

Научное мнение. 2025. № 7–8. С. 49–58.

Nauchnoe mnenie. 2025. № 7–8. Р. 49–58.

Научная статья

УДК 378.147.88

DOI: https://doi.org/10.25807/22224378_2025_7-8_49

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЛЕКУЛ УГЛЕВОДОВ НА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАНЯТИЯХ ПО БИОЛОГИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Валентина Михайловна Ларионова¹, Светлана Олеговна Пустовит²

^{1,2} Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского, г. Калуга, Россия

¹ lealvmlee@mail.ru

² sveta_pus@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются некоторые возможности организации познавательной деятельности студентов на основе использования компьютерного обеспечения голографического класса, выявленные в результате выполнения поискового этапа педагогического эксперимента. На примере изучения студентами взаимосвязей особенностей строения, химических свойств и биологического значения углеводов для организма человека показаны отдельные приемы включения процесса 3D-моделирования молекул углеводов в образовательный процесс.

Ключевые слова: 3D-моделирование, компьютерное моделирование, обмен углеводов, цифровые образовательные ресурсы

Original article

3D MODELLING OF CARBOHYDRATE MOLECULES IN INDIVIDUAL BIOLOGICAL CHEMISTRY CLASSES

Valentina M. Larionova¹, Svetlana O. Pustovit²

^{1,2} Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovsky, Kaluga, Russia

¹ lealvmlee@mail.ru

² sveta_pus@mail.ru

Abstract. The article discusses some of the possibilities of organising students' cognitive activity based on the use of computer software for a holographic classroom, identified as a result of the search stage of the pedagogical experiment. Using the example of studying the interrelationships of the structural features, chemical properties and biological significance of carbohydrates for the human body, the authors show individual techniques for including the process of 3D modelling of carbohydrate molecules in the educational process.

Keywords: 3D modelling, computer modelling, carbohydrate metabolism, digital educational resources

Освоение студентами химических дисциплин в значительной мере связано с изучением объектов микромира, которые недоступны непосредственному визуальному восприя-

тию: атомов, молекул, ионов и др. Однако двухмерные изображения не дают полного представления ни о самих объектах, ни о химических процессах, происходящих с ними.

Наиболее информативными и перспективными в отношении методики обучения химии являются 3D-модели, которые не только отражают существенные особенности объектов микромира, но и позволяют создавать динамичные образы, имитируя изменения, происходящие с ними [1].

Создание 3D-моделей может осуществляться студентами на практическом или индивидуальном занятии по химии средствами компьютерного класса, а их демонстрация — также при помощи любого компьютера, имеющего доступ к Интернету. Файлы, сохраненные в ряде форматов, могут быть открыты онлайн без установки специализированных компьютерных программ. В результате обучающиеся могут работать с трехмерными моделями, как на занятии, так и при выполнении домашнего задания. Поэтому целью нашего исследования является поиск возможных способов включения 3D-моделирования средствами современных компьютерных технологий в познавательную деятельность студентов при освоении химических дисциплин [2].

В качестве примера создания 3D-моделей молекул и анимаций на их основе рассмотрим некоторые особенности строения, свойств и обмена углеводов, изучаемых студентами специальности «Фармация» при освоении дисциплины «Биологическая химия».

3D-моделирование в профессиональной подготовке студентов

3D-моделирование активно применяется в химических науках как средство визуализации молекул и химических процессов с их участием. В настоящее время существуют различные компьютерные программы, применяемые для создания трехмерных моделей неорганических и органических веществ. Они позволяют описывать и прогнозировать особенности строения и свойств различных соединений, формировать визуальные образы объектов микромира. Примерами таких программ, доступных широкому кругу потребителей, являются программные продукты “Chem Draw” и “ChemSketch” [3].

С одной стороны, в научных публикациях отмечается, что для развития профессио-

нальных навыков современных студентов важно формировать у них умения строить мысленные образы объектов химической науки [4; 5], поскольку освоение химических дисциплин требует применения когнитивных операций, необходимых для построения мысленных моделей. Например, представления о геометрии молекул предполагает учет трехмерного характера объектов химической науки. Однако в некоторых случаях такие объекты воспринимаются учащимся в двухмерном виде. По мнению ученых, это может быть связано с отсутствием или неадекватностью учебных материалов, например, при использовании в качестве основного источника информации рисунков в составе печатных или электронных учебников, пособий, научных публикаций [6]. С другой стороны, постоянно происходит совершенствование и разработка новых компьютерных инструментов, обеспечивающих визуализацию объектов, недоступных непосредственному наблюдению [5].

В качестве дидактических средств в улучшении пространственных способностей студентов-химиков исследователями предлагается применять различные мультимедийные образовательные ресурсы, в том числе интерактивные компьютерные 3D-модели [7]. Создание трехмерных моделей возможно средствами современных компьютерных программ. Их функционал позволяет формировать 2D-изображения, которые при желании могут быть легко преобразованы в 3D-модели.

При помощи компьютерных программ, позволяющих создавать 3D-модели, для студентов оказывается доступным наблюдение на молекулярном уровне химических реакций, структурных формул веществ и др., что позволяет лучше разобраться в различных аспектах новых тем и углубить понимание учебного материала [8; 9]. 3D-моделирование позволяет студентам раскрывать структуру изучаемых соединений.

В то же время исследователи отмечают, что при включении виртуальных объектов в систему средств обучения химии у обучающихся по-прежнему остаются неверные

представления о ряде изучаемых систем и процессов [5]. Кроме того, среди недостатков применения 3D-моделирования исследователи отмечают ограничения в использовании технологии компьютерного моделирования в образовательном процессе, в том числе необходимость использования специального оборудования и программного обеспечения, а также необходимость обучения преподавателей и студентов эффективному использованию данных технологий [8; 9]. В результате в настоящее время образовательные вызовы требуют творческого использования цифровых ресурсов для обеспечения качества химического образования на основе достижений науки и современных технологий. Поэтому закономерным является уточнение дидактических возможностей цифровых ресурсов и поиск эффективных приемов включения процесса 3D-моделирования веществ и изменений, происходящих с ними, в процесс профессиональной подготовки студентов вуза.

Возможности и ограничения 3D-моделирования в голографическом классе

В КГУ им. К. Э. Циолковского (г. Калуга) оборудован голографический класс, представленный 10 персональными компьютерами и голографическим столом оригинальной сборки компании Nettle Desk. При помощи специальных очков, входящих в комплект, осуществляется визуализация трехмерных изображений, демонстрируемых на экране. Каждый студент работает на индивидуальном занятии за своим компьютером (см.: рис. 1), используя очки, которые настроены так, что они совместимы для визуализации только на одном конкретном компьютере. Поэтому очки и компьютеры пронумерованы в соответствии с их комплектацией.

Компьютерное обеспечение класса позволяет создавать комплекс условий для проведения учебных (практических и индивидуальных) занятий по химическим дисциплинам. Во-первых, каждый компьютер предоставляет возможность подключения к интернету, включая пользование электронными базами данных при поиске недостающей

информации при решении задач прикладного характера. Во-вторых, данный класс оснащен программным обеспечением для создания 3D-моделей на основе специализированных программ, например “ChemSketch” или программ более универсального применения (пример программа “Blender”). Готовые модели объектов, сформированные студентами, могут быть успешно экспортированы в подходящем формате из компьютерной программы, предназначенной для моделирования, и просмотрены в программе голографического класса при помощи специализированных очков.

В то же время включение средств голографического класса в организацию познавательной деятельности при освоении студентами химических дисциплин имеет ряд ограничений. Среди них отметим следующее:

- обучение студентов применению специализированных программ и непосредственно процесс 3D-моделирования требуют затраты некоторого времени, из-за чего затруднительно создавать сложные модели, особенно на первоначальных этапах освоения соответствующих приемов работы;
- необходимость экспорта файлов в программное обеспечение голографического класса включает потребность в подборе совместимых форматов как для статических моделей, так и анимаций и симуляций;
- более широкое применение 3D-моделирования в образовательном процессе предполагает выявление технического функционала доступного компьютерного обеспечения и уточнения дидактических возможностей средств голографического класса;
- освоение студентами приемов работы в программе для моделирования предполагает разработку для обучающихся примерных алгоритмов 3D-моделирования объектов.

В целом, ресурсы голографического класса предоставляют современную техническую основу для организации познавательной деятельности студентов при обучении химии. Однако эффективность их включения в систему средств обучения зависит от особенностей изучаемого содержания и учета функционала компьютерного обеспечения.

Создание трехмерных моделей молекул

Наиболее сложными в освоении являются химические дисциплины, связанные с изучением органических веществ: органическая химия, биоорганическая химия, биохимия и др. Это связано как со сложностью молекул веществ, так и их многочисленностью. Например, при изучении биохимии от студентов, с одной стороны, требуется уметь устанавливать взаимосвязи между особенностями строения и свойств углеводов и их обменом в живом организме, что, с другой стороны, включает процессы интеграции предметных знаний из смежных дисциплин, осуществляемые студентами с целью характеристики реальных процессов в живом организме.

Тема «Обмен углеводов» предполагает формирование у студентов специальности «Фармация» системы представлений, касающихся не только особенностей химических процессов, протекающих в организме человека (раздел динамической биохимии), но и обусловленности биологической роли углеводов пространственным строением биомолекул (разделы биохимии — статическая и функциональная). Поэтому на индивидуальных занятиях по биохимии при изучении процессов катаболизма и анаболизма углеводов предлагаем студентам выполнить индивидуальные задания.

Потребность в создании трехмерных моделей молекул по теме «Обмен углеводов» обусловлена рядом причин. В первую очередь это связано с тем, что в голографическом классе практически отсутствуют готовые 3D-модели. Разработчиками программного обеспечения предложены единичные примеры сахаров. Наряду с шаростержневыми моделями в программное обеспечение ими предложены полусферические модели. Кроме того, одновременно с 3D-оптимизированными объектами приведены модели молекул, не отражающих реальное расположение атомов друг относительно друга: двухмерная молекула перенесена в трехмерное пространство без учета ее пространственного строения. 3D-модели молекул, сформированные в специализированных программах, предназначенных для создания

моделей молекул, не могут быть перенесены в программное обеспечение голографического класса. Анимации по вопросам обмена углеводов в системе голографического класса вовсе не были предоставлены разработчиками голографического класса. Поэтому при разработке содержания индивидуальных заданий предлагаем студентам решить систему взаимосвязанных задач, включающих работу с ресурсами интернета и 3D-моделирования при выполнении конкретного задания.

Примеры индивидуальных заданий

Для составления индивидуальных заданий студентам нами были выбраны сложные углеводы, мономером которых является глюкоза, а именно: целлюлоза, крахмал (амилоза и амилопектин), гликоген. Особенности физиологического действия выбранных соединений определяются не только химическим составом биомолекул, но и в значительной степени — типом химических связей между ними. Поэтому студентам была представлена возможность наглядно выразить представления о зависимости свойств биополимера от порядка соединения биомономеров.

Приведем примеры заданий, которые студенты выполняли в голографическом классе КГУ им. К. Э. Циолковского.

Тема. Сложные углеводы в обмене веществ человека

ЗАДАНИЕ. Важными компонентами пищевой продукции являются сложные углеводы. Объясните физиологическую роль одного из углеводов в обмене веществ человека (варианты задания): а) целлюлоза; б) амилоза (входит в состав крахмала); в) амилопектин (является фракцией крахмала); г) гликоген. Для выполнения задания решите следующие задачи.

Задача 1. Усвоение веществ организмом человека зависит от особенностей их строения и свойств. Кратко охарактеризуйте сложный углевод как химическое соединение, ответив на следующие вопросы. 1. Что представляют собой молекулы данного сахара по химической природе? 2. К какой группе биополимеров относят вещество по однородности мономерных звеньев данного биополимера (гомо- или гетерополисахарид) и какой

моносахарид является его мономером? Напишите структурную формулу данного моносахарида и одного звена сложного углевода. 3. Укажите отношение молекул сложного углевода к воде. 4. Какие химические связи соединяют остатки глюкозы между собой в молекуле вещества?

Задача 2. Создайте 3D-модель молекулы сложного углевода. Для этого выполните следующее. 1. Укажите число звеньев (остатков моносахарида), которые может содержать молекула сложного углевода. Пользуясь интернетом, уточните форму, которую имеет молекула и наличие в ней разветвлений (рис. 1) [10]). 2. Сделайте в тетради схематический рисунок молекулы. 3. Пользуясь алгоритмом работы в программе “Blender”, создайте трехмерную модель молекулы сложного углевода.

Задача 3. Сложные углеводы являются необходимыми компонентами питания. Охарактеризуйте процесс их включения в обмен веществ в организме человека. При ответе укажите следующее. 1. На основе особенностей строения и свойств укажите особенности действия на сложный углевод, о котором идет речь в задаче, ферментов в желудочно-кишечном тракте человека. 2. Укажите особенности включения продуктов катаболизма сложного углевода в обмен веществ в организме человека.

В результате при выполнении студентами задания они учитывают следующие особен-

ности пространственного строения сложных углеводов.

При моделировании модели молекулы целлюлозы создают трехмерные структуры сначала одной молекулы линейной формы, а затем делают копии для рядом расположенных аналогичных молекул (рис. 1). Целлюлоза — это гомополимер, который состоит из остатков глюкозы. Из-за образования между остатками глюкозы β -D-1,4-гликозидных связей молекулы целлюлозы имеют вытянутую стержневую конформацию без разветвлений, а число звеньев в данной молекуле может достигать десятков тысяч [11]. Благодаря межмолекулярным и внутримолекулярным связям, образуемым многочисленными гидроксигруппами остатков глюкозы, молекулы целлюлозы располагаются друг около друга, образуя волокнистую структуру (жесткое поперечное сшивание всех цепей), обуславливая также нерастворимость целлюлозы в воде [12].

При работе в программе “Blender” необходимо отразить следующие особенности 3D-модели молекулы амилозы. Амилоза — это гомополимер, который состоит из остатков глюкозы, хорошо растворимый в воде. Все химические связи в молекуле амилозы — α -1,4-гликозидные, что приводит к сворачиванию макромолекулы в спираль, закрученную против часовой стрелки [13–15]. На каждый виток спирали приходится по 6 остатков глюкозы [10] (рис. 2).

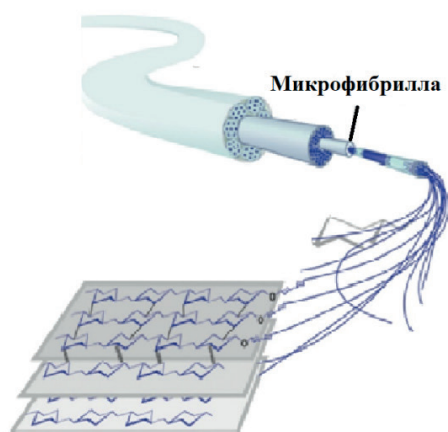


Рис. 1. Молекулы целлюлозы: схема [11] и 3D-модель

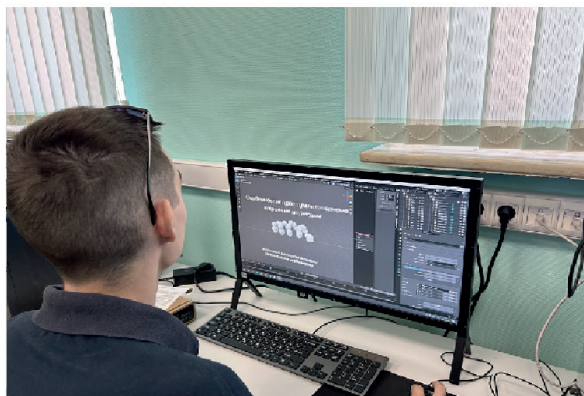
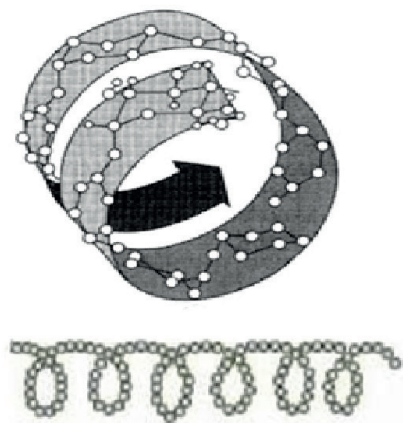


Рис. 2. Молекула амилозы: схема [13; 15] и 3D-модель

Студенты создают трехмерную модель молекулы амилопектина, у которой отражены основная цепь и длинные боковые ответвления (рис. 3). Амилопектин — это гомополимер, который состоит из остатков глюкозы. В пределах одной цепи остатки α -D-глюкозы соединены при помощи α -1,4-гликозидных связей, а в точках ветвления — α -1,6-гликозидных связей. Между точками ветвления располагается около 20–25 глюкозных остатков, а в разветвлениях — 15–45. Отдельные участки полигликозидных участков скручены в спираль. Вследствие разветвленности цепи и большой молекулярной массы амилопектин в горячей воде набухает, образуя мицеллы, связанные в пространственную сетку [14].

При моделировании молекулы гликогена важно показать его небольшую часть, отличающуюся наличием большого количества точек ветвления и короткими боковыми цепями (рис. 4). Гликоген — это гомополимер, который состоит из остатков глюкозы. Мономерные звенья в пределах линейных цепей соединены при помощи α -1,4-гликозидных связей, а в точках ветвления — α -1,6-гликозидных связей. По сравнению с амилопектином гликоген имеет большее количество коротких боковых ветвей, значит, большую компактность молекул. В пределах одной цепи содержится по 11–15 остатков глюкозы (в среднем — 12). На белке гликогенине расположена одна цепь, присоединенная к белку в результате глико-



Рис. 3. Молекула амилопектина: схема [13; 14] и 3D-модель

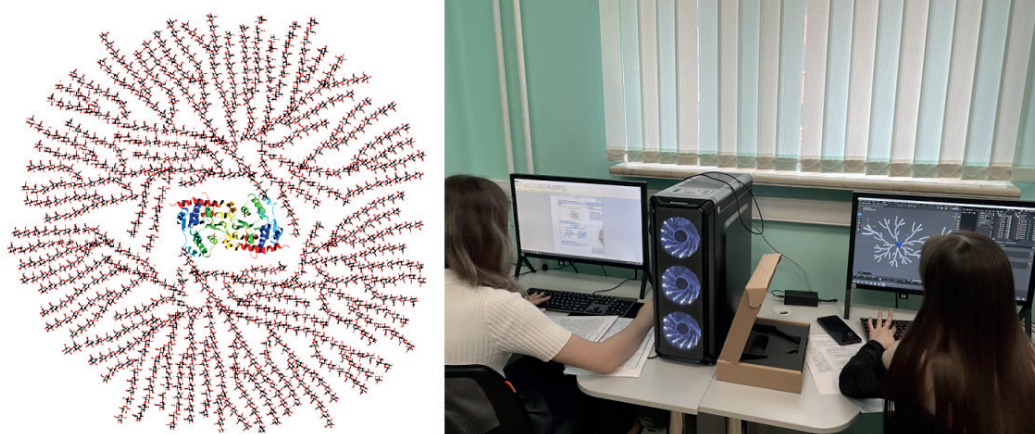


Рис. 4. Молекула гликогена: схема [16] и 3D-модель

зидирования данного белка. От цепи первого слоя молекулы последовательно отходят другие цепи гликогена. В полностью сформированной молекуле гликогена содержится около 12 слоев, содержащих в сумме примерно 55 000 остатков глюкозы [16].

Алгоритм создания модели молекулы в программе “Blender”

При решении второй задачи из каждого индивидуального задания студенты применяют общий алгоритм работы в программе “Blender” [17; 18]. Приведем его содержание.

Алгоритм создания модели молекулы полисахарида.

I. Создание элементов модели молекулы.

1. Создаем примитив «Сфера» (“UV Sphere”): Shift + A → Mesh → UV Sphere.

2. Сглаживаем поверхность сферы: кликаем на выделенной сфере правой клавишей мыши и выбираем в открывшемся окне “Shader Smooth”.

3. Придаем сфере вытянутую форму, уменьшая ее размеры по высоте: S + Z → тянем левой клавишей мыши в сторону до нужного размера; кликаем левой клавишей мыши только после завершения масштабирования.

4. Сохраняем объект в формате «.blend»: File → Save as → Название файла (английскими буквами).blend → Save as.

5. Делаем копию вытянутой сферы: Shift + D → тянем полученную копию-объект в сторону, не кликая (!) на нем до завершения операции перемещения.

6. Перемещаем объекты так, чтобы их взаимное расположение соответствовало замыслу создаваемой сцены: G → тянем объект левой клавишей мыши, не кликая (!) на нем; затем подтверждаем завершение операции перемещения, кликая левой клавишей мыши.

7. Повторяем копирование и перемещение вытянутой сферы до получения модели нужного размера. При этом каждый раз перемещаем создаваемую копию объекта сразу после создания, меняя точку зрения на сцену (постоянно разворачиваем сцену под разными углами при помощи значков в форме осей X, Y, Z, выделенных в окне программы разным цветом).

8. Разворачиваем звено глюкозы по выбранной оси: R + X (или Y, Z) → при помощи левой клавиши мыши разворачиваем элемент по выбранной оси.

II. «Раскрашивание» элементов модели молекулы.

1. Назначаем материалы: создаем новое окно справа или сверху и выбираем в нем редактор материалов “Shader Editor”.

2. Переходим в режим предварительного просмотра материалов (“Material Preview”), кликая по соответствующему значку на панели инструментов сверху в окне “3D-Viewport”.

3. Выделяем один из элементов модели молекулы (вытянутую сферу), затем выполняем: “+New”; в появившейся таблице (“ноде”) меняем базовый цвет (“Base color”) на тот, который нужен.

4. Повторяем то же самое с другим элементом модели молекулы, выбирая для элемента (при необходимости) другой цвет.

5. Копируем цвет одного элемента объекта на другие: сначала зажимаем и удерживаем клавишу “Shift”, выделяя все объекты, на которые нужно перенести; последним выделяем тот элемент объекта, цвет которого нужно перенести на остальные; применяем сочетание клавиш “CTRL + L” → “Link materials”.

6. Делаем копию всей готовой модели молекулы, которая в дальнейшем может использоваться для создания анимации (Shift + D — тянем полученную копию-объект в сторону, не кликая на нем до завершения операции перемещения) и перемещаем ее в сторону (G — тянем объект левой клавишей мыши, не кликая на нем; затем подтверждаем завершение операции перемещения, кликая левой клавишей мыши).

7. Соединяем вытянутые сферы, обозначающие остатки моносахарида (мономерные звенья), в один объект: выделяем все элементы объекта и применяем функцию соединения — Ctrl + J.

8. Сохраняем изменения: Ctrl + S.

III. Экспорт модели молекулы.

1. Выполняем экспорт модели молекулы в формате, совместимом с программным обеспечением голографического класса, например: “File” → “Export” → Вместо “untitled” в строке “untitled.obj” пишем название своего файла, например “Glycogen.obj”, а затем — “Export Wavefront.obj”.

2. Осуществляем визуализацию 3D-модели молекулы через программу “CADViewer”: выбираем «Меню» → «Загрузить» → кликаем на названии файла.

3. Просматриваем модель при помощи 3D-очков.

В результате решения первой задачи в каждом варианте индивидуального задания студенты определяли особенности химического состава полисахаридов, используя интернет. При решении второй задачи средствами компьютерной программы “Blender” они создавали трехмерные модели молекул с учетом выявленных ключевых аспектов пространственного строения, а затем экспортировали

их из программы для визуализации средствами специальных очков. В завершении занятия на основе третьей задачи студенты характеризовали включение конкретных углеводов в обмен веществ как закономерный вывод по всем трем задачам.

После выполнения задач индивидуальных заданий студенты представляли полученные выводы и демонстрировали полученные модели молекул полисахаридов группе. В результате сравнения соответствующих данных, полученных для конкретных углеводов, студентами осуществлялось обобщение представлений о взаимосвязях между строением и свойствами углеводов, с одной стороны, и их физиологической ролью и локализацией процессов, с другой.

Полученные результаты и их интерпретация

Поисковый этап педагогического эксперимента по включению 3D-моделирования в процесс освоения химических дисциплин проводился в группе 2 курса студентов специальности «Фармация». Студенты выполняли индивидуальные задания по теме «Обмен углеводов» на индивидуальных занятиях.

На индивидуальном занятии по биохимии студенты выявляли особенности химического строения, свойств и физиологической роли полисахаридов в организме человека, а также создавали модели биомолекул — сложных углеводов. Для моделирования студенты использовали возможности компьютерной программы “Blender” для просмотра готовых моделей на предмет наличия в них дефектов средствами программного обеспечения голографического класса с использованием специализированных очков.

Студенты активно и с интересом включались в познавательную деятельность по теме занятий. Они успешно решили все поставленные перед ними прикладные задачи, применяя академические знания по биохимии. Для моделирования студенты применяли общие алгоритмы работы в программе “Blender”, составленные авторами данной публикации [19].

В дальнейшем готовые модели использовались на лабораторных и практических занятиях по биохимии для решения задач на осно-

ве готовых моделей молекул полисахаридов. Созданные студентами модели также могут быть применены преподавателем на лекции при изучении темы «Обмен углеводов» студентами следующих лет набора.

В общем, в процессе выполнения поискового этапа педагогического эксперимента были определены некоторые дидактические возможности средств голографического класса при организации учебной деятельности студентов при освоении биохимии:

- акцентирование внимания студентов на существенных особенностях объектов и химических процессов;
- повышение наглядности объектов изучения, присутствующих в живом организме;
- формирование у студентов познавательных интересов в отношении изучения химической дисциплины.

Выводы

Включение 3D-моделирования в систему средств обучения по химической дисциплине отражает современные тенденции развития науки и технологий.

1. 3D-моделирование активно входит во все сферы профессиональной деятельности человека, включая образовательный процесс. Приобретение голографического класса становится доступным для образовательных учреждений как в материальном, так и в техническом плане. Поэтому основные причины ограниченного использования средств голографического класса при обучении химических дисциплинам связаны с отсутствием конкретных методических рекомендаций, касающихся работы с трехмерными объектами.

2. Создание 3D-моделей может быть встроено в познавательную деятельность студентов через процессы моделирования и демонстрацию готовых моделей при решении химических задач прикладной направленности непосредственно на занятии или при выполнении студентами домашнего задания. Готовые модели могут демонстрироваться онлайн при помощи компьютерных программ, предназначенных для просмотра файлов в совместимых форматах.

Список источников

1. *Chepkorir Salome, Kafu A. Patrick, Lusweti Kituyi.* Efficacy of Teaching Chemistry with Computer-Based Laboratory Simulations as Opposed to Traditional Methods in Acquisition of Scientific Inquiry Skills in Bomet County. URL: <http://erepository.uoeld.ac.ke/bitstream/handle/123456789/1923/Chepkorir%20Salome.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата обращения: 19.05.2025).
2. *Колесников И. С.* 3D-технологии в образовании: время готовить учителей будущего // Информационные технологии в образовании. 2022. № 5. С. 140–143. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50094951> (дата обращения: 19.05.2025).
3. Моделирование химических процессов, как неотъемлемая часть развития химии / Е. В. Осипенко, О. В. Муфтахетдинова, А. Р. Ахмадиева, Е. Д. Жирнова // Вестник молодого ученого УГНТУ. 2023. № 2 (22). С. 212–218. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54116277> (дата обращения: 19.05.2025).
4. *Aroch Itsik, Katchevich Dvora, Blonder Ron.* Modes of technology integration in chemistry teaching: theory and practice // Chem. Educ. Res. Pract. 2024, 25. Pp. 843–861. URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2024/rp/d3rp00307h> (дата обращения: 19.05.2025).
5. *Vui Ket Kuit, Kamisah Osman.* CHEMBOND3D e-Module Effectiveness in Enhancing Students' Knowledge of Chemical Bonding Concept and Visual-spatial Skills // European Journal of Science and Mathematics Education. Vol. 9, No. 4, 2021. Pp. 252–264. URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1318221.pdf> (дата обращения: 19.05.2025).
6. 3D modeling as a strategy for inclusive Chemistry teaching / R. De. C. R. Q. De. Freitas, L. R. Fé. Da. Silva, R. Da. C. Nery Junior [et al.] // Contemporânea. 2024. Vol. 4, № 6. Pp. e4499. DOI 10.56083/rcv4n6-056. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68124185> (дата обращения: 19.05.2025).

7. 3D molecular interactive multimedia for building chemistry students' spatial ability / Kusumawati Dwiningsih, Fauziatul Fajarah, Parlan Parlan, Munzil Munzil, Habiddin Habiddin // iJET Vol. 17, No. 14, 2022. URL: file:///C:/Users/Пользователь/Downloads/253_3D+Molecular+Interactive+Multimedia+for+Building+Chemistry+Students'+Spatial+Ability.pdf (дата обращения: 19.05.2025).

8. Прохожий Н. С., Богомолов М. А. Технологии компьютерного моделирования в области химии и возможности использования их на уроках // Мир детства в современном образовательном пространстве: сборник статей студентов, магистрантов, аспирантов. Витебск: Витебский государственный университет им. П. М. Машерова, 2024. С. 483–486. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65639333> (дата обращения: 19.05.2025).

9. Ahadov M. Sh. Methodology of introduction of 3d technologies in the conditions of modernization of chemical education / M. Sh. Ahadov // Academica: an International Multidisciplinary Research Journal. 2021. Vol. 11, No. 2. Pp. 563–571. DOI 10.5958/2249-7137.2021.00441.9. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=71474581> (дата обращения: 19.05.2025).

10. Синтез сахарозы и полисахаридов. URL: <http://plantlife.ru/books/item/f00/s00/z0000037/st045.shtml> (дата обращения: 19.05.2025).

11. Целлюлоза. Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B5%D0%B%D0%BB%D1%8E%D0%BB%D0%BE%D0%B7%D0%B0> (дата обращения: 19.05.2025).

12. Физические и химические свойства целлюлозы. URL: <https://wika.tutoronline.ru/himiya/class/10/fizicheskie-i-himicheskie-svoystva-czellyulozy> (дата обращения: 19.05.2025).

13. Биохимия: учебник для студентов медицинских вузов / [Алейникова Т. Л. и др.]; под ред. Е. С. Северина. 4-е изд., испр. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. 779 с.: ил., табл.: 26 см.

14. Румянцев Е. В., Антина Е. В., Чистяков Ю. В. Химические основы жизни. М.: Химия, КолосС, 2007. 560 с.: ил. URL: <https://chem21.info/info/215873/> (дата обращения: 19.05.2025).

15. Des pains au lait qui restent moelleux plus longtemps. par Je pense donc je cuis. 29 Août, 2024. URL: <https://jepensedoncjecuis.com/2024/08/des-pains-au-lait-qui-restent-moelleux-plus-longtemps.html> (дата обращения: 19.05.2025).

16. Glycogen. Wikipedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Glycogen> (дата обращения: 19.05.2025).

17. Руководство пользователя Blender 3.3. URL: https://vk.com/doc722026854_648458924?hash=PFweoKtkhDvpjOZ2FJx1yzh9aPfxzjRTkAzH4vSUOxg&dl=uZq9j5Gy7cmqXBQBnZl6essEaZTGHVc9Yj5Jcti97Xc (дата обращения: 19.05.2025).

18. Шапошникова С. Введение в Blender-курс. Май 2024. 100 с. [Учебное пособие]. URL: <https://younglinux.info/blender/course> (дата обращения: 19.05.2025).

19. Изучаем обмен сложных углеводов на занятии по биологической химии в голографическом классе. URL: https://vk.com/wall-204797162_1322 (дата обращения: 17.05.2025).

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; одобрена после рецензирования 15.08.2025; принята к публикации 21.08.2025.

The article was submitted 18.06.2025; approved after reviewing 15.08.2025; accepted for publication 21.08.2025.

Информация об авторах:

С. О. Пустовит — кандидат педагогических наук, доцент кафедры химии;

В. М. Ларионова — кандидат химических наук, доцент, заведующая кафедрой химии.

Information about the Author:

V. M. Larionova — Candidate of Sciences (Chemistry), associate professor, head of the Department of Chemistry;

S. O. Pustovit — Candidate of Sciences (Pedagogy), associate professor at the Department of Chemistry.