



**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.2026.13.1>

EDN: MACUJL

**ТИПИЧНЫЕ ОШИБКИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ХИМИИ В ОСНОВНОЙ ШКОЛЕ: ПРИЧИНЫ
ВОЗНИКНОВЕНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ**

Обзор

Николаев А.А.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0003-1941-7319;¹ Школа № 1253, Москва, Российская Федерация

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

Предложена: 02.06.2026; Принята: 24.07.2026; Опубликовано: 04.09.2026

Аннотация

В статье рассматривается проблема типичных ошибок обучающихся при изучении химии в основной школе. Актуальность исследования обусловлена высокой сложностью химии как учебной дисциплины, значительным уровнем абстрактности изучаемых понятий и устойчивыми затруднениями школьников в освоении химического языка, закономерностей протекания химических реакций и экспериментальной деятельности.

Цель работы заключается в анализе наиболее распространённых ошибок обучающихся, выявлении причин их возникновения и систематизации методических подходов к их предупреждению и коррекции. Статья носит обзорный характер и основана на анализе отечественной и зарубежной научно-методической литературы по проблемам химического образования.

Выделены основные группы ошибок: понятийные, фактологические, номенклатурные, расчётные, экспериментальные, а также ошибки, связанные с установлением причинно-следственных связей между химическими явлениями. Рассмотрены предметно-когнитивные, организационно-методические и психолого-мотивационные факторы, способствующие формированию устойчивых затруднений в обучении. Особое внимание уделено современным методическим решениям, направленным на предупреждение ошибок, включая средства визуализации, цифровые образовательные технологии, виртуальные лаборатории, формирующее оценивание и практико-ориентированный подход.

Сделан вывод о необходимости комплексной организации образовательного процесса, в которой ошибка рассматривается не как показатель неуспешности, а как важный инструмент диагностики и развития познавательной деятельности обучающихся.

Ключевые слова: химическое образование, обучение химии, типичные ошибки обучающихся, методика преподавания химии, познавательные затруднения, профилактика ошибок.

**TYPICAL MISTAKES MADE BY PUPILS WHEN STUDYING CHEMISTRY AT PRIMARY SCHOOL: CAUSES
AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO PREVENTION**

Review article

Nikolaev A.A.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0003-1941-7319;¹ School № 1253, Moscow, Russian Federation

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

Suggested: 02.06.2026; Accepted: 24.07.2026; Published: 04.09.2026

Abstract

The article examines the issue of typical mistakes made by pupils when studying chemistry at primary school. The relevance of the research is due to the high level of complexity of chemistry as an academic subject, the considerable degree of abstraction of the concepts studied, and the persistent difficulties pupils face in mastering the language of chemistry, the principles governing chemical reactions, and experimental work.

The aim of the work is to analyse the most common mistakes made by students, identify the causes of these mistakes, and systematise methodological approaches to their prevention and correction. The paper is a review article and is based on an analysis of Russian and international academic and methodological literature on issues relating to chemistry education.

The main categories of mistakes are identified: conceptual, factual, nomenclature-related, computational, experimental, as well as those relating to the establishment of cause-and-effect relationships between chemical phenomena. Subject-specific cognitive, organisational and methodological, and psychological and motivational factors contributing to the development of persistent learning difficulties are examined. Particular attention is paid to modern methodological approaches aimed at preventing errors, including visualisation tools, digital educational technologies, virtual laboratories, formative assessment and a practice-oriented approach.

It has been concluded that there is a need for a complex organisation of the educational process, in which mistakes are viewed not as an indication of failure, but as an important tool for assessing and developing learners' cognitive activities.



Keywords: chemistry education, chemistry teaching, common student mistakes, chemistry teaching methods, learning difficulties, mistake prevention.

Введение

Химическое образование в основной школе направлено не только на освоение системы химических знаний, но и на формирование научного мировоззрения учащихся. В современных условиях особое значение приобретает поиск методов обучения, обеспечивающих осознанное понимание химических явлений и применение полученных знаний. В условиях информационного общества роль химии неизмеримо возрастает, поскольку химические процессы лежат в основе большинства высоких технологий, определяющих место государств на мировой арене, и глубоко интегрированы в повседневную жизнь каждого человека [1], [2].

Несмотря на это, химия традиционно воспринимается обучающимися как один из наиболее сложных и серьезных предметов школьной программы, требующий не только упорства и терпения, но и высокого уровня развития абстрактного и критического мышления [3], [4], [5]. Анализ педагогической реальности последних десятилетий свидетельствует о значительном снижении интереса школьников к предмету: данные опросов показывают, что химия возглавляет антирейтинги «нелюбимых» дисциплин, что обусловлено как внутренними трудностями самого материала, так и психологическими барьерами, возникающими в процессе его освоения [4], [6].

Одной из фундаментальных проблем остается формализм в знаниях, когда учащиеся заучивают химическую символику и алгоритмы решения задач, не понимая физического смысла процессов и не умея видеть за формулами реальные вещества с их специфическими свойствами. Высокий уровень абстрактности химии, изучающей микромир через знаковые системы, часто входит в противоречие с возрастными особенностями подростков, у которых еще не в полной мере сформирована способность действовать в уме и оперировать сложными символическими конструктами. Кроме того, ситуация осложняется сокращением учебного времени и перегруженностью программ фактическим материалом, который при традиционном подходе «состав → строение → свойства» часто не укладывается в стройную систему, быстро выветриваясь из памяти [6], [7]. Психологические барьеры, такие как страх перед химическими реактивами («хемофобия»), отсутствие мотивации и установка «я гуманитарий», дополнительно препятствуют успешному обучению и приводят к накоплению типичных ошибок [4], [8].

При этом формализм знаний проявляется не только в ошибках при выполнении отдельных заданий, но и в характере рассуждений учащихся. Например, ученик может правильно воспроизводить определение вещества или записывать формулу соединения, однако затрудняться при объяснении связи между составом вещества, его строением и свойствами. Это указывает на необходимость анализа ошибок не только как результата неправильного ответа, но и как показателя особенностей усвоения химических понятий.

Указанные трудности носят системный характер и проявляются не как единичные ошибки, а как устойчивые когнитивные паттерны, воспроизводящиеся на различных этапах обучения. Это позволяет рассматривать их не как индивидуальные затруднения учащихся, а как результат взаимодействия особенностей предметного содержания и образовательной практики.

Педагогическая наука рассматривает ошибку не просто как отрицательный результат, а как важный дидактический инструмент и показатель «пробелов» в знаниях, анализ которых позволяет учителю корректировать методику преподавания [9]. Систематизация данных мониторинговых исследований и итоговой аттестации дает возможность выделить устойчивые группы заблуждений в таких блоках, как «Язык химии», «Химические реакции» и «Экспериментальные основы», что требует поиска новых методических подходов [8]. В связи с этим особую значимость приобретает анализ не только самих ошибок, но и механизмов их формирования. Современная методика предлагает переход к более наглядным и практико-ориентированным технологиям, включая использование образовательных комиксов, цифровых лабораторий, средств визуализации микромира и приемов формирующего оценивания, которые позволяют диагностировать и исправлять ошибки непосредственно в момент их возникновения [10], [11].

Несмотря на наличие значительного количества исследований, посвященных отдельным аспектам обучения химии, проблема типичных ошибок школьников часто рассматривается фрагментарно: отдельно анализируются трудности усвоения понятий, решения расчетных задач или выполнения экспериментов. Представляется актуальным объединение этих направлений в рамках единого методического анализа.

Настоящая работа представляет собой обзор литературы, целью которого является комплексный анализ природы типичных ошибок обучающихся основной школы, выявление глубинных причин их возникновения и систематизация эффективных педагогических инструментов для их предупреждения и коррекции. Исследование выполнено методом анализа и обобщения отечественных и зарубежных научно-педагогических публикаций, посвященных проблемам преподавания химии в основной школе. Применялись методы сравнительного анализа, систематизации и педагогической интерпретации полученных данных.

При подготовке рукописи использовались отдельные инструменты искусственного интеллекта, включая сервисы ChatGPT (OpenAI) и Google Gemini, исключительно в качестве вспомогательных средств при работе с текстовым материалом. Использование ИИ ограничивалось задачами редакционно-технического характера: выявлением повторяющихся формулировок, улучшением структуры отдельных фрагментов, повышением связности изложения и предложением вариантов языковой корректировки. ИИ-инструменты не применялись для разработки научной концепции или формирования авторских выводов. Отбор научных публикаций, анализ методических подходов, интерпретация представленных данных и окончательная редакция текста выполнены автором самостоятельно.

Когнитивно-психологические основы формирования и преодоления учебных затруднений

Когнитивно-психологические основы формирования и преодоления учебных затруднений при изучении химии требуют глубокого понимания того, как абстрактные научные конструкты взаимодействуют с естественными механизмами человеческого познания. Согласно современным исследованиям, учебная ошибка не является случайным сбоем, а представляет собой результат столкновения интуитивного опыта ребенка с контринтуитивной природой научной реальности [13].

Одной из особенностей химии как учебного предмета является необходимость одновременного обращения к трем уровням представления знаний, описанным в «модели Джонстона»: макроскопической (видимые явления), субмикроскопической (атомы, молекулы) и знаково-символической (формулы, уравнения) [14]. Психологический барьер возникает из-за того, что обучение часто перегружено символическим уровнем, который должен служить мостом между видимым и невидимым мирами, но на практике становится для ученика самоцелью [12]. Это приводит к формализму в знаниях, когда заучивание знаков происходит в отрыве от понимания физико-химической сущности процессов, и формула воспринимается лишь как графический объект, а не модель реального вещества [6].

С точки зрения когнитивной психологии, школьники приходят на уроки химии не как «чистые листы», а с уже сформированными исходными (житейскими) представлениями об окружающем мире. Эти донаучные представления, часто называемые «р-примитивами» (феноменологическими примитивами), являются фрагментарными, спонтанными и чрезвычайно устойчивыми к изменениям [15]. Психологическая трудность заключается в том, что в повседневной жизни ребенок продолжает ориентироваться именно на этот проверенный личным опытом житейский багаж, в то время как научные знания остаются формальной надстройкой, которая быстро выветривается из памяти [13]. Ошибки возникают в моменты, когда научная логика вступает в противоречие с интуитивной интерпретацией фактов; например, учащиеся могут наделять тепло или электрический ток свойствами материальной субстанции, а диффузию воспринимать как событие, а не как процесс уравнивания системы [12].

Психологическая теория деятельности (Л. С. Выготский, А. Н. Леонтьев, П. Я. Гальперин) постулирует, что процесс овладения понятиями определяется тем, в какую именно деятельность включен учебный материал [6], [13]. Исследования на базе оценочной модели SAM показывают, что природа затруднений меняется в зависимости от уровня освоения культурного способа действия [13]. На формальном уровне (воспроизведение по образцу), где успешность составляет около 78%, ошибки чаще связаны с дефицитом внимания или памяти. На рефлексивном уровне (понимание границ применимости правила) успешность падает до 58%, что указывает на трудности в анализе существенных отношений внутри задачи [16]. Наиболее критическая ситуация наблюдается на функциональном уровне (творческое применение в новом контексте), где лишь 25% обучающихся способны успешно действовать, что свидетельствует о глубокой фрагментарности их знаний [16].

Преодоление этих барьеров требует реализации стратегии концептуального изменения, которая направлена на перестройку ментальных моделей ученика [12], [15]. Важнейшим инструментом здесь выступает теория поэтапного формирования умственных действий, которая предполагает, что изучение вещества должно начинаться не с абстрактного состава, а с материального действия (химического эксперимента) и наблюдения свойств [6]. Только после создания прочного чувственного и вербального образа можно переходить к знаково-символическому моделированию, что позволяет избежать «раздвоения» понятий и снизить когнитивную нагрузку на начальном этапе.

Психологический комфорт и мотивация также играют решающую роль в преодолении затруднений. Внутренние барьеры, такие как «хемофобия» (страх перед реактивами) или деструктивные установки типа «я гуманитарий», создают когнитивное сопротивление, блокирующее развитие интереса к предмету [8], [16]. Кроме того, современные подростки обладают специфическим когнитивным стилем — клиповым мышлением, характеризующимся неспособностью подолгу концентрироваться на больших объемах абстрактной информации [17]. В этих условиях эффективным средством визуализации становятся образовательные комиксы, которые через визуальные метафоры и персонафикацию персонажей (например, атомов-героев) помогают выделить существенные свойства теорий в доступной и эмоционально окрашенной форме.

Следовательно, предупреждение учебных затруднений требует перехода от простого усвоения фактов к формированию способов работы с химической информацией. Использование приемов формирующего оценивания (например, «Поиск ошибки», «Уточнение „почему“», «Перевод информации») направлено не только на выявление результата обучения, но и на анализ причин возникновения ошибок, помогая учащемуся осознать собственные когнитивные дефициты и самостоятельно выстраивать траекторию их восполнения.

Типология и классификация типичных ошибок по химии

Для детального раскрытия типологии и классификации типичных ошибок необходимо рассмотреть ошибку не просто как случайный сбой, а как сложный педагогический феномен, имеющий регулярный характер и обусловленный спецификой предмета [9]. В методической литературе под типичной ошибкой понимается результат действия, совершенного неточно или неправильно вопреки намеченному плану, причем такие отклонения носят массовый характер и повторяются у разных поколений обучающихся. Современные исследователи подчеркивают, что анализ таких ошибок имеет огромное дидактическое значение: через их исправление ребенок лучше запоминает материал, а учитель получает инструмент для диагностики реальных «пробелов» в знаниях [13].

В рамках данной статьи под типичной ошибкой понимается не единичное неправильное действие, а устойчивое затруднение, которое повторяется у значительного числа обучающихся и связано с особенностями формирования химических знаний. Такой подход позволяет перейти от простой фиксации неправильного ответа к анализу причин его возникновения. Классификация типичных ошибок может осуществляться по различным основаниям: характеру познавательной деятельности, уровню усвоения материала и степени влияния на результат обучения.

3.1. Классификация по характеру познавательной деятельности

Данный подход позволяет локализовать проблему в зависимости от того, на каком этапе работы с материалом возникает искажение знаний [9].

Теоретические и понятийные ошибки проявляются в неспособности обучающихся дать корректное научное определение или выделить родовые признаки понятия [9]. Типичным примером является «отсутствии обобщения», когда вместо формулировки «реакция нейтрализации — это реакция обмена...» ученики говорят «это когда взаимодействуют кислота и щелочь». Также к этой группе относятся ошибки в понимании фундаментальных теорий, например, неверное определение направления смещения химического равновесия при изменении температуры.

Фактологические и операциональные ошибки — самая масштабная группа, связанная с использованием знаковых систем. Исследования показывают, что до 91% школьников знают знаки химических элементов, однако часто путают схожие названия, например, калий и кальций, или указывают простое вещество вместо химического элемента [2], [16]. Более 65% всех предметных затруднений приходится на составление формул и уравнений, где школьники допускают ошибки в подборе индексов на основе валентности или в расстановке коэффициентов [9].

Обучающиеся часто смешивают названия солей со схожими корнями, такими как нитриды, нитриты и нитраты [9]. Это является **ошибками в химической номенклатуре**. Статистический анализ продуктов деятельности восьмиклассников за 26 лет показал, что ошибки, связанные с номенклатурой, составляют 27,83% от общего числа нарушений.

Школьники часто **не видят системности предмета**, полагая, например, что сила основания напрямую зависит от его растворимости [9], не учитывая множество других факторов. Также наблюдается использование устойчивых шаблонов: после изучения основ химии ученики часто не могут избавиться от убеждения, что металлы после водорода вообще не вступают в реакции с кислотами, игнорируя свойства концентрированной азотной кислоты и возможности протекания реакций ОВР.

Экспериментальные ошибки — нарушения техники безопасности и неверная интерпретация наблюдаемых явлений [9]. Типичной является ситуация, когда ученик делает вывод о протекании реакции только на основании выделения газа, который на самом деле мог быть просто растворен в жидкости и выделился при нагревании или изменении давления [2].

3.2. Психолого-педагогическая уровневая классификация

Исследователи выделяют три уровня владения химическим материалом, на каждом из которых природа ошибки принципиально меняется [16].

Формальный уровень (воспроизведение) — ученик действует по готовому образцу. Ошибки на этом уровне интерпретируются как простые пробелы в памяти [13], при этом только четверть учеников испытывает сложности на этом уровне.

Рефлексивный уровень (применение учебного опыта в стандартной учебной ситуации) требует понимания границ применимости правила. Успешность выполнения таких задач падает до 58% [16]. Ошибки свидетельствуют о том, что ученик может назвать термин, но не способен применить его в знакомом контексте [13].

Функциональный уровень (применение знаний и умений в новой ситуации) — в творческий перенос знаний в нестандартные задачи [13], [16]. Здесь фиксируется критически низкий показатель — всего 25% правильных ответов. Ошибки на этом уровне говорят о фрагментарности знаний, которые не образуют целостной научной картины мира [4].

3.3. Классификация по тяжести и предметным блокам

Для объективной оценки результатов обучения в методике выделяют 2 категории ошибок по степени их влияния на химическую суть ответа [9].

Грубые ошибки (незнание символов элементов, формул основных веществ, единиц измерения, признаков качественных реакций или грубое нарушение техники безопасности)

Негрубые ошибки и недочеты (неполнота ответа, использование нерационального пути решения задачи, мелкие арифметические погрешности).

Анализ результатов ЕГЭ и ОГЭ позволяет распределить типичные затруднения по теоретическим блокам. Наиболее проблемной зоной признан блок «**Химические реакции**», на который приходится до 40% всех ошибок, особенно в темах реакций ионного обмена и окислительно-восстановительных процессов (ОВР). В блоке «**Язык химии**» (знаки химических элементов и формулы) фиксируется около 26% ошибок [8], [9]. В органической химии наиболее устойчивыми являются ошибки в написании структурных формул (нарушение валентности углерода в алканах) и формул спиртов [2], [16].

Особую категорию составляют **устойчивые ошибки**, которые сохраняются у обучающихся на протяжении нескольких лет — от 8-го класса до вузовского обучения [2], [9]. К ним относится игнорирование условий протекания реакций (температура, катализатор) и механическое написание уравнений неосуществимых процессов [9]. Без глубокого понимания причин возникновения этих заблуждений невозможно выстроить эффективную методику их предупреждения.

Проведенный анализ показывает, что одна и та же ошибка может иметь разные причины возникновения. Например, неправильная запись уравнения реакции может быть связана как с недостаточным знанием алгоритма, так и с непониманием сущности химического процесса. Поэтому при выборе методов предупреждения ошибок необходимо учитывать не только их внешнее проявление, но и механизм формирования затруднения.

Причины возникновения затруднений у обучающихся

Причины возникновения затруднений у обучающихся представляют собой сложный комплекс факторов, которые препятствуют эффективному освоению химии в основной школе. В методической литературе эти причины принято



разделять на предметно-когнитивные, организационно-методические и психолого-мотивационные, которые в совокупности формируют устойчивые познавательные барьеры.

4.1. Предметно-когнитивные факторы: природа химического знания

Фундаментальной сложностью химии является её **высокий уровень абстрактности** [5], [6]. В отличие от биологии или географии, где объекты часто доступны для прямого наблюдения, химия изучает микромир (атомы, молекулы, происходящие на микроуровне процессы), который невозможно увидеть невооруженным глазом [4], [6]. Обучающимся приходится оперировать сложными символическими системами – «химическим языком», за которым не видно реальных веществ [1].

Это порождает проблему **формализма в знаниях**, при которой ученики механически заучивают формулы и алгоритмы расстановки коэффициентов, не понимая сущности процессов протекания реакций [6]. Формула для восьмиклассника часто остается лишь графическим изображением на бумаге, а не моделью реального объекта с определёнными свойствами. Такая ситуация осложняется тем, что у многих подростков к началу 8-го класса еще не в полной мере сформировано **теоретическое мышление** и способность совершать сложные логические операции «в уме», что необходимо для понимания таких абстракций, как валентность или количество вещества [7].

4.2. Организационно-методические причины: перегруженность и дефицит времени

Современная школа также сталкивается с противоречием между объемом обязательного материала и количеством времени на его изучение. Исследователи отмечают, что интенсивность обучения химии сегодня в 2–3 раза выше, чем в середине XX века [6]. **Сокращение учебного времени** (до 1–2 часов в неделю) при перегруженности программ фактическим материалом приводит к тому, что знания не укладываются в стройную систему и быстро утрачиваются [1], [7]. Дополнительным барьером выступает **несогласованность учебных программ** смежных предметов. Например, понятия об электронах и строении атома вводятся в химии в 8-м классе, тогда как в физике этот материал изучается только в 9-м, что порождает фрагментарность и непонимание физической составляющей химических явлений [4], [18].

Критическим фактором является **деградация системы химического эксперимента** [1], [7]. Из-за нехватки реактивов, оборудования или рабочего времени на освоение теоретической программы учителя вынуждены заменять живой эксперимент «электронными опытами» или просто рассказом. Это лишает химию наглядности и возможности провести эксперимент вживую, что крайне важно для преодоления формализма знаний. Использование традиционных лекционных методов без активного вовлечения учащихся лишь усиливает пассивность обучения и снижает его эффективность [19], [20].

4.3. Психолого-мотивационные барьеры: интерес и социальные установки

Снижение интереса к предмету часто начинается уже в середине 8-го класса, когда нарастает объем непонятого абстрактного материала [7]. Обучающиеся часто не видят **связи химии с реальной жизнью** и бытовыми потребностями, воспринимая её как нечто «ненужное» и «непопулярное» [21]. Важную роль в этом играют деструктивные психологические установки. Широко распространенный миф «**я гуманитарий, мне химия не нужна**» служит для ученика оправданием нежелания вникать в сложности предмета [8]. Кроме того, в обществе и СМИ активно подогревается «**хемофобия**» — восприятие химии исключительно как источника опасности и загрязнения среды, что формирует негативный эмоциональный фон вокруг предмета [2], [8].

Личностные факторы, такие как **страх неудачи**, боязнь совершить ошибку при работе с реактивами или низкая самооценка, мешают ученикам проявлять инициативу [4], [8]. Часто школьники просто не могут четко сформулировать, в чем именно у них возникло затруднение, и стесняются обращаться за помощью к учителю или сверстникам, что ведет к накоплению «снежного кома» непонимания [8].

Следовательно, причины учебных ошибок нельзя свести только к особенностям содержания химии. На практике затруднения возникают на пересечении нескольких факторов: сложности понятийного аппарата предмета, особенностей организации учебного процесса и отношения учащихся к изучению дисциплины. Именно поэтому профилактика ошибок требует не отдельного приема, а согласованной системы педагогических действий.

Методические подходы к предупреждению и коррекции типичных ошибок обучающихся

В современной методике преподавания акцент смещается с простой констатации ошибок на создание условий, в которых учащийся становится активным субъектом, способным самостоятельно диагностировать и исправлять свои собственные ошибки [3], [9], [14]. При этом задействуется ряд методических способов и подходов к достижению этой цели.

5.1. Методологическая трансформация и логика изложения материала

Одним из фундаментальных способов предупреждения формализма в знаниях является пересмотр последовательности формирования химических понятий. Традиционный для многих учебников подход «строение → состав → свойства» часто не соответствует психологическим закономерностям усвоения знаний подростками, так как требует высокого уровня абстракции с самых первых уроков [6].

Исследователи предлагают следовать **историко-логическому принципу**, начиная изучение с системы знаний о свойствах веществ, что позволяет уменьшить количество символическо-графических средств на начальном этапе и избежать «раздвоения» понятий между реальным объектом и его моделью [6]. Важным теоретическим фундаментом здесь выступает **теория поэтапного формирования умственных действий П.Я. Гальперина**, которая предполагает обязательную опору на материальные действия (химический эксперимент, визуализацию, структуризацию) и внешнеречевую деятельность перед переходом к операциям «в уме».

5.2. Средства визуализации и структурирования знаний

Для преодоления когнитивных барьеров, вызванных перегруженностью программ и «клиповым мышлением» современных школьников, современная методика преподавания химии предлагает широкий спектр графических инструментов:

Использование **схем и таблиц** на разных этапах урока позволяет структурировать объемный текст, фиксировать внимание на главном и наглядно изображать логические связи между понятиями [22].

Применение **образовательных комиксов** и персонификации химических объектов (например, «атомов-героев» в теме ОВР и/или строения атома) помогает учащимся выделить существенные свойства теорий в доступной и эмоционально окрашенной форме, использование комиксов значительно повышает мотивацию и качество понимания даже в условиях дистанционного обучения [17].

5.3. Цифровые технологии и интеллектуальные системы

Использование цифровых технологий расширяет возможности диагностики учебных способностей ученика и коррекции ошибок за счет интерактивных заданий и оперативной обратной связи от учителя:

Виртуальные лаборатории (например, реализованные в системе МЭШ) позволяют безопасно моделировать эксперименты, многократно повторять реакции и наблюдать за процессами на микроуровне, что критически важно при нехватке реальных реактивов или оборудования [4], [23], [24].

Автоматизированная генерация задач с использованием скриптов на языке Python или возможностей платформы Online Test Pad позволяет создавать индивидуальные варианты задач с разными числовыми данными, но одинаковой сложностью, что исключает механическое списывание и способствует осознанной отработке навыков учениками [10], [25].

5.4. Технология формирующего оценивания

Для своевременной коррекции ошибок активно внедряется технология **формирующего оценивания**, которая направлена не на фиксацию итогового результата, а на мониторинг процесса обучения [11]. Среди приемов формирующего оценивания, применяемых при обучении химии, можно выделить задания на поиск ошибок, преобразование информации и объяснение сложных понятий доступным языком:

«**Поиск ошибки**», в котором учитель намеренно дает задание с типичными ошибками (например, в названиях алканов или расстановке коэффициентов), которые ученики должны обнаружить и исправить.

«**Перевод информации из текста**», при котором учениками выполняются задания на преобразование текста в график, схему или таблицу позволяют учителю выявить «слабые места» в понимании логики процесса.

«**Упрощение учебного материала**», когда подготовка урока производится самим учеником, готовящим пересказ сложной темы для «младшего школьника» или одноклассников, это заставляет ученика сконцентрироваться на сути понятия.

5.5. Межпредметный и практико-ориентированный подходы

Для профилактики ошибок активно используются **межпредметные связи** (с биологией, физикой, литературой и др.) [18], [26], [27], [28], а также и проектная деятельность [29], [30], [31]. Решение задач с прикладным содержанием (расчет компонентов цемента, анализ состава косметики) позволяет школьникам увидеть связь химии с реальной жизнью, что снижает уровень «хемофобии» и повышает прочность остаточных знаний [2], [21]. Интеграция проектного метода способствует развитию исследовательских умений и критического мышления, обеспечивая применение теоретических знаний при решении практических задач [31], [32], [33].

5.6. Ошибки и этапы их возникновения на уроке

Эффективность предупреждения типичных ошибок в химии во многом определяется этапом их возникновения в структуре урока химии. В связи с этим целесообразно рассмотреть взаимосвязь этапов урока, характерных ошибок и методов их коррекции (таблица 1). Такой подход позволяет рассматривать урок химии как последовательность этапов, на каждом из которых могут формироваться специфические затруднения.

Таблица 1 - Связь типов ошибок с этапами урока и механизмы их предупреждения

DOI: <https://doi.org/10.60797/PED.2026.13.1.1>

Тип ошибки	Этап урока	Механизм предупреждения	Целевой результат	Источник
Низкая учебная мотивация и потеря интереса к предмету	Мотивация	Геймификация, использование интерактивных платформ (Kahoot, Online Test Pad) и демонстрация связи химии с повседневной жизнью	Повышение познавательной активности и субъектной позиции ученика	[4]
Формализм в знаниях (неумение видеть реальные вещества за формулами)	Объяснение нового материала	Соблюдение последовательности: химический эксперимент → наблюдение → материальная модель → создание мысленного образа → вербальный образ → знаковая модель	Формирование предметного понятийного мышления и осознанности знаний	[6]
Трудности в освоении абстрактных понятий (атомы, молекулы) из-за их невидимости		Использование наглядного 3D-моделирования, анимаций молекулярных процессов и виртуальных лабораторий	Развитие пространственного мышления и визуализация микромира	[4]
Ошибки при составлении названий алканов (определение начала цепи, выбор длинной цепи)		Прием «Поиск ошибки»: намеренное предоставление заданий с типичными ошибками для их обнаружения и анализа учащимися	Формирование аналитического мышления и навыков применения номенклатуры ИЮПАК	[11]

Тип ошибки	Этап урока	Механизм предупреждения	Целевой результат	Источник
Неправильное указание продуктов реакции металлов с концентрированными кислотами (выделение водорода)		Использование систематизирующих схем и таблиц на основе ряда активности металлов	Понимание окислительно-восстановительной сущности взаимодействия металлов с кислотами-окислителями	[34]
Ошибки при определении принадлежности оксидов к классам (кислотные, основные, амфотерные)		Использование классификационных алгоритмов и опорных сигналов (таблиц, схем)	Развитие логических операций классификации и систематизации	[9], [22]
Разрыв между символическим изображением и физическим смыслом процесса	Первичное закрепление	Перенос изучения химической символики на более поздние сроки; приоритет подсистемы знаний о свойствах над знаниями о составе на начальном этапе	Преодоление когнитивного барьера абстрактности и развитие образного мышления	[6]
Ошибки в расчетах на процентную концентрацию и вычислительные ошибки в задачах		Использование бытовых, практически значимых примеров и решение задач по алгоритму для повышения значимости расчета	Умение применять математический аппарат и навыки математического моделирования в химическом контексте	[2], [9], [16]
Страх перед работой с реактивами и выполнением лабораторных задач		Поэтапное обучение технике безопасности, использование виртуальных симуляторов перед реальным экспериментом	Снижение уровня школьной тревожности и формирование практических навыков	[4]

Тип ошибки	Этап урока	Механизм предупреждения	Целевой результат	Источник
Непонимание различий между химическим элементом и соединением		Поэтапное формирование понятий через эксперимент, наблюдение за изменением окраски индикаторов и образованием осадков	Сформированность фундаментальных понятий о составе вещества	[16], [35]
Ошибки в определении окислителя и восстановителя		Использование образовательных комиксов с визуальными метафорами и персонификацией атомов	Преодоление познавательного барьера в освоении абстрактных процессов передачи электронов	[17]
Смешивание понятий химического элемента и простого вещества	Контроль	Использование заданий с открытым ответом для фиксации рассуждений ребенка и выявления его исходных житейских представлений	Научная корректность терминологии и устранение заблуждений	[2], [13]
Неумение применить теорию в нестандартных ситуациях		Включение задач функционального уровня (по модели SAM) и проектная деятельность междисциплинарного характера	Развитие функциональной грамотности и метапредметных компетенций	[13], [31]
Ошибки в расстановке коэффициентов в уравнениях химических реакций		Своевременная поддержка на этапе появления затруднений, использование алгоритмов подсчета и методов самопроверки	Овладение навыком составления уравнений химических реакций и закономерностями сохранения массы	[8]

Тип ошибки	Этап урока	Механизм предупреждения	Целевой результат	Источник
Нарушение техники безопасности при выполнении опытов		Предварительное изучение правил охраны труда в рамках практикума и использование инструкций к лабораторным работам	Формирование культуры безопасного обращения с веществами и ответственного отношения к эксперименту	[9], [14], [36]



Анализ данных, представленных в таблице, показывает, что ошибки учащихся могут возникать на различных этапах урока, однако наибольшее разнообразие механизмов их предупреждения представлено для этапов объяснения нового материала и первичного закрепления. Это обусловлено тем, что именно на данных этапах осуществляется формирование новых понятий, способов действий и их первоначальное применение. Для предупреждения ошибок используются химический эксперимент, моделирование, алгоритмы, наглядные средства и цифровые образовательные технологии. На этапе контроля основное внимание уделяется выявлению характера затруднений, оценке сформированности знаний и развитию навыков самоконтроля.

Таким образом, профилактика типичных ошибок по химии в современной школе основывается на сочетании психологически обоснованной логики подачи материала, широком использовании средств визуализации, цифровых инструментов диагностики и переходе к системе оценивания, стимулирующей рефлексию и саморазвитие учащегося.

Заключение

Типичные ошибки в изучении химии — это сложный, структурированный феномен, обусловленный как спецификой самого предмета, так и психолого-педагогическими особенностями обучающихся. Исследования фиксируют критический разрыв в уровнях владения материалом: если с простым воспроизведением знаний справляются до 78% учащихся, то применять их в новых ситуациях способны лишь 25%. Основными барьерами на пути освоения химии остаются высокий уровень абстрактности микромира и формализм в знаниях, при котором заучивание символики подменяет понимание сути химических процессов. Ситуация усугубляется дефицитом учебного времени и сокращением доли реального химического эксперимента.

Важно отметить, что устранение ошибок не должно рассматриваться как исправление отдельных недостатков учащихся. Более продуктивным является выявление условий, при которых данные ошибки возникают, и изменение организации учебной деятельности таким образом, чтобы учащиеся могли самостоятельно обнаруживать и корректировать собственные затруднения. Проведенный анализ показывает, что предупреждение типичных ошибок требует сочетания нескольких направлений работы: изменения логики формирования понятий, использования средств визуализации, применения цифровых инструментов и включения формирующего оценивания в учебный процесс.

Таким образом, эффективная профилактика типичных ошибок возможна лишь при комплексном подходе, сочетающем теоретическую глубину с практической значимостью и современными технологиями. Создание образовательной среды, где ошибка становится инструментом познания, а не поводом для стресса, позволяет сформировать у школьников осознанную и целостную естественно-научную картину мира. Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности комплексного использования формирующего оценивания, цифровых средств визуализации и практико-ориентированных заданий при предупреждении типичных ошибок учащихся.

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. Садовничий В.А. О химии и ее преподавании в школе. Доклад на I Всероссийском съезде учителей химии / В.А. Садовничий // Российский химический журнал. — 2011. — 5-6. — С. 5–11. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17750258> (дата обращения: 02.06.26).
2. Орлова С.И. Структура и объём остаточных знаний школьного курса химии / С.И. Орлова // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. — 2016. — 2. — С. 70–75.
3. Ламзина А.А. Современные методы преподавания химии / А.А. Ламзина, И.Н. Усачева // Тенденции развития науки и образования. — 2024. — 105-1. — С. 148–151. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=61886110> (дата обращения: 02.06.26). — DOI: 10.18411/tnio-01-2024-43
4. 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). — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82841801> (дата обращения: 02.06.26). — DOI: 10.60797/PED.2025.9.3
5. Hallyyeva G. Teaching chemistry in secondary schools: challenges and best practices / G. Hallyyeva // Ceteris Paribus. — 2024. — 11. — P. 16–17. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=75104074> (accessed: 02.06.26).
6. Ilicheva E.V. Overcoming formalism in teaching the basic chemical concepts at the initial stage of chemistry education / E.V. Ilicheva // Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Sciences. — 2025. — 215. — P. 21–30. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82280692> (accessed: 02.06.26). — DOI: 10.33910/1992-6464-2025-215-21-30
7. Горбунова Е.В. Проблемы изучения химии / Е.В. Горбунова // Научный альманах. — 2022. — 11-1(97). — С. 42–44. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50001968> (дата обращения: 02.06.26).



8. Гайдукова А.П. К вопросу о происхождении ошибок учащихся на едином государственном экзамене по химии / А.П. Гайдукова // Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. — 2017. — 2(26). — С. 106–111. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29107953> (дата обращения: 02.06.26).
9. Ильязова Л.М. Типичные ошибки обучающихся, возникающие при изучении химии и способы их предупреждения и коррекции / Л.М. Ильязова // Kant. — 2018. — 3(28). — С. 54–58. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35659742> (дата обращения: 02.06.26).
10. 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: 02.07.26). — DOI: 10.60797/PED.2025.8.7
11. Ильязова Л.М. Использование формирующего оценивания на уроках химии / Л.М. Ильязова, А.В. Дружинина // Научное обозрение. Педагогические науки. — 2018. — 5. — С. 19–23. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36447631> (дата обращения: 02.06.26).
12. Li X. Long-Lasting Conceptual Change in Science Education: The Role of U-shaped Pattern of Argumentative Dialogue in Collaborative Argumentation / X. Li, Y. Li, W. Wang // Sci Educ (Dordr). — 2023. — 1. — P. 123–168. — URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/34803230> (accessed: 24.06.26). — DOI: 10.1007/s11191-021-00288-x
13. Egorenko T.A. Approaches to Identify Typical Mistakes by Primary Schoolchildren Studying Natural Science Concepts / T.A. Egorenko, S.P. Sanina // Psychological-Educational Studies. — 2021. — 4. — P. 94–106. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47410565> (accessed: 02.06.26). — DOI: 10.17759/psyedu.2021130406
14. Миренкова Е.В. Основные положения концепции методического обеспечения формирования познавательных умений школьников при обучении химии / Е.В. Миренкова // Известия Смоленского государственного университета. — 2015. — 4(32). — С. 399–411.
15. Pacaci C. Effectiveness of conceptual change strategies in science education: A meta-analysis / C. Pacaci, U. Ustun, O.F. Ozdemir // Journal of Research in Science Teaching. — 2023. — 6. — P. 1263–1325. (accessed: 24.06.26). — DOI: 10.1002/tea.21887
16. Лисичкин Г.В. Остаточные химические знания выпускников средней школы / Г.В. Лисичкин, С.И. Орлова // Вестник Московского университета. Серия 20: Педагогическое образование. — 2014. — 3. — С. 84–91. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22014763> (дата обращения: 02.06.26). — DOI: 10.51314/2073-2635-2014-3-84-91
17. Павлов И.И. Образовательный комикс как средство повышения положительной мотивации на уроке химии / И.И. Павлов, М.П. Данилова, С.И. Карпова // Вестник Майкопского государственного технологического университета. — 2019. — 3(42). — С. 103–112. — DOI: 10.24411/2078-1024-2019-13009
18. Савин Г.А. Межпредметные связи химии с другими дисциплинами в процессе преподавания ее в школе / Г.А. Савин, А.Н. Дунова, Е.Г. Бирюкова // Грани познания. — 2025. — 3(98). — С. 11–14. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82668961> (дата обращения: 02.06.26).
19. Egolum E.O. Effect of interactive instructional strategy on academic achievement of secondary school students in chemistry in awka education zone / E.O. Egolum, J.A. Eke, O.S. Ifeoma // Journal of Science Education and Research. — 2025. — Vol. 7, № 2. — P. 36–42.
20. Nwovu S.O. Effect of Collaborative Learning Strategy on Academic Achievement of Secondary School Students in Chemistry / S.O. Nwovu, C.A. Omebe // CCU Journal of Science. — 2025. — Vol. 4, № 1. — URL: <https://ccujos.com> (accessed: 02.06.2026).
21. Мартынова О.А. К вопросу о формировании интереса обучающихся к химии в средней школе // Наука и Образование / О.А. Мартынова, А.В. Кострикин. — 2022. — 2. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49458871> (дата обращения: 02.06.26).
22. Варова Т.А. Использование опорных сигналов на уроках химии / Т.А. Варова, А.Л. Марченко // Амурский научный вестник. — 2014. — 4. — С. 29–35. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23366140> (дата обращения: 02.06.26).
23. Хабдиева С.Р. Использование виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе / С.Р. Хабдиева // Мир науки, культуры, образования. — 2024. — 6(109). — С. 316–318. — DOI: 10.24412/1991-5497-2024-6109-316-318
24. 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: 02.06.26).
25. 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
26. Николаев А.А. Современные проблемы и перспективы межпредметного обучения химии в школе / А.А. Николаев, А.В. Митрофанова // Cifra. Педагогика. — 2025. — 3(9). — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82841802> (дата обращения: 14.07.26). — DOI: 10.60797/PED.2025.9.4
27. Ильина Ю.Н. Реализация межпредметных связей при обучении химии как фактор повышения эффективности учебного процесса / Ю.Н. Ильина, Н.И. Кочергина, С.В. Польских // Современное педагогическое образование. — 2023. — 3. — С. 114–117. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50491550> (дата обращения: 14.07.26).
28. Азизова Л.Р. Межпредметные связи химии с биологией, медициной и физикой / Л.Р. Азизова, Р.М. Гусейнов, Т.Р. Гусейнова // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Психолого-педагогические науки. — 2020. — 2. — С. 11–18. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46622130> (дата обращения: 14.07.26). — DOI: 10.31161/1995-0659-2020-14-2-11-18



29. Николаев А.А. Проектная деятельность по химии как способ улучшения практических навыков / А.А. Николаев, А.В. Митрофанова // Международная научно-практическая конференция «Теоретические и прикладные аспекты естественнонаучного образования». — Чебоксары : Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева, 2025. — С. 218–223.
30. Николаев А.А. Организация подготовки учащихся к ГИА-9 с помощью проектной деятельности по химии / А.А. Николаев // Всероссийская научно-методическая конференция «Инновационные технологии и методы их реализации в практике современного образовательного процесса». — Тверь : Тверская государственная сельскохозяйственная академия, 2026. — С. 211–214.
31. 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
32. 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> (дата обращения: 02.06.26).
33. Оганнисян Л.А. Использование метода проектов в образовательном процессе / Л.А. Оганнисян, М.А. Акопян // Таврический научный обозреватель. — 2015. — 2-1. — С. 101–104. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24506490> (дата обращения: 02.06.26).
34. Калибатова М.Н. Приемы систематизации теоретического материала по химии при подготовке учащихся к ЕГЭ / М.Н. Калибатова, Х.Б. Кушхов // Поиск научных решений. — 2023. — 1. — С. 82–92. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67856214> (дата обращения: 02.06.26).
35. Ждан Н.А. Формирование представлений о химическом анализе в школьном курсе химии / Н.А. Ждан, Н.А. Белан, В.И. Вершинин // Вестник Омского университета. — 2009. — 2(52). — С. 183–186. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13010622> (дата обращения: 24.06.26).
36. Ермаков Д.С. Подготовка преподавателей химии в химико-технологическом вузе / Д.С. Ермаков, Т.И. Рыбкина // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. — 2009. — 6. — С. 128–130. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12109288> (дата обращения: 24.06.26).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Sadovnichij V.A. O khimii i ee prepodavanii v shkole. Doklad na I Vserossijskom s'ezde uchitelej khimii [About chemistry and its teaching at school. Report at the First All-Russian Congress of Chemistry Teachers] / V.A. Sadovnichij // Russian Chemical Journal. — 2011. — 5-6. — P. 5–11. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17750258> (accessed: 02.06.26). [in Russian]
2. Orlova S.I. Struktura i ob'yom ostatochny'x znaniy shkol'nogo kursa khimii [The structure and volume of residual knowledge of the school chemistry course] / S.I. Orlova // Bulletin of the Chelyabinsk State Pedagogical University. — 2016. — 2. — P. 70–75. [in Russian]
3. Lamzina A.A. Sovremennyye metody' prepodavaniya khimii [Modern methods of teaching chemistry] / A.A. Lamzina, I.N. Usacheva // Trends in the development of science and education. — 2024. — 105-1. — P. 148–151. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=61886110> (accessed: 02.06.26). — DOI: 10.18411/trnio-01-2024-43 [in Russian]
4. Nikolaev A.A. Problemy' v izuchenii khimii 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). — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82841801> (accessed: 02.06.26). — DOI: 10.60797/PED.2025.9.3 [in Russian]
5. Hallyyeva G. Teaching chemistry in secondary schools: challenges and best practices / G. Hallyyeva // Ceteris Paribus. — 2024. — 11. — P. 16–17. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=75104074> (accessed: 02.06.26).
6. Ilicheva E.V. Overcoming formalism in teaching the basic chemical concepts at the initial stage of chemistry education / E.V. Ilicheva // Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Sciences. — 2025. — 215. — P. 21–30. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82280692> (accessed: 02.06.26). — DOI: 10.33910/1992-6464-2025-215-21-30
7. Gorbunova E.V. Problemy' izucheniya khimii [Problems of studying chemistry] / E.V. Gorbunova // Scientific Almanac. — 2022. — 11-1(97). — P. 42–44. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50001968> (accessed: 02.06.26). [in Russian]
8. Gajdukova A.P. K voprosu o proisxozhdenii oshibok uchashhixsya na edinom gosudarstvennom e'kzamine po khimii [On the issue of the origin of student errors in the Unified State Chemistry exam] / A.P. Gajdukova // Bulletin of the Moscow State Pedagogical University. Series: Natural Sciences. — 2017. — 2(26). — P. 106–111. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29107953> (accessed: 02.06.26). [in Russian]
9. Il'yazova L.M. Tipichny'e oshibki obuchayushhixsya, vznikayushhie pri izuchenii khimii i sposoby' ix preduprezhdeniya i korrektsii [Typical mistakes of students that occur when studying chemistry and ways to prevent and correct them] / L.M. Il'yazova // Kant. — 2018. — 3(28). — P. 54–58. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35659742> (accessed: 02.06.26). [in Russian]
10. Nikolaev A.A. Cifrovizatsiya na urokax khimii: 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: 02.07.26). — DOI: 10.60797/PED.2025.8.7 [in Russian]
11. Il'yazova L.M. Ispol'zovanie formiruyushhego ocenivaniya na urokax khimii [Using Formative Assessment in Chemistry lessons] / L.M. Il'yazova, A.V. Druzhinina // Scientific review. Pedagogical Sciences. — 2018. — 5. — P. 19–23. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36447631> (accessed: 02.06.26). [in Russian]



12. Li X. Long-Lasting Conceptual Change in Science Education: The Role of U-shaped Pattern of Argumentative Dialogue in Collaborative Argumentation / X. Li, Y. Li, W. Wang // *Sci Educ (Dordr)*. — 2023. — 1. — P. 123–168. — URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/34803230> (accessed: 24.06.26). — DOI: 10.1007/s11191-021-00288-x
13. Egorenko T.A. Approaches to Identify Typical Mistakes by Primary Schoolchildren Studying Natural Science Concepts / T.A. Egorenko, S.P. Sanina // *Psychological-Educational Studies*. — 2021. — 4. — P. 94–106. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47410565> (accessed: 02.06.26). — DOI: 10.17759/psyedu.2021130406
14. Mirenkova E.V. Osnovny'e polozheniya koncepcii metodicheskogo obespecheniya formirovaniya poznavatel'ny'x umenij shkol'nikov pri obuchenii khimii [The main provisions of the concept of methodological support for the formation of cognitive skills of schoolchildren in teaching chemistry] / E.V. Mirenkova // *Proceedings of the Smolensk State University*. — 2015. — 4(32). — P. 399–411. [in Russian]
15. Pacaci C. Effectiveness of conceptual change strategies in science education: A meta-analysis / C. Pacaci, U. Ustun, O.F. Ozdemir // *Journal of Research in Science Teaching*. — 2023. — 6. — P. 1263–1325. (accessed: 24.06.26). — DOI: 10.1002/tea.21887
16. Lisichkin G.V. Ostatochny'e khimicheskie znaniya vy'pusknikov srednej shkoly' [Residual chemical knowledge of high school graduates] / G.V. Lisichkin, S.I. Orlova // *Bulletin of the Moscow University. Episode 20: Teacher Education*. — 2014. — 3. — P. 84–91. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22014763> (accessed: 02.06.26). — DOI: 10.51314/2073-2635-2014-3-84-91 [in Russian]
17. Pavlov I.I. Obrazovatel'ny'j komiks kak sredstvo povysheniya polozhitel'noj motivatsii na uroke khimii [Educational comics as a means of increasing positive motivation in chemistry class] / I.I. Pavlov, M.P. Danilova, S.I. Karpova // *Bulletin of the Maikop State Technological University*. — 2019. — 3(42). — P. 103–112. — DOI: 10.24411/2078-1024-2019-13009 [in Russian]
18. Savin G.A. Mezhpredmetny'e svyazi khimii s drugimi disciplinami v processe prepodavaniya ee v shkole [Interdisciplinary connections of chemistry with other disciplines in the process of teaching it in school] / G.A. Savin, A.N. Dunova, E.G. Biryukova // *The facets of cognition*. — 2025. — 3(98). — P. 11–14. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82668961> (accessed: 02.06.26). [in Russian]
19. Egolum E.O. Effect of interactive instructional strategy on academic achievement of secondary school students in chemistry in awka education zone / E.O. Egolum, J.A. Eke, O.S. Ifeoma // *Journal of Science Education and Research*. — 2025. — Vol. 7, № 2. — P. 36–42.
20. Nwovu S.O. Effect of Collaborative Learning Strategy on Academic Achievement of Secondary School Students in Chemistry / S.O. Nwovu, C.A. Omebe // *CCU Journal of Science*. — 2025. — Vol. 4, № 1. — URL: <https://ccujos.com> (accessed: 02.06.2026).
21. Martinova O.A. K voprosu o formirovanii interesa obuchayushchikhsya k khimii v srednei shkole [On the formation of students' interest in chemistry in secondary school] // *Nauka i Obrazovanie [Science and Education]* / O.A. Martinova, A.V. Kostrikin. — 2022. — 2. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49458871> (accessed: 02.06.26). [in Russian]
22. Varova T.A. Ispol'zovanie oporny'x signalov na urokax khimii [Using reference signals in chemistry lessons] / T.A. Varova, A.L. Marchenko // *Amur Scientific Bulletin*. — 2014. — 4. — P. 29–35. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23366140> (accessed: 02.06.26). [in Russian]
23. 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, and education*. — 2024. — 6(109). — P. 316–318. — DOI: 10.24412/1991-5497-2024-6109-316-318 [in Russian]
24. Buzmakov M.D. Tekhnologii proektirovaniya i razrabotki interaktivny'x laboratorny'x rabot v trexmernoj virtual'noj srede [Technologies for designing and developing interactive laboratory work in a three-dimensional virtual environment] / M.D. Buzmakov, I.V. Il'in, E.V. Ospennikova // *Bulletin of the 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: 02.06.26). [in Russian]
25. Evdokimova V.E. Online Test Pad kak odno iz sovremenny'x sredstv ocenivaniya rezul'tatov obucheniya [Online Test Pad as one of the modern tools for 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]
26. Nikolaev A.A. Sovremennyye problemy' i perspektivy' mezhpredmetnogo obucheniya khimii v shkole [Modern problems and prospects of interdisciplinary chemistry teaching at school] / A.A. Nikolaev, A.V. Mitrofanova // *Cifra. Pedagogy*. — 2025. — 3(9). — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82841802> (accessed: 14.07.26). — DOI: 10.60797/PED.2025.9.4 [in Russian]
27. Il'ina Yu.N. Realizatsiya mezhpredmetny'x svyazej pri obuchenii khimii kak faktor povysheniya e'ffektivnosti uchebnogo processa [Implementing interdisciplinary connections in chemistry education as a factor in improving the efficiency of the educational process] / Yu.N. Il'ina, N.I. Kochergina, S.V. Pol'skix // *Modern pedagogical education*. — 2023. — 3. — P. 114–117. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50491550> (accessed: 14.07.26). [in Russian]
28. Azizova L.R. Mezhpredmetny'e svyazi khimii s biologiej, medicinoj i fizikoj [Interdisciplinary connections between chemistry, biology, medicine, and physics] / L.R. Azizova, R.M. Gusejnov, T.R. Gusejnova // *Proceedings of the Dagestan State Pedagogical University. Psychological and Pedagogical Sciences*. — 2020. — 2. — P. 11–18. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46622130> (accessed: 14.07.26). — DOI: 10.31161/1995-0659-2020-14-2-11-18 [in Russian]
29. Nikolaev A.A. Proektnaya deyatel'nost po khimii kak sposob uluchsheniya prakticheskikh navikov [Chemistry projects as a way to improve practical skills] / A.A. Nikolaev, A.V. Mitrofanova // *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "Teoreticheskie i prikladnye aspekty estestvennonauchnogo obrazovaniya"* [International Scientific and Practical



Conference "Theoretical and Applied Aspects of Natural Science Education"]. — Cheboksari : I.Ya. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University 2025. — P. 218–223. [in Russian]

30. Nikolaev A.A. Organizatsiya podgotovki uchashchikhsya k GIA-9 s pomoshchyu proektnoi deyatel'nosti po khimii [Organizing students' preparation for the 9th grade exams through chemistry project activities] / A.A. Nikolaev // Vserossiyskaya nauchno-metodicheskaya konferenciya "Innovacionnye tekhnologii i metody ih realizacii v praktike sovremennogo obrazovatel'nogo processa" [All-Russian Scientific and Methodological Conference "Innovative Technologies and Methods of Their Implementation in the Practice of the Modern Educational Process"]. — Tver : Tver State Agricultural Academy, 2026. — P. 211–214. [in Russian]

31. 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]

32. Nikolaev A.A. Razvitiye kompetencij i navy'kov uchashhixsya na urokax ximii: teoreticheskie i prakticheskie podxody' [Developing 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> (accessed: 02.06.26). [in Russian]

33. Ogannisyan L.A. Ispol'zovanie metoda projektov v obrazovatel'nom processe [Using the project method in the educational process] / L.A. Ogannisyan, M.A. Akopyan // The Tauride Scientific Observer. — 2015. — 2-1. — P. 101–104. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24506490> (accessed: 02.06.26). [in Russian]

34. Kalibatova M.N. Priemy' sistematizacii teoreticheskogo materiala po ximii pri podgotovke uchashhixsya k EGE' [Methods of systematizing theoretical material in chemistry when preparing students for the Unified State Exam] / M.N. Kalibatova, X.B. Kushxov // Search for scientific solutions. — 2023. — 1. — P. 82–92. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67856214> (accessed: 02.06.26). [in Russian]

35. Zhdan N.A. Formirovanie predstavlenii o ximicheskoy analize v shkol'nom kurse ximii [Developing an understanding of chemical analysis in the school chemistry course] / N.A. Zhdan, N.A. Belan, V.I. Vershinin // Bulletin of Omsk University. — 2009. — 2(52). — P. 183–186. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13010622> (accessed: 24.06.26). [in Russian]

36. Ermakov D.S. Podgotovka prepodavatelej ximii v ximiko-tekhnologicheskoy vuzе [Training of Chemistry Teachers at a Chemical and Technological University] / D.S. Ermakov, T.I. Ry'bkina // Proceedings of Higher Educational Institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology. — 2009. — 6. — P. 128–130. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12109288> (accessed: 24.06.26). [in Russian]