

УДК 372.854
ББК 74.262.4

DOI: 10.31862/1819-463X-2025-3-190-202

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕМЫ «УГЛЕВОДЫ» В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

А. П. Луньков, О. В. Колясников

Аннотация. Проект предпрофессионального образования «Медицинский класс в московской школе» направлен на профориентацию обучающихся и освоение ими на углубленном уровне учебных предметов, необходимых для поступления в вузы на медицинские специальности. Таким образом, для выпускников школ проекта актуально знать аспекты пространственного строения биоорганических молекул. В частности, класс углеводов рассматривается в курсах химии и биологии на уровне среднего общего образования и в дальнейшем часто встречается в разнообразных учебных курсах на уровне высшей школы. Стереохимические особенности строения молекул углеводов, к сожалению, сложно передать в средней школе вследствие недостатка наглядного материала. Традиционные доступные в средней школе шаростержневые модели в меньшей степени подходят для отображения молекул углеводов в силу сложности их структуры.

Цель статьи. В нашей работе мы предлагаем использовать для наглядного представления пространственных структур углеводов их модели, полученные с помощью трехмерной печати. Подобный подход нашел широкое распространение в зарубежной педагогике для создания пространственных моделей органических молекул, биополимеров, наноструктурированных материалов и пр. **Методы.** Нами описан детальный алгоритм создания трехмерных моделей – от выбора моносахарида и изображения его в корректной конформации в редакторе химической графики до подготовки файла .stl к печати, получения модели на базе полилактида и ее постобработки. **Результаты.** Построены и предложены к использованию структуры более 10 моносахаридов в линейной и циклической форме. **Заключение.** Описаны возможные применения подхода для иллюстрации базовых понятий, заложенных в Федеральной рабочей программе по химии (углубленный уровень).

Ключевые слова: углеводы, моносахариды, пространственное строение, трехмерное моделирование, 3D-печать, профильное обучение.

© Луньков А. П., Колясников О. В., 2025



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Для цитирования: Луньков А. П., Колясников О. В. Современные средства визуализации для преподавания темы «Углеводы» в средней школе // Наука и школа. 2025. № 3. С. 190–202. DOI: 10.31862/1819-463X-2025-3-190-202.

MODERN VISUALIZATION TOOLS FOR TEACHING THE TOPIC “CARBOHYDRATES” IN HIGH SCHOOL

A. P. Lunkov, O. V. Koliasnikov

Abstract. The project of pre-professional education “Medical class in Moscow school” is aimed at career guidance of high school students and advanced study of subjects necessary for the admission to medical specialties at Universities. Therefore, it is important for the project schools graduates to know the details of bioorganic molecule spatial structures. Carbohydrates in particular are studied in chemistry and biology programs at high school level and further on are often mentioned within various university courses. Unfortunately, the stereochemical features of carbohydrate molecule structures are too difficult to convey in high school through lack of visual material. The usual ball-and-stick models available in high school are less suitable for carbohydrate molecules visualization due to the complexity of the structures in question. **Purpose of the article.** In our paper, we suggest employing 3D-printed models for the spatial carbohydrate structures representation. A similar approach to creating spatial models of organic molecules, biopolymers, nanostructured materials, etc. has become widespread in foreign education practice. **Methods.** We propose a detailed algorithm of creating 3D-models from choosing a monosaccharide and designing its correct conformation by the chemical structure visualization software to the preparation of an .stl file, printing a polylactide model and post-processing it. **Results.** More than ten models of monosaccharide structures in the linear and cyclic forms have been prepared. The ways to use them in high school teaching are suggested. **Conclusions.** Application of the approach for illustrating the basic concepts mentioned in the Federal Chemistry Course Program (advanced level) is discussed.

Keywords: carbohydrates, monosaccharides, spatial structure, 3D-modeling, 3D-printing, profile training.

Cite as: Lunkov A. P., Koliasnikov O. V. Modern visualization tools for teaching the topic “Carbohydrates” in high school. *Nauka i shkola*. 2025, No. 3, pp. 190–202. DOI: 10.31862/1819-463X-2025-3-190-202.

1. Введение

Тема «Углеводы» в общем виде затрагивается в Федеральной рабочей программе среднего общего образования углубленного уровня (ФРП СОО) в рамках предметов «Химия» (в разделе «Кислородсодержащие органические соединения» в конце 10-го класса) и «Биология» (в разделе «Химическая организация клетки» в начале 10-го класса)^{1,2}. Согласно ФРП СОО по предмету «Химия», понятие

¹ Федеральная рабочая программа. Биология. 10–11 классы (углубленный уровень). 101 с. // Единое содержание общего образования: [сайт]. URL: https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2025/06/36_frp_biologiya_10_11-klassy_ugl_18062025_itog-na-sajt.pdf (дата обращения: 10.10.2024).

² Федеральная рабочая программа. Химия. 10–11 классы (углубленный уровень). 49 с. // Единое содержание общего образования: [сайт]. URL: https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2025/06/34_frp_himiya_10_11-klassy_ugl_18062025_itog-na-sajt.pdf (дата обращения: 10.10.2024).

«Углеводы» является одним из общих с биологией понятий для реализации межпредметных связей. В рамках настоящего рассмотрения частью содержания рабочей программы по предмету «Химия» в разделе «Кислородсодержащие органические соединения» являются следующие дидактические единицы: «Оптическая изомерия. Кольчато-цепная таутомерия на примере молекулы глюкозы, проекции Хеуорса, α - и β -аномеры глюкозы». В рабочей программе по предмету «Биология» в подразделе 4.3 «Органические вещества клетки – углеводы» разбирается строение молекул углеводов, включая демонстрацию схемы «Строение молекул углеводов», но обсуждение оптической изомерии молекул углеводов для курса биологии имеет несколько меньшее значение. Тем не менее аспекты проблемы оптической активности в приложении к теме «Углеводы» имеют фундаментальное значение для последующего изучения специализированных дисциплин, преподаваемых в высших учебных заведениях, таких как «Органическая химия», «Биохимия», «Биоорганическая химия», «Фармацевтическая химия», «Молекулярная биология» и др. Особенно это актуально для изучения химии в школах-участниках проекта «Медицинский класс в московской школе»³, выпускники которых в массе своей поступают в медицинские вузы.

С точки зрения химического строения простейшая единица углевода (моносахарид) представляет собой многоатомный спирт (полиол) с карбонильной функциональной группой. Термин «Углеводы», или гидраты углерода, происходит от химического состава этого класса органических соединений, а именно от формального наличия в структуре углерода (C) и воды (H_2O). Изучение углеводов как отдельных химических соединений берет свое начало в XIX в. Считается, что этот термин был предложен в 1844 г. русским химиком немецко-балтийского происхождения Карлом Генриховичем Шмидтом. Применение химиками того времени методов количественного элементного анализа позволило получить простейшее целочисленное соотношение атомов C/H/O в этих соединениях 1/2/1. Брутто-формула большинства углеводов может быть записана в общем виде: $(CH_2O)_n$, где n – количество атомов углерода в молекуле. Химический синтез углеводов впервые был осуществлен Александром Михайловичем Бутлеровым из открытого им формальдегида. Химическое строение углеводов было впервые систематически исследовано Эмилем Фишером, за что он был удостоен Нобелевской премии по химии за 1902 г. Стереохимия углеводов была подробно рассмотрена в трудах Уолтера Хеуорса в межвоенный период (Нобелевская премия по химии за 1937 г.). Конформационный анализ был разработан в 1950-е гг. в работах Дерека Бартона (Нобелевская премия по химии за 1969 г.) и его последователей. В частности, в то же десятилетие начала рассматриваться и конформация углеводов [1].

В чем уникальность углеводов с точки зрения биохимии?

- Наличие высокоэнергетических связей, которые могут быть использованы для получения энергии.
- Водорастворимость органической молекулы. Углеводы, в частности глюкоза, хорошо растворимы в воде (в отличие от тех же алканов), что позволяет осуществлять эффективный транспорт этих веществ, обеспечивая доступность энергии для всего организма.
- Анаболическая гибкость продуктов метаболизма. Продукты распада углеводного обмена дают различные «полезные» молекулы, такие как ацетил-КоА, которые могут вступать в другие метаболические пути, участвуя, например,

³ Медицинский класс в московской школе // Портал проектов предпрофессионального образования. URL: <https://profil.mos.ru/med.html> (дата обращения: 10.10.2024).

в синтезе жирных кислот, аминокислот и других необходимых организму биомолекул.

- Модульность – наличие «удобных» функциональных ОН-групп для биохимической трансформации. Глюкоза используется для сборки больших молекул с целью хранения энергии (полисахаридов).

С точки зрения органической химии углеводы являются уникальными соединениями. Многие углеводы существуют в виде стереоизомеров, единственным отличием между которыми является расположение атомов в пространстве. Химия углеводов является той областью органической (или биоорганической) химии, где ключевую роль играют представления о стереоизомерии. Так, линейная форма глюкозы имеет сразу 4 стереоцентра, что дает уже 16 (!) различных вариантов стереоизомеров. Стереохимия углеводов вызывает значительные затруднения даже у студентов высших учебных заведений. Построение проекций Фишера и Хеуорса (напр., см. [2]) являются попыткой упрощенного отображения трехмерного объекта на плоскости. Однако эти формулы не вполне состоятельны и являются упрощением реальности уже потому, что плоскостное шестичленное кольцо было бы очень напряженным, оно попросту не могло бы существовать в обычных условиях [1]. Таким образом, физическое моделирование с учетом реальной конформации циклов углеводов является наилучшим способом для демонстрации принципов построения этих проекций. В этом может помочь технология 3D-моделирования.

2. Цель статьи

В тексте этой статьи мы рассмотрим процесс получения монохромных 3D-моделей, более простых для начального освоения этой технологии. Принципиальная доступность 3D-принтеров в современной средней школе позволяет надеяться на введение описываемой схемы в педагогическую практику.

3. Современные средства визуализации для преподавания химии углеводов

Проблемы наглядности в преподавании темы «Углеводы»:

- Визуализация трехмерных моделей учителем на экране компьютера или интерактивной доски не дает возможности ученикам в полной мере представить особенности структуры углеводов.
- Отсутствие готовых моделей углеводов для демонстрации в классе. Существует большое количество наборов-конструкторов по органической химии, однако их функционал ограничен количеством деталей в наборе.
- Сборка сложной модели учителем и тем более учениками затратна по времени и часто сопряжена с возникновением ошибок в конфигурации и конформации углеводов.
- Множество стереоцентров и конформационные особенности не позволяют отразить всех нюансов геометрии молекулы с помощью конструктора на должном уровне. Тут следует отметить, что механическая прочность соединения деталей во многих конструкторах шаростержневых моделей зачастую не позволяет построить структуру молекул углеводов в корректной форме.

Получение материальной модели органической молекулы на основе цифровой модели является подходящей задачей для трехмерной печати. Эта технология на стыке инженерии, материаловедения и химии используется для создания самых разнообразных объектов во всех отраслях промышленности и имеет значительный

потенциал в конструировании сложных изделий для лабораторных нужд, таких как химические реакторы, смесители и другие элементы химической аппаратуры [3]. В приложении к педагогической практике по химии на уровне средней школы ранее нами рассматривалась возможность применения трехмерной печати для расширения возможностей датчиков цифровых лабораторий [4].

В российской педагогической практике возможность применения трехмерной печати для создания моделей химических структур менее распространена. На уровне высшей школы можно упомянуть пример создания набора моделей молекул для преподавания молекулярной симметрии в курсе кристаллографии [5]. В то же время в зарубежных методических журналах достаточное количество информации по этой тематике. Так, например, трехмерная печать может быть применена для создания хиральных молекул для занятий со студентами [6]. Трехмерная печать подходит для создания моделей структур белков, аллотропных модификаций углерода и иных наноразмерных материалов [7; 8]. В последнее время появляются разработки, позволяющие создавать с помощью обычных 3D-принтеров и коммерчески доступного цветного пластика многоцветные молекулярные модели [9–11]. В частности, многоцветные модели молекул с отображением молекулярных орбиталей возможно применять для обучения физической органической химии [12]. Существует интересный подход применения выращенных на 3D-принтере шаблонов для рисования пространственных химических структур в ходе занятий с помощью 3D-ручек [13]. Развернутый обзор применения трехмерной печати в химическом образовании приведен в работе [14].

4. Методы

Использование аддитивных технологий для создания моделей на основе структур углеводов

Использование аддитивных технологий позволяет быстро прототипировать модели различных объектов, в нашем случае хиральных молекул для объяснения их стереохимических особенностей на наглядном примере. Простое моделирование методом послойного наплавления (fused deposition modeling – FDM) имеет достаточные возможности для детализации таких объектов, как органические молекулы. Относительная простота элементного состава углеводов (практически исключительно атомы С, Н, О) дает возможность получать понятные модели из монохромного материала без сложной и кропотливой постобработки и покраски каждого из атомов модели. В данном случае был использован доступный 3D-принтер начального уровня Elegoo Neptune 4 Pro (Elegoo Technology Co., Ltd., Китай), филамент PLA+ (Esun Industrial Co., Ltd., Китай).

Полилактид (ПЛ) является одним из наиболее популярных материалов для 3D-печати. Биodeградируемый полиэфир (ПЛ) обладает превосходными механическими свойствами. Его легко обрабатывать, также он относительно недорог и подходит для печати начинающим, имеет наименьшую усадку и деформируемость в процессе печати. Тем не менее, и другие материалы допустимы для печати молекулярных структур, в зависимости от потребностей преподавателя – сравнительный анализ можно найти в текущей литературе [7].

В описываемом случае мы выбрали именно полилактид как наиболее подходящий для наших целей материал. Для начала нам нужно получить изображение молекулы в файле с расширением STL [.stl], которое является штатным для программного обеспечения САПР.

Алгоритм получения трехмерной модели

1. Устанавливаем бесплатное программное обеспечение **UCSF Chimera** [15], доступное по ссылке: <http://rbvi.ucsf.edu/chimera>.

2. Устанавливаем редактор химической графики для получения структур молекул. Например, в этом качестве можно использовать **Chemdraw** (временная лицензия (Trial version), доступна по ссылке <https://revvitysignals.com/products/research/chemdraw>), **ChemSketch** (бесплатная академическая лицензия, доступна по ссылке <https://www.acdlabs.com/resources/free-chemistry-software-apps/chemsketch-freeware/>), **Molview** (бесплатная лицензия, доступна онлайн-версия на <https://app.molview.com/>).

3. **Chemdraw** → с помощью инструментов рисуем двумерную формулу или находим готовую из вкладки > templates, затем открываем трехмерную структуру во вкладке Chem 3D, сохраняем нашу молекулу в виде файла с расширением [.mol].

Chemsketch → рисуем двумерную формулу, затем открываем трехмерную структуру во вкладке 3D view, сохраняем нашу молекулу в виде файла с расширением [.mol].

Обратите внимание, что при переходе от плоской структурной формулы к 3D-модели могут возникать неточности и ошибки даже в современных версиях химического программного обеспечения. Чаще всего это ошибки аксиально-экваториального расположения заместителей, то есть путаница конформаций углеводов (C1/1C) (рис. 1). Всегда сравнивайте вашу модель с проекцией в конформации «кресла»!

Подсказка. Начинать построение 3D-модели лучше с клиновидного отображения структуры на плоскости. В случае возникновения ошибок попробуйте воспользоваться встроенными инструментами оптимизации: 3D-structure optimization, Clean structure и т. п. или же ручным способом на готовой трехмерной модели, если вышеперечисленные инструменты не работали.

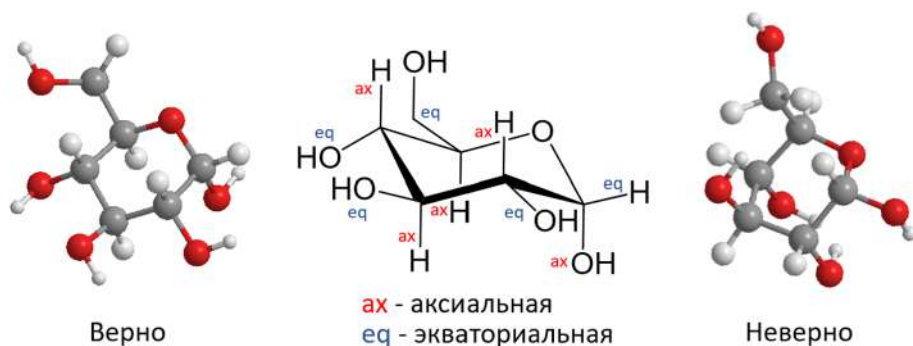


Рис. 1. Пример ошибки в Chemdraw при попытке получить 3D-модель молекулы α -D-глюкозы в C1-конформации

На рис. 1 (справа) почти все OH-группы, а также $-\text{CH}_2\text{-OH}$ стали аксиальными! При этом с формальной точки зрения такое расположение групп будет верным в простой проекции Хеурса. В Chemdraw версии 19.1.0.8 при получении неверной модели справа, после поворота структуры из панели Object toolbar > Rotate 180, ориентация OH-групп становится верной в соответствии с классическим отображением конформации большинства пираноз в виде в виде кресла C1 (рис. 1 (слева)). Объемные OH-группы стремятся занять экваториальные положения, определяя конформацию циклической формы моносахарида.

4. Далее открываем файл с расширением [.mol] в **UCSF Chimera**.
5. Выбираем способ отображения нашей молекулы: Actions > Atoms.Bonds > ball & stick. Такое отображение будет более наглядным, чем скелетное.
6. Экспортируем наш файл в File > Export Scene в виде файла с расширением STL [.stl], который уже можно будет открыть в программе-слайсере любого 3D-принтера.
7. Поскольку модель является довольно сложной для FDM-печати, выбираем в слайсере режим печати с поддержками (саппортами).
8. В нашем случае для успешной печати мы рекомендуем задать масштаб в 1000% от размеров исходной модели STL-файла.

5. Результаты

На рис. 2 представлена модель линейной структуры D-глюкозы, плоскостным отображением которой является широко известная проекция Фишера (рис. 2 А). Напечатанная модель требует небольшой постобработки, где основным моментом является удаление поддержек (рис. 2 Б). Дихлорметан (CH_2Cl_2) – подходящий для обработки поверхности модели растворитель, который также может использоваться для склеивания моделей из ПЛ в случае поломки изделия. В конечном счете, модель можно загрунтовать и покрасить для большей различимости элементов в структуре, как это рекомендуется в [6]. Такие структуры можно использовать как головоломки в качестве дополнительных заданий для закрепления представлений о стереохимии. Использование моделей ставит непростую задачу для обучающихся – соотнести отображение на плоскости и неизвестную модель углевода.

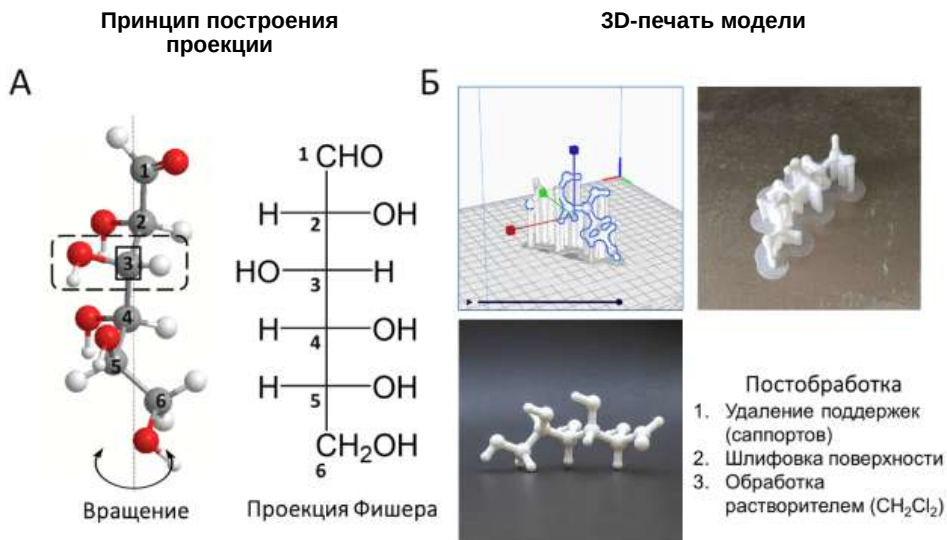


Рис. 2. Принцип построения проекции Фишера (А); отображение модели в программе-слайсере на экране компьютера, модель линейной структуры D-глюкозы сразу после печати и после удаления поддержек (саппортов) (Б)

Наибольшие сложности вызывает понимание не просто формального соответствия положений на изображении (влево-вправо, вверх-вниз), а именно геометрии атомов реальной структуры в пространстве. Так, принцип построения проекции Фи-

шера можно наглядно продемонстрировать только с использованием объемных моделей молекул (см. рис. 2).

Для циклических форм сахаров модель можно вращать (рис. 3), чтобы продемонстрировать различные варианты проекций с использованием клиновидного отображения, которые ведут к одной и той же проекции Хеуорса.

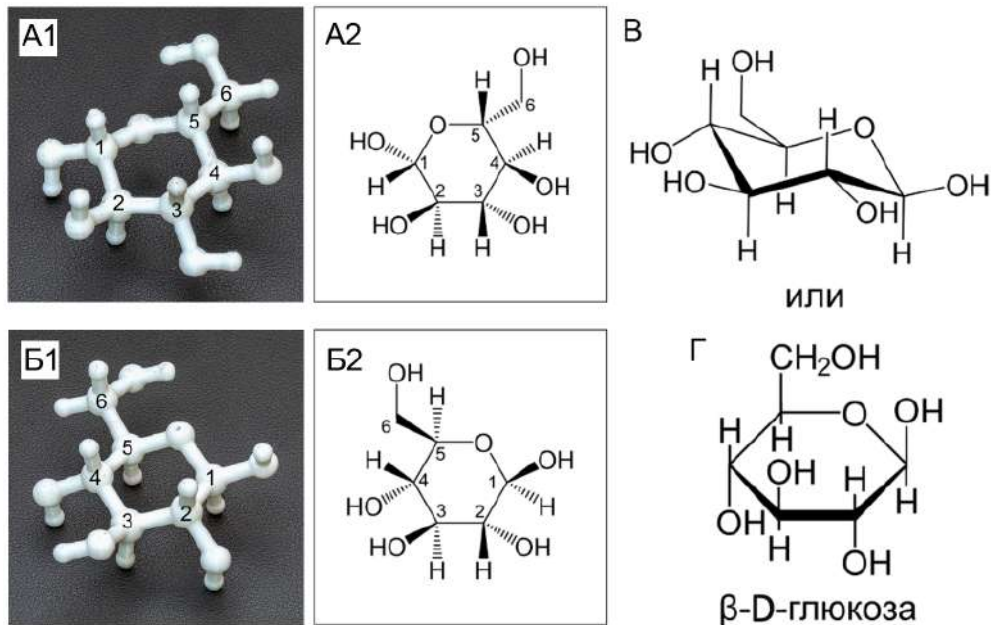


Рис. 3. Модель циклической формы β -D-глюкозы (A1, B1); клиновидная запись проекции этой структуры (A2, B2); стандартное отображение циклической формы в виде конформации «кресла» (B) и проекции Хеуорса (Г)

Сравнение широкого ряда моделей углеводов (рис. 4, 5, 6) позволит наглядно сформировать представления о таких стереохимических терминах, как: D,L-конфигурация, аномерная гидроксильная группа, гликозидная связь, энантиомер, диастереомер, эпимер. Ссылка на STL-файлы, соответствующие показанным на рисунках структурам, приведена в Приложении (рис. 7, 8) в виде QR-кода.

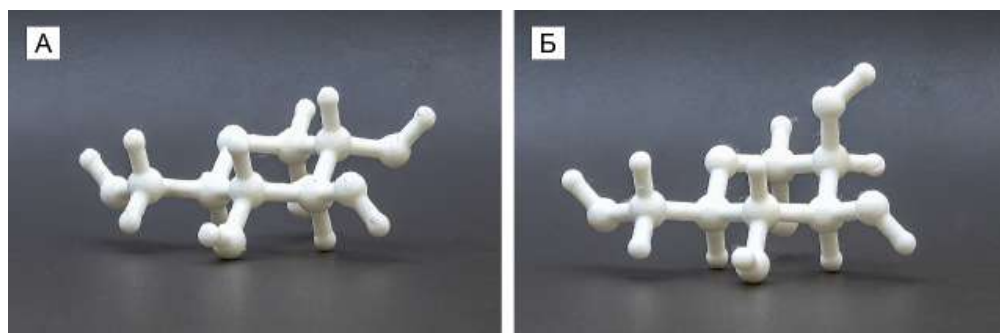


Рис. 4. Структуры эпимеров глюкозы, распечатанные в масштабе 1000% от исходной цифровой модели: α -D-глюкоза (A), α -D-манноза (B)

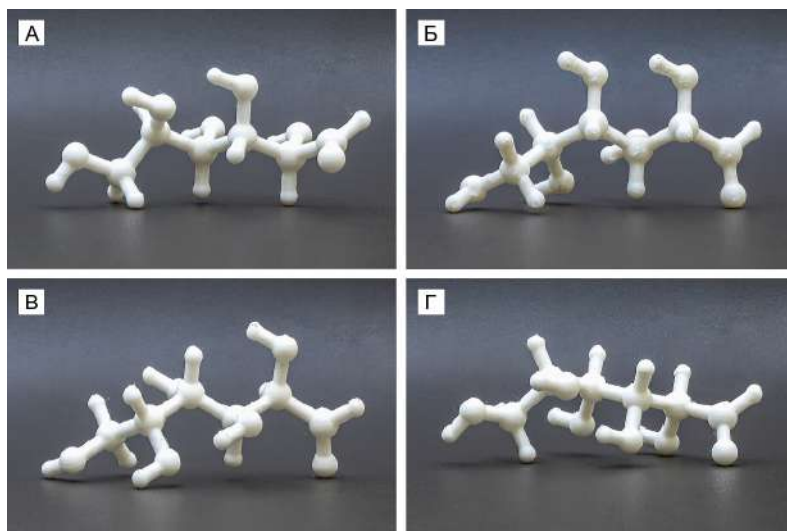


Рис. 5. Структуры линейных форм изомеров D-глюкозы, распечатанные в масштабе 1000% от исходной цифровой модели: D-глюкоза (А), L-глюкоза (Б), D-галактоза (В), D-идоза (Г)

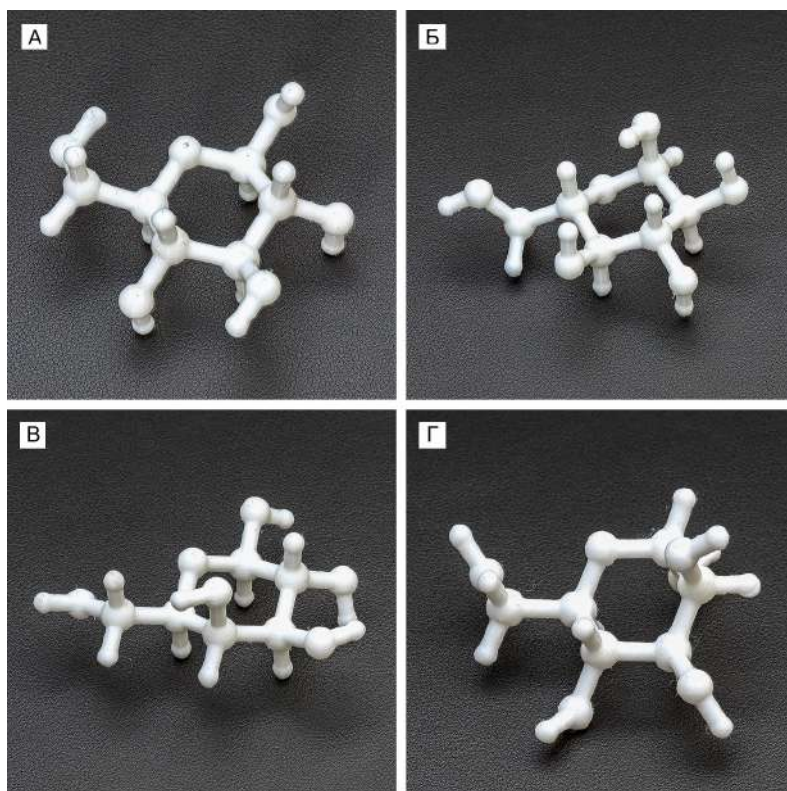


Рис. 6. Структуры циклических форм изомеров D-глюкозы, распечатанные в масштабе 1000% от исходной цифровой модели: β -D-глюкоза (А), α -L-глюкоза (Б), β -D-галактоза (В), α -D-манноза (Г)

6. Заключение

- Применение аддитивных технологий дает возможность использования дополнительных инструментов для преподавания органической химии, в частности визуализации ее стереохимических аспектов.
- Простейшая FDM-печать позволяет создавать детализированные модели молекул углеводов, отражающие особенности расположения атомов в пространстве.
- Опыт трехмерного моделирования структур углеводов применим и к другим сложным органическим молекулам в курсах предметов «Химия» и «Биология», таких как олигосахариды, пептиды, нуклеотиды, белки и т. д.
- Интегрирование инструментов моделирования структур органических молекул в учебную практику обучающихся классов предпрофессионального образования формирует всестороннее понимание предмета «Химия».

7. Благодарности

Авторы благодарят ведущего специалиста ИРПО ГАОУ ВО МГПУ Дмитрия Викторовича Ушакова за профессиональную фотосъемку полученных пространственных моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степаненко Б. Н. О новой области стереохимии сахаров – изучении их конформаций // Успехи химии. 1962. Т. 31, Вып. 12. С. 1437–1452. DOI: <https://doi.org/10.1070/RC1962v031n12ABEH001331>.
2. Haworth W. N. The Constitution of Sugars. Longmans, Green & Company, 1929. 100 p.
3. Ерохин К. С., Наумов С. А., Анаников В. П. Анализ, классификация и предотвращение образования дефектов в экструзионной 3D-печати // Успехи химии. 2023. Т. 92, Вып. 11. RCR5103. DOI: <https://doi.org/10.59761/RCR5103>.
4. Колясников О. В., Цуцких А. Ю., Поваляев О. А. Применение трехмерной печати для расширения возможностей цифровых лабораторий по химии // Использование цифровых средств обучения и робототехники в общем и профессиональном образовании: опыт, проблемы, перспективы: сб. науч. ст. II междунар. науч.-практ. конф., Барнаул, 5–6 ноября 2015 г. Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2015. С. 90–93.
5. Savchenkov A. V. Designing three-dimensional models that can be printed on demand and used with students to facilitate teaching molecular structure, symmetry, and related topics // Journal of Chemical Education. 2020. Vol. 97 (6). P. 1682–1687. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00192>.
6. Dickenson C. E., Blackburn R. A. R., Britton R. G. 3D printing workshop activity that aids representation of molecules and student comprehension of shape and chirality // Journal of Chemical Education. 2020. Vol. 97 (10). P. 3714–3719. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00457>.
7. Jones O. A. H., Spencer M. J. S. A simplified method for the 3D printing of molecular models for chemical education // Journal of Chemical Education. 2018. Vol. 95 (1). P. 88–96. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00533>.
8. Three dimensional (3D) printing: a straightforward, user-friendly protocol to convert virtual chemical models to real-life objects / S. Rossi, M. Benaglia, D. Brenna [et al.] // Journal of Chemical Education. 2015. Vol. 92 (8). P. 1398–1401. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00168>.

9. 3D printing of biomolecular models for research and pedagogy / E. D. V. Beltrame, J. Tyrwhitt-Drake, I. Roy [et al.] // JoVE (Journal of Visualized Experiments). 2017. No. 121. e55427. DOI: <https://doi.org/10.3791/55427>.
10. Martin H., Eisner E., Klosterman J. K. Accessible 3D printing: Multicolor molecular models from consumer-grade, single filament 3D printers // Journal of Chemical Education. 2023. Vol. 100 (12). P. 4860–4865. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00686>.
11. Paukstelis P. J. MolPrint3D: Enhanced 3D printing of ball-and-stick molecular models // Journal of Chemical Education. 2018. Vol. 95 (1). P. 169–172. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00549>.
12. Robertson M. J., Jorgensen W. L. Illustrating concepts in physical organic chemistry with 3D printed orbitals // Journal of Chemical Education. 2015. Vol. 92 (12). P. 2113–2116. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00682>.
13. Bernard P., Mendez J. D. Drawing in 3D: Using 3D printer pens to draw chemical models // Biochemistry and Molecular Biology Education. 2020. Vol. 48 (3). P. 253–258. DOI: <https://doi.org/10.1002/bmb.21334>.
14. Pernaa J., Wiedmer S. A systematic review of 3D printing in chemistry education – analysis of earlier research and educational use through technological pedagogical content knowledge framework // Chemistry Teacher International. 2020. Vol. 2 (2). 20190005. DOI: <https://doi.org/10.1515/cti-2019-0005>.
15. UCSF Chimera a visualization system for exploratory research and analysis / E. F. Pettersen, T. D. Goddard, C. C. Huang [et al.] // Journal of Computational Chemistry. 2004. Vol. 25 (13). P. 1605–1612. DOI: <https://doi.org/10.1002/jcc.20084>.

REFERENCES

1. Stepanenko B. N. A new field in the stereochemistry of sugars: the study of their conformations. *Russ. Chem. Rev.* 1962, Vol. 31, Iss. 12, pp. 681–689. DOI: <https://doi.org/10.1070/RC1962v031n12ABEH001331>.
2. Haworth W. N. *The Constitution of Sugars*. Longmans, Green & Company, 1929. 100 p.
3. Erokhin K. S., Naumov S. A., Ananikov V. P. Analysis, classification and remediation of defects in material extrusion 3D printing. *Russ. Chem. Rev.* 2023, Vol. 92, Iss. 11. RCR5103. DOI: <https://doi.org/10.59761/RCR5103>.
4. Kolyasnikov O. V., Tsutskikh A. Yu., Povalyaev O. A. Primenenie trekhmernoy pechati dlya rasshireniya vozmozhnostey tsifrovyykh laboratoriy po khimii [Application of 3D-printing for expanding of chemical digital lab possibilities]. In: *Ispolzovanie tsifrovyykh sredstv obucheniya i robototekhniki v obshchem i professionalnom obrazovanii: opyt, problemy, perspektivy. Proceedings of the II International scientific-practical conference, Barnaul, 5–6 Nov. 2015*. Barnaul: Izd-vo Altayskogo gos. un-ta, 2015. Pp. 90–93.
5. Savchenkov A. V. Designing three-dimensional models that can be printed on demand and used with students to facilitate teaching molecular structure, symmetry, and related topics. *Journal of Chemical Education*. 2020, Vol. 97 (6), pp. 1682–1687. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00192>.
6. Dickenson C. E., Blackburn R. A. R., Britton R. G. 3D printing workshop activity that aids representation of molecules and student comprehension of shape and chirality. *Journal of Chemical Education*. 2020, Vol. 97 (10), pp. 3714–3719. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00457>.
7. Jones O. A. H., Spencer M. J. S. A simplified method for the 3D printing of molecular models for chemical education. *Journal of Chemical Education*. 2018, Vol. 95 (1), pp. 88–96. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00533>.

8. Rossi S., Benaglia M., Brenna D. et al. Three dimensional (3D) printing: a straightforward, user-friendly protocol to convert virtual chemical models to real-life objects. *Journal of Chemical Education*. 2015, Vol. 92 (8), pp. 1398–1401. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00168>.
9. Beltrame E. D. V., Tyrwhitt-Drake J., Roy I. et al. 3D printing of biomolecular models for research and pedagogy. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*. 2017, No. 121, e55427. DOI: <https://doi.org/10.3791/55427>.
10. Martin H., Eisner E., Klosterman J. K. Accessible 3D printing: Multicolor molecular models from consumer-grade, single filament 3D printers. *Journal of Chemical Education*. 2023, Vol. 100 (12), pp. 4860–4865. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00686>.
11. Paukstelis P. J. MolPrint3D: Enhanced 3D printing of ball-and-stick molecular models. *Journal of Chemical Education*. 2018, Vol. 95 (1), pp. 169–172. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00549>.
12. Robertson M. J., Jorgensen W. L. Illustrating concepts in physical organic chemistry with 3D printed orbitals. *Journal of Chemical Education*. 2015, Vol. 92 (12), pp. 2113–2116. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00682>.
13. Bernard P., Mendez J. D. Drawing in 3D: Using 3D printer pens to draw chemical models. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2020, Vol. 48 (3), pp. 253–258. DOI: <https://doi.org/10.1002/bmb.21334>.
14. Perna J., Wiedmer S. A systematic review of 3D printing in chemistry education – analysis of earlier research and educational use through technological pedagogical content knowledge framework. *Chemistry Teacher International*. 2020, Vol. 2 (2), 20190005. DOI: <https://doi.org/10.1515/cti-2019-0005>.
15. Pettersen E. F., Goddard T. D., Huang C. C. et al. UCSF Chimera a visualization system for exploratory research and analysis. *Journal of Computational Chemistry*. 2004, Vol. 25 (13), pp. 1605–1612. DOI: <https://doi.org/10.1002/jcc.20084>.

Приложение

Наведите камеру на QR-код для перехода по ссылке (<https://cloud.mail.ru/public/zDSf/1fFTLKrMw>) для загрузки готовых моделей вышеприведенных сахаров в формате STL (см. рис. 7, 8). Вы можете самостоятельно распечатать эти модели на своем устройстве.



Рис. 7. STL-файлы структур моносахаридов

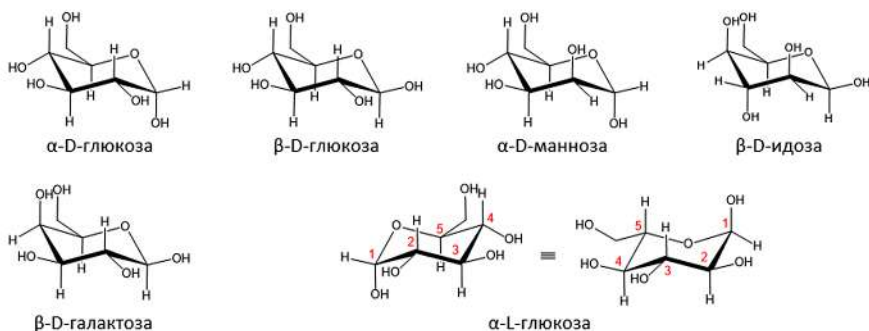
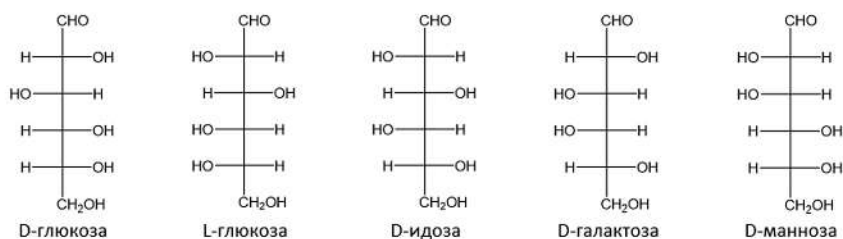
Циклические формы*Линейные формы*

Рис. 8. Перечень структур, представленных в виде STL-файлов

Луньков Алексей Павлович, кандидат химических наук, методист ИРПО, Московский городской педагогический университет; научный сотрудник лаборатории инженерии биополимеров, Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Москва

E-mail: lunkovap@mgpu.ru

Lunkov Alexey P., PhD in Chemistry, Methodologist, Institute of Specialised Training Development, Moscow City University; Research Fellow, Laboratory of Biopolymer Engineering, Research Centre of Biotechnology RAS, Moscow

E-mail: lunkovap@mgpu.ru

Колясников Олег Владимирович, старший методист ИРПО, Московский городской педагогический университет

E-mail: kolyasnikovov@mgpu.ru

Koliasnikov Oleg V., Senior Methodologist, Institute of Specialised Training Development, Moscow City University

E-mail: kolyasnikovov@mgpu.ru

Статья поступила в редакцию 16.01.2025
The article was received on 16.01.2025