

**ХИМИЯ, БИОЛОГИЯ, ГЕОГРАФИЯ ЖӘНЕ  
ЭКОЛОГИЯНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ  
МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ХИМИИ, БИОЛОГИИ,  
ГЕОГРАФИИ И ЭКОЛОГИИ  
METHODS OF TEACHING CHEMISTRY, BIOLOGY,  
GEOGRAPHY AND ECOLOGY**

МРНТИ 14.25.09

<https://doi.org/10.51889/3005-6217.2026.87.1.001>

Минажсева Г.С.<sup>1\*</sup> , Амандыкова М.Т.<sup>1</sup> , Болат Ж.<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан,  
\*e-mail: [mgulsharats@gmail.com](mailto:mgulsharats@gmail.com)

**МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ  
СТУДЕНТОВ ХИМИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ  
ИННОВАЦИОННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ**

*Аннотация*

Современное развитие высшего химического образования характеризуется переходом к компетентностной модели подготовки специалистов, цифровизацией образовательного процесса и необходимостью интеграции лабораторного обучения с профессиональной подготовкой. Вместе с тем методические подходы к формированию профессиональных компетенций студентов химических специальностей в условиях инновационной образовательной экосистемы остаются недостаточно разработанными.

Цель исследования заключается в разработке методики формирования профессиональных компетенций студентов химических специальностей на основе инновационной образовательной экосистемы, обеспечивающей интеграцию лабораторного обучения, цифровых образовательных технологий и компетентностно-ориентированного оценивания в рамках дисциплины «Современные аспекты хроматографии».

Методологическую основу исследования составили конструктивистский и компетентностный подходы, а также принцип согласованности результатов обучения, содержания дисциплины и оценочных средств. В работе использованы методы сравнительного анализа научной литературы, педагогического проектирования и моделирования инновационной образовательной экосистемы.

В результате исследования разработана методика формирования профессиональных компетенций студентов химических специальностей, включающая структурную модель инновационной образовательной экосистемы, этапы реализации образовательного процесса, цифровые образовательные ресурсы, лабораторные кейсы и компетентностно-ориентированные средства оценивания. Показано, что интеграция цифровых технологий, проектно-исследовательского обучения и лабораторной практики создает условия для формирования профессиональных, цифровых и трансверсальных компетенций обучающихся.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования предложенной методики при проектировании и реализации лабораторных курсов химических дисциплин, ориентированных на подготовку конкурентоспособных специалистов в условиях цифровой трансформации высшего образования.

**Ключевые слова:** инновационная образовательная экосистема, профессиональные компетенции, химическое образование, хроматография, лабораторный практикум, цифровые компетенции, трансверсальные навыки, структурное моделирование.

Г.С. Минажева<sup>1\*</sup>, М.Т. Амандыкова<sup>1</sup>, Ж. Болат<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан,

\*e-mail: [mgulsharats@gmail.com](mailto:mgulsharats@gmail.com)

## ИННОВАЦИЯЛЫҚ БІЛІМ БЕРУ ЭКОЖҮЙЕСІ ЖАҒДАЙЫНДА ХИМИЯ МАМАНДЫҚТАРЫ СТУДЕНТТЕРІНІҢ КӘСІБИ ҚҰЗЫРЕТТІЛІКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ ӘДІСТЕМЕСІ

### Аңдатпа

Химиялық жоғары білім берудің қазіргі заманғы дамуы мамандарды даярлаудың құзыреттілік моделіне көшу, білім беру процесін цифрландыру және зертханалық оқытуды кәсіптік даярлықпен интеграциялау қажеттілігімен сипатталады. Алайда, инновациялық білім беру экожүйесі жағдайында химиялық мамандықтар студенттерінің кәсіби құзыреттілігін қалыптастырудың әдістемелік тәсілдерін қолдану жеткіліксіз күйінде қалып отыр.

Зерттеудің мақсаты «Хроматографияның заманауи аспектілері» пәні шеңберінде зертханалық оқытуды, цифрлық білім беру технологиялары мен құзыреттілікке бағдарланған бағалаудың интеграциялануын қамтамасыз ететін инновациялық білім беру экожүйесі негізінде химиялық мамандықтар студенттерінің кәсіби құзыреттіліктерін қалыптастыру әдістемесін әзірлеу болып табылады.

Зерттеудің әдіснамалық негізін конструктивистік және құзыреттілік тәсілдер, сондай-ақ оқыту нәтижелерінің, пәннің мазмұны мен бағалау құралдарының үйлесімділік принциптері құрады. Жұмыста ғылыми әдебиеттерді салыстырмалы талдау, педагогикалық жобалау және инновациялық білім беру экожүйесін модельдеу әдістері қолданылды.

Зерттеу нәтижесінде химиялық мамандықтар студенттерінің кәсіби құзыреттіліктерін қалыптастырудың инновациялық білім беру экожүйесінің құрылымдық моделіне негізделген әдістемесі дайындалады, оның білім беру процесінің әртүрлі кезеңдерінде іске асырылуы, сонымен қатар цифрлық білім беру ресурстары, зертханалық кейстер мен құзыреттілікке бағытталған бағалау құралдары қамтылады. Цифрлық технологиялардың, жобалық-зерттеу арқылы оқыту мен зертханалық практиканың интеграциясы білім алушылардың кәсіби, цифрлық және трансверсальды құзыреттерін қалыптастыруға жағдай жасайтыны көрсетіледі.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы ұсынылған әдістеменің жоғары білім берудің цифрлық трансформациясы жағдайында бәсекеге қабілетті мамандарды дайындауға бағытталған химия пәндерінің зертханалық курстарын жобалау және іске асыру кезінде қолдану мүмкіндігі болып табылады.

**Түйінді сөздер:** инновациялық білім беру экожүйесі, кәсіби құзыреттіліктер, химиялық білім, хроматография, зертханалық практикум, цифрлық құзыреттіліктер, трансверсальды дағдылар, құрылымдық модельдеу.

G. Minazheva<sup>1\*</sup>, M. Amandykova<sup>1</sup>, Zh. Bolat<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan,  
\*e-mail: [mgulsharats@gmail.com](mailto:mgulsharats@gmail.com)

## METHODOLOGY FOR DEVELOPING THE PROFESSIONAL COMPETENCIES OF CHEMISTRY STUDENTS WITHIN AN INNOVATIVE EDUCATIONAL ECOSYSTEM

### Abstract

The modern development of higher chemical education is characterized by the transition to a competency-based model of specialist training, the digitalization of the educational process and the need to integrate laboratory training with professional training. At the same time, methodological approaches to the formation of professional competencies of students of chemical specialties in an innovative educational ecosystem remain insufficiently developed.

The aim of this study is to develop and validate a methodology for fostering the professional competencies of chemistry students within an innovative educational ecosystem that integrates laboratory instruction, digital educational technologies, and competency-based assessment in the course *Modern Aspects of Chromatography*.

The study was grounded in constructivist and competency-based approaches and the principle of alignment between learning outcomes, course content, and assessment. The research employed comparative analysis of the scientific literature, instructional design, and conceptual modeling of an innovative educational ecosystem.

The study resulted in the development of a methodology for fostering the professional competencies of chemistry students. The proposed methodology comprises a structural model of an innovative educational ecosystem, implementation stages, digital educational resources, laboratory case studies, and competency-based assessment tools. The findings indicate that the integration of digital technologies, project- and research-based learning, and laboratory instruction effectively supports the development of professional, digital, and transversal competencies.

The practical significance of the study lies in the applicability of the proposed methodology to the development and implementation of chemistry laboratory courses that promote the formation of professional competencies and the preparation of competitive graduates in the context of the digital transformation of higher education..

**Keywords:** *innovative educational ecosystem, professional competencies, chemistry education, chromatography, laboratory instruction, digital competencies, transversal skills, competency-based education.*

**Введение.** В условиях стремительного технологического развития, цифровой трансформации и глобализации происходит переосмысление традиционных образовательных парадигм, ориентированное на формирование компетенций, необходимых для эффективной профессиональной деятельности и адаптации к динамично меняющимся условиям современного общества. В ответ на данные вызовы система высшего образования переходит к инновационным экосистемным моделям организации образовательного процесса, направленным на комплексное развитие профессиональных, цифровых и универсальных компетенций обучающихся [1]. Важную роль в этом процессе играют инновационные образовательные экосистемы, объединяющие образовательные программы, практико-ориентированное обучение, цифровую инфраструктуру и механизмы взаимодействия с внешними стейкхолдерами.

Согласно «Концепции развития высшего образования и науки в Республике Казахстан на 2023-2029 годы», казахстанские ОВПО должны следовать мировым императивам цифровизации и перейти к модели «smart-университетов» с цифровой экосистемой. Цифровизация высшего образования сопровождается: появлением виртуальных университетов; внедрением цифровых платформ для повышения качества обучения, административных процессов, включая онлайн-системы управления курсами, виртуальные классы и электронные книги; использование искусственного интеллекта и машинного обучения для персонализации обучения и предоставления студентам индивидуальной поддержки; переход на онлайн и смешанное обучение, использование геймификации, интерактивности.

Автор статьи [2] считает, что экосистемный и студентоцентрированный подходы рассматриваются как эффективный механизм развития профессиональных, цифровых и коммуникативных компетенций обучающихся в соответствии с современными требованиями инновационной экономики. Экосистемная организация образовательного процесса обеспечивает интеграцию теоретической подготовки, лабораторного практикума и цифровых технологий, способствуя формированию профессиональных, цифровых и трансверсальных компетенций обучающихся. Для химических специальностей это особенно важно, поскольку современная профессиональная деятельность химика предполагает владение аналитическими

методами исследования, навыками работы с высокотехнологичным оборудованием, цифровой обработкой результатов анализа и способностью эффективно решать практико-ориентированные и исследовательские задачи.

Несмотря на возрастающий интерес к проблематике образовательных экосистем в условиях цифровизации высшего образования, большинство исследований сосредоточено на отдельных аспектах образовательного процесса, включая развитие цифровой инфраструктуры, внедрение онлайн-обучения и формирование цифровых компетенций обучающихся. Вследствие этого образовательная экосистема нередко рассматривается фрагментарно, тогда как вопросы интеграции цифровых технологий, практико-ориентированного обучения и компетентностно-ориентированной подготовки специалистов остаются недостаточно разработанными в концептуальном и методическом аспектах [3].

В то же время развитие цифровых технологий и инновационных педагогических подходов создает предпосылки для формирования новых моделей организации образовательного процесса, основанных на интеграции обучения, научных исследований и профессиональной практики. Разработка строгой концептуализации инновационной экосистемы - это систематический проект, требующий сотрудничества ученых из различных областей исследований, с привлечением междисциплинарных подходов и на основе солидных эмпирических исследований [4]. Как в исследованиях высшего образования, так и в исследованиях инноваций прослеживается тенденция к включению новых факторов и сложных связей инновационной экосистемы в фокус анализа [5,6].

В данном контексте особую значимость приобретает концепция инновационной образовательной экосистемы, представляющей собой целостную образовательную среду, обеспечивающую взаимодействие преподавателей, обучающихся, работодателей и цифровых ресурсов с целью совместного создания знаний, развития компетенций и достижения образовательных результатов. В отличие от традиционных моделей обучения, такая экосистема базируется на принципах сотрудничества, взаимосвязанности участников, совместного создания образовательной ценности и ориентации на устойчивое развитие, что открывает новые возможности для формирования профессиональных компетенций будущих химиков.

В условиях становления инновационных экосистем меняется и роль университетов. В инновационной экосистеме университет выступает не только центром генерации и трансфера знаний [7], но и социально ответственным институтом [8], активно взаимодействующим с экономической, социальной и экологической средой [9]. Расширение его функций обуславливает трансформацию внутренних процессов и требует нового осмысления роли высшего образования в обеспечении инновационного и устойчивого развития общества [10]. Следовательно, современный университет выступает не только центром обучения и научных исследований, но и ключевым участником инновационного развития общества. Его функции расширяются от трансфера знаний к организации двустороннего обмена знаниями между академическим сообществом, промышленностью и обществом, формированию доверительных партнерских отношений между участниками инновационной деятельности и инициированию институциональных изменений, направленных на устойчивое развитие и внедрение инноваций. Такой подход предполагает создание образовательной среды, способствующей развитию как профессиональных компетенций, так и навыков сотрудничества, критического мышления, коммуникации и самостоятельной исследовательской деятельности.

Химическое образование занимает особое место в реализации данных задач благодаря сочетанию теоретической подготовки и практико-ориентированного обучения. Лабораторные дисциплины обеспечивают благоприятные условия для формирования профессиональных компетенций через выполнение экспериментов, анализ данных, интерпретацию результатов исследований и решение прикладных задач. Особенно значимую роль в подготовке химиков играют аналитические методы исследования, в частности хроматографические методы анализа, требующие комплексного применения теоретических знаний, практических навыков и цифровых инструментов обработки экспериментальных данных.

Вместе с тем анализ современных исследований показывает, что, несмотря на активное внедрение цифровых технологий и компетентностно-ориентированных подходов, вопросы проектирования и оценки инновационных образовательных экосистем в химическом образовании остаются недостаточно разработанными. Сохраняется потребность в методиках, обеспечивающих интеграцию лабораторного практикума, цифровых образовательных инструментов и компетентностно-ориентированного оценивания в единую образовательную среду, направленную на комплексное формирование профессиональных, цифровых и трансверсальных компетенций студентов.

Исследование направлено на оценку взаимосвязей между цифровыми компетенциями, трансверсальными навыками, профессиональными аналитическими компетенциями и достижением результатов обучения посредством применения структурного моделирования, а также на обоснование эффективности интеграции цифровых инструментов и компетентностно-ориентированных методов обучения в подготовке будущих химиков.

Трансверсальные компетенции - это универсальные навыки, которые переносятся между различными сферами деятельности, профессиями и контекстами, и не зависят от конкретной предметной области. К трансверсальным компетенциям относятся: -критическое и системное мышление; - коммуникативные навыки (устная и письменная коммуникация); - способность к командной работе и сотрудничеству; - креативность и способность к решению комплексных проблем; - адаптивность и готовность к изменениям; - способность к самообучению и рефлексии; - эмоциональный интеллект и социальная ответственность.

**Материалы и методы.** Реализация поставленных задач направлена на создание целостной образовательной среды, обеспечивающей подготовку будущих химиков к профессиональной деятельности в условиях цифровизации науки, образования и химической промышленности.

**Гипотеза исследования:** формирование профессиональных компетенций студентов химических специальностей будет более эффективным, если образовательный процесс будет организован в условиях инновационной образовательной экосистемы, основанной на интеграции лабораторного обучения, цифровых образовательных технологий, проектно-исследовательской деятельности, развития трансверсальных компетенций и компетентностно-ориентированного оценивания. Мы ставим задачу выявить:

- Каковы теоретические основы формирования профессиональных компетенций?
- Какова должна быть модель инновационной образовательной экосистемы?
- Каковы методика формирования компетенций, ее структура, система оценивания и этапы реализации?

**Теоретические основы инновационной образовательной экосистемы.** Теория инновационных образовательных экосистем рассматривает образовательную среду как сложную многоуровневую систему, включающую взаимосвязанные и взаимодополняющие компоненты, совместное функционирование которых обеспечивает развитие инновационного потенциала участников образовательного процесса [11].

Современные исследования предлагают широкий спектр педагогических моделей и технологий, направленных на создание инновационной образовательной среды. К их числу относятся модель перевернутого класса, способствующая развитию творческого мышления и самостоятельной познавательной деятельности обучающихся [12], а также модель исследовательского обучения, основанного на аргументации (Argument-Driven Inquiry, ADI), обеспечивающая формирование исследовательских и аналитических компетенций посредством выполнения экспериментальных заданий и научной аргументации [13]. Существенный потенциал в развитии компетенций имеют и цифровые образовательные технологии, включая виртуальные лаборатории, цифровые образовательные платформы и элементы геймификации, которые повышают вовлеченность студентов и создают условия для активного освоения учебного материала [14]. Исследования показывают, что наиболее эффективные образовательные практики базируются на принципах активного обучения, сотрудничества,

исследовательской деятельности и самостоятельного конструирования знаний, обеспечивая развитие инновационного мышления и профессиональных компетенций обучающихся [15].

Создание инновационной образовательной среды рассматривается как один из ключевых факторов повышения эффективности подготовки специалистов. Именно такая среда способствует развитию исследовательского мышления, самостоятельности и способности обучающихся к поиску нестандартных решений посредством вовлечения в активную познавательную деятельность [16]. Инновационная образовательная среда характеризуется поддержкой инициативности, открытостью к новым идеям, поощрением экспериментальной деятельности и сотрудничества между участниками образовательного процесса. Ее важными особенностями являются организация совместного обучения, развитие профессиональных коммуникаций, обмен знаниями и создание условий для самостоятельного конструирования образовательного опыта [17]. Исследования показывают, что подобная среда оказывает положительное влияние на формирование профессиональных, цифровых и трансверсальных компетенций студентов, повышая их вовлеченность в образовательный процесс и готовность к решению исследовательских и профессионально ориентированных задач [18].

В инновационной образовательной экосистеме преподаватель выступает не только носителем знаний, но и организатором исследовательской деятельности, создающим условия для развития самостоятельности, критического мышления и профессиональной инициативы студентов. Важное значение имеет предоставление обучающимся возможности самостоятельно выбирать способы решения профессионально ориентированных задач и использовать современные цифровые инструменты [19].

Эффективность инновационной модели обучения обеспечивается применением активных образовательных технологий, включая проектное и проблемно-ориентированное обучение, исследовательские задания и кейс-метод. Их использование способствует развитию аналитического мышления, навыков решения профессиональных задач и формированию профессиональных, цифровых и трансверсальных компетенций будущих химиков [20].

Инновационные модели обучения способствуют повышению эффективности образовательного процесса, развитию критического мышления, исследовательских навыков и способности студентов решать профессионально ориентированные задачи. Их применение также положительно влияет на учебную мотивацию, вовлеченность обучающихся и качество освоения образовательных программ [21].

Основной целью инновационной образовательной экосистемы является создание образовательной среды, обеспечивающей устойчивое развитие профессиональных, цифровых и трансверсальных компетенций обучающихся на основе интеграции современных педагогических и цифровых технологий. Концептуальной основой такой экосистемы выступают системный, экосистемный и компетентностный подходы, рассматривающие образовательный процесс как совокупность взаимосвязанных субъектов, ресурсов и технологий, обеспечивающих достижение образовательных результатов [11].

Согласно системному подходу, инновационная образовательная экосистема представляет собой целостную многоуровневую систему взаимосвязанных субъектов, ресурсов и образовательных технологий. Ее эффективность определяется согласованностью компонентов, сбалансированностью взаимодействий, адаптивностью и ориентацией на достижение образовательных результатов, обеспечивающих формирование профессиональных компетенций обучающихся.

Экологическая теория рассматривает образовательную экосистему как многоуровневую систему взаимосвязанных факторов, включающую непосредственное образовательное окружение, взаимодействие его участников, внешнюю социальную среду и социокультурный контекст. Комплексное влияние этих уровней создает условия для эффективного формирования компетенций и развития личности обучающегося [22-26].

Теория связей (коннективизм) рассматривает обучение как процесс формирования сети взаимосвязей между участниками образовательного процесса, цифровыми технологиями и

информационными ресурсами. В рамках инновационной образовательной экосистемы она обеспечивает интеграцию субъектов, образовательных ресурсов и интеллектуальных технологий, создавая условия для совместного создания знаний и формирования профессиональных компетенций обучающихся. Инновационная обучающая экосистема построена на основе интеллектуальных технологий, а теория связей - это метод объединения инновационной обучающей экосистемы и управления ею [11].

Теория творчества рассматривает креативность как основу генерации новых идей и инновационных решений. В образовательной практике она реализуется посредством исследовательской, проектной и проблемно-ориентированной деятельности, способствуя развитию критического мышления, самостоятельности и профессиональных компетенций обучающихся [27, 28].

Инновационная образовательная экосистема обеспечивает интеграцию образовательной, исследовательской и практической деятельности, способствуя формированию профессиональных компетенций, повышению качества обучения и развитию инновационного потенциала студентов. Такой подход создает условия для подготовки специалистов, способных эффективно адаптироваться к современным требованиям рынка труда и участвовать в решении актуальных научно-технологических задач.

**Химическое образование как среда формирования профессиональных, цифровых и трансверсальных компетенций.** Стремительное развитие технологий, цифровизация и глобализация обусловили существенные изменения в системе высшего образования, актуализировав необходимость подготовки специалистов, способных эффективно функционировать в условиях высокой неопределенности и постоянных изменений [29, 30]. В этих условиях традиционные образовательные модели, ориентированные преимущественно на передачу предметных знаний и формирование узкопрофессиональных навыков, постепенно уступают место компетентностному подходу, направленному на развитие комплекса профессиональных, цифровых и трансверсальных компетенций. Современный рынок труда предъявляет повышенные требования к способности выпускников критически мыслить, эффективно взаимодействовать в профессиональной среде, работать с информацией, адаптироваться к новым условиям и участвовать в решении междисциплинарных задач [31, 32].

Особую значимость данные требования приобретают в химическом образовании, которое сочетает фундаментальную теоретическую подготовку с экспериментальной и исследовательской деятельностью. Лабораторный практикум, анализ экспериментальных данных, научная коммуникация и решение прикладных задач создают благоприятные условия для формирования не только профессиональных компетенций, но и навыков критического мышления, сотрудничества, самостоятельной исследовательской деятельности и принятия обоснованных решений [33, 34]. Вместе с тем вопросы комплексного формирования данных компетенций в рамках образовательных программ химического профиля, особенно на основе инновационных образовательных экосистем, остаются недостаточно разработанными как в педагогической практике, так и в научных исследованиях.

**Лабораторный практикум - инструмент формирования профессиональных компетенций.** Химическая лаборатория признана уникальной учебной средой, которая выходит за рамки передачи технических навыков и охватывает широкий спектр межличностных и внутриличностных компетенций [35, 36]. Лабораторная работа требует от студентов сотрудничества с партнерами, обмена наблюдениями и интерпретациями, управления временем в рамках практических ограничений, адаптации к неожиданным результатам, применения этических норм в отношении безопасности и утилизации отходов, а также регулирования своих эмоциональных реакций как на успех, так и на неудачу. Эти требования создают то, что можно было бы назвать естественным «инкубатором мягких навыков» в рамках учебной программы по химии.

Исследования командной работы в лабораторных условиях выявили несколько факторов, способствующих эффективному сотрудничеству, включая четкую коммуникацию, взаимную

поддержку, определенные роли и обязанности, а также позитивную социальную атмосферу [37]. Омар и Пламб обнаружили, что общение является наиболее важным элементом, повышающим эффективность работы команды и ее вовлеченность во время практических занятий, а сотрудничество, обсуждение и взаимодействие между участниками также вносят значительный вклад в обучение студентов. Важно отметить, что в исследовании отмечается, что эффективная командная работа не только улучшает результаты обучения, но и развивает навыки трудоустройства, которые переносятся в профессиональный контекст.

Развитие лидерских качеств с помощью лабораторных проектов представляет собой еще один важный аспект развития soft skills. Студенты, которые берут на себя руководящие роли в групповых экспериментах - организуют задания, координируют усилия команды и обеспечивают соблюдение стандартов качества, - приобретают практический опыт руководства другими людьми в достижении общих целей [35, 36]. Нокс, Гиллис и Дэйк задокументировали положительный опыт совместной проектной работы студентов на старших курсах бакалавриата по химии, отметив, что хорошо продуманные групповые проекты способствуют не только овладению содержанием, но и профессиональным компетенциям, которые ценятся работодателями.

Навыки научной коммуникации естественным образом развиваются в ходе лабораторной работы, когда студенты учатся документировать наблюдения, интерпретировать данные, строить аргументы на основе фактических данных и представлять полученные результаты различным аудиториям [38]. Рутман-Ле Гранж и Ретиф описали междисциплинарное сотрудничество между химией и грамотностью лекторы, которые успешно помогли студентам понять взаимосвязь тем химии и развили навыки научной коммуникации. Такие интегративные подходы демонстрируют, как лабораторные занятия могут быть целенаправленно разработаны для максимального развития мягких навыков наряду с дисциплинарным обучением.

Умение решать проблемы и приспосабливаться к ним проявляется, когда эксперименты проходят не так, как ожидалось, - обычное явление в настоящей лабораторной работе. Студенты, которые учатся устранять неисправности в процедурах, модифицировать подходы на основе наблюдений и стойко преодолевать трудности, развивают устойчивость и гибкость мышления, которые сослужат им хорошую службу за пределами лаборатории [63]. Подходы к обучению, основанные на решении проблем, которые ставят перед учащимися реальные задачи, требующие совместного изучения, как было показано, значительно повышают эффективность обучения, развивая при этом критическое мышление и коммуникативные навыки [39].

**Цифровые лабораторные среды - компонент инновационной образовательной экосистемы.** Исследования ряда ученых [40, 41] показывают, что виртуальные лаборатории могут эффективно повышать вовлеченность, мотивацию и определенные когнитивные навыки, хотя и с определенными возможностями и ограничениями по сравнению с физическими лабораторными испытаниями. Альхашем и Альфаилакави [40] обнаружили, что обучение, основанное на технологиях, с помощью виртуальных лабораторий повышает вовлеченность студентов и их самоэффективность, а интерактивный характер этих сред способствует обсуждению и сотрудничеству. Аналогичным образом, Татенов и др. [41] сообщили, что опыт работы в виртуальной лаборатории по неорганической химии повышает навыки решения проблем и уверенность студентов. Однако в обоих исследованиях подчеркивалось, что виртуальные лаборатории должны дополнять, а не заменять физические лабораторные занятия, поскольку некоторые аспекты практической работы, включая пространственное восприятие, ловкость рук и полное сенсорное восприятие химических явлений, не могут быть полностью воспроизведены в цифровом виде.

**Дидактический потенциал химического образования в формировании компетенций.** Помимо лабораторных занятий, концептуальное содержание химии предоставляет особые возможности для развития коммуникативных навыков. Акцент дисциплины на множественном представлении - символьных уравнениях, молекулярных моделях, макроскопических наблюдениях, графических данных - требует от студентов перевода между различными

способами выражения, что повышает гибкость коммуникации и способность адаптировать объяснения к различным аудиториям [34].

Связи химии с социально-научными проблемами создают условия для развития критического мышления, этических рассуждений и научной аргументации. Такие темы, как изменение климата, развитие фармацевтики, экологичность материалов и химия пищевых продуктов, связывают абстрактные концепции с реальными проблемами, мотивируя студентов и предлагая им задуматься о ценностях и компромиссах [42, 43]. Хадинуграханингси и др. [43] продемонстрировали, что интеграция социально-критического и проблемно-ориентированного подходов стимулирует сотрудничество, коммуникацию и критическое мышление, а обучающиеся научатся размышлять о своих собственных ценностях во время дебатов. В этой связи интеграция подходов STEM и STEAM в химическом образовании особенно перспективно для развития компетенций XXI века. Талиб и другие [34] обнаружили, что проектное обучение с интеграцией STEAM создает возможности для развития у студентов критического мышления, умения решать проблемы, сотрудничества и креативности одновременно с пониманием содержания.

Известно, что STEM-подход ориентирован на интеграцию естественно-научных, технологических, инженерных и математических дисциплин для решения практических задач. Основное внимание при этом уделяется: - научному мышлению; - инженерному проектированию; - анализу данных; - решению технических проблем; - развитию исследовательских навыков. В химии это разработка метода анализа воды с использованием хроматографии, расчет концентраций загрязнителей и оценка эффективности очистки.

В свою очередь STEAM-подход сохраняет все преимущества STEM, но дополняет их творческими и гуманитарными компонентами: - дизайн-мышлением; - креативностью; - визуализацией результатов; - коммуникацией; - социальным и экологическим контекстом проблемы. В химическом образовании это не только разработка метода анализа воды, но и создание интерактивной визуализации результатов, подготовка информационной кампании для населения или проектирование экологически безопасного решения с учетом социальных потребностей. Для химического образования STEM-подход прежде всего способствует формированию: - профессиональных компетенций; - исследовательских навыков; - аналитического мышления; - работы с оборудованием и данными. STEAM-подход дополнительно развивает: - креативность; - научную коммуникацию; - визуализацию химической информации; - междисциплинарное мышление; - навыки презентации результатов исследований.

**Результаты.** Для изучения взаимосвязей между цифровыми компетенциями, трансверсальными компетенциями, профессиональными аналитическими компетенциями и достижением результатов обучения было использовано структурное моделирование. В исследовании применялся подход к обучению, ориентированный на результат, в сочетании с принципами конструктивного согласования. Результаты обучения были реализованы посредством оценки лабораторных отчетов и устной защиты по разделам в рамках курса «Современные аспекты хроматографии». Профессиональные аналитические, цифровые и трансверсальные компетенции были измерены как скрытые составляющие с использованием ряда наблюдаемых показателей, полученных из оценочных средств и данных об успеваемости обучающихся.

Разработанная методика основана на концепции инновационной образовательной экосистемы, обеспечивающей интеграцию образовательного процесса, цифровой инфраструктуры, научно-исследовательской деятельности и профессиональной практики в единую среду формирования компетенций студентов химических специальностей.

Предложена модель инновационной образовательной экосистемы, которая ориентирована на создание условий для развития профессиональных, цифровых и трансверсальных компетенций обучающихся посредством активного взаимодействия всех участников образовательного процесса (рис.1).

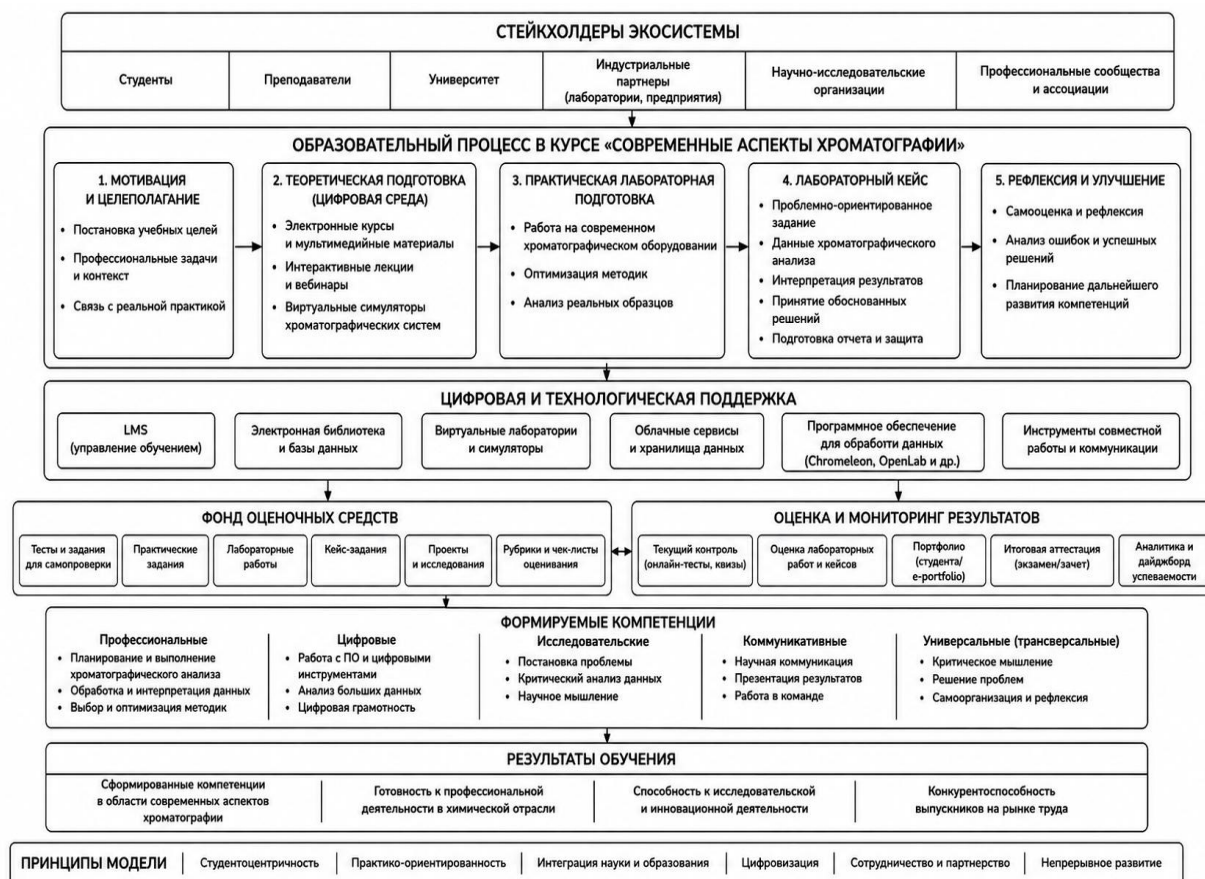


Рисунок 1. Модель инновационной образовательной экосистемы для формирования профессиональных компетенций на основе курса «Современные аспекты хроматографии»

Ключевыми субъектами образовательной экосистемы являются студенты, преподаватели, работодатели, представители отраслевых организаций и профессионального сообщества. Учебные и исследовательские лаборатории, цифровая инфраструктура и образовательные ресурсы формируют среду, обеспечивающую их эффективное взаимодействие и развитие профессиональных компетенций. Также они создают условия для освоения современных аналитических методов и приобретения практического опыта научной работы. Преподаватели осуществляют проектирование образовательного процесса, разработку учебно-методических материалов и сопровождение исследовательской деятельности студентов. Обучающиеся рассматриваются как активные участники образовательной среды, вовлеченные в решение профессионально ориентированных задач, выполнение лабораторных исследований и проектную деятельность. Работодатели и представители отраслевых организаций обеспечивают связь содержания обучения с актуальными требованиями рынка труда, участвуют в разработке кейсов и оценке результатов подготовки.

Ресурсный компонент экосистемы включает цифровую образовательную среду университета, представленную системой управления обучением Moodle, виртуальными лабораториями, видеолекциями, электронными образовательными ресурсами, цифровыми коллекциями хроматограмм и специализированным программным обеспечением для обработки аналитических данных. Использование цифровых ресурсов обеспечивает доступность учебных материалов, поддержку самостоятельной работы студентов и развитие навыков работы с современными информационными технологиями.

В качестве основных педагогических инструментов используются проектное и проблемно-ориентированное обучение, кейс-метод, исследовательские задания и цифровые

технологии сопровождения образовательного процесса. Их интеграция позволяет моделировать реальные профессиональные ситуации, формировать исследовательское мышление и обеспечивать связь теоретической подготовки с практической деятельностью.

**Обсуждение.** Формирование профессиональных компетенций осуществляется поэтапно и предполагает последовательное включение студентов в различные виды учебно-познавательной и исследовательской деятельности.

На первом, мотивационно-ориентационном этапе, создаются условия для формирования устойчивой профессиональной мотивации и осознания значимости изучаемой дисциплины для будущей профессиональной деятельности. Студентам предлагаются реальные производственные и исследовательские кейсы, связанные с применением хроматографических методов анализа в химической, фармацевтической, экологической и пищевой промышленности. Анализ практических ситуаций способствует развитию интереса к дисциплине и пониманию профессионального контекста будущей деятельности.

Второй этап - теоретико-подготовительный, который направлен на освоение теоретических основ хроматографических методов анализа и развитие навыков работы с цифровыми образовательными ресурсами. Студенты изучают принципы разделения веществ, особенности различных видов хроматографии, методы обработки аналитических данных и возможности специализированного программного обеспечения. Существенная роль на данном этапе отводится самостоятельной работе в цифровой образовательной среде.

Третий этап - лабораторно-исследовательский, который считается центральным элементом методики. В ходе выполнения лабораторных работ студенты осваивают современные методы подготовки проб, проведения анализа, регистрации и интерпретации хроматографических данных. Особое внимание уделяется цифровой обработке результатов, анализу хроматограмм, оценке точности измерений и обоснованию полученных выводов. Данный этап обеспечивает формирование профессионально-аналитических компетенций и навыков исследовательской деятельности.

На четвертом, проектно-практическом этапе, обучающиеся выполняют мини-проекты, ориентированные на решение профессиональных задач, моделирующих реальные условия деятельности химика-аналитика, такие как: *«Разработайте протокол эксперимента по оптимизации состава подвижной фазы для наиболее быстрого разделения бензойной и сорбиновой кислот методом обращенно-фазовой ВЭЖХ. Предложите гипотезу и укажите все переменные»* или *«Разработайте протокол эксперимента по оптимизации программы температуры термостата колонки газового хроматографа для наиболее быстрого разделения пропана, бутана и изо-бутана. Предложите гипотезу и укажите все переменные»*.

Проектная работа предполагает поиск и анализ информации, выбор методов исследования, интерпретацию результатов и подготовку рекомендаций по решению поставленной проблемы. Реализация проектов способствует развитию навыков командной работы, научной коммуникации и принятия решений.

Завершающим этапом является рефлексивно-оценочный этап, который направлен на анализ достигнутых результатов обучения и диагностику сформированности компетенций. Оценивание осуществляется на основе разработанного фонда оценочных средств (ФОС) (табл. 1, 2, 3), включающего лабораторные кейсы, рубрики оценивания, самооценку и экспертную оценку преподавателя. Полученные результаты используются для определения уровня сформированности профессиональных, цифровых и трансверсальных компетенций студентов и последующей корректировки образовательного процесса.

Таким образом, предложенная методика обеспечивает целостную интеграцию цифровых технологий, лабораторного обучения, исследовательской деятельности и компетентностно-ориентированного оценивания, создавая условия для эффективного формирования профессиональных компетенций студентов химических специальностей в условиях инновационной образовательной экосистемы.

Таблица 1 - Примерный компетентностно-ориентированный рубрикатор оценивания лабораторного кейса

| Критерий оценивания                          | Отлично (90-100%)                                                                                                          | Хорошо (70-89%)                                                                     | Удовлетворительно (50-69%)                                           | Неудовлетворительно (0-49%)                                             |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>Понимание профессиональной задачи</b>     | Полностью понимает цель исследования, самостоятельно определяет проблему и предлагает обоснованный план решения.           | Правильно определяет цель и основные этапы решения, допускает отдельные неточности. | Понимает задачу частично, нуждается в помощи преподавателя.          | Не понимает содержание задачи и не может определить способ решения.     |
| <b>Выполнение лабораторной работы</b>        | Все этапы выполнены самостоятельно, соблюдены методика, техника безопасности и последовательность действий.                | Выполнение в целом правильное, имеются незначительные неточности.                   | Допущены ошибки при выполнении отдельных этапов лабораторной работы. | Работа выполнена с существенными нарушениями методики или не завершена. |
| <b>Обработка и интерпретация результатов</b> | Данные обработаны корректно, хроматограммы интерпретированы правильно, выводы полностью обоснованы.                        | Допущены отдельные неточности при обработке данных или интерпретации результатов.   | Обработка выполнена частично, выводы недостаточно аргументированы.   | Результаты обработаны неверно, выводы отсутствуют или ошибочны.         |
| <b>Использование цифровых технологий</b>     | Уверенно использует специализированное программное обеспечение и цифровые инструменты анализа данных.                      | Использует цифровые средства с отдельными затруднениями.                            | Использует только базовые функции программного обеспечения.          | Не владеет необходимыми цифровыми инструментами.                        |
| <b>Решение лабораторного кейса</b>           | Предлагает обоснованное решение профессиональной задачи, аргументирует выбор метода анализа.                               | Решение правильное, аргументация неполная.                                          | Решение частично соответствует поставленной задаче.                  | Решение отсутствует или не соответствует условиям кейса.                |
| <b>Научная коммуникация</b>                  | Представляет результаты логично, аргументированно, использует профессиональную терминологию, уверенно отвечает на вопросы. | Представление результатов в целом логичное, имеются отдельные неточности.           | Испытывает затруднения при объяснении результатов исследования.      | Не может представить результаты и ответить на вопросы.                  |
| <b>Самооценка и рефлексия</b>                | Объективно оценивает собственную работу, выявляет сильные стороны и направления совершенствования.                         | Самооценка в целом соответствует результатам работы.                                | Самооценка поверхностная, анализ ошибок недостаточен.                | Самооценка отсутствует либо не соответствует выполненной работе.        |

| Компонент фонда оценочных средств                                       | Доля итоговой оценки |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Выполнение лабораторного кейса                                          | 40 %                 |
| Рубрикатор оценивания преподавателя                                     | 30 %                 |
| Самооценка обучающегося                                                 | 10 %                 |
| Экспертная оценка преподавателя (устная защита результатов, обсуждение) | 20 %                 |
| <b>Итого</b>                                                            | <b>100 %</b>         |

Таблица 3 - Интерпретация итогового результата

| Уровень сформированности компетенций | Баллы    |
|--------------------------------------|----------|
| Высокий                              | 90–100   |
| Достаточный                          | 70–89    |
| Базовый                              | 50–69    |
| Низкий                               | менее 50 |

**Заключение.** Результаты исследования подтверждают гипотезу о том, что интеграция цифровых инструментов и проектно-ориентированных заданий существенно повышает профессиональные аналитические компетенции студентов. Трансверсальные навыки, такие как аргументация и научная коммуникация, усиливают эффект цифровых компетенций.

Разработанный фонд оценочных средств и оценочные рубрики обеспечивают прозрачность оценивания и согласованность оценочных процедур с запланированными результатами обучения, что соответствует принципам обучения, ориентированного на результаты, и требованиям современных аккредитационных стандартов.

Полученные результаты подтверждают экосистемный подход к лабораторному обучению, демонстрируя, что цифровые и трансверсальные компетенции функционируют как механизмы, способствующие развитию профессиональных аналитических навыков. Это подчеркивает важность интеграции цифровых инструментов и проектной оценки в рамках химического образования.

Инновационная образовательная экосистема способствует эффективному формированию профессиональных, цифровых и трансверсальных компетенций в курсе «Современные аспекты хроматографии». Применение структурного моделирования обеспечивает прозрачность оценки, доказательность методики и может быть адаптировано для других дисциплин химических специальностей. Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение выборки, включение магистрантов и анализ междисциплинарных лабораторных практик.

**Благодарность.** Выражаем признательность руководству Казахского национального университета имени аль-Фараби за предоставленную возможность проведения научных исследований. Эта статья является результатом научного проекта, финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP26102355 «Разработка модели инновационной образовательной экосистемы, направленной на развитие компетенций будущих специалистов и интеллектуального и кадрового потенциала образовательных организаций»).

*Список использованной литературы:*

1. Минажева Г., Есенова К., Кудайбергенова А., Кожамбердиева Н., Байносерова А. Инновационная образовательная экосистема университета как фактор повышения качества подготовки специалистов // Вестник КазНУ. Серия «Педагогические науки». – 2026. – Том 86, № 1. – С. 12-28. <https://doi.org/10.26577/JES86120262>
2. Silva L. E. N., Gomes L. A. V., de Faria A. M., Borini F. M. Innovation processes in ecosystem settings: An integrative framework and future directions // Technovation. – 2024. – 132, 102984. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2024.102984>
3. Belessova D., Ibashova A., Bosova L., Shaimerdenova G. Digital Learning Ecosystem: Current State, Prospects, and Hurdles // Open Education Studies. – 2023. – №5(1). – 20220179.

4. Cai Y., Ma J., Chen Q. *Higher Education in Innovation Ecosystems // Sustainability*. – 2020. – Vol. 12, № 11. – Article 4376. <https://doi.org/10.3390/su12114376>
5. Reichert S. *The Role of Universities in Regional Innovation Ecosystems; EUA: Brussels, Belgium*. – 2019. – P. 108.
6. Cai Y., Etzkowitz H. *Theorizing the Triple Helix model: Past, present, and future // Triple Helix*. – 18 June 2021. – Volume 7, Issues 2-3, Pp. 189-226. <https://doi.org/10.1163/21971927-bja10003>
7. Etzkowitz H. *The Triple Helix: University-Industry-Government Innovation in Action; Routledge: New York, NY, USA; London, UK*. – 2008. – P. 164.
8. Sørensen M.P., Geschwind L., Kekäle J., Pinheiro R. *The Responsible University: Exploring the Nordic Context and Beyond; Palgrave Macmillan: Cham, Switzerland*. – 2019. – P. 324. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-25646-3>
9. Wells P.J. UNESCO'S Introduction: *The role of Higher Education Institutions today. In Higher Education in the World 6. Towards a Socially Responsible University: Balancing the Global with the Local; Grau F.X., Goddard J., Hall B.L., Hazekorn E., Tandon R. Global University Network for Innovation (GUNi): Barcelona, Spain*. – 2017. – P. 543.
10. Cai Y. *From an analytical framework for understanding the innovation process in higher education to an emerging research field of innovations in higher education // Review of Higher Education*. – 2017. – № 40(4). – Pp. 585-616. <https://doi.org/10.1353/rhe.2017.0023>
11. *Building an Innovative Learning Ecosystem: A Model for Secondary Schools in Hanoi, Vietnam / Do Hong Cuong, Pham Ngoc Son, Dinh Thi Kim Thuong [et al.] // TEM Journal*. – 2024. – Vol. 13, Issue 3. – P. 2115-2126. – <https://doi.org/10.18421/TEM133-39>
12. Wannapiroon N., Petsangsri S. *Effects of STEAMification Model in Flipped Classroom Learning Environment on Creative Thinking and Creative Innovation // TEM Journal*. – 2020. – Vol. 9, № 4. – P. 1580-1588. – <https://doi.org/10.18421/TEM94-42>
13. *Effectiveness of argument-driven inquiry (ADI) learning model on students' creative thinking skill: Environmental pollution / I. N. Afifa, N. Hasnunidah, D. Maulina // Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi*. – 2021. – Vol. 14, № 1. – P. 1-12. – <https://doi.org/10.21009/biosferjpb.17316>
14. *Blockchain education concept 4.0: Student-centered ilearning blockchain framework / A. G. Prawiyogi, Q. Aini, N. P. L. Santoso [et al.] // JTP-Jurnal Teknologi Pendidikan*. – 2021. – Vol. 23, № 2. – P. 129-145. – DOI: 10.21009/jtp.v23i2.20978.
15. Sawyer K. *A call to action: The challenges of creative teaching and learning // Teachers College Record*. – 2015. – Vol. 117, № 10. – P. 1-34. – DOI: 10.1177/016146811511701001.
16. *Construction of a creative instructional design model using blended, project-based learning for college students / S. J. Lou, C. C. Chung, W. Y. Dzan [et al.] // Creative Education*. – 2012. – Vol. 3, № 7. – P. 1281-1287. – DOI: 10.4236/ce.2012.37187.
17. Fan M., Cai W. *How does a creative learning environment foster student creativity? An examination on multiple explanatory mechanisms // Current Psychology*. – 2022. – Vol. 41, № 7. – P. 4667-4676. – DOI: 10.1007/s12144-020-00974-z.
18. Toivanen T., Halkilahti L., Ruismäki H. *Creative pedagogy-Supporting children's creativity through drama // The European Journal of Social & Behavioural Sciences*. – 2013. – Vol. 7. – P. 1168-1179. – DOI: 10.15405/ejsbs.96.
19. Running D. J. *Creativity research in music education: A review (1980-2005) // Update: Applications of Research in Music Education*. – 2008. – Vol. 27, № 1. – P. 41-48. – DOI: 10.1177/8755123308322280.
20. Barbot B., Besançon M., Lubart T. I. *Assessing creativity in the classroom // The Open Education Journal*. – 2011. – Vol. 4, № 1. – P. 58-66. – DOI: 10.2174/1874920801104010058.
21. *Assessing the university students' entrepreneurial intention: Entrepreneurial education and creativity / A. Saptono, D. Purwana, A. Wibowo [et al.] // Humanities & Social Sciences Reviews*. – 2019. – Vol. 7, № 1. – P. 505-514. – DOI: 10.18510/hssr.2019.7158.

22. *The importance of Urie Bronfenbrenner's bioecological theory for early childhood education* / J. R. Tudge, E. A. Merçon-Vargas, Y. Liang [et al.] // *Theories of early childhood education*. – Routledge, 2022. – P. 50–61. – DOI: 10.4324/9781003288077-5.
23. El Zaatar W., Maalouf I. How the Bronfenbrenner bio-ecological system theory explains the development of students' sense of belonging to school? // *SAGE Open*. – 2022. – Vol. 12, № 4. – Art. 21582440221134089. – DOI: 10.1177/21582440221134089.
24. Arrieta-Villarreal J. L., Guzmán-Saldaña R., Lerma-Talamantes A. El modelo ecológico de Bronfenbrenner-Morris como marco explicativo de los factores que inciden en la vacunación versus COVID-19 // *XIKUA Boletín Científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan*. – 2022. – Vol. 10, № 19. – P. 51–52. – DOI: 10.29057/xikua.v10i19.8219.
25. *Exploring learning environment through Bronfenbrenner's ecological systems theory* / N. A. K. Amali, M. United M. Ridzuan, N. H. Rahmat [et al.] // *Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*. – 2023. – Vol. 12, № 2. – P. 144–162. – DOI: 10.6007/IJARPED/v12-i2/16516.
26. Dharma D. S. A. Membaca peran teori ekologi bronfenbrenner dalam menciptakan lingkungan inklusif di sekolah // *Special and Inclusive Education Journal (SPECIAL)*. – 2022. – Vol. 3, № 2. – P. 115–123. – DOI: 10.36456/special.vol3.no2.a6642.
27. *Theory of creativity* / H. Kanematsu, D. M. Barry, H. Kanematsu [et al.] // *STEM and ICT education in intelligent environments*. – Springer, 2016. – P. 9–13. – DOI: 10.1007/978-3-319-19234-5\_2.
28. Beghetto R. A., Kaufman J. C. *Theories of creativity* // *Creativity and Innovation*. – Routledge, 2022. – P. 23–36. – DOI: 10.4324/9781003233923-3.
29. Care E., Scoular C., Griffin P. Assessment of Collaborative Problem Solving in Education Environments // *Applied Measurement in Education*. – 2016. – Vol. 29, № 4. – P. 250–264. – URL: doi.org.
30. *Mapping the landscape: A scoping review of 21st century skills literature in secondary education* / C. Kain, C. Koschmieder, M. Matischek-Jauk [et al.] // *Teaching and Teacher Education*. – 2024. – Vol. 151. – P. 104739. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.tate.2024.104739>.
31. Mohammed I. S., Ozdamli F. A Systematic Literature Review of Soft Skills in Information Technology Education // *Behavioral Sciences*. – 2024. – Vol. 14, № 10. – P. 894. – URL: <https://doi.org/10.3390/bs14100894>.
32. *Essential Soft Skills for Engineering in Industry 4.0: A Systematic Literature Review* / T. A. Prasetya, S. Munadi, T. Sukardi [et al.] // *International Journal of Engineering Education*. – 2025. – Vol. 41, № 5. – P. 1376–1385. – URL: [https://www.ijee.ie/latestissues/Vol41-5/21\\_ijee4625.pdf](https://www.ijee.ie/latestissues/Vol41-5/21_ijee4625.pdf).
33. *Developing 21st century skills in chemistry classrooms: Opportunities and challenges of STEAM integration* / T. Hadinugrahaningsih, Y. Rahmawati, A. Ridwan // *AIP Conference Proceedings*. – 2017. – Vol. 1868, № 1. – P. 030008. – URL: <https://doi.org/10.1063/1.4995107>.
34. *Online Project-Based Learning with Integration of STEAM in Chemistry: Challenges and Opportunities to Create 21st Century Skills* / C. A. Talib, N. Ramin, S. T. Rajan [et al.] // *AIP Conference Proceedings*. – 2022. – Vol. 2542. – P. 020001. – URL: doi.org.
35. Knox K. J., Gillis E. A. L., Dake G. R. A positive student experience of collaborative project work in upper-year undergraduate chemistry // *Chemistry Education Research and Practice*. – 2019. – Vol. 20, № 2. – P. 340–357. – URL: <https://doi.org/10.1039/c8rp00251g>.
36. Wenzel T. J. *Collaborative and Project-Based Learning in Analytical Chemistry* // *Active Learning: Models from the Analytical Sciences* / ed. P. A. Mabrouk. – American Chemical Society, 2007. – P. 54–68. – URL: <https://doi.org/10.1021/bk-2007-0970.ch005>.
37. Omar C., Plumb S. Teamwork and student engagement during practical sessions in laboratories // *9th International Conference on Higher Education Advances (HEAd'23)*. – València: Universitat Politècnica de València, 2023. – P. 1187–1195. – URL: <https://doi.org/10.4995/HEAd23.2023.16036>.
38. Rootman-Le Grange I., Retief L. *Action Research: Integrating Chemistry and Scientific*

Абай атындағы ҚазҰПУ ХАБАРШЫСЫ, «Жаратылыстану-география ғылымдары» сериясы, №2 (88), 2026 ж.  
*Communication to Foster Cumulative Knowledge Building and Scientific Communication Skills // Journal of Chemical Education.* – 2018. – Vol. 95, № 8. – P. 1284–1290. – URL: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00958>.

39. Kelly O. C., Finlayson O. E. Providing solutions through problem-based learning for the undergraduate 1st year chemistry laboratory // *Chemistry Education Research and Practice.* – 2007. – Vol. 8, № 3. – P. 347–361. – URL: <https://doi.org/10.1039/B7RP90009>

40. K.Alhashem F., Alfailakawi A. Technology-enhanced learning through virtual laboratories in chemistry education // *Contemporary Educational Technology.* – 2023. – Vol. 15, № 4. – P. ep474. – URL: <https://doi.org/10.30935/cedtech/13739>.

41. Evaluating the effectiveness of a virtual laboratory for inorganic chemistry education / A. Tatenov, Z. Sarsenbaeva, G. Azimbaeva [et al.] // *Research in Science and Technological Education.* – 2025. – Vol. 43, № 2. – P. 377–389. – URL: <https://doi.org/10.1080/02635143.2023.2275139>.

42. Araripe E., Zuin Zeidler V. G. Advancing sustainable chemistry education: Insights from real-world case studies // *Current Research in Green and Sustainable Chemistry.* – 2024. – Vol. 9. – P. 100436. – URL: [doi.org](https://doi.org).

43. Chemistry students' soft skills development through the integration of Think Pair Square (TPSq) using a socio critical and problem oriented approach in acid-based learning / T. Hadinugrahaningsih, R. Amalia, E. Fitriani [et al.] // *Journal of Physics: Conference Series.* – 2019. – Vol. 1402, № 5. – P. 055075. – URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/5/055075>

#### References:

1. Minazheva G., Yessenova K., Kudaibergenova A., Kozhamberdiyeva N., Bainosserova A. The Innovative Educational Ecosystem of the University as an Enhancing Factor in the Quality of Professional Training // *Journal of Educational Sciences.* – 2026. – Vol. 86, №1. – Pp. 12-28. <https://doi.org/10.26577/JES86120262>. [InRussian].

2. Silva L. E. N., Gomes L. A. V., de Faria A. M., Borini F. M. Innovation processes in ecosystem settings: An integrative framework and future directions // *Technovation.* – 2024. – 132, 102984. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2024.102984>

3. Belessova D., Ibashova A., Bosova L., Shaimerdenova G. Digital Learning Ecosystem: Current State, Prospects, and Hurdles // *Open Education Studies.* – 2023. – №5(1). – 20220179. <https://doi.org/10.1515/edu-2022-0179>

4. Cai Y., Ma J., Chen Q. Higher Education in Innovation Ecosystems // *Sustainability.* – 2020. – Vol. 12, № 11. – Article 4376. <https://doi.org/10.3390/su12114376>

5. Reichert S. The Role of Universities in Regional Innovation Ecosystems; EUA: Brussels, Belgium. – 2019. – P. 108.

6. Cai Y., Etzkowitz H. Theorizing the Triple Helix model: Past, present, and future // *Triple Helix.* – 18 June 2021. – Volume 7, Issues 2-3, Pp. 189-226. <https://doi.org/10.1163/21971927-bja10003>

7. Etzkowitz H. The Triple Helix: University-Industry-Government Innovation in Action; Routledge: New York, NY, USA; London, UK. – 2008. – P. 164.

8. Sørensen M.P., Geschwind L., Kekäle J., Pinheiro R. The Responsible University: Exploring the Nordic Context and Beyond; Palgrave Macmillan: Cham, Switzerland. – 2019. – P. 324. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-25646-3>

9. Wells P.J. UNESCO'S Introduction: The role of Higher Education Institutions today. In *Higher Education in the World 6. Towards a Socially Responsible University: Balancing the Global with the Local*; Grau F.X., Goddard J., Hall B.L., Hazelkorn E., Tandon R. Global University Network for Innovation (GUNi): Barcelona, Spain. – 2017. – P. 543.

10. Cai Y. From an analytical framework for understanding the innovation process in higher education to an emerging research field of innovations in higher education // *Review of Higher Education.* – 2017. – № 40(4). – Pp. 585-616. <https://doi.org/10.1353/rhe.2017.0023>

11. Building an Innovative Learning Ecosystem: A Model for Secondary Schools in Hanoi,

Vietnam / Do Hong Cuong, Pham Ngoc Son, Dinh Thi Kim Thuong [et al.] // TEM Journal. – 2024. – Vol. 13, Issue 3. – P. 2115-2126. – <https://doi.org/10.18421/TEM133-39>

12. Wannapiroon N., Petsangsri S. Effects of STEAMification Model in Flipped Classroom Learning Environment on Creative Thinking and Creative Innovation // TEM Journal. – 2020. – Vol. 9, № 4. – P. 1580-1588. – <https://doi.org/10.18421/TEM94-42>

13. Effectiveness of argument-driven inquiry (ADI) learning model on students' creative thinking skill: Environmental pollution / I. N. Afifa, N. Hasnunidah, D. Maulina // Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi. – 2021. – Vol. 14, № 1. – P. 1-12. – <https://doi.org/10.21009/biosferjpb.17316>

14. Blockchain education concept 4.0: Student-centered ilearning blockchain framework / A. G. Prawiyogi, Q. Aini, N. P. L. Santoso [et al.] // JTP-Jurnal Teknologi Pendidikan. – 2021. – Vol. 23, № 2. – P. 129-145. – DOI: 10.21009/jtp.v23i2.20978.

15. Sawyer K. A call to action: The challenges of creative teaching and learning // Teachers College Record. – 2015. – Vol. 117, № 10. – P. 1-34. – DOI: 10.1177/016146811511701001.

16. Construction of a creative instructional design model using blended, project-based learning for college students / S. J. Lou, C. C. Chung, W. Y. Dzan [et al.] // Creative Education. – 2012. – Vol. 3, № 7. – P. 1281-1287. – DOI: 10.4236/ce.2012.37187.

17. Fan M., Cai W. How does a creative learning environment foster student creativity? An examination on multiple explanatory mechanisms // Current Psychology. – 2022. – Vol. 41, № 7. – P. 4667-4676. – DOI: 10.1007/s12144-020-00974-z.

18. Toivanen T., Halkilahti L., Ruismäki H. Creative pedagogy-Supporting children's creativity through drama // The European Journal of Social & Behavioural Sciences. – 2013. – Vol. 7. – P. 1168-1179. – DOI: 10.15405/ejsbs.96.

19. Running D. J. Creativity research in music education: A review (1980-2005) // Update: Applications of Research in Music Education. – 2008. – Vol. 27, № 1. – P. 41-48. – DOI: 10.1177/8755123308322280.

20. Barbot B., Besançon M., Lubart T. I. Assessing creativity in the classroom // The Open Education Journal. – 2011. – Vol. 4, № 1. – P. 58-66. – DOI: 10.2174/1874920801104010058.

21. Assessing the university students' entrepreneurial intention: Entrepreneurial education and creativity / A. Saptono, D. Purwana, A. Wibowo [et al.] // Humanities & Social Sciences Reviews. – 2019. – Vol. 7, № 1. – P. 505-514. – DOI: 10.18510/hssr.2019.7158.

22. The importance of Urie Bronfenbrenner's bioecological theory for early childhood education / J. R. Tudge, E. A. Merçon-Vargas, Y. Liang [et al.] // Theories of early childhood education. – Routledge, 2022. – P. 50-61. – DOI: 10.4324/9781003288077-5.

23. El Zaatari W., Maalouf I. How the Bronfenbrenner bio-ecological system theory explains the development of students' sense of belonging to school? // SAGE Open. – 2022. – Vol. 12, № 4. – Art. 21582440221134089. – DOI: 10.1177/21582440221134089.

24. Arrieta-Villarreal J. L., Guzmán-Saldaña R., Lerma-Talamantes A. El modelo ecológico de Bronfenbrenner-Morris como marco explicativo de los factores que inciden en la vacunación versus COVID-19 // XIKUA Boletín Científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan. – 2022. – Vol. 10, № 19. – P. 51-52. – DOI: 10.29057/xikua.v10i19.8219.

25. Exploring learning environment through Bronfenbrenner's ecological systems theory / N. A. K. Amali, M. United M. Ridzuan, N. H. Rahmat [et al.] // Journal of Academic Research in Progressive Education and Development. – 2023. – Vol. 12, № 2. – P. 144-162. – DOI: 10.6007/IJARPED/v12-i2/16516.

26. Dharma D. S. A. Membaca peran teori ekologi bronfenbrenner dalam menciptakan lingkungan inklusif di sekolah // Special and Inclusive Education Journal (SPECIAL). – 2022. – Vol. 3, № 2. – P. 115-123. – DOI: 10.36456/special.vol3.no2.a6642.

27. Theory of creativity / H. Kanematsu, D. M. Barry, H. Kanematsu [et al.] // STEM and ICT education in intelligent environments. – Springer, 2016. – P. 9-13. – DOI: 10.1007/978-3-319-19234-5\_2.

28. Beghetto R. A., Kaufman J. C. Theories of creativity // Creativity and Innovation. –

29. Care E., Scoular C., Griffin P. Assessment of Collaborative Problem Solving in Education Environments // *Applied Measurement in Education*. – 2016. – Vol. 29, № 4. – P. 250–264. – URL: doi.org.

30. Mapping the landscape: A scoping review of 21st century skills literature in secondary education / C. Kain, C. Koschmieder, M. Matischek-Jauk [et al.] // *Teaching and Teacher Education*. – 2024. – Vol. 151. – P. 104739. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.tate.2024.104739>.

31. Mohammed I. S., Ozdamli F. A Systematic Literature Review of Soft Skills in Information Technology Education // *Behavioral Sciences*. – 2024. – Vol. 14, № 10. – P. 894. – URL: <https://doi.org/10.3390/bs14100894>.

32. Essential Soft Skills for Engineering in Industry 4.0: A Systematic Literature Review / T. A. Prasetya, S. Munadi, T. Sukardi [et al.] // *International Journal of Engineering Education*. – 2025. – Vol. 41, № 5. – P. 1376–1385. – URL: [https://www.ijee.ie/latestissues/Vol41-5/21\\_ijee4625.pdf](https://www.ijee.ie/latestissues/Vol41-5/21_ijee4625.pdf).

33. Developing 21st century skills in chemistry classrooms: Opportunities and challenges of STEAM integration / T. Hadinugrahaningsih, Y. Rahmawati, A. Ridwan // *AIP Conference Proceedings*. – 2017. – Vol. 1868, № 1. – P. 030008. – URL: <https://doi.org/10.1063/1.4995107>.

34. Online Project-Based Learning with Integration of STEAM in Chemistry: Challenges and Opportunities to Create 21st Century Skills / C. A. Talib, N. Ramin, S. T. Rajan [et al.] // *AIP Conference Proceedings*. – 2022. – Vol. 2542. – P. 020001. – URL: doi.org.

35. Knox K. J., Gillis E. A. L., Dake G. R. A positive student experience of collaborative project work in upper-year undergraduate chemistry // *Chemistry Education Research and Practice*. – 2019. – Vol. 20, № 2. – P. 340–357. – URL: <https://doi.org/10.1039/c8rp00251g>.

36. Wenzel T. J. Collaborative and Project-Based Learning in Analytical Chemistry // *Active Learning: Models from the Analytical Sciences* / ed. P. A. Mabrouk. – American Chemical Society, 2007. – P. 54–68. – URL: <https://doi.org/10.1021/bk-2007-0970.ch005>.

37. Omar C., Plumb S. Teamwork and student engagement during practical sessions in laboratories // *9th International Conference on Higher Education Advances (HEAd'23)*. – València: Universitat Politècnica de València, 2023. – P. 1187–1195. – URL: <https://doi.org/10.4995/HEAd23.2023.16036>.

38. Rootman-Le Grange I., Retief L. Action Research: Integrating Chemistry and Scientific Communication to Foster Cumulative Knowledge Building and Scientific Communication Skills // *Journal of Chemical Education*. – 2018. – Vol. 95, № 8. – P. 1284–1290. – URL: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00958>.

39. Kelly O. C., Finlayson O. E. Providing solutions through problem-based learning for the undergraduate 1st year chemistry laboratory // *Chemistry Education Research and Practice*. – 2007. – Vol. 8, № 3. – P. 347–361. – URL: <https://doi.org/10.1039/B7RP90009>.

40. K. Alhashem F., Alfaiakawi A. Technology-enhanced learning through virtual laboratories in chemistry education // *Contemporary Educational Technology*. – 2023. – Vol. 15, № 4. – P. ep474. – URL: <https://doi.org/10.30935/cedtech/13739>.

41. Evaluating the effectiveness of a virtual laboratory for inorganic chemistry education / A. Tatenov, Z. Sarsenbaeva, G. Azimbaeva [et al.] // *Research in Science and Technological Education*. – 2025. – Vol. 43, № 2. – P. 377–389. – URL: <https://doi.org/10.1080/02635143.2023.2275139>.

42. Araripe E., Zuin Zeidler V. G. Advancing sustainable chemistry education: Insights from real-world case studies // *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. – 2024. – Vol. 9. – P. 100436. – URL: doi.org.

43. Chemistry students' soft skills development through the integration of Think Pair Square (TPSq) using a socio critical and problem oriented approach in acid-based learning / T. Hadinugrahaningsih, R. Amalia, E. Fitriani [et al.] // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2019. – Vol. 1402, № 5. – P. 055075. – URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/5/055075>