



**ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ (ПО ОБЛАСТЯМ И УРОВНЯМ
ОБРАЗОВАНИЯ)/THEORY AND METHODS OF TEACHING AND UPBRINGING (BY AREAS AND LEVELS OF
EDUCATION)**

DOI: <https://doi.org/10.60797/PED.2026.12.3>

EDN: IXYLL

**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ ПО ХИМИИ В ШКОЛЕ**

Обзор

Николаев А.А.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0003-1941-7319;¹ Школа-лаборатория «Новый взгляд», Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (andreynikolaev2001[at]yandex.ru)

Предложена: 19.01.2026; Принята: 29.05.2026; Опубликовано: 05.06.2026

Аннотация

В статье рассматриваются современные методы и технологии применения искусственного интеллекта в преподавании и создании учебных материалов по химии в средней и старшей школе. Анализируются возможности автоматической генерации учебных планов и программ, создания мультимедийных материалов, моделирования молекулярных структур и реакций, а также системы автоматической оценки знаний и использование виртуальных лабораторий. Обоснована роль ИИ в повышении эффективности, индивидуализации обучения и развитию научных навыков у школьников. Особое внимание уделено этическим и технологическим вызовам внедрения ИИ в образовательную практику, а также перспективам развития инновационных методов обучения с использованием дополненной и виртуальной реальности. Предложены рекомендации по интеграции ИИ-технологий для повышения качества химического образования и формирования компетентных специалистов будущего.

Ключевые слова: искусственный интеллект, химия, образовательные технологии, виртуальные лаборатории, моделирование молекул, автоматическая оценка знаний, инновационные методы обучения.

**THE POSSIBILITIES OF USING MODERN ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN SCHOOL
CHEMISTRY TEACHING MATERIALS**

Review article

Nikolaev A.A.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0003-1941-7319;¹ School-laboratory "Novy Vzglyad", Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (andreynikolaev2001[at]yandex.ru)

Suggested: 19.01.2026; Accepted: 29.05.2026; Published: 05.06.2026

Abstract

The article examines modern methods and technologies for applying artificial intelligence in the teaching of chemistry and the development of secondary and high school teaching materials. Possibilities for the automatic generation of curricula and programmes, the creation of multimedia materials, the modelling of molecular structures and reactions, as well as systems for automatic assessment of knowledge and the use of virtual laboratories are analysed. The role of AI in improving the effectiveness and personalisation of learning and in developing scientific skills among school pupils is substantiated. Particular attention is paid to the ethical and technological challenges of introducing AI into educational practice, as well as the prospects for developing innovative teaching methods using augmented and virtual reality. Recommendations are suggested for integrating AI technologies to improve the quality of chemistry education and to train competent specialists for the future.

Keywords: artificial intelligence, chemistry, educational technology, virtual laboratories, molecular modelling, automated assessment, innovative teaching methods.

Введение

Современное образование сталкивается с вызовами необходимости повышения качества знаний, повышения мотивации учащихся и адаптации учебных программ к быстро меняющемуся технологическому миру. В условиях цифровизации и развития информационных технологий использование искусственного интеллекта (ИИ) становится одним из ключевых направлений инновационного развития системы образования [1], [2], [3]. Особенно актуально применение ИИ в предметной области химии, где сложные концепции, такие как молекулярные структуры, протекающие реакции и химические свойства веществ, требуют наглядных и интерактивных методов преподавания [4], [5]. Внедрение ИИ позволяет создавать интеллектуальные системы обучения, автоматизированные платформы для моделирования химических процессов, виртуальные лаборатории и мультимедийные ресурсы, способные значительно повысить эффективность усвоения материала и сделать учебный процесс более привлекательным для современного поколения школьников [4], однако при этом есть множество ограничений использования ИИ-технологий в образовании.



Целью данной работы является анализ и систематизация современных методов и технологий применения искусственного интеллекта в учебном процессе по химии, а также определение перспектив их внедрения в образовательную практику.

Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи:

- рассмотреть теоретические основы и основные направления использования ИИ в образовательной сфере;
- проанализировать существующие программные решения и платформы, реализующие ИИ-технологии в обучении химии;
- определить преимущества и ограничения внедрения ИИ-методов в школьное образование;
- предложить рекомендации по совершенствованию методик использования ИИ для повышения эффективности преподавания химии и формирования у школьников современных научных навыков.

В результате выполнения данной работы предполагается получить комплексное представление о роли и возможностях искусственного интеллекта в развитии химического образования, а также определить перспективные направления его дальнейшего развития и внедрения.

Зачем нужен искусственный интеллект во время обучения в школе?

В последние годы искусственный интеллект (ИИ) стал важнейшей составляющей современных образовательных технологий. Его внедрение обусловлено необходимостью повышения эффективности учебного процесса, расширения доступа к качественным образовательным мультимедийным ресурсам и создания условий для индивидуализированного обучения [1], [6], [7]. Теоретическая база применения ИИ в образовании и педагогике включает на самом деле не только современные технологии, но и фундаментальные педагогические концепции, связанные с организацией взаимодействия «учитель-ученик», с учётом когнитивных особенностей обучающихся [8].

Одной из ключевых идей является концепция адаптивного обучения, что особенно полезно на уроках химии, в частности, такое обучение в теории можно подстроить под индивидуальные потребности каждого ученика [7]. В основе этого лежит использование аналитических систем, способных анализировать поведение и прогресс обучающегося, выявлять его слабые стороны и предлагать наиболее релевантные материалы и задания, что в будущем может создать персонализированный учебный план для каждого ученика. В предметной области химии часто возникает потребность дополнительно объяснить теоретический материал, перерешать задачи, использовать наглядный материал, фактически, для каждого конкретного учебного класса, что способно создавать образовательные трудности для педагога [9].

Для того чтобы преодолеть образовательные трудности, в алгоритм работы инструментов ИИ заложены такие функции, как обработка естественного языка [10]. Благодаря развитию технологий анализа текстов, генерации контента (текстового, мультимедийного) и диалоговых систем (например, чат-ботов) создаются виртуальные помощники и чат-боты, способные отвечать на вопросы учеников, помогать в разборе сложных теоретических концепций, такие боты могут активно предоставлять рекомендации по учебным материалам. Эти системы делают образовательный процесс более интерактивным и доступным, особенно в условиях дистанционного обучения, где личное взаимодействие ограничено. Например, платформы, использующие ИИ для автоматической оценки эссе или тестов, позволяют преподавателям оперативно получать обратную связь и корректировать учебный процесс — усложняя или упрощая учебный материал, что позволяет подстраиваться под каждую конкретную образовательную группу.

Автоматическая оценка знаний — еще одна важная область применения ИИ [11]. Современные системы способны автоматически проверять тестовые задания, лабораторные работы и проекты по заранее заданным параметрам (соответствие цели лабораторной/практической работы, следование шаблону презентации для создания проекта, наличие/отсутствие определённых типов вычислительных или преобразовательных ошибок), что также важно для современного школьника, который часто имеет с этим проблемы [12]. Это может значительно ускорить процесс обратной связи и снижает нагрузку на педагогов, так как простые рутинные операции отдаются на откуп ИИ.

Важным аспектом теоретической базы является понимание этических и организационных вопросов, связанных с внедрением ИИ [13], [14]. Внедрение интеллектуальных систем требует обеспечения конфиденциальности и безопасности данных, а также прозрачности алгоритмов, чтобы исключить риск дискриминации и необоснованных решений. Особенно важно, чтобы системы, принимающие решения об оценке, были объяснимыми и соответствовали нормам этики. Также необходимо подготовить педагогов и учеников к работе с такими технологиями, поскольку успешное внедрение зависит не только от технических характеристик систем, но и от уровня доверия и понимания их работы.

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение ИИ в образование сталкивается с рядом вызовов. Недостаток качественных данных, необходимость высокой вычислительной мощности и сложности интеграции новых систем требуют значительных ресурсов и времени [1]. Этические вопросы, связанные с приватностью, возможной предвзятостью алгоритмов и рисками усиления социального неравенства, требуют разработки нормативных стандартов и правил этичной эксплуатации [13]. Важно также учитывать, что ИИ — это не замена учителя, а мощный инструмент, который дополняет педагогические практики. Обучение педагогов работе с ИИ и формирование у них навыков использования новых технологий — важный шаг к успешной интеграции.

Таким образом, теоретическая основа использования искусственного интеллекта в образовании опирается на идеи адаптивного и персонализированного обучения, автоматической оценки знаний и обработки естественного языка. Она включает в себя не только технические решения, но и этические, организационные и педагогические аспекты. В совокупности эти теории создают прочную основу для разработки эффективных, справедливых и инновационных образовательных систем, способных значительно повысить качество и доступность обучения в современном обществе.

Создание учебных материалов по химии: инструменты, платформы и практики

Современное химическое образование требует внедрения новых технологий для повышения эффективности, автоматизации и персонализации обучения. Искусственный интеллект (ИИ) становится мощным инструментом, который помогает преподавателям создавать более интерактивные, понятные и интересные учебные материалы [6], [15], [16], [17]. Стоит подробно рассмотреть основные направления применения ИИ в преподавании химии, чтобы четко понимать современные возможности образовательного дизайна.

3.1. Основы планирования уроков с помощью ИИ по химии

Планирование урока — это основа эффективного обучения, которая не только определяет последовательность подачи учебного материала, но и создает основу для формирования оптимальных методов взаимодействия с учащимися [18]. В рамках этого процесса важно учитывать индивидуальные особенности каждого класса, цели урока и специфику изучаемых тем. Правильное планирование способствует систематизации знаний, повышает мотивацию учеников и облегчает достижение учебных результатов. Кроме того, оно обеспечивает баланс между теоретическими объяснениями, практическими заданиями и интерактивными элементами, что способствует более глубокому усвоению материала и развитию навыков критического мышления. ИИ может помочь следующими методами:

1. Автоматическая генерация планов — ИИ-системы используют обширные базы данных школьной программы (а также учебников разных предметных серий), учебных стандартов (с учётом специфики ФГОС разных лет), современных педагогических методик, а также анализируют текущий уровень знаний учеников, чтобы создавать адаптивные, логически структурированные планы уроков [19]. Например, система может предложить начать с объяснения атомного строения, перейти к демонстрации анимации деления ядра и завершить практическим заданием по расчету числа протонов, нейтронов и электронов. Такой подход помогает учителю сэкономить время на подготовке, обеспечивает системный охват темы и способствует более последовательному усвоению материала.

2. Адаптация под уровень класса — используя данные о возрасте, уровне знаний и интересах учащихся, ИИ подбирает наиболее подходящие методы подачи информации [16]. Для младших классов — яркие иллюстрации, короткие видео, игровые элементы и простые объяснения, что способствует развитию интереса и базовых навыков. Для старших — более сложные схемы, задачи, тематические видеоуроки и интерактивные лабораторные работы, стимулирующие аналитическое мышление. Например, для 8 класса система может предложить интерактивную игру, в которой школьники собирают атомы из отдельных частей, а для 11 класса — расчет энергии химических реакций и моделирование молекулярных структур, так как уровень «игры» для них уже является неподходящим.

3. Интерактивные элементы — в план урока интегрируются мини-игры, виртуальные опыты, анимации и 3D-модели, что повышает вовлеченность учеников и способствует лучшему пониманию сложных концепций [20], [21]. Например, урок по строению молекул воды (Рисунок 1) может сопровождаться демонстрацией трехмерной модели, которую ученики могут вращать, рассматривать с разных сторон и взаимодействовать с ней. Такой подход способствует развитию пространственного мышления, мотивации и интереса к предмету.

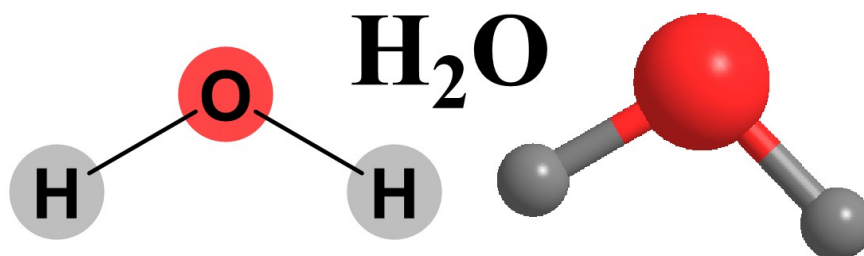


Рисунок 1 - Структура молекулы воды
DOI: <https://doi.org/10.60797/PED.2026.12.3.1>

4. Обратная связь и корректировка — после завершения урока ИИ собирает и анализирует данные о деятельности учеников — правильные и ошибочные ответы, скорость выполнения заданий [22]. На основе собранной информации система предлагает учителю рекомендации по корректировке будущих планов, выделению трудных тем, подготовке дополнительных материалов или изменению методов преподавания. Это позволяет осуществлять динамическое управление учебным процессом, повышая его эффективность и адаптивность к потребностям класса.

3.2. Создание презентаций и мультимедийных материалов по химии

Визуализация — это ключ к пониманию сложных химических концепций, особенно у школьников [23]. Использование графики, анимаций и интерактивных элементов позволяет сделать абстрактные идеи более осязаемыми и понятными. Визуальные материалы стимулируют воображение и помогают закрепить знания через активное восприятие информации.

1. Автоматизированное создание презентаций — современные ИИ-системы способны быстро формировать качественные презентации по заданной теме, интегрируя разнообразные мультимедийные компоненты [24], [25]. Например, при подготовке к уроку о реакции этилового спирта с кислородом, ИИ предложит вставить анимацию процесса окисления, схемы механизмов реакций, короткое видео, демонстрирующее реакцию в виртуальной лаборатории, а также интерактивные задания для учеников. Такой подход помогает учителю сэкономить время на

подготовке, обеспечивая насыщенный, наглядный и понятный материал, который способствует лучшему усвоению темы.

2. Мультимедийные элементы — использование анимаций, 3D-моделей и видео помогает объяснить сложные механизмы и перенос электронов, а также показать структуру и свойства молекул [26]. Например, вставка 3D-модели бензола позволяет продемонстрировать, как выглядит его ароматическая структура (Рисунок 2). Анимации реакций замещения или обмена могут помочь ученикам старшей школы увидеть процессы, которые трудно представить только на словах или статических схемах. Для старших школьников такие материалы особенно важны для освоения более сложных концепций.

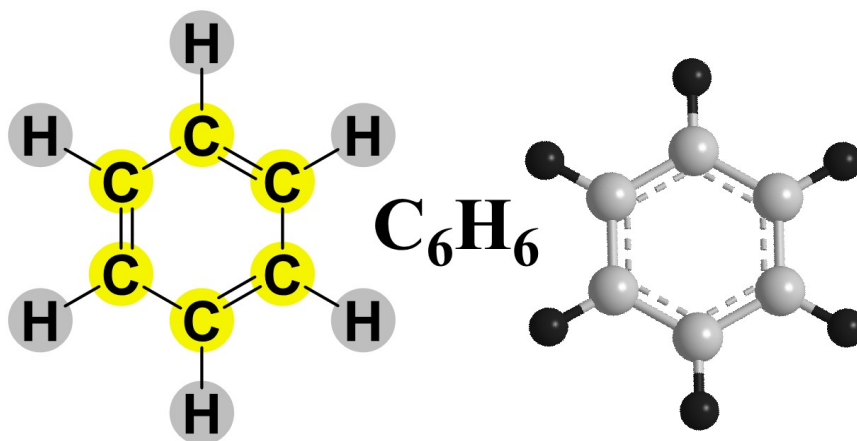


Рисунок 2 - Структура молекулы бензола
DOI: <https://doi.org/10.60797/PED.2026.12.3.2>

3. Обновление данных — современные системы автоматически подбирают актуальные сведения, последние научные открытия и новые примеры, чтобы сделать уроки максимально современными и релевантными. Например, можно вставить видео о новых материалах, используемых в технологиях будущего, или о прогрессивных методах экологически чистого производства. Это помогает поддерживать интерес учеников, повышая их осведомленность о последних достижениях науки и стимулируя любознательность.

3.3. Генерация задач и реакций по химии

Создание задач — одна из важнейших функций ИИ, которая значительно обогащает учебный процесс, делая его более разнообразным, динамичным и адаптивным [27]. Автоматическая генерация заданий позволяет учителю быстро получать новые упражнения, соответствующие различным уровням сложности и аспектам программы, что способствует более эффективному закреплению знаний и развитию навыков у учеников.

1. ИИ способен генерировать разнообразные задания на основе заданных параметров и условий. Например, можно задать параметры: «Объяснить, почему при реакции натрия с водой образуется гидроксид натрия и водород» или «Рассчитать, сколько соли получится при реакции хлорида натрия с нитратом серебра». В зависимости от указанных требований, система создаст задачи разной степени сложности, что помогает учителю подготовить задания для учеников с разными уровнями знаний и подготовленности. Также возможна генерация задач на применение теоретических знаний в практических ситуациях, моделирование реакции или интерпретацию результатов экспериментов.

2. ИИ может автоматически создавать задачи по различным разделам химии – балансировка уравнений, кинетика и расчёт скорости реакции, химическое равновесие, свойства неорганических или органических веществ и многие другие темы. Например, для базовых уровней — простое уравнение реакции с задачей на классификацию типа взаимодействий, для продвинутых уровней — задачи на расчёт молярных концентраций, скорости реакции или определения условий, влияющих на равновесие. Такой подход обеспечивает систематическую практику и постепенное усложнение заданий по мере освоения темы, а если это сведено к использованию ИИ — потенциально экономит время.

3. Практические лабораторные задания с использованием виртуальных экспериментов позволяют школьникам «провести» реакции, такие как гидролиз соли или изменение pH при добавлении различных веществ, без необходимости наличия лабораторного оборудования. ИИ не только генерирует сценарии таких экспериментов, но и оценивает правильность выполнения, давая обратную связь и рекомендации. Это особенно полезно при дистанционном обучении или для тех школ, где лабораторное оборудование ограничено [28], [29].

4. Поддержка учителей — генеративные системы могут автоматически формировать набор из 20, 50 или более вариантов задач по конкретной теме, например, по кислотно-основным реакциям, что позволяет учителю оперативно контролировать усвоение материалов, подбирать задания по уровню сложности и создавать индивидуальные или групповые тесты. Это значительно облегчает подготовку к урокам, контроль знаний и проведение повторений.

3.4. Визуализация и моделирование молекулярных структур и реакций

Моделирование — это мощный инструмент для визуализации сложных процессов, который помогает понять структуру и поведение веществ на молекулярном уровне. Использование современных программных средств позволяет сделать абстрактные химические концепции более осязаемыми и понятными [29], [30].

1. 3D моделирование — программы типа ChemDraw, Avogadro и другие позволяют создавать реалистичные трехмерные модели молекул. Например, школьники могут «увидеть» структуру воды (Рисунок 1), понять, почему она полярна, или рассмотреть молекулу метана (Рисунок 3), чтобы понять, как связаны атомы и как формируются углерод-водородные связи, объяснить понятие валентность и процессу образования химической связи. Это способствует развитию пространственного мышления и глубокому пониманию химической структуры [31].

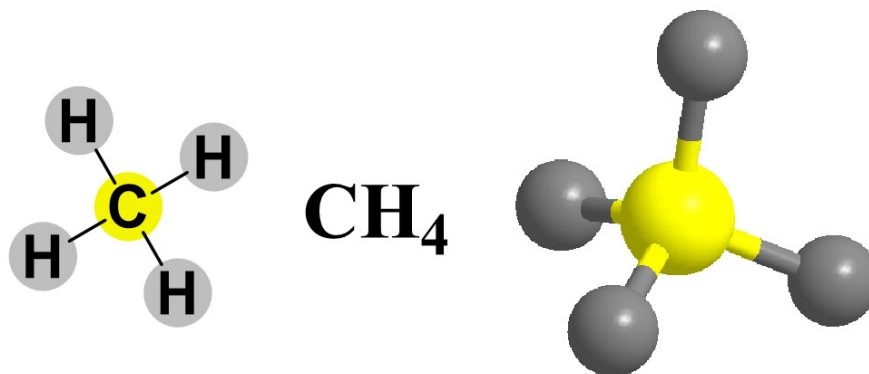


Рисунок 3 - Структура молекулы метана
DOI: <https://doi.org/10.60797/PED.2026.12.3.3>

2. Автоматическая распознаваемость структур – вводя химическую формулу или рукописный рисунок молекулы, учащиеся могут получать автоматическую 3D-модель вещества и его свойства, такие как растворимость в воде, взаимодействие с другими веществами или реакционная способность. Это позволяет быстро оценить свойства заданных соединений и понять их химическую природу способность взаимодействовать с другими классами соединений.

3. Визуальные модели могут показать, как происходит цепная реакция полимеризации или объясняют механизм электрофильного замещения. Например, учащиеся могут видеть, почему реакция идет именно через определенный путь с образованием переходного состояния, помогает понять, почему реакция происходит так, а не иначе. Такие модели делают абстрактные механизмы более наглядными и понятными.

4. Интерактивные симуляции также могут быть интересны школьникам и педагогом — возможность менять условия — температуру, давление, концентрацию реагентов — дает школьникам прямой опыт наблюдения за изменениями в реакции. Например, при увеличении температуры учащийся может видеть, как ускоряется скорость реакции или как меняется состав продукта. Это способствует развитию экспериментальных навыков и пониманию термодинамических и кинетических аспектов химии [4].

3.5. Автоматическая оценка знаний и создание адаптивных программ обучения

Объективная оценка и индивидуальный подход — ключевые компоненты школьного обучения, направленные на повышение эффективности усвоения материала и мотивации учеников [32], [33].

1. Автоматические тесты и проверки — ученики решают разнообразные задачи и тесты, а система мгновенно анализирует ответы, предоставляя правильный ответ и подробное объяснение. Например, при решении задачи по формуле Вант-Гоффа, система укажет, в чем допущена ошибка (вычислительные ошибки, математические преобразования), и поможет понять, как правильно решить пример. Такой подход ускоряет закрепление знаний и делает процесс обучения более интерактивным.

2. Система анализирует успехи каждого ученика и подстраивает учебный материал под его уровень [7]. Например, если ученик неправильно отвечает по теме «кислоты и основания», он автоматически получает рекомендации повторить теоретический материал, пройти дополнительные упражнения или повторить примеры, что способствует более глубокому пониманию темы и устранению пробелов.

3. Обратная связь — в личном кабинете ученик видит свои достижения, сильные стороны и области, требующие внимания. Это помогает ему сосредоточиться на слабых местах, повысить мотивацию и развивать самостоятельность в обучении.

4. Учитель же получает подробные отчеты о результатах учеников и общем прогрессе класса. Например, можно увидеть, какие темы вызывают трудности у большинства учеников, и на основе этой информации скорректировать программу, подготовить дополнительные материалы или провести повторные занятия. Такой мониторинг повышает эффективность педагогического процесса и позволяет индивидуализировать подход к каждому ученику.

3.6. Виртуальные лаборатории и симуляции с интеграцией ИИ

Практические занятия — ключ к глубокому пониманию химических процессов. Они позволяют ученикам не только видеть теорию в действии, но и развивать навыки экспериментальной работы [28].

1. Виртуальные лаборатории дают возможность «провести» разнообразные реакции, например, наблюдать за изменением цвета при взаимодействии сульфата меди или выполнить электролиз воды. Подобный функционал уже реализован в виртуальных лабораториях МЭШ для неорганической (Рисунок 4) и органической (Рисунок 5) химии. Искусственный интеллект (ИИ) анализирует последовательность действий, оценивает правильность выполнения и интерпретирует результаты, помогая ученикам понять ход эксперимента и его значение [29], [31], [34], [35].

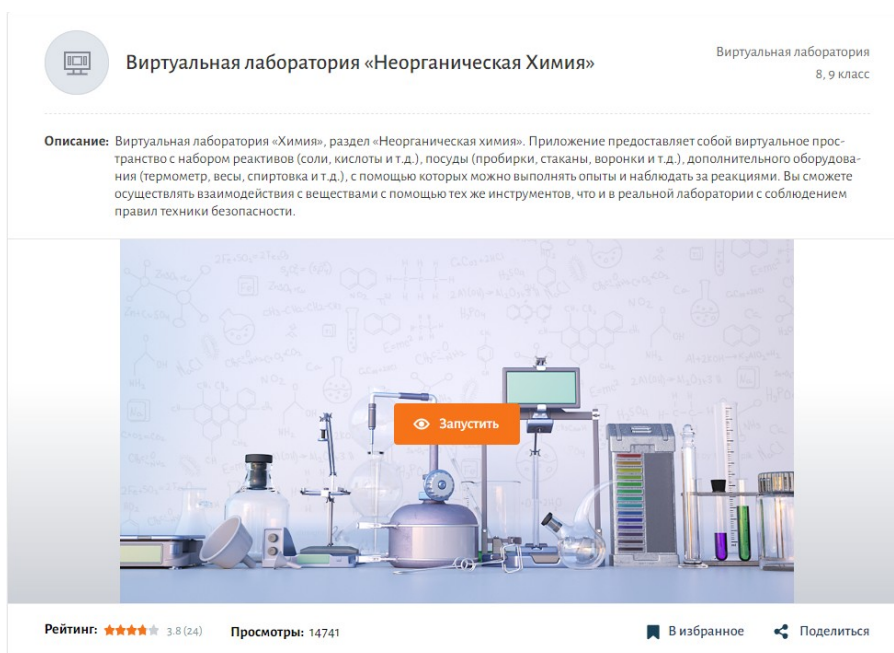


Рисунок 4 - Виртуальная лаборатория «Неорганическая химия» МЭШ
DOI: <https://doi.org/10.60797/PED.2026.12.3.4>



Рисунок 5 - Виртуальная лаборатория «Органическая химия» МЭШ
DOI: <https://doi.org/10.60797/PED.2026.12.3.5>

2. Виртуальные лаборатории обеспечивают безопасную среду для обучения, исключая риск травм или аварий. Они особенно актуальны при ограниченном доступе к дорогостоящему лабораторному оборудованию или при необходимости обучения в условиях дистанционного формата.

3. Школьники учатся правильно готовить реактивы, следовать протоколам, контролировать параметры эксперимента и интерпретировать полученные результаты. Это способствует подготовке к реальным лабораторным занятиям и формирует навыки безопасной и точной работы [36]. Современные симуляции максимально приближены к



реальности, моделируя такие реакции, как горение, электрохимические процессы (электролиз, например) или взаимодействие веществ (реакции ионного обмена с визуальным подтверждением выпадения осадка или выделения газа). Это позволяет ученикам наблюдать сложные процессы, которых трудно реализовать в обычной школе, и понять их механизмы.

7. Перспективы развития: дополненная реальность, виртуальная реальность

Технологии AR и VR открывают новые горизонты для обучения школьников. Они позволяют сделать учебный процесс более наглядным, интерактивным и увлекательным, способствуют более глубокому пониманию сложных концепций и процессов.

1. С помощью дополненной реальности (AR) ученики могут с помощью смартфонов или планшетов «увидеть» молекулы, в реальном пространстве [30]. Они также смогут наблюдать за химическими реакциями в 3D-формате — например, взаимодействие ионов в растворе или процессы сгорания топлива, что помогает лучше понять механизмы происходящих процессов.

2. Виртуальная реальность (VR) создаёт полностью погружающие среды, в которых школьники «путешествуют» внутри атомов, наблюдают за механизмами реакций или моделируют сложные процессы, такие как синтез органических соединений или электролиз [30]. Это позволяет получить уникальный опыт, недоступный в реальной лабораторной практике, и способствует развитию креативного и системного мышления.

Использование ИИ в преподавании химии — это не только автоматизация рутинных задач, но и развитие новых методов обучения, которые делают уроки более интересными, понятными и эффективными. Эти технологии помогают школьникам лучше понять предмет, развить любознательность и подготовиться к будущему научному и профессиональному росту. Внедрение ИИ делает школьное образование более современным, доступным и привлекательным, все технологические аспекты можно свести в единую таблицу для простоты восприятия (Таблица 1).

Таблица 1 - Цифровые технологии и искусственный интеллект в современном образовании

DOI: <https://doi.org/10.60797/PED.2026.12.3.6>

Название технологии или платформы	Тип решения	Основные функции и возможности	Образовательная сфера применения	Преимущества внедрения	Ограничения и этические аспекты	Источник
DeepSeek	Большие языковые модели / Чат-бот	Автоматизация проверки работ и кода, генерация обратной связи для учащихся и родителей, оптимизация подготовки отчетов, генерация персонализированных заданий.	Информатика, химия, дополнительное профессиональное образование (ДПО), самостоятельная работа школьников.	Оперативность, круглосуточный доступ, оптимизация рабочей нагрузки педагога, мгновенная проверка логических ошибок.	Непоследовательность в оценивании, формализм, риск ошибок в логике, использование учащимися для обхода самостоятельной работы.	[11], [22], [27]
ChatGPT	Искусственный интеллект / Генеративные модели	Ведение диалога, разъяснение теории, решение сложных задач, помощь в подготовке к экзаменам, генерация учебных заданий и тестов.	Химия, языковые и гуманитарные предметы (анализ содержания и структуры эссе).	Повышение эффективности обучения, развитие критического мышления, поддержка в дистанционном формате.	Отсутствие человеческого взаимодействия, риск генерации галлюцинаций (некорректной информации), частое непонимание контекста.	[4], [6], [22]
Duolingo	Адаптивное обучение / Геймифицированное приложение	Машинное обучение для адаптации сложности, распознавание речи, генерация диалогов.	Изучение иностранных языков.	Высокая вовлеченность через геймификацию, индивидуализированный темп, развитие памяти и концентрации внимания.	Недостаточная глубина для продвинутых уровней, ограниченность социального взаимодействия в сравнении с очным обучением.	[1], [6], [8], [16], [19]



Название технологии или платформы	Тип решения	Основные функции и возможности	Образовательная сфера применения	Преимущества внедрения	Ограничения и этические аспекты	Источник
Khan Academy	Образовательная платформа / Адаптивное обучение	Адаптивные алгоритмы подстройки сложности, ИИ-ассистент Khanmigo (на базе GPT-4) для наводящих вопросов, интерактивная обратная связь.	Школьное образование, математика, естественные науки.	Мгновенная поддержка, создание роли виртуального наставника, персонализация траектории, доступность материалов 24/7.	Ограничения в глубине анализа по сравнению с учителем, риск потери мотивации при отсутствии внешнего контроля.	[16], [19]
Coursera	Массовые открытые онлайн-курсы	Персонализированные рекомендации на основе истории обучения, ИИ-ассистенты, прокторинг, автоматическая оценка эссе.	Высшее и дополнительное профессиональное образование, химия.	Масштабируемость, доступность качественных глобальных ресурсов, снижение нагрузки на службу поддержки.	Возможная предвзятость алгоритмов, необходимость высокой самодисциплины, ограниченность в оценке творческих работ.	[1], [5], [8], [16], [17]
Яндекс.Учебник	Интеллектуальная система оценивания и диагностики	Оценка уровня знаний, индивидуализация процесса обучения, автоматическая рекомендация учебных материалов.	Начальное и среднее школьное образование.	Адаптация под уровень каждого ученика, интеграция в национальные образовательные проекты.	Вопросы сбора и защиты персональных данных учащихся, риск алгоритмической предвзятости.	[1]
Online Test Pad	Интерактивная платформа для тестирования	Создание онлайн-тестов и викторин, автоматическая генерация числовых данных в задачах, автоматизация проверки и статистики.	Химия (8-9 классы), математика.	Мгновенная обратная связь, высокая адаптивность, развитие самостоятельности, экономия времени учителя.	Зависимость от интернет-соединения, риск технических сбоев при автоматической генерации данных.	[4], [37]
Quizlet	Адаптивное обучение / Игровые технологии	Генерация учебных карточек и тестов, автоматическое	Запоминание терминов, изучение языков, подготовка к	Быстрое обновление базы знаний, повышение	Потенциальные неточности в контенте,	[19]



Название технологии или платформы	Тип решения	Основные функции и возможности	Образовательная сфера применения	Преимущества внедрения	Ограничения и этические аспекты	Источник
		создание объяснений ошибок, алгоритмы интервального повторения.	тестам.	вовлеченности учащихся, автоматизация рутинного запоминания.	сгенерированном ИИ; зависимость от объема входных данных.	
DreamBox	Адаптивное обучение / ИИ-платформа	Использование алгоритмов машинного обучения для анализа успеваемости и формирования персональных траекторий.	Общее образование, развитие логического мышления и навыков решения проблем.	Повышение академических результатов, развитие аналитических способностей и памяти учащихся.	Риск информационной перегрузки; риск снижения самостоятельности мышления при чрезмерной зависимости от подсказок.	[8]
Labster / PhET Interactive Simulations	Виртуальные лаборатории	Моделирование экспериментов в виртуальной среде, автоматическая оценка действий учащихся, детальный анализ ошибок.	Естественные науки (химия, физика, биология).	Безопасность, наглядность микромира (атомы, молекулы), возможность многократного повторения без затрат реактивов.	Снижение практических навыков работы с реальным оборудованием, высокая стоимость разработки сложных симуляций.	[1], [14], [29]
Unity / Blender	Среды разработки виртуальной реальности (VR)	Проектирование интерактивных 3D-лабораторий, использование технологий drag&drop, создание реалистичных интерфейсов.	Физика, химия, информатика.	Полное погружение (иммерсивность), визуализация сложных абстрактных концепций, свободный обзор 3D-объектов.	Требуют высокопроизводительного оборудования и специальных навыков программирования (C#, Java).	[29], [30]
VR Chemistry Lab	Виртуальная реальность (VR)	Химическая лаборатория в виртуальной реальности для проведения опытов с виртуальными	Химическое образование (школы).	Безопасность при проведении опасных экспериментов, наглядность процессов на молекулярном уровне.	Высокая стоимость VR-оборудования; возможные негативные эффекты для вестибулярного аппарата.	[5], [29], [30]



Название технологии или платформы	Тип решения	Основные функции и возможности	Образовательная сфера применения	Преимущества внедрения	Ограничения и этические аспекты	Источник
		реактивами.				
МЭШ (Московская электронная школа)	Цифровая образовательная среда / Системы администрирования	Библиотека электронных материалов, сценарии уроков, 3D-симуляции химических экспериментов, чат-бот «Кеша», электронные журналы и дневники.	Общее образование (г. Москва), профильные классы, химия (неорганическая и органическая).	Единая инфраструктура, безопасность экспериментов, повышение мотивации, грантовая поддержка учителей.	Необходимость технического оснащения, отсутствие реальной практики с веществами, дефицит контента для профильного уровня.	[1], [4], [17], [31]
ЭПОС (Электронная Пермская Образовательная Система)	Автоматизированная информационная система	Единое информационное пространство региона, электронный дневник, библиотека обучающих материалов.	Общее образование (Пермский край).	Автоматизация управленческих процессов; удобный доступ к сведениям об учебном процессе.	Требуется постоянная системная методическая поддержка пользователей для эффективной эксплуатации.	[24]
Сферум	Информационно-коммуникационная платформа	Взаимодействие участников образовательного процесса через чаты и видеозвонки, проведение онлайн-занятий, ведение школьных каналов.	Общее образование (педагоги, ученики, родители).	Безопасная коммуникационная среда, интеграция цифровых сервисов, повышение цифровой грамотности.	Защита персональных данных, высокая зависимость от качества интернет-соединения и технического обеспечения.	[2], [17], [24]
Google Classroom / Microsoft Teams	Системы администрирования и совместной работы	Планирование учебного времени, рекомендации материалов, автоматизация административных задач и коммуникаций.	Общее и высшее образование, гибридные модели обучения.	Формирование метакогнитивных навыков и саморегуляции; значительное снижение нагрузки на педагогов.	Вопросы конфиденциальности данных и безопасности цифровой среды.	[8]



Перспективы развития и вызовы внедрения ИИ в обучение химии

Интеграция искусственного интеллекта в систему преподавания химии представляет собой многообещающее направление, обладающее потенциалом кардинально трансформировать традиционные методы обучения за счет повышения эффективности, персонализации и интерактивности образовательных процессов [4]. В перспективе, развитие технологий ИИ обещает расширить возможности виртуальных лабораторий, автоматизировать процесс оценки знаний, создавать адаптивные обучающие программы и внедрять инновационные формы взаимодействия, такие как дополненная и виртуальная реальность. Особенно актуальными являются задачи разработки систем, способных учитывать индивидуальные особенности учащихся, стимулировать их самостоятельное обучение и формировать научное мышление.

Тем не менее, внедрение ИИ в образовательную практику сталкивается с рядом существенных вызовов, обусловленных как технологическими, так и этическими аспектами [14], [38]. Среди технологических проблем выделяются необходимость обеспечения высокого уровня точности и надежности алгоритмов, предотвращение ошибок в автоматическом создании контента, а также создание систем, способных адекватно интерпретировать сложные и неоднозначные ситуации в учебном процессе. Важной задачей является также обеспечение совместимости новых решений с существующими образовательными платформами и инфраструктурой учебных заведений.

Этические и социальные вызовы связаны с обеспечением конфиденциальности и безопасности персональных данных учащихся, а также с возможными рисками возникновения предвзятости и несправедливости в автоматизированных системах оценки и рекомендаций. Не менее важным аспектом является необходимость формирования у педагогов и учащихся критического мышления относительно использования ИИ, а также развитие нормативно-правовой базы, регулирующей применение этих технологий в образовательной сфере.

На перспективу, успешное внедрение ИИ в преподавание химии предполагает междисциплинарное сотрудничество специалистов в области педагогики, информатики, химии и этики для создания эффективных и безопасных решений [39]. Важнейшую роль играет подготовка педагогических кадров к использованию новых технологий, развитие инфраструктуры и создание открытых платформ обмена опытом, при этом уже сейчас происходит трансформация роли учителя. В долгосрочной перспективе, интеграция ИИ способна не только повысить качество химического образования, но и способствовать формированию нового поколения ученых и специалистов, обладающих навыками работы с передовыми технологиями и научным мышлением.

Таким образом, развитие и внедрение систем искусственного интеллекта в обучение химии открывают широкие возможности для улучшения образовательного процесса, однако требуют аккуратного и ответственного подхода, учета множества вызовов, связанных с технологическими, этическими и организационными аспектами. Только при гармоничном сочетании инновационных решений и нормативно-правового регулирования можно добиться устойчивого и эффективного развития данной области.

Заключение

Интеграция искусственного интеллекта в систему обучения химии представляет собой перспективное направление, способное значительно повысить качество и эффективность образовательного процесса. В ходе исследования были рассмотрены современные методы и инструменты применения ИИ, включая автоматическую генерацию учебных планов, создание мультимедийных материалов, моделирование молекулярных структур и реакций, а также автоматическую оценку знаний и развитие виртуальных лабораторий. Эти инновации позволяют не только автоматизировать рутинные задачи преподавания, но и создавать более персонализированные, интерактивные и наглядные образовательные ресурсы, что способствует более глубокому усвоению сложных химических концепций и образования в целом.

Однако внедрение таких технологий сопряжено с рядом вызовов, связанных с технологической надежностью, этическими аспектами, защитой данных и подготовкой педагогических кадров. Решение этих вопросов требует системного подхода, междисциплинарного сотрудничества и разработки нормативных стандартов, что обеспечит безопасное и эффективное использование ИИ в школьной практике.

В перспективе развитие систем искусственного интеллекта откроет новые возможности для формирования инновационной образовательной среды, способной адаптироваться к индивидуальным потребностям учащихся, стимулировать их к самостоятельному изучению и подготовить к будущему научно-техническому прогрессу. Таким образом, внедрение ИИ в преподавание химии — это стратегический шаг к развитию современного, доступного и привлекательного школьного образования, способного обеспечить подготовку квалифицированных специалистов будущего.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.



Список литературы / References

1. Николаев А.А. Искусственный интеллект в образовании: вызов современности или будущее педагогики? / А.А. Николаев, С.Е. Суркина // *Cifra. Педагогика*. — 2025. — 4 (10). — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=85526591> (дата обращения: 24.01.26). — DOI: 10.60797/PED.2025.10.2
2. Волков А.С. Цифровизация образовательного процесса: новые подходы и модели внедрения технологий в работу педагогов / А.С. Волков // *Вестник науки*. — 2025. — 5(86). — С. 781–794. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82275138> (дата обращения: 24.01.26).
3. Новикова Г.П. Цифровизация и трансформация педагогического образования на современном этапе / Г.П. Новикова // *Педагогическое образование и наука*. — 2025. — 2. — С. 42–46. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82537177> (дата обращения: 24.01.26). — DOI: 10.56163/2072-2524-2025-2-42-46
4. Николаев А.А. Цифровизация на уроках химии: достижения, проблемы и перспективы / А.А. Николаев, А.В. Митрофанова // *Cifra. Педагогика*. — 2025. — 2 (8). — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82426689> (дата обращения: 24.01.26). — DOI: 10.60797/PED.2025.8.7
5. Безрукова Н.П. Цифровизация естественнонаучного образования: что принципиально нового? / Н.П. Безрукова, Н.М. Вострикова, А.А. Безруков // *Актуальные проблемы обучения химии, биологии, экологии и естествознанию в условиях цифровизации образования; под ред. П.А. Оржековского*. — Москва: Московский педагогический государственный университет, 2020. — С. 13–22. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47962619> (дата обращения: 24.01.26).
6. Букина Т.В. Искусственный интеллект в образовании: современное состояние и перспективы развития / Т.В. Букина // *Общество: социология, психология, педагогика*. — 2025. — 1(129). — С. 76–83. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80262603> (дата обращения: 24.01.26). — DOI: 10.24158/spp.2025.1.9
7. Алферьева А.А. Искусственный интеллект в образовании: как адаптивное обучение и цифровые ассистенты меняют подход к обучению и воспитанию подростков / А.А. Алферьева // *Вестник науки*. — 2025. — 1(82). — С. 111–119. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=78509284> (дата обращения: 24.01.26).
8. Нусратов А.Н. Влияние искусственного интеллекта на когнитивное развитие учащихся: анализ научной литературы и перспективы / А.Н. Нусратов, У.У. Муродов // *International Journal of Science and Technology*. — 2025. — 7. — С. 6–9. — DOI: 10.70728/tech.v2.i07.002
9. Николаев А.А. Проблемы в изучении химии 8-9 класса: основные сложности и способы их преодоления / А.А. Николаев, А.В. Митрофанова // *Cifra. Педагогика*. — 2025. — 3(9). — DOI: 10.60797/PED.2025.9.3
10. Лиманова Н.И. Искусственный интеллект и обработка естественного языка как основа чат-ботов / Н.И. Лиманова, Д.С. Ковтун // *Бюллетень науки и практики*. — 2024. — 4. — С. 426–429. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=65620382> (дата обращения: 24.01.26). — DOI: 10.33619/2414-2948/101/48
11. Кулагина Е.С. Анализ возможностей искусственного интеллекта в сфере автоматизации рутинных задач (на примере образовательных учреждений) / Е.С. Кулагина, Д.И. Пепельшев // *Системный анализ в науке и образовании*. — 2025. — 1. — С. 148–156. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80691773> (дата обращения: 24.01.26).
12. Николаев А.А. Теория и практика школьных проектов – как сделать «научное» исследование в школе и зачем это нужно? / А.А. Николаев // *Cifra. Педагогика*. — 2025. — 4(10). — DOI: 10.60797/PED.2025.10.6
13. Леушина В.В. Этика искусственного интеллекта в стандартах и рекомендациях / В.В. Леушина, В.Э. Карпов // *Философия и общество*. — 2022. — 3(104). — С. 124–140. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49877339> (дата обращения: 24.01.26).
14. Горячкин Б.С. Этические аспекты использования систем искусственного интеллекта / Б.С. Горячкин, Ю.П. Королёва // *Инженерный вестник Дона*. — 2024. — 4(112). — С. 608–628. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67206777> (дата обращения: 24.01.26).
15. Видова Т.А. Возможности применения технологий искусственного интеллекта в образовательном процессе / Т.А. Видова, И.Н. Романова // *Образовательные ресурсы и технологии*. — 2023. — 1(42). — С. 27–35. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=52519316> (дата обращения: 24.01.26). — DOI: 10.21777/2500-2112-2023-1-27-35
16. Дорошев Д.В. Искусственный интеллект в персонализированном обучении / Д.В. Дорошев // *Мировая наука*. — 2023. — 11(80). — С. 36–39. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=55873593> (дата обращения: 24.01.26).
17. Коровникова Н.А. Искусственный интеллект в современном образовательном пространстве: проблемы и перспективы / Н.А. Коровникова // *Социальные новации и социальные науки*. — 2021. — 2(4). — С. 98–113. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46391127> (дата обращения: 24.01.26). — DOI: 10.31249/snsn/2021.02.07
18. Мурзина Н.П. Технология планирования современного урока / Н.П. Мурзина // *Школьные технологии*. — 2017. — 2. — С. 52–59. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30115749> (дата обращения: 24.01.26).
19. Сухоруков Д.С. Персонализация процесса обучения с помощью технологий искусственного интеллекта и машинного обучения: опыт образовательных платформ / Д.С. Сухоруков // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. — 2025. — 6-1(105). — С. 179–187. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82717772> (дата обращения: 24.01.26). — DOI: 10.24412/2500-1000-2025-6-1-179-187
20. Завальцева О.А. Использование интерактивных и цифровых технологий в обучении химии / О.А. Завальцева, О.С. Мишина, О.В. Коротков // *Проблемы современного педагогического образования*. — 2023. — 81-2. — С. 256–259. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60774029> (дата обращения: 24.01.26).
21. Уринова О.У. Современные активные и интерактивные технологии обучения химии / О.У. Уринова, У.Г. Абдуллаева, У.У. Матмуродов // *Вестник науки и образования*. — 2020. — 21-2(99). — С. 62–64. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44356173> (дата обращения: 24.01.26).



22. Фещенко А.В. Обратная связь в образовании с помощью ИИ: анализ пользовательского опыта / А.В. Фещенко, И.Ю. Малкова, К.И. Буякова // Педагогика и просвещение. — 2025. — 3. — С. 23–40. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=83001163> (дата обращения: 24.01.26). — DOI: 10.7256/2454-0676.2025.3.75129
23. Завальцева О.А. Применение различных способов визуализации на уроках химии в школе / О.А. Завальцева, О.С. Мишина, О.В. Коротков // Проблемы современного педагогического образования. — 2023. — 79-3. — С. 103–106. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54268310> (дата обращения: 24.01.26).
24. Тютюникова И.В. Создание образовательных материалов с применением цифровой образовательной среды и искусственного интеллекта для повышения качества образования: опыт методиста / И.В. Тютюникова // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия: Информационные компьютерные технологии в образовании. — 2024. — 20. — С. 105–112. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80432445> (дата обращения: 24.01.26). — DOI: 10.24412/2222-7520-2024-20-105-112
25. Казначеева С.Н. Искусственный интеллект при подготовки учащимися презентаций как условие повышения качества освоения физики / С.Н. Казначеева, И.Б. Бичева, Д.А. Казначеев // Проблемы современного педагогического образования. — 2025. — 87-4. — С. 160–164. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82680028> (дата обращения: 24.01.26).
26. Хачирова З.К. Применение мультимедийных технологий в процессе обучения / З.К. Хачирова // Педагогический вестник. — 2024. — 35. — С. 59–61. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=79722814> (дата обращения: 24.01.26).
27. Степанов М.В. Использование искусственного интеллекта для создания персонализированных заданий: педагогические и технологические аспекты / М.В. Степанов // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. — 2025. — 3(75). — С. 273–280. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82949699> (дата обращения: 24.01.26).
28. Николаев А.А. Современный урок химии: примеры возможностей для проведения лабораторных работ / А.А. Николаев // Cifra. Педагогика. — 2025. — 3(9). — DOI: 10.60797/PED.2025.9.6
29. Бузмаков М.Д. Технологии проектирования и разработки интерактивных лабораторных работ в трехмерной виртуальной среде / М.Д. Бузмаков, И.В. Ильин, Е.В. Оспенникова // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия: Информационные компьютерные технологии в образовании. — 2020. — 16. — С. 30–46. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44396504> (дата обращения: 24.01.26).
30. Хаблиева С.Р. Использование виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе / С.Р. Хаблиева // Мир науки, культуры, образования. — 2024. — 6(109). — С. 316–318. — DOI: 10.24412/1991-5497-2024-6109-316-318
31. Банару А.М. Особенности использования Московской электронной школы в классах с профильным изучением химии / А.М. Банару, А.Н. Григорьев // Актуальные проблемы обучения химии, биологии, экологии и естествознанию в условиях цифровизации образования; под ред. П.А. Оржековского. — Москва: Московский педагогический государственный университет, 2020. — С. 258–260.
32. Халикова Ф.Д. Индивидуальные учебные планы в профильном обучении химии / Ф.Д. Халикова // Казанский педагогический журнал. — 2011. — 4(88). — С. 176–183. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19006500> (дата обращения: 24.01.26).
33. Боровских Т.А. Об индивидуализации обучения химии в школе / Т.А. Боровских // Наука и школа. — 2008. — 6. — С. 25–29. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17348888> (дата обращения: 24.01.26).
34. Алькаев Р.Р. Лабораторно-практические работы как основная форма практической составляющей процесса обучения / Р.Р. Алькаев // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. — 2015. — 6. — С. 1. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25115823> (дата обращения: 24.01.26).
35. Ширшова Т.А. Лабораторные работы как средство мотивации и активизации учебной деятельности учащихся / Т.А. Ширшова, Т.А. Полякова // Омский научный вестник. — 2015. — 4(141). — С. 188–190. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24254743> (дата обращения: 24.01.26).
36. Николаев А.А. Развитие компетенций и навыков учащихся на уроках химии: теоретические и практические подходы / А.А. Николаев // Философские, социологические и психолого-педагогические проблемы современного образования. — 2025. — 7. — С. 526–531. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=83183348>
37. Евдокимова В.Е. Online Test Pad как одно из современных средств оценивания результатов обучения / В.Е. Евдокимова, О.А. Кириллова, Е.А. Жданова // Вестник Шадринского государственного педагогического университета. — 2022. — 3(55). — С. 32–41. — DOI: 10.52772/25420291_2022_3_32
38. Майорова П.Д. Искусственный интеллект в образовании: трансформация процессов обучения и новые вызовы / П.Д. Майорова // Молодой ученый. — 2025. — 43(594). — С. 325–326. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=83202038>
39. Николаев А.А. Современные проблемы и перспективы межпредметного обучения химии в школе / А.А. Николаев, А.В. Митрофанова // Cifra. Педагогика. — 2025. — 3(9). — DOI: 10.60797/PED.2025.9.4

Список литературы на английском языке / References in English

1. Nikolaev A.A. Iskusstvennyj intellekt v obrazovanii: vy'zov sovremennosti ili budushhee pedagogiki? [Artificial intelligence in education: a modern challenge or the future of pedagogy?] / A.A. Nikolaev, S.E. Surkina // Cifra. Pedagogy. — 2025. — 4 (10). — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=85526591> (accessed: 24.01.26). — DOI: 10.60797/PED.2025.10.2 [in Russian]
2. Volkov A.S. Cifrovizaciya obrazovatel'nogo processa: novy'e podxody' i modeli vnedreniya texnologij v rabotu pedagogov [Digitalization of the educational process: new approaches and models of technology implementation in the work



- of teachers] / A.S. Volkov // *Bulletin of Science*. — 2025. — 5(86). — P. 781–794. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82275138> (accessed: 24.01.26). [in Russian]
3. Novikova G.P. Cifrovizaciya i transformaciya pedagogicheskogo obrazovaniya na sovremennom e'tape [Digitalization and transformation of teacher education at the present stage] / G.P. Novikova // *Teacher education and Science*. — 2025. — 2. — P. 42–46. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82537177> (accessed: 24.01.26). — DOI: 10.56163/2072-2524-2025-2-42-46 [in Russian]
4. Nikolaev A.A. Cifrovizaciya na urokax ximii: dostizheniya, problemy' i perspektivy' [Digitalization in chemistry lessons: achievements, problems and prospects] / A.A. Nikolaev, A.V. Mitrofanova // *Cifra. Pedagogy*. — 2025. — 2 (8). — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82426689> (accessed: 24.01.26). — DOI: 10.60797/PED.2025.8.7 [in Russian]
5. Bezrukova N.P. Tsifrovizatsiya yestestvennonauchnogo obrazovaniya: chto printsipialno novogo? [Digitalization of natural science education: What is fundamentally new?] / N.P. Bezrukova, N.M. Vostrikova, A.A. Bezrukov // *Aktual'nye problemy obucheniya himii, biologii, ekologii i estestvoznaniyu v usloviyah cifrovizatsii obrazovaniya* [Actual problems of teaching chemistry, biology, ecology and natural sciences in the context of digitalization of education]; edited by P.A. Orzhekovskogo. — Moscow: Moskovskii pedagogicheskii gosudarstvennii universitet, 2020. — P. 13–22. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47962619> (accessed: 24.01.26). [in Russian]
6. Bukina T.V. Iskusstvenny'j intellekt v obrazovanii: sovremennoe sostoyanie i perspektivy' razvitiya [Artificial intelligence in education: current state and development prospects] / T.V. Bukina // *Society: sociology, psychology, pedagogy*. — 2025. — 1(129). — P. 76–83. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80262603> (accessed: 24.01.26). — DOI: 10.24158/spp.2025.1.9 [in Russian]
7. Alfer'eva A.A. Iskusstvenny'j intellekt v obrazovanii: kak adaptivnoe obuchenie i cifrovye assistenty' menyayut podxod k obucheniyu i vospitaniyu podrostkov [Artificial intelligence in education: how adaptive learning and digital assistants are changing the approach to the education and upbringing of adolescents] / A.A. Alfer'eva // *Bulletin of Science*. — 2025. — 1(82). — P. 111–119. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=78509284> (accessed: 24.01.26). [in Russian]
8. Nusratov A.N. Vliyanie iskusstvennogo intellekta na kognitivnoe razvitie uchashhixsya: analiz nauchnoj literatury' i perspektivy' [The influence of artificial intelligence on the cognitive development of students: an analysis of scientific literature and prospects] / A.N. Nusratov, U.U. Murodov // *International Journal of Science and Technology*. — 2025. — 7. — P. 6–9. — DOI: 10.70728/tech.v2.i07.002 [in Russian]
9. Nikolaev A.A. Problemy' v izuchenii ximii 8-9 klassa: osnovny'e slozhnosti i sposoby' ix preodoleniya [Problems in studying chemistry in grades 8-9: the main difficulties and ways to overcome them] / A.A. Nikolaev, A.V. Mitrofanova // *Cifra. Pedagogy*. — 2025. — 3(9). — DOI: 10.60797/PED.2025.9.3 [in Russian]
10. Limanova N.I. Iskusstvenny'j intellekt i obrabotka estestvennogo yazy'ka kak osnova chat-botov [Artificial intelligence and natural language processing as the basis of chatbots] / N.I. Limanova, D.S. Kovtun // *Bulletin of Science and Practice*. — 2024. — 4. — P. 426–429. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=65620382> (accessed: 24.01.26). — DOI: 10.33619/2414-2948/101/48 [in Russian]
11. Kulagina E.S. Analiz vozmozhnostej iskusstvennogo intellekta v sfere avtomatizatsii rutinny'x zadach (na primere obrazovatel'ny'x uchrezhdenij) [Analysis of the possibilities of artificial intelligence in the field of automation of routine tasks (using the example of educational institutions)] / E.S. Kulagina, D.I. Pepelyshev // *System analysis in science and education*. — 2025. — 1. — P. 148–156. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80691773> (accessed: 24.01.26). [in Russian]
12. Nikolaev A.A. Teoriya i praktika shkol'ny'x projektov – kak sdelat' «nauchnoe» issledovanie v shkole i zachem e'to nuzhno? [Theory and practice of school projects – how to do "scientific" research at school and why is it necessary?] / A.A. Nikolaev // *Cifra. Pedagogy*. — 2025. — 4(10). — DOI: 10.60797/PED.2025.10.6 [in Russian]
13. Leushina V.V. E'tika iskusstvennogo intellekta v standartax i rekomendatsiyax [Ethics of artificial intelligence in standards and recommendations] / V.V. Leushina, V.E. Karpov // *Philosophy and Society*. — 2022. — 3(104). — P. 124–140. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49877339> (accessed: 24.01.26). [in Russian]
14. Goryachkin B.S. E'ticheskie aspekty' ispol'zovaniya sistem iskusstvennogo intellekta [Ethical aspects of using artificial intelligence systems] / B.S. Goryachkin, Yu.P. Korolyova // *Engineering Bulletin of the Don*. — 2024. — 4(112). — P. 608–628. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67206777> (accessed: 24.01.26). [in Russian]
15. Vidova T.A. Vozmozhnosti primeneniya texnologij iskusstvennogo intellekta v obrazovatel'nom processe [The possibilities of using artificial intelligence technologies in the educational process] / T.A. Vidova, I.N. Romanova // *Educational resources and technologies*. — 2023. — 1(42). — P. 27–35. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=52519316> (accessed: 24.01.26). — DOI: 10.21777/2500-2112-2023-1-27-35 [in Russian]
16. Doroshev D.V. Iskusstvenny'j intellekt v personalizirovannom obuchenii [Artificial intelligence in personalized learning] / D.V. Doroshev // *World Science*. — 2023. — 11(80). — P. 36–39. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=55873593> (accessed: 24.01.26). [in Russian]
17. Korovnikova N.A. Iskusstvenny'j intellekt v sovremennom obrazovatel'nom prostranstve: problemy' i perspektivy' [Artificial intelligence in the modern educational space: problems and prospects] / N.A. Korovnikova // *Social innovations and social sciences*. — 2021. — 2(4). — P. 98–113. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46391127> (accessed: 24.01.26). — DOI: 10.31249/snsn/2021.02.07 [in Russian]
18. Murzina N.P. Texnologiya planirovaniya sovremennogo uroka [Technology of planning a modern lesson] / N.P. Murzina // *School technology*. — 2017. — 2. — P. 52–59. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30115749> (accessed: 24.01.26). [in Russian]
19. Suxorukov D.S. Personalizaciya processa obucheniya s pomoshh'yu texnologij iskusstvennogo intellekta i mashinnogo obucheniya: opyt obrazovatel'ny'x platform [Personalization of the learning process using artificial intelligence and machine learning technologies: the experience of educational platforms] / D.S. Suxorukov // *International Journal of*



Humanities and Natural Sciences. — 2025. — 6-1(105). — P. 179–187. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82717772> (accessed: 24.01.26). — DOI: 10.24412/2500-1000-2025-6-1-179-187 [in Russian]

20. Zaval'ceva O.A. Ispol'zovanie interaktivny'x i cifrovyy'x texnologij v obuchenii ximii [The use of interactive and digital technologies in teaching chemistry] / O.A. Zaval'ceva, O.S. Mishina, O.V. Korotkov // Problems of modern pedagogical education. — 2023. — 81-2. — P. 256–259. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60774029> (accessed: 24.01.26). [in Russian]

21. Urinova O.U. Sovremennyye aktivny'e i interaktivny'e texnologii obucheniya ximii [Modern active and interactive technologies of chemistry teaching] / O.U. Urinova, U.G. Abdullaeva, U.U. Matmurodov // Bulletin of Science and Education. — 2020. — 21-2(99). — P. 62–64. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44356173> (accessed: 24.01.26). [in Russian]

22. Feshhenko A.V. Obratnaya svyaz' v obrazovanii s pomoshh'yu II: analiz pol'zovatel'skogo opyta [Feedback in education using AI: user experience analysis] / A.V. Feshhenko, I.Yu. Malkova, K.I. Buyakova // Pedagogy and education. — 2025. — 3. — P. 23–40. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=83001163> (accessed: 24.01.26). — DOI: 10.7256/2454-0676.2025.3.75129 [in Russian]

23. Zaval'ceva O.A. Primenenie razlichny'x sposobov vizualizatsii na urokax ximii v shkole [Application of various visualization methods in chemistry lessons at school] / O.A. Zaval'ceva, O.S. Mishina, O.V. Korotkov // Problems of modern pedagogical education. — 2023. — 79-3. — P. 103–106. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54268310> (accessed: 24.01.26). [in Russian]

24. Tyutyunikova I.V. Sozdanie obrazovatel'ny'x materialov s primeneniem cifrovoj obrazovatel'noj sredy i iskusstvennogo intellekta dlya povysheniya kachestva obrazovaniya: opyt metodista [Creation of educational materials using the digital educational environment and artificial intelligence to improve the quality of education: the experience of a methodologist] / I.V. Tyutyunikova // Bulletin of the Perm State Humanitarian Pedagogical University. Series: Information computer technologies in education. — 2024. — 20. — P. 105–112. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80432445> (accessed: 24.01.26). — DOI: 10.24412/2222-7520-2024-20-105-112 [in Russian]

25. Kaznacheeva S.N. Iskusstvenny'j intellekt pri podgotovki uchashhimisya prezentacij kak uslovie povysheniya kachestva osvoeniya fiziki [Artificial intelligence in the preparation of presentations by students as a condition for improving the quality of mastering physics] / S.N. Kaznacheeva, I.B. Bicheva, D.A. Kaznacheev // Problems of Modern Pedagogical Education. — 2025. — 87-4. — P. 160–164. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82680028> (accessed: 24.01.26). [in Russian]

26. Xachirova Z.K. Primenenie mul'timedijny'x texnologij v processe obucheniya [The use of multimedia technologies in the learning process] / Z.K. Xachirova // Pedagogical Bulletin. — 2024. — 35. — P. 59–61. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=79722814> (accessed: 24.01.26). [in Russian]

27. Stepanov M.V. Ispol'zovanie iskusstvennogo intellekta dlya sozdaniya personalizirovanny'x zadaniy: pedagogicheskie i texnologicheskie aspekty' [The use of artificial intelligence to create personalized tasks: pedagogical and technological aspects] / M.V. Stepanov // Scientific Notes. Electronic scientific journal of Kursk State University. — 2025. — 3(75). — P. 273–280. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82949699> (accessed: 24.01.26). [in Russian]

28. Nikolaev A.A. Sovremennyy'j urok ximii: primery' vozmozhnostej dlya provedeniya laboratorny'x rabot [Modern chemistry lesson: examples of opportunities for laboratory work] / A.A. Nikolaev // Cifra. Pedagogy. — 2025. — 3(9). — DOI: 10.60797/PED.2025.9.6 [in Russian]

29. Buzmakov M.D. Texnologii proektirovaniya i razrabotki interaktivny'x laboratorny'x rabot v trexmernoj virtual'noj srede [Technologies of designing and developing interactive laboratory work in a three-dimensional virtual environment] / M.D. Buzmakov, I.V. Il'in, E.V. Ospennikova // Bulletin of Perm State Humanitarian Pedagogical University. Series: Information computer technologies in education. — 2020. — 16. — P. 30–46. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44396504> (accessed: 24.01.26). [in Russian]

30. Xablieva S.R. Ispol'zovanie virtual'noj i dopolnennoj real'nosti v obrazovatel'nom processe [The use of virtual and augmented reality in the educational process] / S.R. Xablieva // The world of science, culture, education. — 2024. — 6(109). — P. 316–318. — DOI: 10.24412/1991-5497-2024-6109-316-318 [in Russian]

31. Banaru A.M. Osobennosti ispol'zovaniya Moskovskoi elektronnoi shkoli v klassakh s profilnim izucheniem khimii [Features of using the Moscow electronic School in classes with specialized chemistry studies] / A.M. Banaru, A.N. Grigorev // Aktual'nye problemy obucheniya himii, biologii, ekologii i estestvoznaniyu v usloviyah cifrovizatsii obrazovaniya [Current Problems of Teaching Chemistry, Biology, Ecology and Natural Sciences in the Context of Digitalization of Education]; edited by P.A. Orzhekovskogo. — Moscow: Moskovskii pedagogicheskii gosudarstvennii universitet, 2020. — P. 258–260. [in Russian]

32. Xalikova F.D. Individual'ny'e uchebny'e plany' v profil'nom obuchenii ximii [Individual curricula in specialized chemistry teaching] / F.D. Xalikova // Kazan Pedagogical Journal. — 2011. — 4(88). — P. 176–183. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19006500> (accessed: 24.01.26). [in Russian]

33. Borovskix T.A. Ob individualizatsii obucheniya ximii v shkole [On the individualization of chemistry education at school] / T.A. Borovskix // Science and school. — 2008. — 6. — P. 25–29. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17348888> (accessed: 24.01.26). [in Russian]

34. Al'kaev R.R. Laboratorno-prakticheskie raboty' kak osnovnaya forma prakticheskoy sostavlyayushhej processa obucheniya [Laboratory and practical work as the main form of the practical component of the learning process] / R.R. Al'kaev // APRIORI. Series: Natural and Technical Sciences. — 2015. — 6. — P. 1. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25115823> (accessed: 24.01.26). [in Russian]

35. Shirshova T.A. Laboratorny'e raboty' kak sredstvo motivatsii i aktivizatsii uchebnoj deyatel'nosti uchashhixsya [Laboratory work as a means of motivating and activating students' learning activities] / T.A. Shirshova, T.A. Polyakova //



Omsk Scientific Bulletin. — 2015. — 4(141). — P. 188–190. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24254743> (accessed: 24.01.26). [in Russian]

36. Nikolaev A.A. Razvitiye kompetencij i navy'kov uchashhixsya na urokax ximii: teoreticheskie i prakticheskie podxody' [Development of students' competencies and skills in chemistry lessons: theoretical and practical approaches] / A.A. Nikolaev // Philosophical, Sociological, Psychological and Pedagogical Problems of Modern Education. — 2025. — 7. — P. 526–531. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=83183348> [in Russian]

37. Evdokimova V.E. Online Test Pad kak odno iz sovremenny'x sredstv ocenivaniya rezul'tatov obucheniya [Online Test Pad as one of the modern means of evaluating learning outcomes] / V.E. Evdokimova, O.A. Kirillova, E.A. Zhdanova // Bulletin of Shadrinsky State Pedagogical University. — 2022. — 3(55). — P. 32–41. — DOI: 10.52772/25420291_2022_3_32 [in Russian]

38. Majorova P.D. Iskusstvenny'j intellekt v obrazovanii: transformaciya processov obucheniya i novye vy'zovy' [Artificial intelligence in education: transformation of learning processes and new challenges] / P.D. Majorova // Young Scientist. — 2025. — 43(594). — P. 325–326. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=83202038> [in Russian]

39. Nikolaev A.A. Sovremennye problemy' i perspektivy' mezhpredmetnogo obucheniya ximii v shkole [Modern problems and prospects of interdisciplinary chemistry teaching at school] / A.A. Nikolaev, A.V. Mitrofanova // Cifra. Pedagogy. — 2025. — 3(9). — DOI: 10.60797/PED.2025.9.4 [in Russian]