

СИНТЕЗ STEM-ПОДХОДА И СИСТЕМНО-ДЕЯТЕЛЬНОСТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В БИОЛОГИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ: ИННОВАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОСНОВНОЙ ШКОЛЫ

Асророва Одиной Отабек кизи

Соискатель ученой степени Бухарского государственного университета

Тел: +998972807767

Gmail: odinaasrorova35@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20747180>

Аннотация: В статье представлены результаты комплексного исследования эффективности синтеза STEM-подхода (Science, Technology, Engineering, Mathematics) и системно-деятельностной технологии в биологическом образовании учащихся 7-9 классов. Экспериментальное исследование проводилось в 2025-2026 учебном году на базе 18 общеобразовательных школ Республики Узбекистан с участием 540 учащихся и 36 учителей. Разработанная интегрированная STEM-модель показала значительное превосходство над традиционными методами обучения: повышение уровня естественнонаучной грамотности на 34,8% ($p < 0,001$), развитие инженерного мышления на 42,3% ($p < 0,001$), формирование цифровых компетенций на 38,7% ($p < 0,001$), усиление мотивации к STEM-карьере на 45,2% ($p < 0,001$). Корреляционный анализ выявил значимые взаимосвязи между компонентами STEM-образования и академическими достижениями учащихся. Результаты исследования обосновывают необходимость системного внедрения STEM-подхода в биологическое образование и предоставляют научно-методическое обеспечение для его реализации.

Ключевые слова: STEM-образование, системно-деятельностная технология, биологическое образование, инженерное мышление, естественнонаучная грамотность, цифровые компетенции, междисциплинарная интеграция, инновационное образование

ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие науки и технологий в XXI веке обуславливает необходимость кардинального пересмотра подходов к естественнонаучному образованию. Концепция STEM-образования (Science, Technology, Engineering, Mathematics), зародившаяся в начале 2000-х годов в США и получившая широкое распространение в образовательных системах развитых стран, представляет собой интегрированный подход к обучению, направленный на формирование у учащихся комплексных знаний и навыков в области естественных наук, технологий, инженерии и математики. В условиях четвертой промышленной революции и цифровой трансформации общества особую актуальность приобретает подготовка молодого поколения к жизни и деятельности в высокотехнологичном мире. Согласно прогнозам Всемирного экономического форума, к 2030 году более 70% новых рабочих мест будут требовать STEM-компетенций, что делает развитие соответствующих образовательных программ стратегическим приоритетом.

Республика Узбекистан, реализуя амбициозную программу модернизации системы образования, активно внедряет международные образовательные стандарты и инновационные педагогические технологии. Стратегия развития образования до 2030 года предусматривает создание современной системы естественнонаучного и технологического образования, способной обеспечить подготовку

высококвалифицированных кадров для инновационной экономики. Биологическое образование в этом контексте играет особую роль, поскольку биология как наука находится на стыке различных дисциплин и тесно связана с медициной, биотехнологией, экологией, информатикой, химией и физикой. Современная биология немыслима без использования высоких технологий: от микроскопии высокого разрешения до биоинформатики и геномной инженерии. Это создает естественные предпосылки для интеграции STEM-подхода в биологическое образование.

Однако простое механическое объединение различных предметных областей не обеспечивает ожидаемого образовательного эффекта. Необходима разработка научно обоснованной методической системы, учитывающей психолого-педагогические закономерности развития учащихся подросткового возраста и специфику биологического содержания. Особую перспективность в этом плане представляет синтез STEM-подхода с системно-деятельностной технологией, что позволяет обеспечить не только междисциплинарную интеграцию, но и активную познавательную деятельность учащихся.

Цель исследования: теоретически обосновать, разработать и экспериментально проверить эффективность модели синтеза STEM-подхода и системно-деятельностной технологии в биологическом образовании учащихся 7-9 классов.

Задачи исследования:

1. Проанализировать теоретические основы STEM-образования и возможности его интеграции с системно-деятельностной технологией.
2. Разработать концептуальную модель STEM-ориентированного биологического образования для основной школы.
3. Создать учебно-методический комплекс для реализации разработанной модели.
4. Провести педагогический эксперимент по апробации модели и оценить ее эффективность.
5. Сформулировать научно-методические рекомендации по внедрению STEM-подхода в биологическое образование.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

STEM-образование как педагогический феномен возникло в ответ на потребности инновационной экономики в высококвалифицированных специалистах, способных решать комплексные междисциплинарные задачи. Термин "STEM" был введен в научный оборот в 2001 году Национальным научным фондом США (National Science Foundation) для обозначения интегрированного подхода к изучению естественных наук, технологий, инженерии и математики. Теоретические основы STEM-образования были заложены в работах ведущих зарубежных исследователей: J. Morrison (2006), G. Yakman (2008), C. Sanders (2009), M. Honey et al. (2014), которые определили STEM-образование как междисциплинарный подход к обучению, интегрирующий содержание и методы различных предметных областей для решения реальных проблем.

Ключевые принципы STEM-образования включают:

1. Междисциплинарная интеграция - объединение знаний из различных предметных областей для решения комплексных задач.
2. Практико-ориентированность - применение теоретических знаний для решения реальных проблем.

3. Инженерный дизайн-подход - использование инженерного цикла проектирования как основы учебной деятельности.

4. Технологическая грамотность - формирование навыков работы с современными технологиями.

5. Развитие критического мышления - способность анализировать, оценивать и синтезировать информацию.

6. Коллаборативное обучение - работа в команде над решением сложных задач.

Современные исследования (English, 2016; Kelley & Knowles, 2016; Moore et al., 2020) подчеркивают важность STEM-образования для развития у учащихся так называемых "навыков XXI века": критического мышления, творчества, коммуникации, коллаборации, известных как "4К".

Биология как наука имеет естественные связи со всеми компонентами STEM. Современная биология активно использует математические методы (биостатистика, биоинформатика), высокие технологии (микроскопия, секвенирование ДНК, биосенсоры) и инженерные подходы (биоинженерия, синтетическая биология). Это создает богатые возможности для интеграции STEM-подхода в биологическое образование.

Исследования в области STEM-ориентированного биологического образования демонстрируют высокую эффективность интеграции естественнонаучных дисциплин с технологиями, инженерным делом и математикой для повышения мотивации к изучению биологии, развития понимания междисциплинарных связей, формирования практических навыков исследовательской деятельности и подготовки к будущей профессиональной деятельности в области биотехнологий. Системно-деятельностная технология, разработанная в рамках отечественной психолого-педагогической школы (Л.С. Выготский, А.Н. Леонтьев, П.Я. Гальперин, В.В. Давыдов), служит методологической основой для реализации STEM-подхода через деятельностный характер обучения, системность знаний, проблемность и рефлексивность образовательного процесса. Синтез STEM-подхода и системно-деятельностной технологии создает синергетический эффект, обеспечивающий активную познавательную деятельность в междисциплинарном контексте, формирование системного мышления и целостного мировоззрения, развитие метакогнитивных навыков и способности к саморегуляции, что в конечном итоге способствует подготовке учащихся к решению комплексных задач современной науки и техники в области биологических исследований и биотехнологических разработок.

МЕТОДОЛОГИЯ И ДИЗАЙН ИССЛЕДОВАНИЯ

Педагогический эксперимент проводился в период с сентября 2025 по май 2026 учебного года на базе 18 общеобразовательных школ, стратегически расположенных в различных регионах Республики Узбекистан для обеспечения максимальной репрезентативности выборки. Географическое распределение включало: Ташкентскую область (6 школ), город Ташкент (4 школы), Самаркандскую область (3 школы), Бухарскую область (2 школы), Ферганскую область (2 школы) и Хорезмскую область (1 школа), что позволило учесть региональные особенности системы образования и социокультурные факторы. В исследовании приняли участие 540 учащихся 7-9 классов (по 180 человек в каждой параллели) с возрастными характеристиками: 7 класс - $12,8 \pm 0,5$ года, 8 класс - $13,7 \pm 0,4$ года, 9 класс - $14,6 \pm 0,5$ года, а также 36 учителей биологии и 54 педагога смежных дисциплин (математики, физики, химии, информатики), участвовавших в реализации

междисциплинарных STEM-проектов. Гендерное распределение составило 48,3% мальчиков и 51,7% девочек при социально-экономической стратификации семей: 23,5% - высокий статус, 54,2% - средний, 22,3% - ниже среднего.

Экспериментальное исследование реализовывалось в рамках квазиэкспериментального дизайна с предварительным и итоговым тестированием, включающего экспериментальную группу (270 учащихся), обучающихся по разработанной STEM-ориентированной программе с использованием системно-деятельностной технологии, и контрольную группу (270 учащихся), занимающихся по традиционной методике биологического образования. Группы были тщательно уравновешены по ключевым параметрам: исходный уровень биологических знаний ($t = 0,34$, $p > 0,05$), математическая подготовка ($t = 0,28$, $p > 0,05$), мотивация к изучению естественных наук ($t = 0,41$, $p > 0,05$) и социально-демографические характеристики ($\chi^2 = 2,14$, $p > 0,05$), что обеспечило валидность сравнительного анализа результатов. Исследование осуществлялось в четыре последовательных этапа: подготовительный (июнь-август 2025 г.) включал разработку концептуальной модели, создание учебно-методических материалов и подготовку кадров; констатирующий этап (сентябрь 2025 г.) предполагал комплексную диагностику исходного состояния; формирующий этап (октябрь 2025 - апрель 2026 г.) характеризовался реализацией экспериментальной программы с промежуточным мониторингом; контрольный этап (май 2026 г.) завершался итоговой диагностикой и анализом результативности.

Методологический инструментарий исследования включал комплекс взаимодополняющих теоретических и эмпирических методов, обеспечивающих всестороннее изучение проблемы интеграции STEM-подхода и системно-деятельностной технологии в биологическом образовании. Теоретические методы представлены системным анализом научно-педагогической литературы, сравнительно-педагогическим анализом международного опыта STEM-образования, моделированием образовательного процесса и теоретическим обобщением полученных результатов. Эмпирическая составляющая методологии включала педагогический эксперимент с последовательной реализацией констатирующего, формирующего и контрольного этапов, структурированное наблюдение за учебным процессом, комплексное анкетирование всех участников образовательного процесса (учащихся, учителей, родителей), стандартизированное тестирование познавательных способностей и творческого потенциала, экспертную оценку исследовательских проектов учащихся, глубинные интервью с ключевыми участниками эксперимента и систематический анализ продуктов учебной деятельности.

Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием современных методов математической статистики, включающих описательную статистику с вычислением основных параметров распределения (среднее арифметическое, стандартное отклонение, медиана, квартили), проверку нормальности распределения посредством критерия Шапиро-Уилка, сравнительный анализ средних значений с применением t-критерия Стьюдента для параметрических данных и U-критерия Манна-Уитни для непараметрических распределений, анализ качественных переменных с использованием критерия χ^2 и точного критерия Фишера. Для выявления взаимосвязей между исследуемыми переменными применялся корреляционный анализ с вычислением

коэффициента Пирсона, многофакторный дисперсионный анализ (MANOVA) для оценки влияния комплекса факторов на результативность обучения, а также регрессионный анализ для определения предикторов успешности освоения STEM-ориентированной биологической программы, что обеспечило высокий уровень достоверности и валидности полученных научных результатов.

РАЗРАБОТКА STEM-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ

Разработанная модель синтеза STEM-подхода и системно-деятельностной технологии в биологическом образовании представляет собой целостную концептуальную систему, основанную на пяти фундаментальных принципах, обеспечивающих эффективную интеграцию биологических знаний с математическими, технологическими и инженерными компетенциями. Принцип междисциплинарной интеграции предполагает рассмотрение биологических знаний в контексте их органичных связей с математикой, физикой, химией, информатикой и инженерными науками, что способствует формированию целостного научного мировоззрения и понимания единства естественнонаучной картины мира. Принцип практико-ориентированности обеспечивает изучение биологических явлений и процессов через решение аутентичных практических задач, имеющих непосредственное отношение к современным вызовам биотехнологической индустрии и экологических проблем. Принцип технологической насыщенности предусматривает активное использование современных цифровых технологий не только как инструмента познания, но и как объекта изучения, что позволяет учащимся освоить актуальные методы научного исследования и понять роль технологий в развитии биологической науки. Принципы проектной деятельности и инженерного мышления создают методологическую основу для организации обучения через выполнение междисциплинарных проектов различного масштаба и сложности, формируя у учащихся способность к системному анализу проблем и разработке инновационных решений.

Структурно модель включает пять взаимосвязанных компонентов, каждый из которых выполняет специфические функции в образовательном процессе. Целевой компонент определяет стратегическую направленность на формирование STEM-грамотности через интеграцию биологических знаний с математическими, технологическими и инженерными подходами, конкретизируясь в операциональных целях: развитии естественнонаучной грамотности и понимании фундаментальных биологических закономерностей, формировании математических навыков в биологическом контексте, развитии технологических компетенций и цифровой грамотности, становлении инженерного мышления и навыков проектирования, а также развитии критического мышления и способности к решению комплексных проблем. Содержательный компонент структурирован вокруг интегрированных тематических модулей для каждого класса: в 7 классе изучается "Биотехнологии живых систем" (микроскопия и цифровые технологии, математические закономерности в живых системах, биомиметика, экологический мониторинг), в 8 классе - "Биоинженерия и медицинские технологии" (моделирование физиологических процессов, биомедицинские технологии, искусственные органы, спортивная биомеханика), в 9 классе - "Современная биология и биотехнологии" (биоинформатика, генная инженерия, биоэнергетика, экологические технологии).

Технологический компонент модели интегрирует современные методы и образовательные технологии, обеспечивающие активную познавательную деятельность учащихся в междисциплинарном контексте. Методическую основу составляют проблемное обучение с использованием реальных научных и технических задач, проектная деятельность индивидуального и группового характера, исследовательское обучение с применением современного лабораторного оборудования, дизайн-мышление для решения биологических проблем и кейс-стади на основе актуальных биотехнологических разработок. Образовательные технологии включают цифровое обучение с использованием виртуальных лабораторий, дополненную и виртуальную реальность для изучения сложных биологических процессов, 3D-моделирование биологических структур, робототехнику в биологических исследованиях и Интернет вещей для экологического мониторинга. Оценочный компонент предусматривает комплексную систему оценивания, включающую аутентичное оценивание через выполнение реальных проектов, портфолио достижений с рефлексивными компонентами, взаимооценивание в ходе групповой работы, самооценивание на основе критериальных шкал и экспертную оценку творческих проектов, при этом критерии оценивания охватывают глубину понимания биологических концепций, способность к междисциплинарной интеграции знаний, качество применения математических и технологических инструментов, инновационность подхода к решению проблем и коммуникативные навыки.

Результативный компонент модели определяет планируемые образовательные достижения на трех уровнях: предметном, метапредметном и личностном, обеспечивая комплексное развитие учащихся. Предметные результаты включают формирование системных биологических знаний на профильном уровне, понимание роли математики и технологий в современной биологии, а также освоение навыков работы с современным научным оборудованием и исследовательскими методами. Метапредметные результаты предполагают развитие инженерного и системного мышления, способности к решению комплексных междисциплинарных задач, навыков проектной деятельности и командной работы, критического мышления и способности к инновационной деятельности, что обеспечивает готовность выпускников к успешному продолжению образования в области STEM и профессиональной деятельности в высокотехнологичных отраслях. Личностные результаты характеризуются формированием устойчивой мотивации к STEM-карьере и непрерывному образованию, пониманием роли науки и технологий в решении глобальных проблем человечества, развитием экологического сознания и ответственного отношения к природе, что способствует воспитанию социально активной личности, готовой к участию в инновационном развитии общества и решению актуальных вызовов современности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты педагогического эксперимента демонстрируют существенное влияние интегрированной STEM-ориентированной модели на развитие естественнонаучной грамотности учащихся 7–9 классов, при этом оценка проводилась с использованием адаптированных заданий международного исследования PISA, дополненных авторскими материалами для диагностики междисциплинарного понимания биологических процессов, что позволило комплексно охватить когнитивные и прикладные аспекты научного мышления.

Компонент грамотности	Контрольная группа	Экспериментальная группа	Прирост	p-value
Общий балл	435 ± 18,7	587 ± 22,1	+34,8%	p < 0,001
Научное объяснение явлений	441 ± 21,3	592 ± 25,8	+34,2%	p < 0,001
Оценка научных исследований	428 ± 19,6	579 ± 21,9	+35,3%	p < 0,001
Интерпретация данных	436 ± 20,8	590 ± 24,2	+35,3%	p < 0,001

Детализированный анализ предметных областей показал, что наряду с устойчивым ростом фундаментальных биологических знаний, наиболее значимые изменения произошли в междисциплинарных областях, что подтверждает эффективность интегративного STEM-подхода и свидетельствует о формировании у учащихся способности переносить знания между различными научными доменами и применять их в новых контекстах. Развитие инженерного мышления как ключевого метапредметного результата обучения оценивалось с использованием специально разработанной диагностической методики, основанной на решении открытых задач биологического содержания, что позволило выявить значительный рост способности учащихся к системному анализу, генерации альтернативных решений и оптимизации инженерных подходов.

Компонент	Контрольная группа	Экспериментальная группа	Прирост	p-value
Общий уровень	38,7 ± 4,2	55,0 ± 5,8	+42,3%	p < 0,001
Системный анализ проблем	41,3 ± 5,1	58,9 ± 6,2	+42,6%	p < 0,001
Генерация альтернативных решений	36,8 ± 4,8	52,7 ± 5,9	+43,2%	p < 0,001
Оптимизация решений	35,2 ± 4,5	51,4 ± 5,4	+46,0%	p < 0,001
Прототипирование и тестирование	41,5 ± 5,3	57,1 ± 6,1	+37,6%	p < 0,001

Качественный анализ инженерного мышления подтвердил, что учащиеся экспериментальной группы демонстрируют более высокий уровень креативности, практической реализуемости и технологической грамотности, включая активное использование цифровых инструментов, таких как CAD-системы, 3D-моделирование и основы программирования, что отражает переход от репродуктивного к продуктивному типу мышления. Формирование цифровых компетенций, оцениваемых на основе адаптированной модели DigComp 2.1, показало комплексное развитие всех компонентов цифровой грамотности, включая информационную культуру, коммуникацию, создание

контента и решение проблем, что подтверждает эффективность использования цифровых технологий в обучении биологии.

Область компетенций	Контрольная группа	Экспериментальная группа	Прирост	p-value
Общий уровень	42,8 ± 5,3	59,4 ± 6,7	+38,7%	p < 0,001
Информационная грамотность	46,2 ± 6,1	62,8 ± 7,2	+35,9%	p < 0,001
Коммуникация и коллаборация	44,7 ± 5,8	61,5 ± 6,9	+37,6%	p < 0,001
Создание цифрового контента	38,9 ± 5,2	55,7 ± 6,4	+43,2%	p < 0,001
Безопасность	41,2 ± 4,9	58,3 ± 6,1	+41,5%	p < 0,001
Решение проблем	40,3 ± 5,5	58,9 ± 6,8	+46,2%	p < 0,001

Особое внимание было уделено развитию биоинформатических навыков как ключевого элемента современной биологии, при этом учащиеся экспериментальной группы продемонстрировали значительное повышение способности работать с биологическими базами данных, выполнять статистический анализ и визуализацию данных, что свидетельствует о формировании у них исследовательских компетенций нового поколения. Исследование мотивационной сферы показало значительное повышение интереса учащихся к STEM-направлениям, особенно в области биоинформатики, биоинженерии и биотехнологий, что указывает на формирование устойчивой профессиональной ориентации и готовности к выбору карьеры в высокотехнологичных областях науки.

Область STEM	Контрольная группа	Экспериментальная группа	Прирост	p-value
Общий интерес к STEM	28,4%	41,3%	+45,2%	p < 0,001
Биотехнологии	15,7%	32,4%	+106,4%	p < 0,001
Биоинженерия	8,9%	24,7%	+177,5%	p < 0,001
Медицинские технологии	22,1%	38,9%	+76,0%	p < 0,001
Экологические технологии	19,3%	35,6%	+84,5%	p < 0,001
Биоинформатика	6,7%	28,1%	+319,4%	p < 0,001

Анализ образовательных планов учащихся подтвердил, что внедрение STEM-модели способствует увеличению выбора профильных дисциплин и повышению намерений поступления в вузы STEM-направлений, что свидетельствует о долгосрочном влиянии

образовательной технологии на профессиональное самоопределение учащихся. Академические достижения учащихся по биологии подтвердили эффективность модели, демонстрируя рост как среднего балла, так и доли учащихся с высоким уровнем успеваемости, что свидетельствует о системном улучшении качества образования.

Показатель	Контрольная группа	Экспериментальная группа	Прирост	p-value
Средний балл	4,1 ± 0,6	4,7 ± 0,4	+14,6%	p < 0,001
Доля отличников (≥4,5)	34,2%	67,8%	+98,2%	p < 0,001
Качество знаний (≥4,0)	67,4%	89,3%	+32,5%	p < 0,001

Междисциплинарные результаты показали значительное усиление интеграции знаний из различных областей, особенно в части применения математических методов, понимания физических основ биологических процессов и развития биоинформатических навыков. Анализ возрастных особенностей показал, что эффективность модели возрастает от 7 к 9 классу, что связано с развитием абстрактного мышления и усилением профессиональной ориентации учащихся.

Класс	Естественнонаучная грамотность	Инженерное мышление	Цифровые компетенции	STEM-мотивация
7 класс	+31,2% (p<0,001)	+38,7% (p<0,001)	+41,3% (p<0,001)	+42,8% (p<0,001)
8 класс	+35,4% (p<0,001)	+43,1% (p<0,001)	+37,9% (p<0,001)	+45,9% (p<0,001)
9 класс	+37,8% (p<0,001)	+45,2% (p<0,001)	+36,8% (p<0,001)	+47,3% (p<0,001)

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты экспериментального исследования убедительно демонстрируют высокую эффективность разработанной модели синтеза STEM-подхода и системно-деятельностной технологии в биологическом образовании, при этом статистически значимое повышение всех исследуемых показателей в экспериментальной группе подтверждает основную гипотезу о синергетическом эффекте интеграции различных педагогических подходов в единую образовательную систему. Особую значимость имеет выраженное развитие инженерного мышления (+42,3%) и цифровых компетенций (+38,7%), что представляет собой ключевое достижение STEM-образования и существенно превышает аналогичные показатели в международных исследованиях, что объясняется комплексным характером разработанной модели и ее органичной адаптацией к специфике биологического содержания. Принципиально важным результатом является существенный прирост STEM-мотивации (+45,2%), имеющий стратегическое значение для решения проблемы кадрового обеспечения высокотехнологичных отраслей экономики, поскольку увеличение доли учащихся, планирующих STEM-карьеру, в 2-3 раза непосредственно соответствует приоритетам национальной образовательной политики

Республики Узбекистан в области подготовки специалистов для инновационной экономики.

Углубленный анализ качественных данных позволил выделить пять ключевых факторов эффективности разработанной модели, обеспечивающих ее высокую результативность в различных образовательных контекстах. Первым фактором является аутентичность учебных задач, основанная на использовании реальных биотехнологических проблем и вызовов современной науки, что значительно повышает внутреннюю мотивацию учащихся и обеспечивает глубокое понимание практической значимости изучаемого материала для решения актуальных проблем человечества. Вторым критически важным фактором выступает технологическая насыщенность образовательного процесса, предполагающая активное использование современных цифровых инструментов, что не только формирует технологическую грамотность учащихся, но и создает готовность к эффективной деятельности в высокотехнологичной профессиональной среде будущего. Третий фактор - междисциплинарная интеграция - обеспечивает установление содержательных связей между биологией, математикой, физикой и информатикой, способствуя формированию системного научного мышления и целостного понимания естественнонаучной картины мира. Четвертым фактором является организация проектной деятельности через выполнение долгосрочных междисциплинарных проектов различного масштаба, что эффективно развивает инженерное мышление, навыки командной работы и способность к инновационной деятельности. Пятый фактор - рефлексивность обучения - предполагает систематическую рефлексию учащимися собственной познавательной деятельности, что способствует развитию метакогнитивных навыков и формированию способности к саморегуляции учебной деятельности.

Сопоставление полученных результатов с международным опытом STEM-образования показывает, что эффективность разработанной модели существенно превышает средние показатели ведущих зарубежных исследований в данной области. Мета-анализ 164 исследований, проведенный Dochy et al., продемонстрировал среднее повышение образовательных достижений на 15-25% при использовании интегрированных педагогических подходов, в то время как наши результаты (30-45%) значительно превосходят эти показатели, что может объясняться несколькими факторами: комплексным характером разработанной модели, объединяющей STEM-подход с системно-деятельностной технологией; прочной системно-деятельностной методологической основой, обеспечивающей подлинно активную познавательную деятельность учащихся; тщательной адаптацией модели к культурно-образовательному контексту Узбекистана с учетом национальных особенностей системы образования; высокой мотивацией всех участников педагогического эксперимента к инновационной деятельности. Дополнительным фактором успешности могла стать специфика биологического содержания, которое органично интегрируется с математическими, физическими и технологическими компонентами, создавая естественную основу для междисциплинарного синтеза знаний и умений.

При интерпретации полученных результатов необходимо учитывать ряд методологических ограничений исследования, которые могли повлиять на наблюдаемые эффекты и должны быть приняты во внимание при планировании дальнейших

исследований и практическом внедрении модели. Во-первых, временные рамки исследования, ограниченные одним учебным годом, не позволяют в полной мере оценить долгосрочные эффекты модели на профессиональное самоопределение учащихся и их последующие образовательные траектории, что требует организации лонгитюдного исследования. Во-вторых, селективность выборки, обусловленная добровольным участием школ в эксперименте, могла привести к позитивной селекции наиболее инновационно настроенных педагогических коллективов, что потенциально завышает наблюдаемые эффекты по сравнению с массовым внедрением модели. В-третьих, эффект новизны, связанный с повышенной мотивацией участников эксперимента к инновационной деятельности, мог дополнительно усилить положительные результаты, что потребует проверки в условиях рутинного применения модели. В-четвертых, высокая ресурсоемкость модели, требующая значительных инвестиций в материально-техническую базу, подготовку и переподготовку педагогических кадров, может стать препятствием для широкого внедрения в условиях ограниченных бюджетных ресурсов. Перспективы дальнейшего развития исследования включают проведение лонгитюдного исследования для оценки долгосрочных эффектов STEM-образования на карьерные траектории выпускников, разработку адаптивных моделей для различных типов образовательных учреждений с учетом их ресурсных возможностей, создание комплексной системы подготовки и переподготовки STEM-педагогов, интеграцию элементов искусственного интеллекта в STEM-обучение для развития STEAM-образования, а также масштабирование модели на региональный и национальный уровни системы образования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование убедительно демонстрирует высокую эффективность синтеза STEM-подхода и системно-деятельностной технологии в биологическом образовании учащихся 7-9 классов. Разработанная и экспериментально апробированная модель обеспечила статистически значимое повышение естественнонаучной грамотности на 34,8%, развитие инженерного мышления на 42,3%, формирование цифровых компетенций на 38,7% и усиление мотивации к STEM-карьере на 45,2%. Ключевыми составляющими успешности модели являются междисциплинарная интеграция, практико-ориентированность обучения, активное использование современных технологий, проектная деятельность и систематическая рефлексия. Синергетический эффект объединения STEM-подхода и системно-деятельностной технологии создает оптимальные условия для формирования компетенций XXI века и подготовки молодого поколения к жизни в высокотехнологичном обществе.

Результаты исследования имеют важное теоретическое и практическое значение для развития системы естественнонаучного образования в Республике Узбекистан и могут быть использованы при разработке образовательных стандартов, учебных программ и методических рекомендаций. Внедрение STEM-ориентированных подходов в массовую школьную практику будет способствовать повышению качества биологического образования и обеспечению кадровых потребностей инновационной экономики. Дальнейшее развитие исследования предполагает изучение долгосрочных эффектов STEM-образования, разработку адаптивных моделей для различных образовательных

контекстов и создание системы подготовки педагогических кадров для реализации STEM-подходов в биологическом образовании.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Абдуллаева Н.С. Цифровые технологии в естественнонаучном образовании // Образование и воспитание. 2023. № 4. С. 28-35.
2. Асмолов А.Г. Системно-деятельностный подход к разработке стандартов нового поколения // Педагогика. 2009. № 4. С. 18-22.
3. Давыдов В.В. Теория развивающего обучения. М.: ИНТОР, 1996. 544 с.
4. Рахимова А.К. STEM-образование: теория и практика // Педагогическое образование. 2024. № 2. С. 45-54.
5. Турсунов Б.У. Интеграция естественнонаучных дисциплин в современной школе // Биология в школе. 2023. № 6. С. 12-19.
6. Хуторской А.В. Методика личностно-ориентированного обучения. М.: ВЛАДОС, 2005. 383 с.
7. Becker K., Park K. Effects of integrative approaches among science, technology, engineering, and mathematics (STEM) subjects on students' learning // Journal of STEM Education. 2011. Vol. 12. № 5. P. 23-37.
8. Breiner J.M., Harkness S.S., Johnson C.C., Koehler C.M. What is STEM? A discussion about conceptions of STEM in education and partnerships // School Science and Mathematics. 2012. Vol. 112. № 1. P. 3-11.
9. Bybee R.W. The case for STEM education: Challenges and opportunities. Arlington, VA: NSTA Press, 2013. 95 p.
10. Dochy F., Segers M., Van den Bossche P., Gijbels D. Effects of problem-based learning: A meta-analysis // Learning and Instruction. 2003. Vol. 13. № 5. P. 533-568.
11. English L.D. STEM education K-12: Perspectives on integration // International Journal of STEM Education. 2016. Vol. 3. № 1. P. 1-8.
12. Freeman S., Eddy S.L., McDonough M., Smith M.K., Okoroafor N., Jordt H., Wenderoth M.P. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2014. Vol. 111. № 23. P. 8410-8415.
13. Honey M., Pearson G., Schweingruber H. STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research. Washington, DC: National Academies Press, 2014. 204 p.
14. Kelley T.R., Knowles J.G. A conceptual framework for integrated STEM education // International Journal of STEM Education. 2016. Vol. 3. № 1. P. 1-11.
15. Morrison J. Attributes of STEM education: The student, the school, the classroom. Baltimore, MD: Teaching Institute for Excellence in STEM, 2006. 78 p.
16. Moore T.J., Johnston A.C., Glancy A.W. STEM integration: A synthesis of conceptual frameworks and definitions // Handbook of research on STEM education. 2020. P. 3-16.
17. Roehrig G.H., Moore T.J., Wang H.H., Park M.S. Is adding the E enough? Investigating the impact of K-12 engineering standards on the implementation of STEM integration // School Science and Mathematics. 2012. Vol. 112. № 1. P. 31-44.
18. Roberts A. Scientific literacy matters: ICT integration and science education // Computers & Education. 2013. Vol. 62. P. 398-411.

19. Sanders M. STEM, STEM education, STEMmania // The Technology Teacher. 2009. Vol. 68. № 4. P. 20-26.
20. Yakman G. STΣ@M education: An overview of creating a model of integrative education // Pupils' Attitudes Towards Technology 2008 Annual Proceedings. Netherlands: PATT. 2008. P. 335-358.

