметаллы» школьники смотрели на простые вещества, по возможности испытывали их электропроводность и отмечали на таблице Менделеева, какое из них относится к металлам, а какое – к неметаллам. Поначалу им это было интересно, но потом они заскучали, видимо из-за однообразности работы. Аналогично они начинали скучать под конец занятий, в которых требовалось только смешивать вещества в пробирках (из-за чего неудачными оказались занятия на химический анализ).

Выводы

Обучать химии школьников 8-10 лет вполне реально, если основной целью поставить формирование навыков работы с веществами и установками и формирование конкретных понятий («плавление», «масса» и т. п.). Изначально следует давать пошаговые инструкции по принципу «делай как я», а по мере развития навыков сокращать их до «сделай то-то». Следующие факторы повышают интерес школьников:

- неожиданный результат;
- результат, который можно продемонстрировать родителям (многие дети делают это с гордостью);
- эксперименты, которые несколько пугают (вроде тушения свечи пальцами);
- успешно удавшийся эксперимент (лучше всего, если он удаётся со второго раза);

– разнообразие деятельности в процессе занятия;
– использование достаточно сложного оборудования (особенно – бинокляров).

Следует иметь в виду, что группа, на которой сделаны эти выводы, нерепрезентативна – это школьники, родители которых считают образование и деятельность руками достаточной ценностью, чтобы платить за неё деньги. Их адекватность для всех школьников соответствующего возраста требует проверки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Hufford K.D.* Summer chemistry for fun // *Journal of Chemical Education*, 1984, 61(5), p. 427-428.
2. *Hill A.E., Berger S.A.* Adventures in chemistry for elementary and middle school // *Journal of Chemical Education*, 1989, 66(3), p. 230-231.
3. *Howard R.E., Barnes S., Hollingsworth P.* Chemistry laboratory program for gifted elementary school children // *Journal of Chemical Education*, 1989, 66(6), p. 512-514.
4. *Tracy H.J., Collins Ch., Langevin P.* Chemistry abounds. An educational outreach program designed for elementary school audiences // *Journal of Chemical Education*, 1995, 72(12), p. 1111-1112.
5. *Bergmeier B.D., Saunders S.R.* The chemistry magic and safety show // *Journal of Chemical Education*, 1982, 59(6), p. 529.
6. *Waterman E.L., Bilsing L.M.* A unique demonstration show for the elementary classroom // *Journal of Chemical Education* 1983, 60(5), p. 415-416.
7. *Keller P.B., Paulson J.R., Benbow A.* Kitchen chemistry. A PACTS workshop for economically disadvantaged parents and children // *Journal of Chemical Education*, 1990, 67(10), p. 892-895.
8. *Steffensky M., Parchmann I.* The project CHEMOL: Science education for children – Teacher education for students! // *Chemistry Education Research and Practice*, 2007, 8 (2), p. 120-129.
9. *Steiner R.* Chemistry in the kindergarten classroom // *Journal of Chemical Education*, 1984, 61(11), p. 1013-1014.
10. *Jones M.B. and Monley R.* College chemistry for kids // *Journal of Chemical Education*, 1986, 63(8), p. 698.
11. *Umland J.B.* What do chemists do? A program for grades I – III // *Journal of Chemical Education*, 1985, 62(2), p. 125-126.
12. *Borer L.* Chemistry for elementary school children // *Journal of Chemical Education*, 1977, 54(11), p. 703.

13. *Mischnick P.* Learning chemistry – the Agnes-Pockels-Student-Laboratory at the Technical University of Braunschweig, Germany // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2011, 400, p. 1533-1535.
14. *O'Connor R.* Chemistry for parents and children. An experiment in community service // *Journal of Chemical Education*, 1960, 37(12), p. 639-640.
15. *Koehler B.G., Park L.Y., Kaplan L.J.* Science for kids outreach programs: College students teaching science to elementary school students and their parents // *Journal of Chemical Education*, 1999, 76(11), p. 1505-1509.
16. *Eshach H., Fried M.N.* Should science be taught in early childhood? // *Journal of Science Education and Technology*, 2005, 14(3), p. 315-336.
17. *Nurrenbern S.* Piaget's theory of intellectual development revisited // *Journal of Chemical Education*, 2001, 78(8), p. 1107-1110.
18. *Herron J.D.* Piaget for Chemists // *Journal of Chemical Education*, 1975, 52, 146.
19. *Ni Y.* Cognitive structure, content knowledge, and classificatory reasoning // *Journal of Genetic Psychology*, 1998, 159(3), p. 280-296.
20. *McNeill K.L., Lizotte D.J., Krajcik J., Marx R.W.* Supporting Students' Construction of Scientific Explanations by Fading Scaffolds in Instructional Materials // *The Journal of the Learning Sciences*, 2006, 15, p. 153-191.
21. *Tricot A., Sweller J.* Domain-specific knowledge and why teaching generic skills does not work // *Educational Psychology Review*, 2014, 26(2), p. 265-283.
22. *Klahr D., Zimmerman C. and Jirout J.* Educational interventions to advance children's scientific thinking // *Science*, 2011, 333, p. 971-975.
23. *Жилин Д.М., Ткачук Л.Э.* О применимости теории чанков к обучению химии. Естественнонаучное образование: время перемен/ Под ред. В.В. Лунина и Н.Е. Кузьменко. – М.: МГУ, 2014, с. 138-154.
24. *Gopnik A.* Scientific thinking in young children: Theoretical advances, empirical research, and policy implications // *Science*, 2012, 337(6102), p. 1623-1627.
25. *Perry W.G. Jr.* Forms of intellectual and ethical development in the college years: a scheme. – New York: Holt, Rinehart, and Winston, 1979.
26. *Dejonckheere P. J. N., Van De Keere K., Mestdagh N.* Training the Scientific Thinking Circle in Pre- and Primary School Children // *The Journal of Educational Research*, 2009, 103(1), p. 1-16.
27. *Kuhn D., Pearsall S.* Developmental origins of scientific thinking // *Journal of Cognition and Development*, 2000, 1(1), p. 113-129.
28. *Piekny J., Grube D., Maehler C.* The Development of experimentation and evidence evaluation skills at preschool age // *International Journal of Science Education*, 2014, 36(2), p. 334-354.

29. *Matlen B.J., Klahr D.* Sequential effects of high and low instructional guidance on children's acquisition of experimentation skills: Is it all in the timing? // *Instructional Science*, 2013, 41(3), p. 621-634.
30. *Brooks D.W., Shell D.F.* Working memory, motivation, and teacher-initiated learning // *Journal of Science Education and Technology*, 2006, 15, p. 17-30.
31. *Risch B.* (Ed.) *Teaching Chemistry Around the World*. Waxmann, 2010.
32. *Abrahams I., Millar R.* Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science // *International Journal of Science Education*, 2008, 30(14), p. 1945-1969.
33. *Bloom B.S., Engelhart M.D., Furst E.J., Hill W.H., Krathwohl D.R.* *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook I: Cognitive domain.* – New York: David McKay Company, 1956.
34. *Anderson L.W., Krathwohl D.R.* (Eds.). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives.* – Boston, MA: Allyn & Bacon, 2001.
35. *Powell D.R., Bromund R.H., Haynes L.W., McElvany K.D., Pedersen, J.D.* Kiddle Chem. A course for children // *Journal of Chemical Education*, 1975, 52 (11), p. 737-738.
36. *Haynes W.L., Powell D.L.* Kiddle Chem II. A course for children // *Journal of Chemical Education*, 1976, 53(11), p. 724-725.
37. *Litman J.A.* Curiosity and the pleasures of learning: Wanting and liking new information // *Cognition and Emotion*, 2005, 19(6), p. 793-814.
38. *Rowat A.M., Hollar K.A., Stone H.A., Rosenberg D.* The science of chocolate: Interactive activities on phase transitions, emulsification, and nucleation // *Journal of Chemical Education*, 2011, 88(1), p. 29-33.
39. *Kolb D.A.* *Experiential learning: Experience as the source of learning and development.* – Englewood Cliffs. NJ: Prentice-Hall, 1984.
40. *Hart C., Mulhall P., Berry A., Loughran J., Gunstone R.* What is the purpose of this experiment? Or can students learn something from doing experiments? // *Journal of Research in Science Teaching*, 2000, 37(7), p. 655-675.
41. *Hodson D.* Laboratory work as scientific method: Three decades of confusion and distortion // *Journal of Curriculum Studies*, 1996, 28(2), p. 115-135.
42. *Kirschner P.A., Sweller J., Klark R.E.* Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching // *Educational Psychologist*, 2006, 41, p. 75-86.

43. *Nussbaum J., Novik S.* Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: Toward a principled teaching strategy // *Instructional Science*, 1982, 11(3), p. 183-200.

44. *Chi M. T. H.* Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust // *Journal of the Learning Sciences*, 2005, 14(2), p. 161-199.

45. *Johnstone A.H.* Chemical education research in Glasgow in perspective // *Chemistry Education Research and Practice*, 2006, 7 (2), p. 49-63.

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

47. *Yeung A.S., Jin P., Sweller J.* Cognitive load and learner expertise: Split-attention and redundancy effects in reading with explanatory notes // *Contemporary Educational Psychology*, 1988, 23(1), p. 1-21.

48. *Bruce B.C., Bruce S.P., Conrad R.L., Huang H.-J.* University science students as curriculum planners, teachers, and role models in elementary school classrooms // *Journal of Research in Science Teaching*, 1977, 34(1), p. 69-88.