

Эффективность компьютерного моделирования при изучении газовых законов в курсе «Неорганическая химия»

Деркач Татьяна Михайловна
доцент, к.х.н., докторант кафедры педагогики и психологии высшей школы,
Национальный педагогический университет им. М.П. Драгоманова,
ул. Пирогова, 9, г. Киев, 01601, 380(97)2691464
derkach@mail.ru

Аннотация

Компьютерные модели, созданные в среде NetLogo, были использованы в процессе самостоятельной работы студентов при изучении газовых законов в рамках университетского курса по неорганической химии. Показано, что применение компьютерного моделирования значительно улучшает понимание темы у всех студентов, независимо от уровня их базовой подготовки по химии. Оценен потенциал использования моделей NetLogo для корректировки неверно сформированных представлений химических знаний. Компьютерное моделирование способствует формированию устойчивых связей между разными уровнями представления химической информации. Чем сложнее связи, тем труднее они обычно формируются. Тем не менее, наибольший прогресс после работы с моделями наблюдается для формирования наиболее сложных связей. Использование моделей улучшает работу студентов с графическими заданиями.

Computer models designed by means of NetLogo language have been used for students' self-administering tests to study gas laws within the frames of university course of inorganic chemistry. The use of computer simulation was shown to improve essentially understanding of the studied topic and this holds true for all students practically independently of their grounding level in chemistry. A scope for the usage of NetLogo models to repair incorrectly formed conceptions of the chemical knowledge has been estimated. The computer simulation promotes formation of the stable links between various levels of chemical knowledge representation. The more complicated the links, the harder their formation. However, the best progress after modeling is observed for the most complicated links. The model usage improves students' performance in solving graphical tasks.

Ключевые слова

обучение химии, компьютерное моделирование в среде NetLogo, концептуальные структуры химии, формирование связей между различными уровнями представления химических знаний;
chemistry teaching, computer simulation in NetLogo environment, conceptual structures of chemistry, formation of links between various levels of chemical knowledge representation.

Введение

В настоящее время наблюдается снижение среднего уровня подготовки студентов по химии. Ключевым фактором, определяющим интерес к предмету и

успешность его усвоения в условиях вузовского обучения, является когнитивная дифференцированность и интегрированность концептуальных структур, референтных области химической деятельности (далее – концептуальные структуры химии). Недостаточно либо неверно сформированные в школе концептуальные структуры почти не изменяются при обучении студентов в вузе. Для их формирования или корректировки необходимо организовывать целенаправленную учебную деятельность, применять специальные технологии.

Когнитивную дифференцированность и интегрированность концептуальных структур студентов химического факультета Днепропетровского национального университета им. Олеса Гончара (ДНУ) определяли в ходе исследований с помощью психологической методики [1, 2], реализованной в компьютерном варианте в программном продукте «Great Chemist». В ходе эксперимента определяли уровень знаний студентов по основным темам общей химии, зону актуального и ближайшего развития специальных способностей.

Анализ результатов исследования выявил целый ряд проблем, типичных для студентов, изучающих химические дисциплины. Среди них, прежде всего, следует отметить наличие разделов химии, для которых концептуальные структуры студентов остаются на низком уровне вплоть до окончания обучения.

Еще одной серьезной проблемой является неспособность многих студентов мысленно создавать связи между различными уровнями представления химических знаний – микроскопическим, макроскопическим и символьным. Например, при изучении основ химии учащиеся усваивают и затем пользуются в течение всего обучения фундаментальными химическими законами, выраженными в виде уравнений (объединенный газовый закон, уравнение Менделеева-Клапейрона и т.д.) Многие из них оперируют лишь математическими уравнениями, которые просто запоминают, и не понимают природы явлений, которые ими описываются. Поэтому студенты часто не в состоянии использовать известные математические выражения для решения задач, сформулированных на другом уровне представлений, например, на микроскопическом.

Еще одна выявленная в ходе исследования проблема – слабое умение студентов решать задачи, представленные в графическом виде, по сравнению с другими видами заданий (концептуальным, алгоритмическим) [3]. Этот результат согласуется с данными многих других исследований, которые демонстрируют трудности обучающихся в решении графических химических задач, и свидетельствует о необходимости усиления обучения в этом направлении.

Продолжающееся в последние годы активное внедрение информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в образовательную практику открывает новые возможности для решения упомянутых выше проблем. Одной из эффективных технологий для образовательных целей является компьютерное моделирование [4]. В частности, среда программирования NetLogo, созданная в конце 1990-х годов [5], позволяет моделировать развивающиеся во времени ситуации и явления, происходящие в природе и обществе [6].

Создатель или пользователь такой модели может управлять сотнями или тысячами независимых «агентов» (например, атомов или молекул), действующих одновременно и параллельно. Это открывает возможность для объяснения и понимания связей между поведением отдельных микроскопических объектов и явлениями, которые происходят на макроуровне. На сайте проекта [7] приводятся и доступны к свободному использованию десятки разработанных моделей по биологии, математике, химии, социологии. Здесь же можно скачать последнюю версию языка.

В среде NetLogo студенты участвуют в проектировании теоретических моделей, вносят небольшие изменения в вычислительный код, который лежит в их основе, оценивают и сами создают математические модели, делают предположения

для критического анализа моделирования, прогнозируют и проверяют результаты изменения модели и т.д.

С использованием языка NetLogo его авторами и их коллегами в рамках исследовательского проекта был создан целый ряд моделей, относящихся к различным разделам химии и объединенных в курс, названный «Connected Chemistry» [8-10]. Модели, содержащиеся в курсе, могут быть использованы для изучения отдельных тем курса химии, как в ВУЗах, так и в рамках школьной программы. Те или иные аспекты эффективности использования этих моделей на практике обсуждались в ряде работ [11-16].

Одним из основных преимуществ таких моделей есть то обстоятельство, что студенты могут наблюдать за макроскопическими явлениями реального мира, а также пробовать прогнозировать их изменения, как результат взаимодействия множества микроскопических объектов. В основе моделей курса «Connected Chemistry» лежит интеграция как микроскопического и макроскопического представлений, так и их символического выражения. Интеграция различных уровней химических знаний, как показано в целом ряде работ, способствует их лучшему пониманию [17-19].

Целью данной работы было исследование эффективности применения компьютерного моделирования с использованием разработанных в рамках курса «Connected Chemistry» моделей для устранения типичных проблем, возникающих у студентов при изучении химии, а именно: формирования концептуальных структур химии и связей между различными видами представления изучаемого материала.

Для реализации цели был проведен эксперимент, в котором апробирована методика работы со средой компьютерного моделирования NetLogo при изучении тем базового курса «Неорганической химии». Используются готовые модели проекта [7], описывающие газовые законы. Такой выбор основан на том, что именно для этого раздела химии характерна утрата связей между макроскопическим и микроскопическим представлением изучаемых явлений [14, 20].

Методология исследования

Эксперимент был проведен на химическом факультете ДНУ с участием 45 студентов первого курса, изучающих базовый курс «Неорганическая химия». Исследования проведены в три этапа, а именно:

- этап 1 – определение начального уровня знаний студентов в ходе предварительного (входного) тестирования;
- этап 2 - выполнение работ по моделированию в среде NetLogo в ходе самостоятельной работы и оценка полученных результатов;
- этап 3 – итоговый (финальный) контроль уровня приобретенных знаний.

На первом этапе эксперимента в начале семестра проводился письменный тест по основным разделам школьной химии: «Классы неорганических соединений», «Основные понятия и законы химии», «Окислительно-восстановительные процессы» и т.д. На тему «Газовые законы» в письменной работе было отведено 20 заданий в виде тестов с выбором правильного ответа из 4 или 5-ти предложенных вариантов и 25-30 минут времени. Результаты входного тестирования позволили определить уровень знаний каждого студента по среднему набранному баллу (1 балл за правильный ответ и 0 за неправильный), идентифицировать задания, оказавшиеся самыми трудными. В ходе предварительного тестирования были получены ответы на три принципиальных вопроса.

Во-первых, тестовые задания подбирались таким образом, чтобы для ответа студенту было необходимо мысленно осуществить переход между разными формами представлений химического материала (микроскопическим – далее микро,

макроскопическим – далее макро, символьным или математическим – далее математ). Тестовые вопросы и ответы предполагали разные варианты переходов. Анализ полученных результатов позволил выявить несформированные у студентов связи и определить, какие переходы наиболее трудны.

Во-вторых, для выявления типичных неверно сформированных представлений у студентов был проанализирован характер неправильных ответов, а именно распределение неправильных ответов среди возможных вариантов. Считали, что неправильно сформированное понятие имеет место при выполнении двух условий:

- а) результаты для данного вопроса содержат большое количество неправильных ответов (более 50%);
- б) из 100% неправильных ответов большинство (более 60%) приходится на один вариант, тогда как остальные неправильные варианты ответа встречаются намного реже.

В-третьих, были оценены сложности в интерпретации символьного материала, представленного в виде графиков.

На втором этапе эксперимента студенты были ознакомлены с результатами входного тестирования, прослушали обзорную лекцию «Основные понятия и законы химии» при изучении «Неорганической химии». После этого им были предложены домашние задания по моделированию в среде NetLogo. Каждое задание подразумевало работу с 8-ю готовыми моделями, относящимися к теме «Газовые законы».

Для ознакомления с идеологией моделирования и приобретения практических навыков работы с программной средой, первые три из восьми моделей были разобраны под руководством преподавателя во время практического занятия по дисциплине «Введение в специальность» (80 мин аудиторного времени). При этом каждый студент работал на отдельном компьютере с установленным NetLogo, а преподаватель пользовался проектором.

В качестве домашнего задания студенты получили инструкции по работе со всеми 8-ми моделями, а также вопросы. На выполнение всех заданий с моделями было запланировано 4 часа самостоятельной работы в течение ближайших двух недель. По окончании работы студенты сдавали тетради с расчетами, графиками и ответами.

На рис. 1 – 3 приведены скриншоты, иллюстрирующие работу некоторых моделей. В среде NetLogo предусмотрены различные средства выделения и слежения за объектами для визуализации изменения их характеристик. Осуществляют это при помощи написания соответствующих команд в окне «Командного центра». Например, в модели, показанной на рис. 1, цвет используют для выделения отдельной частицы на фоне других и прорисовывания пути ее движения.

Вопросы в домашних заданиях, в основном, предполагали изменение студентом какого-то параметра компьютерной модели, и записывание результата по графику на экране. Студенты строили зависимости, меняя число частиц, температуру, объем (рис. 2) и т.д., и самостоятельно выводили математические закономерности. Получив свои уравнения, затем использовали их для прогнозирования. Из зависимостей, полученных эмпирически при моделировании, они выводили уравнение состояния идеального газа уже в принятом наукой виде.

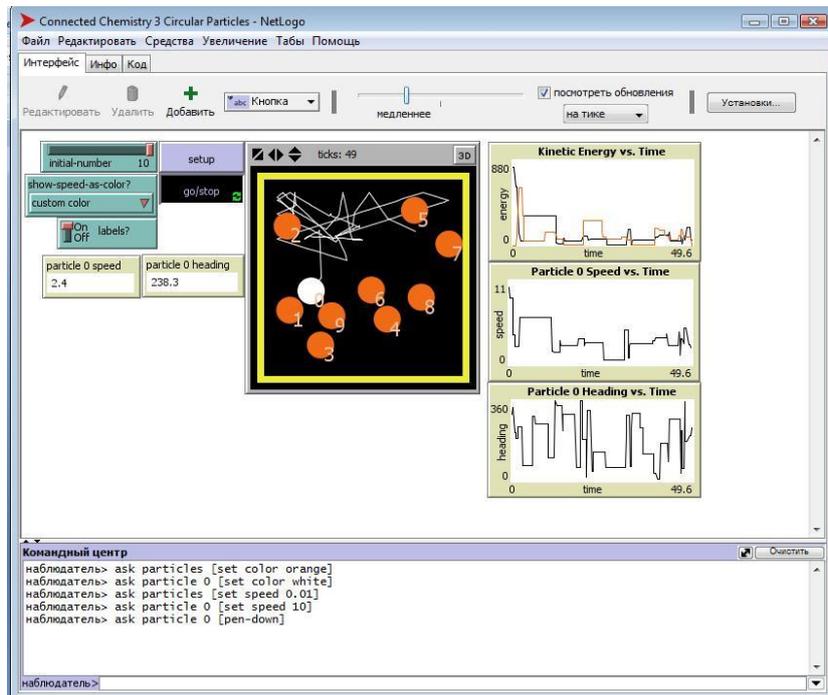


Рис. 1. Скриншот рабочего окна модели NetLogo для изучения обмена энергией между частицами газа в контейнере

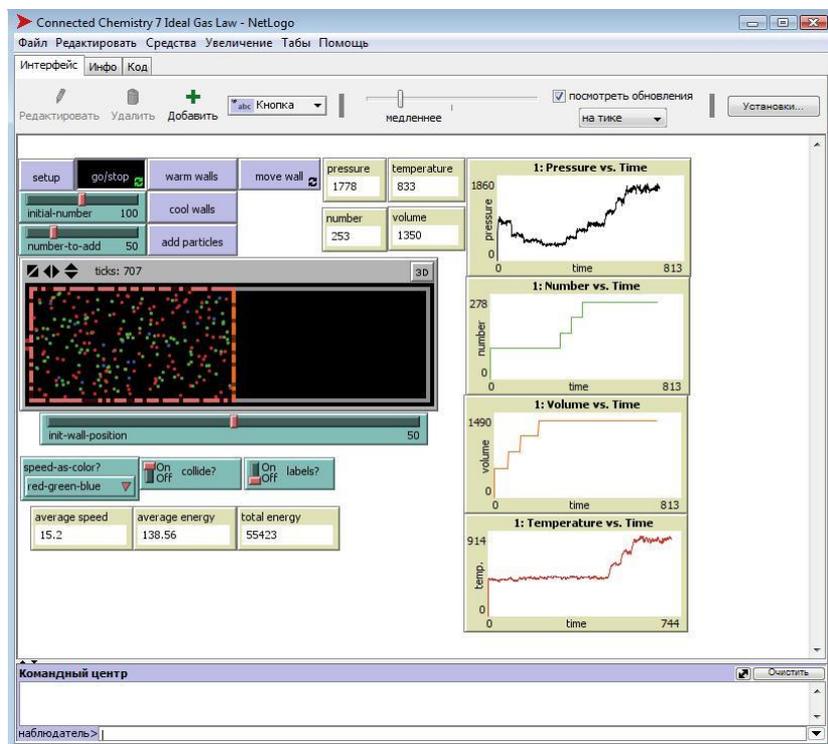


Рис. 2. Скриншот рабочего окна модели NetLogo для установления зависимости давления в контейнере от объема, температуры и количества частиц газа

Некоторые задания предусматривали самостоятельное создание студентами моделей. Например, на рис. 3 приведен скриншот окна модели NetLogo, которая позволяет студентам нарисовать контейнер любой формы, установить клапан, преграду, визуализировать направление движения частиц стрелками, показать их скорость цветом и т.д.

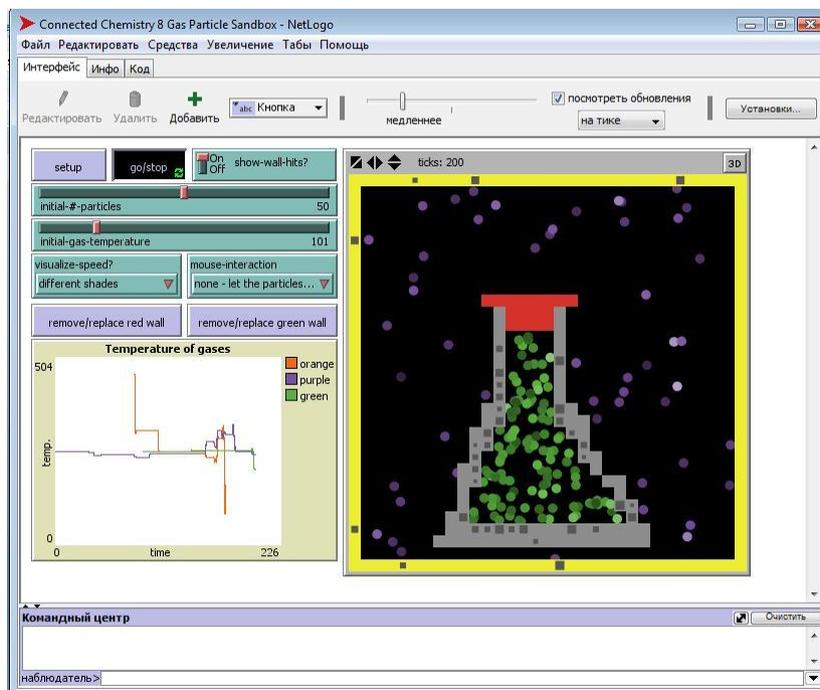


Рис. 3. Скриншот рабочего окна модели NetLogo, предназначенной для моделирования студентами реальных ситуаций

Результаты самостоятельной работы оценивались по бальной шкале (максимум – 24 балла за полностью правильное выполнение всех заданий по 8-ми моделям). Эти результаты далее использовались для анализа возможных корреляций между качеством выполнения самостоятельной работы и результатами тестирования.

Третий этап эксперимента включал итоговый тест, состоящий из 28 вопросов по теме «Газовые законы». Двадцать вопросов были фактически идентичны тем, что уже задавались на входном тестировании. Дополнительные 8 вопросов были включены в тест, чтобы более точно оценить проблемные места, выявленные при входном контроле.

Результаты итогового контроля сравнивались с входным тестированием. Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием прикладного пакета SPSS. Для оценки полученных результатов использованы показатели баллов, набранные различными группами студентов. Для сравнительного анализа результатов итогового и входного контроля использован метод t-критерия для парных выборок. Прогресс в обучении оценивался по результатам ответов на 20 вопросов, содержащихся в обоих тестах и только для тех студентов, что принимали в них участие. Там, где не было необходимости сравнивать результаты двух тестов, применялись другие выборки студентов.

Неверно сформированные представления химических знаний и возможности их коррекции

Прежде всего, для ответа на вопрос, способствовало ли применение компьютерного моделирования улучшению знаний, было проведено сравнение результатов входного и итогового тестирования для студентов, принимавших участие в обеих контрольных работах. Эти студенты были условно разбиты на три группы в зависимости от результатов выполнения ими заданий самостоятельной работы следующим образом:

- группа 1 – правильно выполнено не более 50% заданий (8 человек);
- группа 2 – правильно выполнено от 50% до 75% заданий (12 человек);
- группа 3 – правильно выполнено более 75% заданий (15 человек).

Результаты вычисления разности средних баллов входного и итогового контроля с использованием t-критерия для парных выборок представлены в табл. 1. Как видим, для всех трех групп студентов прирост баллов является статистически значимым, что свидетельствует о существенном улучшении знаний по рассматриваемой теме вследствие применения методики компьютерного моделирования.

Таблица 1

Разность средних баллов, набранных на итоговом (A_2) и входном (A_1) тестировании, для трех групп студентов, показавших разный уровень (в процентах) выполнения заданий самостоятельной работы

Группа	N	A_2-A_1	Станд. отклон.	Станд. ошиб. средн.	t	df	p (2-стор. значим.) *
1 ($\leq 50\%$)	8	0,17714	0,10750	0,04063	4,360	6	0,005
2 (50-75%)	12	0,17700	0,14758	0,04667	3,793	9	0,004
3 ($\geq 75\%$)	15	0,12429	0,12513	0,03344	3,716	13	0,003

* Разность A_2-A_1 является значимой, если $p < 0,05$

Данные на рис. 4 дают более подробные представления об итогах входного и итогового тестирования. Как видим, средний балл ожидаемо увеличивается при переходе от группы 1 к группе 3 как на входном, так и на итоговом тестировании (рис. 4а). Для всех групп показатели итогового тестирования заметно превышают результаты входного контроля. Если на первом этапе эксперимента только самые лучшие студенты смогли преодолеть отметку в 0,5 для среднего балла, то после выполнения самостоятельной работы аналогичный показатель для всех групп превышал 0,55. Также следует отметить, что величина прироста баллов относительно слабо зависит от принадлежности к той или иной группе (рис. 4б): этот показатель практически идентичен для групп 1 и 2 и немного ниже для групп 3.

В дополнение к набранным баллам важная информация содержится в структуре неправильных ответов. Для примера, на рис. 5 показано соотношение правильных и неправильных ответов на входном контроле на вопросы 4 и 24. Оба вопроса можно отнести к числу трудных, поскольку более 50% студентов дали на них неправильные ответы (65,7% и 57,1% соответственно).

Однако, как показано на круговых диаграммах на рис. 5, распределение неправильных ответов между возможными вариантами существенно различается. Так, для вопроса 4 (рис. 5а) около 70% из всех неправильных ответов пришлось на один из 4-х присутствующих вариантов. Для вопроса 24 (рис. 5б) распределение неправильных ответов значительно более равномерное – каждый из возможных вариантов занимает примерно одинаковую долю, варьируясь в интервале 15-35%. Полученные результаты позволяют утверждать, что в случае вопроса 4 имеет место

неверно сформированное представление: большинство студентов, которые не смогли правильно ответить на вопрос, выбирают в качестве ответа один и тот же неправильный вариант. И, наоборот, в случае вопроса 24 нет достаточных оснований говорить о доминирующем неправильно сформированном представлении: неправильные ответы студентов распределены между различными вариантами фактически равномерно.

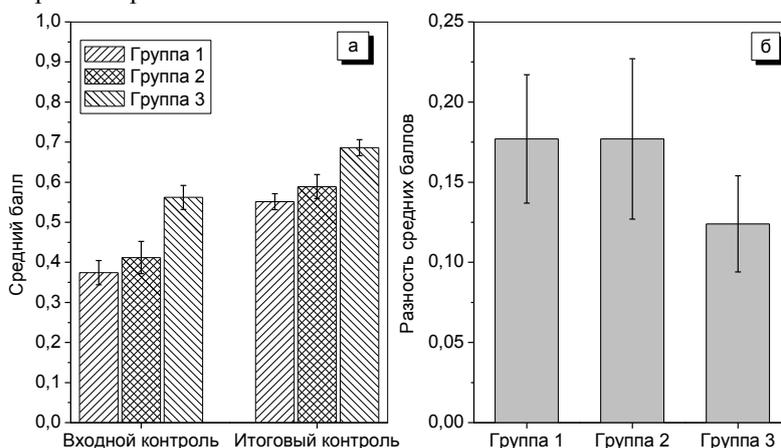


Рис. 4. Средние баллы в группах 1-3 по итогам входного и итогового контроля (а) и прирост среднего балла по группам при переходе от входного к итоговому тесту (б)

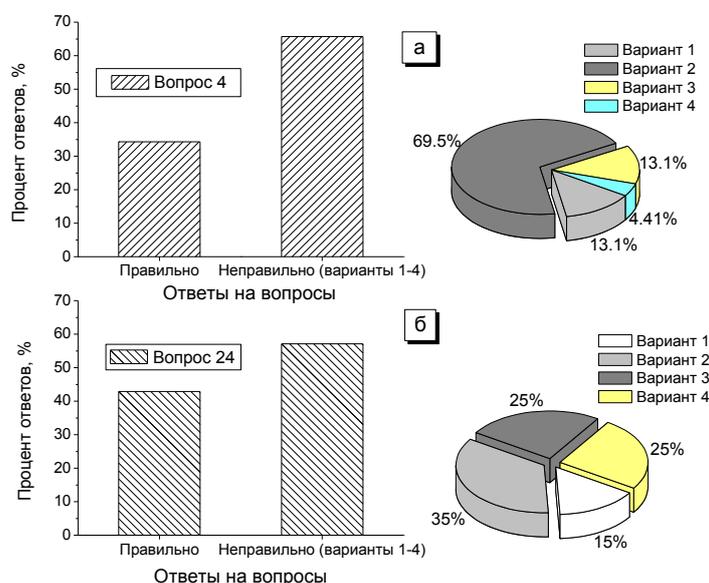


Рис. 5. Соотношение правильных и неправильных ответов и распределение неправильных ответов между возможными вариантами для вопросов 4 (а) и 24 (б) на входном тестировании

Анализ результатов входного тестирования показывает, что из 20 предлагавшихся для решения вопросов в 11-ти случаях неправильные ответы студентов распределены относительно равномерно. В оставшихся 9-ти случаях один вариант доминирует среди остальных, набирая не менее 60% от общего количества

неправильных ответов на данный вопрос. Таким образом, для таких вопросов можно уверенно говорить о наличии неправильно сформированных представлений.

Сравнение качества ответов на входном и итоговом контроле именно на эти выделенные девять вопросов позволяет сделать выводы об эффективности применения компьютерного моделирования в среде NetLogo для формирования и коррекции концептуальных структур химических знаний. По результатам итогового контроля выделенные вопросы можно условно разделить на две подгруппы. Для первой из них, которая включает вопросы 4, 8, 1, 22, 25, при сравнении и результатов итогового и входного контроля одновременно наблюдается существенное увеличение количества правильных ответов и одновременно снижение доли доминирующего ошибочного ответа (рис. 6).

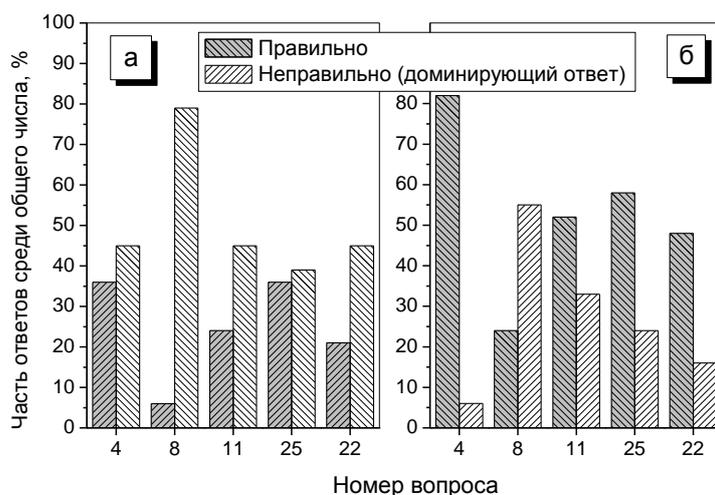


Рис. 6. Доля правильных и доминирующих неправильных ответов среди всех ответов на вопросы 4, 8, 11, 25, 22 по результатам входного (а) и итогового (б) контроля

Вторую подгруппу составляют вопросы 17, 18, 19, 23, для которых не удалось существенно увеличить количество правильных ответов, а, значит, не удалось скорректировать доминирующие неверные представления (рис. 7).

Более четко различия в эффективности применения компьютерного моделирования для коррекции неправильно сформированных понятий при изучении различных вопросов видны на рис. 8. Здесь двумя кривыми представлены, во-первых, отношения количества правильных ответов и, во-вторых, доминирующих неправильных ответов, полученных в финальном тесте к их количеству на входном контроле. В левой части рисунка собраны вопросы, для которых использованная методика оказалась эффективной. Количество правильных ответов увеличилось в 1,5-4 раза и, соответственно, число доминирующих неправильных ответов снизилось не менее чем в 1,5-2 раза. В правой части рисунка обе кривые располагаются вблизи единицы. Это означает, что для этих вопросов количество правильных ответов на итоговом тесте увеличилось заметно слабее – в пределах +20%. Количество доминирующих неправильных ответов для вопросов 17 и 23 практически не изменилось.

Таким образом, в некоторых случаях применение компьютерного моделирования является эффективным средством для коррекции неправильно сформированных химических знаний, тогда как в других вопросах эффект минимален. Очевидно, что более глубокое изучение характера такого рода проблем, с одной стороны, и, возможно, создание новых или модификация существующих

моделей, с другой стороны, необходимы для решения проблемы коррекции неверно сформированных понятий в более полном объеме.

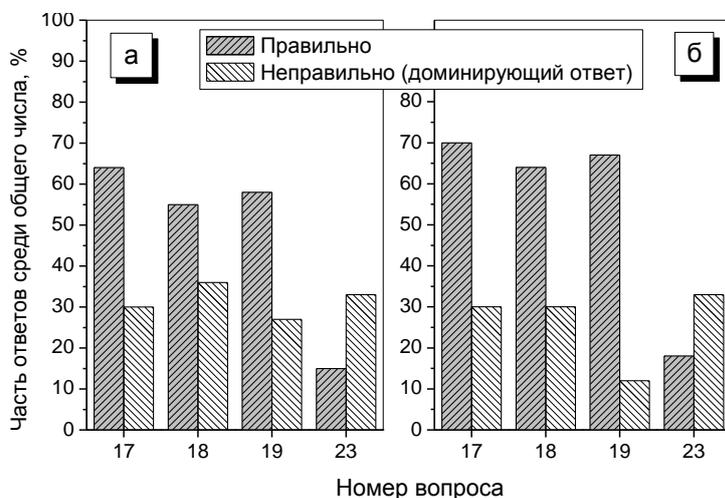


Рис. 7. Доля правильных и доминирующих неправильных ответов среди всех ответов на вопросы 17, 18, 19, 23 по результатам входного (а) и итогового (б) контроля

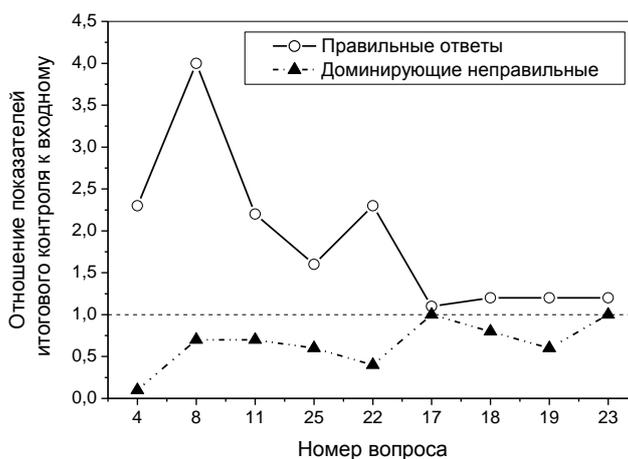


Рис. 8. Отношение числа ответов на итоговом тесте к их количеству на входном контроле: кривые для правильных и доминирующих неправильных ответов для вопросов, выявивших неправильно сформированные химические понятия

Формирование связей между разными уровнями представления химической информации

Среда моделирования NetLogo позволяет визуализировать и осуществлять двунаправленные переходы, которые соединяют макроскопический уровень представления химических знаний (явления материального мира) с микроскопическим (атомно-молекулярный мир, включая представления о строении атома) и символьным (аппарат математических методов и символьное описание химических процессов). Как уже упоминалось, именно неумение установить и

использовать связи между упомянутыми уровнями является серьезным препятствием для освоения химических знаний студентами [17, 18, 19].

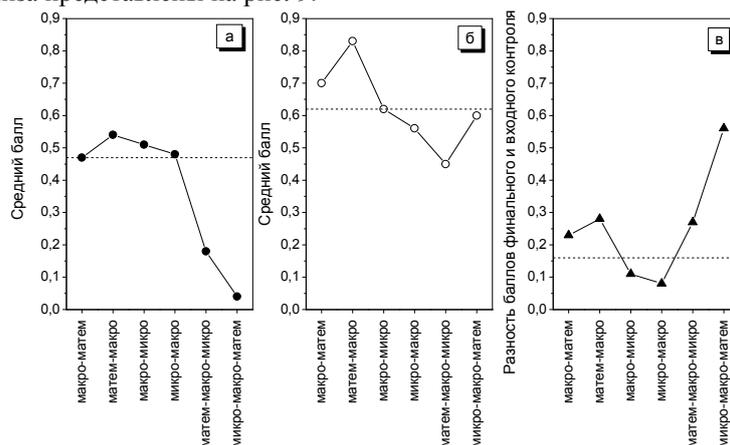
Поэтому вопросы тестирования выбирались и далее классифицировались по типу двунаправленного перехода (или своеобразного «моста» между разными уровнями представлений), который необходимо было мысленно осуществить студенту для нахождения ответа. Для иллюстрации сказанного, в табл. 2 приведен один вопрос из предлагаемых тестов.

Таблица 2

Пример задания, содержащего сложный переход типа микро-макро-матем.

Вопрос	Варианты ответов
Представьте, что количество частиц газа в контейнере увеличили со 100 до 300. Также повысили температуру со 100 до 300 температурных единиц. Затем был уменьшен объем с 300 до 100 единиц. Давление перед всеми предложенными изменениями составляло 50 единиц. Каким будет давление в контейнере после указанных изменений?	1. 200 2. 900 3. 1350 4. 150 5. Не знаю

Как видим, для ответа на вопрос студент сначала должен представить, к чему приводит увеличение количества частиц (микро уровень) и температуры (макро уровень), потом рассчитать давление (символьный или математический уровень). Таким образом, решение данной задачи подразумевает умение осуществить сложный переход микро-макро-математ. Анализ заданий, использованных при тестировании, позволяет выделить три пары различных переходов. Первую пару составляют макро-микро и микро-макро переходы. В данном случае речь идет о навыках нахождения соответствия между явлениями реального мира и стоящими за ними микроскопическими процессами. Еще одна пара – макро-математ и математ-макро, когда требуется умение описать явления реального мира на символическом уровне. Наконец, наиболее сложным является переход с участием всех трех уровней – математ-макро-микро и микро-макро-математ. Для того, чтобы определить, какие переходы вызывают наибольшие трудности у студентов, все задания тестов были разделены на группы в соответствии с типом требуемых переходов. Результаты такого анализа представлены на рис. 9.



Переходы между уровнями химических знаний

Рис. 9. Средние баллы для заданий с различными типами переходов на фоне среднего значения для теста в целом (пунктир): а – входной контроль, б – финальный контроль, в – разность (прирост) средних баллов между финальным и входным контролем

Как и следовало ожидать, на входном контроле наибольшее затруднение вызывали вопросы, относящиеся наиболее сложным переходам, использующим все три уровня представления (рис. 9а). При среднем балле входного контроля 0,47 при решении таких задач студентами набирали 0,04–0,18 баллов, то есть в 3–10 раз меньше среднего. Результаты для всех других (бинарных) мостов оказались примерно на одном уровне.

Компьютерное моделирование оказало существенное влияние на результаты решения задач с различными мостами (рис. 9б). Так, наиболее успешно (70-85% правильных ответов) студенты стали решать задачи с переходами типа макро-математ и математ-макро. Несколько хуже, хотя, в целом, на среднем уровне, они справляются с задачами с макро-микро и микро-макро мостами (56-62% правильных ответов). Как и на входном контроле, наибольшие проблемы вызывают задания со сложными, тройными мостами, для которых уровень правильных ответов по-прежнему ниже среднего.

Данные по прогрессу, то есть приросту средних баллов при переходе от входного к итоговому тестированию, позволяют сделать несколько дополнительных выводов (рис. 9в). Если в качестве меры эффективности использования компьютерного моделирования принять прирост в баллах, то зависимость от типа переходов становится ярко выраженной. Так, на входном контроле задачи с переходами макро-математ, математ-макро, с одной стороны, и макро-микро, микро-макро, с другой стороны, вызывали приблизительно одинаковый уровень затруднений. На стадии финального контроля, после выполнения заданий по компьютерному моделированию, прирост баллов для задач первой из двух упомянутых групп оказался выше, чем для задач второй группы. Или, говоря другими словами, предложенный вариант обучения оказался наименее эффективным для задач, содержащих мосты типа макро-микро и микро-макро.

Наиболее существенный прирост баллов обнаружен для заданий с самыми сложными, тройными переходами (рис. 9в). Если на входном контроле такие задачи решались очень плохо, то по результатам тестирования средние баллы для них вплотную приблизились к показателям мостов типа макро-микро. Прирост баллов для таких задач максимален по сравнению с заданиями других типов. То есть предлагаемый подход с использованием в обучении компьютерных моделей NetLogo позволяет достаточно эффективно улучшить понимание вопросов, требующих установления наиболее сложных связей между различными уровнями представления химического материала.

Эффективность выполнения графических заданий

Известно, что студенты плохо решают графические задачи по химии [3]. Одной из особенностей работы с моделями в процессе эксперимента была необходимость формирования связей между тем, что студенты видят на экране (например, модель явления на микроуровне – движение частиц), и математическими зависимостями, которые также строятся на экране (графики изменения давления, объема, температуры, кинетической энергии и т.д.). Многие виды работ были специально предназначены для постоянного пользования динамическими графиками, для анализа их вида, предположений, определения средних величин, снятия показателей и т.д. Иными словами, графическая компонента присутствовала во многих заданиях компьютерных моделей. Поэтому, интересно было проанализировать, произошли ли в процессе работы в среде NetLogo изменения в возможностях студентов работать с задачами, представленными в графическом виде. Каков характер таких изменений, и насколько они значительны.

Для ответа на поставленные вопросы проведен анализ всех заданий, представленных на входном и итоговом тестированиях, с целью выявления доминирующей формы их представления. Поскольку все задания различались также уровнем представления химической информации, сначала показатели для разных форм вывода данных рассчитывались отдельно для заданий с преобладающим макроскопическим, микроскопическим или символьным представлением. Результаты представлены на рис. 10 в виде лепестковых диаграмм.

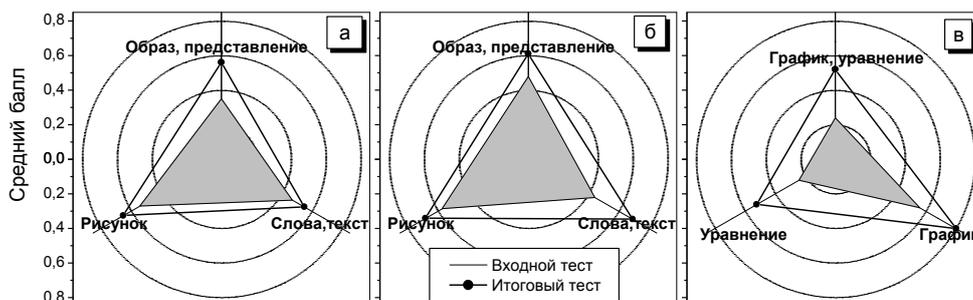


Рис. 10. Средние баллы по результатам входного и итогового контроля для заданий, представленных в различной форме и различающихся по уровню представления химических знаний: а – микроскопический уровень, б – макроскопический уровень, в – символьный уровень

Для каждого из трех уровней представления химической информации выделено три основных формы подачи данных студенту. Формы для макроскопического и микроскопического уровня совпадают и при этом отличаются от форм символьного уровня. Вдоль каждой из трех осей (соответствующих упомянутым формам) отложены средние баллы входного тестирования. Соединенные для наглядности линиями, они вместе образуют заштрихованный треугольник. Аналогичным образом на тех же осях отмечены и соединены линиями между собой средние баллы выходного тестирования, формируя незаштрихованный треугольник. Как видим, на всех графиках рис. 10 заштрихованный треугольник полностью вписывается в незаштрихованный, что свидетельствует о возрастании балла финального контроля независимо от разделения данных на подгруппы разных форм и уровней представления информации.

Сравнение треугольников для микро (рис. 10а) и макро (рис. 10б) уровней указывает на их высокую схожесть. Так, эффективность использования рисунков практически одинакова для обоих уровней. Основное различие между ними связано с тем, что использование вербального описания (текст, слова) более эффективно (прирост среднего балла для этой формы максимален) на макроуровне, тогда как образное представление, соответственно, эффективно на микроуровне.

На символьном уровне (рис. 10в) все формы показа данных обеспечивают примерно одинаковый прирост среднего балла при переходе от входного к итоговому тестированию. Тем не менее, обращает внимание, что задания с уравнениями (в сочетании с графиками или без графиков) характеризуются меньшими баллами, чем задания только с графиками и без уравнений, где уровень правильных ответов при итоговом тестировании достигает 80%.

Все упомянутые выше формы показа данных можно проанализировать вне зависимости от уровня представления химической информации. Результаты, иллюстрирующие средние баллы, а также разность баллов для входного и финального контроля, для заданий, представленных в каждой из 6 форм и просуммированных без учета влияния микроскопического, макроскопического или символьного уровней, показаны на рис. 11.

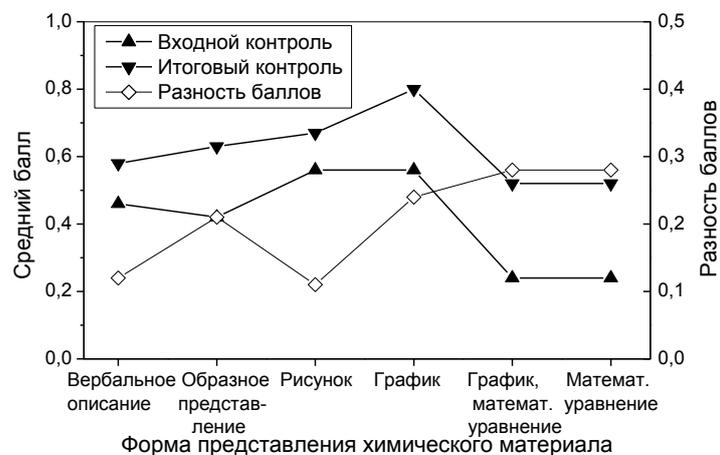


Рис. 11. Изменение среднего балла на входном и финальном тестировании, а также разность между средними баллами для заданий с различной формой представления химического материала

Из рис. 11 можно сделать вывод, что при организации работы с моделями NetLogo самое существенное улучшение результатов достигается при выполнении студентами заданий, которые требуют интерпретации графиков и математических уравнений. В то же время задачи с графикой и уравнениями все еще остаются наиболее трудными для студентов, поскольку полученные баллы за решение таких задач заметно ниже баллов других заданий, как при входном, так и при итоговом контроле.

Заключение

Использование компьютерного моделирования в среде NetLogo в процессе самостоятельной работы студентов обеспечивает устойчивое улучшение уровня химических знаний при изучении темы «Газовые законы» дисциплины «Неорганическая химия». Полученный эффект слабо зависит от уровня базовой подготовки и немного более явно выражен для студентов со слабой и средней успеваемостью.

Анализ полученных результатов при входном тестировании позволил выявить наличие ряда неверно сформированных понятий, которые проявились при решении 9 из 20 предложенных заданий. Применение компьютерного моделирования способно скорректировать некоторые устоявшиеся неправильные понятия. Результаты итогового тестирования показали, что для пяти из девяти проблемных заданий число правильных ответов увеличилось не менее, чем в 1,5-4 раза, а количество проявлений неверных представлений одновременно снизилось в 1,5-2 раза. Для оставшихся четырех заданий полученный эффект выражен значительно менее ярко: прирост правильных ответов в пределах 20% и очень слабое снижение числа проявлений неверно сформированных понятий.

Самостоятельная работа с моделями в среде NetLogo способствует формированию устойчивых связей между различными уровнями представления химической информации. Показано, что наиболее сложными для усвоения являются задания, содержащие сложные тройные межуровневые переходы, в которые включены все три уровня представления химических знаний – макроскопический, микроскопический и символичный. Тем не менее, использование компьютерного

моделирования обеспечивает наилучший прирост знаний именно для самых сложных связей. На входном контроле студенты показали практически равноценные результаты при решении задач с двойными переходами с участием макро и математ уровней, с одной стороны, и микро и макро уровней, с другой. Использование компьютерного моделирования в процессе подготовки оказало заметно большее влияние на укрепление связей между макро и математ уровнями, тогда как влияние на формирование связей между макро и микро уровнями оказалось наименьшим по сравнению с другими исследованными вариантами. Таким образом, использованный подход обеспечил переход от оперирования глобальными, недифференцированными образами химической реальности к применению при рассуждениях все более разделенных на части ее элементов, свойств и отношений. Это приводит к увеличению способности студентов мысленно создавать связи между различными уровнями представлений материала, улучшая их профессиональную подготовку.

Слабые навыки студентов в интерпретации информации, представленной в графической форме, отрицательно сказываются на усвоении химических знаний в течение всего периода обучения. Использование компьютерного моделирования способствует существенному улучшению работы студентов с такими данными. Показано, что форма математических уравнений в сочетании с графиками и без них на начальном этапе эксперимента вызывала наибольшее затруднение у студентов в сравнении с другими формами представления информации. Самостоятельные занятия с использованием компьютерных моделей способствовали значительному прогрессу в умении работать с уравнениями и графиками. Прирост баллов для таких заданий, полученных на итоговом тестировании, оказался значительно выше, чем прогресс в баллах для других форм, основанных на образном или вербальном представлении. Таким образом, использование компьютерных моделей в среде NetLogo может рассматриваться как эффективное средство для улучшения навыков работы с графической информацией.

Литература

1. Волкова Е.В. Общий универсальный закон развития, развитие когнитивных структур химического знания и химические способности. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2008. – 512 с.
2. Деркач Т.М. Информатизация викладання хімії: від теорії до практики. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ, 2011. – 225 с.
3. Деркач Т.М. Порівняльний аналіз якості виконання студентами алгоритмічних, концептуальних та графічних хімічних задач // Наукові записки НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія «Пед. науки» – 2011. – № 96. – С. 70-81.
4. Ядровская М. В. Моделирование в реализации когнитивного обучения // Международный электронный журнал "Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society)" – 2012. – V.15. – № 2. – С. 602-617. – ISSN 1436-4522. URL: <http://ifets.ieee.org/russian/periodical/journal.html>
5. Wilensky U. NetLogo (1999) [Электронный ресурс] // Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Evanston, IL: URL: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo> (дата обращения 04.01.2013).
6. Патаракин Е.Д., Ярмахов Б.Б. Моделирование организационных отношений с использованием "связей" Netlogo // Международный электронный журнал "Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society)" – 2009. – V.12. – № 2. – С. 409-422. – ISSN 1436-4522. URL: <http://ifets.ieee.org/russian/periodical/journal.html>

7. NetLogo Models Library [Электронный ресурс] // Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Evanston, IL: URL: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/index.cgi> (дата обращения 04.01.2013).
8. Levy S.T., Novak M., Wilensky U. Connected Chemistry Curriculum (2006) [Электронный ресурс] // Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Evanston, IL: <http://ccl.northwestern.edu/curriculum/chemistry> (дата обращения 04.01.2013).
9. Stieff M., Wilensky U. Connected Chemistry - incorporating interactive simulations into the chemistry classroom // *J. Sci. Educ. Technol.* – 2003. – Vol.12, № 3. – P. 285-302.
10. Stieff M., Wilensky U. ChemLogo: An emergent modeling environment for teaching and learning chemistry // *Proc. 5th biannual Int. Conf. Learning Sciences (ILCS)*, October 2002. Seattle, WA: USA. – 2002. – P. 451-458.
11. Levy S.T., Wilensky U. Students' learning with the Connected Chemistry (CC1) curriculum: navigating the complexities of the particulate world // *J. Sci. Educ. Technol.* – 2009. – Vol.18, №3. – P. 243-254.
12. Levy S.T., Wilensky U. Crossing levels and representations: The Connected Chemistry (CC1) curriculum // *J. Sci. Educ. Technol.* – 2009. – Vol.18, №3. – P. 224-242.
13. Levy S.T., Wilensky U. Mining students' inquiry actions for understanding of complex systems // *Computers & Education.* – 2011. – Vol.56. – P. 556–573.
14. Lin H.-S., Cheng, H.-J. The assessment of students and teachers' understanding of gas laws // *J. Chem. Educ.* – 2000. – Vol.77, №2. – P. 235-238.
15. Liu H.-C., Andre T., Greenbowe T. The impact of learner's prior knowledge on their use of chemistry computer simulations // *J. Sci. Educ. Technol.* – 2008. – Vol.17. – P. 466-482.
16. Gobert J., O'Dwyer L., Horwitz P., Buckley B., Levy S.T., Wilensky U. Examining the relationship between students' epistemologies of models and conceptual learning in three science domains: Biology, Physics, & Chemistry // *Int. J. Sci. Educ.* – 2011. – Vol.33, №5. – P. 653-684.
17. Ardac D., Akaygun S. Effectiveness of multimedia-based instruction that emphasizes molecular representations on students' understanding of chemical change // *J. Res. Sci. Teaching.* – 2004. – Vol.41. – P. 317-337.
18. Kozma R.B. The use of multiple representations and the social construction of understanding in chemistry // *Innovations in science and mathematics education: Advanced designs for technologies of learning.* M.J. Jacobson, R.B. Kozma (Eds.). New Jersey, London: Lawrence Erlbaum. – 2000. – P. 11-46.
19. Van der Meij J., de Jong T. Supporting students' learning with multiple representations in a dynamic simulation-based learning environment // *Learning & Instruction.* – 2006. – Vol.16. – P. 199-212.
20. Mas C.J.F., Perez J.H. Parallels between adolescents' conceptions of gases and the history of chemistry // *J. Chem. Educ.* – 1987. – Vol.64, №7. – P. 616-618.