

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

УДК 372.851

DOI: 10.17853/1994-5639-2023-5-49-76

РАЗВИТИЕ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ СТУДЕНТОВ – БУДУЩИХ БИОТЕХНОЛОГОВ СРЕДСТВАМИ МАТЕМАТИКИ

С. И. Торопова

Вятский государственный университет, Киров, Россия.

E-mail: svetori82@mail.ru

Аннотация. *Введение.* В условиях доступности информации, содержащей вводные в заблуждение аргументы, распространенности электронных устройств и интернета востребованной становится способность эффективно ориентироваться в информационном поле, устанавливать причинно-следственные связи, формулировать собственные выводы и принимать взвешенные решения. Следовательно, одной из ключевых компетенций современного выпускника университета, от которой зависит его адаптация в обществе и профессиональная реализация, выступает критическое мышление. Его развитие является актуальной задачей в процессе математического образования студентов ряда направлений подготовки, которым предстоит работать в сферах, имеющих непосредственное отношение к благополучию будущих поколений.

Цель. Выявить и апробировать методические условия, обеспечивающие развитие критического мышления студентов – будущих биотехнологов в процессе обучения математике в вузе. Дополнительной задачей стала разработка диагностического инструментария, направленного на оценку навыков критического мышления.

Методология, методы и методики. В исследовании принял участие 81 студент Вятского государственного университета направления подготовки 19.03.01 Биотехнология. Основные методики измерения критического мышления, представленные Опросником склонности к критическому мышлению (UF/EMI Critical Thinking Disposition Instrument) и Шкалой барьеров критического мышления (The Critical Thinking Barriers Scale, CTBS), были дополнены диагностическим инструментарием из специально составленных задач с учетом специфики обучения математике будущих биотехнологов. Статистический анализ полученных результатов выполнен посредством *U*-критерия Манна-Уитни.

Результаты и научная новизна. Впервые представлены особенности формирования и оценки критического мышления студентов – будущих биотехнологов средствами математики на основе современных исследований. Сформулирован ряд методических условий, обеспечивающих развитие данного типа мышления, что уточняет и расширяет представления о системе математической подготовки бакалавров-биотехнологов. Разработан и апробирован диагностический инструментарий. Его ключевой особенностью является то, что студент работает не в симулированной среде, а над реальными проблемами. Эффективность вмешательства на основе описанных условий подтверждена достоверными различиями ($U_{\text{эмп.}} = 128 < U_{\text{кр.}} = 142$; $p < 0,01$).

Практическая значимость. Выявленные методические условия и предложенный диагностический инструментарий могут быть использованы при совершенствовании математической

подготовки будущих биотехнологов, а также для оптимизации процесса обучения математике с целью развития основных компонентов критического мышления.

Ключевые слова: критическое мышление, математическое моделирование, контекстные математические задачи, студенты – будущие биотехнологи.

Благодарности. Автор благодарит анонимных рецензентов, ознакомившихся со статьей и сделавших ценные замечания, позволившие улучшить ее качество.

Для цитирования: Торопова С. И. Развитие критического мышления студентов – будущих биотехнологов средствами математики // Образование и наука. 2023. Т. 25, № 5. С. 49–76. DOI: 10.17853/1994-5639-2023-5-49-76

DEVELOPMENT OF CRITICAL THINKING OF STUDENTS – FUTURE BIOTECHNOLOGISTS IN THE PROCESS OF TEACHING MATHEMATICS

S. I. Toropova

Vyatka State University, Kirov, Russia.

E-mail: svetori82@mail.ru

Abstract. Introduction. In the context of the availability of information containing misleading arguments, the prevalence of electronic devices and the Internet, there is the increasing demand for the ability to effectively navigate the information field, to establish cause-and-effect relationships, to formulate one's own conclusions and to make informed decisions. Consequently, one of a modern university graduate's key competencies is critical thinking, which influences students' adaptation in society and their professional realisation. Critical thinking development is an urgent task in the process of mathematical education of students, who plan to work in areas directly related to the well-being of future generations.

Aim. The current research aims to identify and test the methodological conditions that ensure the development of critical thinking of students – future biotechnologists in the process of teaching mathematics at the university. An additional task was the development of diagnostic tools aimed at assessing critical thinking skills.

Methodology and research methods. The research involved 81 students of the Vyatka State University majoring in 19.03.01 Biotechnology training programme. The main methods for measuring critical thinking, presented by the UF/EMI Critical Thinking Disposition Instrument and the Critical Thinking Barriers Scale (CTBS), were supplemented with diagnostic tools from specially designed tasks, taking into account the specifics of teaching mathematics to future biotechnologists. Statistical analysis of the obtained results was performed using the Mann-Whitney U test.

Results and scientific novelty. For the first time, on the basis of modern research, the features of the formation and evaluation of critical thinking of students – future biotechnologists in the process of teaching mathematics are presented. A number of methodological conditions, which ensure the development of this type of thinking, are formulated. The conditions clarify and expand the ideas about the system of mathematical training of bachelors-biotechnologists. Diagnostic tools were developed and tested. Its key feature is that the student does not work in a simulated environment, but on real problems. The intervention effectiveness based on the described conditions was confirmed by significant differences ($U_{emp.} = 128 < U_{cr.} = 142; p < 0,01$).

Practical significance. The identified methodological conditions and the proposed diagnostic tools can be used to improve the mathematical training of future biotechnologists, as well as to optimise the process of teaching mathematics in order to develop the main components of critical thinking.

Keywords: critical thinking, mathematical modelling, contextual mathematical problems, students – future biotechnologists.

Acknowledgements. The author thanks the anonymous reviewers for their careful reading of the article and their insightful comments, which significantly helped improve its quality.

For citation: Toropova S. I. Development of critical thinking of students – future biotechnologists in the process of teaching mathematics. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*. 2023; 25 (5): 49–76. DOI: 10.17853/1994-5639-2023-5-49-76

DESARROLLO A TRAVÉS DE LAS MATEMÁTICAS DEL PENSAMIENTO CRÍTICO DE LOS ESTUDIANTES QUE SE GRADÚAN COMO BIOTECNÓLOGOS

S. I. Tóropova

Universidad Estatal de Vyatka, Kírov, Rusia.

E-mail: svetori82@mail.ru

Abstracto. Introducción. Debido a la disponibilidad de información que contiene argumentos engañosos y el predominio de los dispositivos electrónicos e internet, exige de parte del interesado poseer la capacidad de orientarse de manera efectiva en el campo de la información, establecer relaciones de causa y efecto, formular sus propias conclusiones y tomar decisiones fundamentadas en una información concordante con la realidad. En consecuencia, una de las competencias clave de un graduado universitario moderno, de la que depende su adaptación en la sociedad y realización profesional, es el pensamiento crítico. Su desarrollo es una tarea de gran actualidad en el proceso de formación matemática de los estudiantes en una serie de áreas de la educación universitaria, que como futuros profesionales deberán trabajar en ámbitos que están directamente relacionadas con el bienestar de las generaciones futuras.

Objetivo: El propósito del artículo es identificar y probar las condiciones metodológicas que aseguren el desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes, que en el día de mañana se graduarán como biotecnólogos en su proceso de aprendizaje de las matemáticas en la universidad. Una tarea adicional ha sido el desarrollo de herramientas de diagnóstico destinadas a evaluar las habilidades de pensamiento crítico.

Metodología, métodos y procesos de investigación. En el estudio participaron 81 estudiantes de la Universidad Estatal de Vyatka, cuya carrera corresponde al código 19.03.01 de Biotecnología. Los principales métodos usados para la medición el pensamiento crítico, presentados en la Encuesta como instrumento de Tendencia al Pensamiento Crítico (UF/EMI) y la Escala de Barreras del Pensamiento Crítico (CTBS), fueron complementadas con instrumentos de diagnóstico a partir de tareas especialmente diseñadas, teniendo en cuenta las especificidades del aprendizaje de las matemáticas de los futuros biotecnólogos. El análisis estadístico de los resultados obtenidos se realizó utilizando la prueba U de Mann-Whitney.

Resultados y novedad científica. Por primera vez se presentan las características de la formación y evaluación del pensamiento crítico de los estudiantes que se gradúan de biotecnólogos por medio de las matemáticas basadas en investigaciones modernas. Se han formulado una serie de condiciones metodológicas que aseguran el desarrollo de este tipo de pensamiento, que aclara y amplía la comprensión del sistema de formación matemática de los licenciados en biotecnología. Se han desarrollado y probado instrumentos de diagnóstico. Su característica fundamental es que el alumno no trabaja en un entorno simulado, sino en problemas reales. La efectividad de la intervención basada en las condiciones descritas fue confirmada por diferencias significativas ($U_{emp.} = 128 < U_{cr.} = 142; p < 0,01$).

Significado práctico. Las condiciones metodológicas identificadas y las herramientas de diagnóstico propuestas pueden utilizarse para mejorar la formación matemática de los futuros biotecnólogos, así

como para optimizar el proceso de enseñanza de las matemáticas con el fin de desarrollar los principales componentes del pensamiento crítico.

Palabras claves: pensamiento crítico, modelación matemática, problemas matemáticos contextuales, futuros biotecnólogos.

Agradecimientos. El autor agradece a los revisores anónimos que leyeron el artículo y realizaron valiosos comentarios que mejoraron la calidad del mismo.

Para citas: Tóropova S. I. Desarrollo a través de las matemáticas del pensamiento crítico de los estudiantes que se gradúan como biotecnólogos. *Obrazovanie i nauka = Educación y Ciencia*. 2023; 25 (5): 49–76. DOI: 10.17853/1994-5639-2023-5-49-76

Введение

Технический прогресс и процесс глобализации ставит перед мировым обществом новые вызовы. К ним относится непрерывно возрастающая сложность и усиление неопределенности, возросшая степень уязвимости перед лицом пандемий и техногенных катастроф¹. Современные условия характеризуются стремительными темпами роста объема информации и быстрым ее устареванием, доступностью данных посредством широкого использования различных электронных устройств и сети Интернет, включающих вводящие в заблуждение суждения и некорректные выводы. В таких обстоятельствах актуальным и востребованным становится умение ориентироваться в информационном поле, конструктивно и ответственно принимать решения.

В ответ на стоящие вызовы гражданам необходимо обладать набором ключевых компетенций, которым невозможно научить, их можно только развить посредством осознанных усилий в процессе образования, в том числе высшего [1]. Одной из таких компетенций является критическое мышление, подразумевающее «способность подвергать сомнению принятые нормы, подходы и мнения, критически оценивать собственные взгляды, предложения и действия, отстаивать свою позицию в дискуссиях²».

Единого общепринятого толкования термин «критическое мышление» не имеет, однако, в широком смысле оно определяется как «разумное и рефлексивное мышление, которое сосредоточено на принятии решения, во что верить и что делать» [2; 3]. Исследователи выделяют его различный компонентный состав. Концептуальной основой для большинства научных работ являются когнитивные навыки, предложенные Р. А. Facione: интерпретация, анализ, оценка, выводы, объяснение и саморегуляция [4]. Такой классификации придерживаются Ö. Dulun и J. F. Lane [1], G. Merma-Molina, D. Gavilán-Martín, S. Baena-Morales, M. Urrea-Solano [3], H. Basri, Purwanto, A. R. As'ari, Sisworo [5]. Также среди ученых нет однозначного мнения по поводу эффективных средств формирования критического мышления в процессе обучения.

¹ Education for Sustainable Development Goals - Learning Objectives. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: Paris, France, 2017. Available from: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247444> (date of access: 06.02.2023).

² Там же. С. 10.

М. В. Солодихина, А. А. Солодихина [6] и К. В. Christian с соавторами [7] считают инженерное образование потенциальным инструментом развития у учащихся навыков критического мышления и решения проблем. Современная и перспективная программа бакалавриата по биотехнологии нацелена на подготовку инженеров-технологов и кадров высшей квалификации в области технического, пищевого и медицинского назначения, имеющих непосредственное отношение к благополучию будущих поколений¹. По мнению М. С. De la Hoz с коллегами, биотехнологические приложения, в частности, в вопросах производства вакцин нового поколения, лекарственных препаратов, безопасной утилизации промышленных отходов и многих других, влекут серьезные последствия для нашего общества, поэтому важно, чтобы система высшего образования формировала критически мыслящих специалистов в данной сфере [8].

Исследователи во всем мире относят критическое мышление к навыкам мышления высшего порядка (High order thinking skills (HOTS)²), развиваемым в ходе обучения [9; 10].

Оно является одной из универсальных компетенций, формируемых в процессе высшего образования в РФ. Согласно ФГОС ВО направления подготовки 19.03.01 Биотехнология³ системное и критическое мышление (УК-1) определяется как способность «осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач»⁴.

Считается, что математическое образование предоставляет необходимые знания для инженерной учебной программы, к которой относится подготовка специалистов в области биотехнологии, поскольку оно закладывает основу математического аппарата будущей профессиональной деятельности и обеспечивает формирование хороших аналитических навыков решения проблем. В. Рерин и З. Коск отмечают, что в этом смысле математика трансформируется из инструмента в средство развития критического мышления, т. к. наделяет обучающегося набором математических методов, которые становятся потенциальными решениями инженерных проблем [11]. Ученые подчеркивают целесообразность развития критического мышления в процессе обучения математике по нескольким причинам. Такие составляющие критического мышления, как способность анализировать, выявлять причинно-следственные связи, находить логически верную аргументацию, эффективно формируются

¹ Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 19.03.01 Биотехнология [Электрон. ресурс]. Режим доступа: https://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/Bak/190301_B_3_06092021.pdf (дата обращения: 23.01.2023).

² High order thinking skills (HOTS) – навыки мышления высшего порядка, включающие помимо критического мышления навыки решение проблем, способность работать в команде, творческое мышление и др. (см., напр., Elizar E. Two-Level Model of Attitudes and Beliefs Influencing Higher Order Thinking (HOT) Skills in Mathematics // *Bolema: Boletim de Educação Matemática*. 2021. № 70 (35). DOI: 10.1590/1980-4415v35n70a22; Wikanta W., Susilo H. Higher Order Thinking Skills Achievement for Biology Education Students in Case-Based Biochemistry Learning // *International Journal of Instruction*. 2022. № 4 (15). P. 835–854. DOI: 10.29333/iji.2022.15445a).

³ Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 19.03.01 Биотехнология [Электрон. ресурс]. С. 10. Режим доступа: https://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/Bak/190301_B_3_06092021.pdf (дата обращения: 23.01.2023).

⁴ В ФГОС ВО системное и критическое мышление объединены в единую компетенцию, однако они не являются синонимами.

в процессе математической деятельности [11; 12]. Т. Tossavainen с коллегами обращают внимание, что важной особенностью математики является то, что ее можно использовать для описания и исследования реального мира посредством математических моделей [13]. В процессе их построения происходит освоение навыков формализации и интерпретации полученного решения на языке изучаемой предметной области. В целом математическое моделирование может стать центральной темой, объединяющей идеи математики и инженерные исследования, что позволяет органично включить развитие критического мышления студентов в учебный процесс.

Таким образом, **целью** представленного исследования является выявление и апробация методических условий, обеспечивающих развитие критического мышления студентов – будущих биотехнологов в процессе обучения математике в вузе. Дополнительной задачей стала разработка современного, приближенного к реальным проблемам инструментария, направленного на оценку навыков критического мышления будущих специалистов в области биотехнологии ввиду сложности, а иногда и невозможности адаптации существующих стандартизированных тестов.

Гипотеза исследования состоит в том, что реализация предложенных методических условий в математическом образовании будущих биотехнологов будет способствовать развитию их критического мышления без введения специального академического курса.

Ограничения исследования: данным исследованием была охвачена небольшая выборка, период опытно-экспериментальной работы ограничивался одним годом – временем изучения курса высшей математики (известно, что существенный прирост в навыках критического мышления не может произойти в течение короткого вмешательства). Тем не менее определенные выводы по поводу решения обсуждаемой проблемы можно сделать уже сейчас.

Обзор литературы

Irham, I. Tolla и B. Jabu считают, что развитие критического мышления в процессе обучения математике является предметом широкого внимания мирового научно-методического сообщества в области математического образования [12]. С целью всестороннего рассмотрения состояния проблемы исследования опытно-экспериментальной работе предшествовал глубокий анализ литературных источников.

К. В. Тарасова и Е. А. Орел отмечают, что, несмотря на востребованность наличия навыков критического мышления у выпускников вузов, процесс их развития и измерения сопровождается определенными трудностями. Одна из них связана с мотивацией: критическое мышление, хотя и является ожидаемым образовательным результатом, не входит в перечень учебных дисциплин, следовательно, за его освоение студенту не нужно получать оценку. В этом случае мотивация к его формированию и оцениванию снижается, что непосредственно сказывается на результатах [14]. N. Namakshi, H. K. Warshauer,

S. Strickland, L. McMahon пришли к выводу, что обучающиеся ценят навыки мышления высшего порядка в математике, если они становятся актуальными для них в процессе обучения. Однако студенты не видят ценности и актуальности во многом, чему их учат. Не имея непосредственной потребности в этих навыках, они не уделяют им внимания в должной степени [15]. Такая особенность была выявлена Irham, I. Tolla, B. Jabu [12] и S. Sachdeva, P.-O. Eggen [16]: студенты нередко считают математику сложным, абстрактным и неинтересным предметом, что делает их деятельность пассивной и не способной улучшить навыки критического мышления.

M. Durnali отмечает, что довольно часто наблюдается недооценка самими преподавателями актуальности критического мышления или его развитие осуществляется изолированно [17]. По мнению M. S. Mahmud с соавторами, в системах задач, предлагаемых для работы, преобладают вопросы на запоминание и применение математических процедур и алгоритмов [18]. Следовательно, по утверждению S. Sachdeva, P.-O. Eggen [16] и D. S. Setiana, R. Y. Purwoko, Sugiman [19], у учащихся создается дефицит в практике решения задач, которые стимулируют их критически мыслить. K. B. Christian, A. M. Kelly, M. F. Bugallo обращают внимание, что существует проблема сохранения фундаментальности обучения и временных ограничений, связанных с добавлением дополнительных материалов к и без того насыщенному содержанию [7]. Препятствием может служить необходимость составления и постоянной актуализации заданий, пригодных для формирования и измерения навыков критического мышления [7; 14; 17]. Сложную проблему представляет конфликт между развитием критического мышления и распространенностью компьютерных технологий. Ö. Dulun и J. F. Lane [1] утверждают, что несмотря на интеграцию информационных технологий в образование и повседневную жизнь, в учебном процессе необходимо учитывать концепции, связанные с исследуемым типом мышления.

В целом ученые единодушны во мнении, что выявленные проблемы развития критического мышления могут быть преодолены, а оно само эффективно сформировано в образовательной деятельности посредством создания ряда методических условий [9; 17].

Первое условие – *составление специальных заданий, обладающих аутентичным контекстом, когда постановка учебной задачи встроена в реальный сценарий*. Известно, что решение задач имеет первостепенное значение для совершенствования различных видов математического мышления, включая критическое математическое мышление [20]. Наиболее результативным способом его формирования является предоставление системы некоторых, нестандартных, специальным образом подобранных задач, например, с недостающими или избыточными данными, как это бывает на практике, инженерных задач и др. При работе с ними происходит не только развитие мышления, но и проявляется его сформированность, что позволяет использовать их для диагностики [20]. О роли нестандартных задач в стимулировании критического

мышления также рассуждают D. S. Setiana, R. Y. Purwoko, Sugiman. Именно на их основе в [19] авторы анализируют эффективность предпринятого ими вмешательства.

В целом ряде научных работ Irham, I. Tolla, B. Jabu [12], S. Sachdeva, P.-O. Eggen [16], H. Semilarski, R. Soobard, M. Rannikmäe [21], T. Tossavainen, R. J. Rensaa, P. Haukkanen, M. Mattila, M. Johansson [13] и др. в качестве таких заданий рассматриваются задачи с аутентичным контекстом. Ö. Dulun и J. F. Lane [1], E. Evendi, A. K. Al Kusaeri, M. H. H. Pardi, L. Sucipto, F. Bayani, S. Prayogi [2], N. Monrat, M. Phaksunchai, R. Chonchaiya [22] раскрывают роль аутентичных условий математической подготовки так: критическое мышление в процессе обучения математике развивается не столько путем повторения полученных знаний, сколько посредством глубоких размышлений о преимуществах ее использования в реальной жизни. По их наблюдениям, учащиеся предпочитают демонстрации математических приложений разнообразные аутентичные задачи, которые могут вызвать интерес к обучению и сделать его более содержательным. Firdaus, I. Kailani, Md. N. B. Bakar, Bakry указали, что 75 % опрошенных ими обучающихся в качестве условий, побуждающих их мыслить критически, высказали ряд предложений, которые варьировались от включения большего количества практических примеров до использования реальных задач [23].

Замена части типовых математических задач, выполняющих дидактические функции обучения математике, контекстными задачами обеспечивает органичное построение образовательного процесса с учетом формирования и измерения навыков критического мышления при сохранении того математического содержания, которое занимает центральное место в курсе. Важно, чтобы такие задания вместе с остальным материалом образовывали единую систему обучения математике, т. е. нецелесообразно ограничиваться несколькими изолированными примерами, желательно систематически предлагать их для решения. В ходе работы над контекстными задачами студенты практикуются применять знания в реальных условиях, улучшается аргументация и происходит приобретение опыта оценки реализуемости высказанных идей [6]. Банк подобных заданий для будущих инженеров – биотехнологов, в частности, задач об определении эффективности лекарственных средств, представлен в работе [13].

В качестве актуального контекста, позволяющего установить связи материала вузовского курса математики с реальной проблемой, исследователи называют кризис COVID-19 [24]. V. Jungic в [25] говорит о том, что организация в аудитории обсуждения вопросов, как скорость изменения и знак второй производной эпидемиологической кривой могут повлиять на жизнь общества, предоставляет студентам возможность продемонстрировать уровень своего критического математического мышления. Кроме того, автор показал ряд способов убедить группу скептически настроенных студентов в ценности того, что они изучают по математическому анализу, за счет самостоятельной оценки противоэпидемиологических мероприятий.

J. Engelbrecht, M. C. Borba, S. Llinares, G. Kaiser [26] также задаются вопросом о том, какими будут последствия эпидемии коронавируса для математического образования. С началом глобальной пандемии понятия и модели математики оказались в центре внимания печатных и электронных СМИ по всему миру. В них использовались графики, диаграммы, термины описательной статистики, встречались упоминания об экспоненциальном и логистическом росте и др. В своем исследовании ученые высказали озабоченность по поводу того, что в этих информационных потоках студентам встретится множество недостоверных сведений и дезинформации. Преподаватели математики за счет включения в обучение соответствующих практических примеров могут помочь обучающимся не поддаваться на манипуляции, принимать обдуманное решения и формулировать доказательные выводы.

К аналогичному заключению приходят С. Engledowl и Т. Weiland: современному выпускнику нужно быть критически настроенным потребителем информации и информированным гражданином, что включает в себя способность анализировать статистическую информацию, предназначенную для широкой аудитории [27]. Авторы выражают надежду на то, что совместное осмысление в процессе обучения математике аргументов, основанных на данных эпидемии и изложенных в различных СМИ, научит студентов распознавать вводящие в заблуждение приемы визуализации.

По утверждению Y. Zhao и J. Watterston, потребность в развитии критического мышления – одно из важных изменений в системе образования, опосредованное пандемией, его идея не нова, но в постковидный период появилась возможность заново осмыслить навыки, необходимые для будущих поколений [28].

Второе условие – *привлечение студентов к реализации прикладных исследовательских проектов*, работа над которыми предполагает сбор достоверной информации, обоснование принятого решения, обсуждение результатов и выводов [29]. Перечисленные навыки являются составляющими критического мышления. Кроме того, посредством метода проектов можно эффективно осуществить интеграцию приложений математики в дисциплины инженерного цикла за счет применения математического моделирования, которое позволяет сделать математическое образование актуальным и помочь студентам осмыслить проблемы избранной профессиональной деятельности, а не оставаться на уровне «вычислений» [11]. Подобная интеграция также помогает преодолеть обозначенные трудности в мотивационной сфере [30].

Согласно рекомендациям ученых, предлагаемые проекты целесообразно посвящать смоделированным инженерным задачам, сформулированным как практическая проблема, решение которой должно быть разработано с учетом определенного набора ограничений и условий [7].

Третье условие – *обеспечение междисциплинарности* и даже *трансдисциплинарности содержания математического образования* студентов – будущих биотехнологов. Междисциплинарные связи математики с профильными

предметами формируют единую научную картину мира [21; 31]. Такие темы, как генетическая изменчивость, математические модели климата, кинетика химических реакций, преобразование энергии, связаны с глобальными проблемами и позволяют студентам приобрести навык исследования сложных систем [21]. В свою очередь, по мысли В. А. Тестова и Е. А. Перминова, введение теории графов, нечетких множеств, фракталов, использование больших данных позволяет вывести обучение математике на трансдисциплинарный уровень как новую ступень проявления его междисциплинарности [31]. Такая же позиция отражена, например, в работе М. R. Ariza, A. Q. Armenteros, A. E. Castro: трансдисциплинарный характер рассматриваемых тем помогает осознать важность обучения критически мыслящих людей [32].

Четвертое условие – *обучение навыкам работы с информацией в онлайн-среде*. В современных условиях студенту необходимы умения системной работы с первоисточниками, способность определять достоверную, искаженную или ложную информацию [14]. Ряд тем математики, в частности, математической статистики, обеспечивает будущих биотехнологов опытом работы с большими данными, их сбору, анализу, интерпретации и графическому представлению, применению статистических программных средств, например, для оценки новых методов лечения [33].

Возможности информирования или дезинформирования с помощью визуализации данных обсуждают М. Stephan, J. Register, L. Reinke, C. Robinson, P. Pugalenti, D. Pugalee. На примере проведенного и описанного в работе [24] опроса на тему «Я доверяю данным для предсказания поведения вируса» исследователи ставят под сомнение опубликованные в сети Интернет посты, предлагая обучающимся задуматься над вопросами, каков источник информации, его надежность, актуальность приведенных данных, их достаточность для обоснованного прогнозирования. Авторы полагают, что задания такого плана помогут учащимся стать критически и математически вовлеченными, подвергать сомнению математические аргументы, модели и представления в публичном дискурсе. Подводя итог исследованию математического мышления в процессе работы с графиками, ученые отмечают востребованность критического математического образования в современных условиях.

Пятое условие – *использование групповой формы работы*. Известно, что работа в малых группах (3–5 человек) способствует освоению навыков сотрудничества, формулирования вопросов, принятия альтернативных мнений [7]. С одной стороны, работодатели все чаще требуют работы в команде, поэтому традиционные методы обучения оказываются неэффективными для удовлетворения новых образовательных и социальных потребностей. С другой стороны, по наблюдению Е. Evendi, A. K. Al Kusaeri, M. H. N. Pardi, L. Sucipto, F. Bayani, S. Prayogi [2], N. Monrat, M. Phaksunchai, R. Chonchaiya [22] учащиеся более склонны изучать математику в среде, в которой созданы условия для их взаимодействия. Н. Semilariski, R. Soobard, M. Rannikmäe описывают опыт организации групповой работы по ряду междисциплинарных тем, рассмотрении

которых способствует развитию навыков критического мышления [21]. Среди них – вопросы вакцинации, пищевой биотехнологии, изменение климата.

Интеграция всех условий рассмотрена в [6]. Автором представлены результаты апробации методики работы в малых группах по решению реальных проблемно-ситуационных кейсов инженерного содержания в учебной и проектной деятельности магистрантов педагогического образования. В исследовании доказано совершенствование уровня сформированности отдельных элементов критического мышления посредством данной методики.

Анализ научной литературы также позволил уточнить навыки критического мышления, формируемые в процессе математического образования, и изучить опыт их развития средствами математики.

Согласно точке зрения Н. Basri, Purwanto, A. R. As'ari, Sisworo, шесть когнитивных категорий по P. A. Facione являются наиболее подходящими для измерения критического мышления обучающихся в процессе их математической подготовки [5]. Обобщение работ Ö. Dulun и J. F. Lane позволило конкретизировать данные компоненты применительно к курсу математики [1].

Студент обладает навыком интерпретации, если он строит графики и таблицы, правильно использует и интерпретирует математическую терминологию и обозначения, применяет средства информационно-коммуникационных технологий для представления информации. Аналитические навыки используются для выявления закономерностей, понимания математических фактов, проверки предположений, формулирования вопросов. Категория оценки предполагает определение надежности и достоверности данных, аргументов и утверждений, оценку результатов наблюдений и адекватности математических моделей. Навыки логического вывода включают применение соответствующих данных и информации, чтобы делать обоснованные выводы, выбирать методы решения задач, демонстрировать важность математических результатов, выявлять альтернативные варианты. Компонент объяснения предусматривает привлечение необходимой терминологии при толковании символов, таблиц, диаграмм, а также обоснование своих решений. Способность контролировать и брать на себя ответственность за собственное образование составляет содержание навыка саморегуляции. По мнению Ö. Dulun и J. F. Lane [1], данный навык является самым трудно анализируемым параметром. Он характеризует вовлеченность студента в процесс обучения, предполагает исправление ошибок, сбор и представление своих достижений, например, с помощью портфолио.

Опыт формирования критического мышления и отдельных его компонентов средствами математики описан в ряде научных исследований. Так, будущие учителя математики, работавшие под руководством N. Namakshi, H. K. Warshauer, S. Strickland, L. McMahon, заявили, что изучение критического математического мышления учащихся стало для них самой трудной задачей [15]. Пример развития навыков критического мышления в предметной области математики содержится в работе [1]. Ее авторы просили обучающихся

использовать математические знания и умения, чтобы объяснить реальный жизненный опыт в области здравоохранения, промышленности и окружающей среды. М. R. Ariza, A. Q. Armenteros и A. E. Castro осуществили интеграцию критического мышления в математическое образование посредством рассмотрения актуальных и современных соционаучных проблем, в частности, проблемы изменения климата, и предоставили достоверные доказательства положительного влияния такой интеграции [32].

Методология, материалы и методы

Методологической основой представленного исследования послужили системный, деятельностный, междисциплинарный и метапредметный подходы в образовании. В соответствии с системным подходом развитие критического мышления обеспечивается совокупностью всех выделенных методических условий. Оно происходит не фрагментарно, а целенаправленно и систематически, образуя единое целое с осваиваемым математическим содержанием.

На основании деятельностного подхода формирование навыков критического мышления осуществляется в процессе математической деятельности, организованной таким образом, чтобы она отражала процесс познания в математике и студент – будущий биотехнолог был полноправным ее субъектом как при решении учебных задач, так и при работе над реальной проблемой.

Междисциплинарность в математическом образовании обучающихся по программе бакалавриата «Биотехнология» базируется на следующих положениях. Во-первых, сама биотехнология представляет междисциплинарную научную область, сформировавшуюся на стыке биологических, химических, медицинских наук и информационных технологий. Во-вторых, глобальные проблемы в сфере продовольственной безопасности, разработки и производства лекарственных средств, предотвращения и ликвидации техногенных катастроф и многие другие имеют междисциплинарный характер. Наконец, решение перечисленных проблем возможно посредством синтеза современных достижений, методов и приемов различных наук. Следовательно, обучение математике по данной программе тоже должно осуществляться с учетом междисциплинарной интеграции с тем, чтобы специалисты-биотехнологи обладали критическим мышлением для принятия ответственных решений по многим стратегически важным направлениям.

Согласно метапредметному подходу в качестве ориентира в отборе содержания математической подготовки будущих биотехнологов были выбраны метапредметные понятия, идеи и методы математики, получившие общенаучное значение. Ведущим из них стал метод математического моделирования. Подчеркнем, что само умение мыслить критически относится к метапредметным результатам обучения.

В ходе теоретической части исследования были проанализированы научные публикации, входящие в международные базы данных Scopus и Web of Science, с глубиной поиска 10 лет по ключевым словам: «критическое мыш-

ление», «критическое математическое мышление», «критическое математическое образование», «контекстные математические задачи», «биотехнологическая грамотность». Отметим, что количество статей, посвященных рассматриваемой проблеме и опубликованных за последние 5 лет, значительно увеличилось. Это свидетельствует о возрастании внимания научно-педагогического сообщества большинства стран к вопросам формирования критического мышления будущих поколений.

Эмпирическое исследование проводилось в 2021/2022 учебном году на базе Института биологии и биотехнологии ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» (ВятГУ). В экспериментальной работе принял участие 81 студент направления подготовки 19.03.01 Биотехнология, 41 из них вошел в состав контрольной группы (КГ) и 40 – экспериментальной группы (ЭГ).

В настоящее время наблюдается многообразие стандартизированных методик измерения критического мышления, созданных для студентов вузов, с подтвержденной валидностью и надежностью получаемых результатов. К их числу относятся тест критического мышления Уотсона-Глейзера (Watson – Glaser Critical Thinking Appraisal Tool, WGCTA), тест Корнелла (Cornell Critical Thinking Test, CCTT) и многие другие. Однако, большинство диагностических инструментов являются англоязычными, требующими существенных затрат на их адаптацию и апробацию. При этом возможности усовершенствования и использования адаптированного теста в значительной степени ограничены правообладателями [14, с. 200–201]. Ряд методик предназначен для оценки навыков критического мышления кандидатов перед приемом на работу, в частности, упоминаемый тест Уотсона-Глейзера применяется для будущих сотрудников юридических фирм. Кроме того, практически ни один из известных инструментов не имеется в открытом доступе, в отличие, например, от ряда психологических шкал, которые опубликованы в научных изданиях.

С учетом изложенного однородность КГ и ЭГ устанавливалась с помощью Опросника склонности к критическому мышлению (UF/EMI Critical Thinking Disposition Instrument¹). Данный тест определяется как надежный и достоверный инструмент измерения предрасположенности к критическому мышлению, разработанный для использования в высшем образовании [33]. Каждый его вопрос оценивается по пятибалльной шкале Лайкерта, где 1 – категорически не согласен, 5 – полностью согласен. Полагается, что чем выше общий балл, тем сильнее склонность респондента к критическому мышлению. Дополнительно для выявления возможных затруднений студентов и их своевременной коррекции была применена Шкала барьеров критического мышления (The Critical Thinking Barriers Scale, CTBS) [9] и опрос на основе авторской анкеты.

Для подтверждения эффективности вмешательства на основе предложенных методических условий был создан диагностический инструментарий, поскольку вопросы в известных опросниках критического мышления не явля-

¹ Irani T., Rudd R., Gallo M., Ricketts J., Friedel C., Rhoades E. Critical thinking instrumentation manual. 2007. Available from: <https://www.tntech.edu/citl/pdf/critical-thinking/UF-EMI.pdf> (date of access: 06.02.2023).

ются математическими ввиду их меньшей разработанности в педагогической практике [5]. Также стандартизированные тесты не пригодны для оценивания нестандартных задач, работа с которыми оказывает определенное влияние на формирование критического мышления [35]. По уточнению M. S. Mahmud, W. A. M. W. Pa, M. S. Zainal, N. F. M. Drus [18], такие тесты совсем не подразумевают открытых вопросов, ответы на которые не ограничивают взгляды учащихся, обеспечивая их возможностью озвучить свои идеи. Схожее понимание у Firdaus, I. Kailani, Md. N. B. Bakar, Bakry [23] и N. Monrat, M. Phaksunchai, R. Chonchaiya [22]: предоставление обучающимся открытых вопросов является эффективным средством развития навыков критического математического мышления. Кроме того, системы задач, отражающей специфику обучения математике в вузе будущих специалистов в сфере биотехнологии и направленных на измерение их критического мышления, в научно-методической литературе не обнаружено. Был подобран набор заданий, численные и фактические данные которых имеют место в реальности и порешав которые можно было, например, сформулировать выводы о целесообразности принимаемых противоэпидемических мер.

Результаты исследования и обсуждение

Перед систематическим изучением курса высшей математики студенты ВятГУ направления подготовки 19.03.01 Биотехнология были разделены на КГ и ЭГ случайным образом. Средние значения по Опроснику склонности к критическому мышлению (UF/EMI Critical Thinking Disposition Instrument), отраженные в табл. 1, свидетельствуют об однородности данных групп, что подтверждается статистическим анализом результатов посредством U -критерия Манна-Уитни ($U_{\text{эмп.}} = 767$, $U_{\text{кр.}} = 645$ при $p < 0,05$).

Таблица 1

Оценка склонности к критическому мышлению студентов – будущих биотехнологов

Table 1

Assessing critical thinking disposition of students – future biotechnologists

Общий балл <i>Total score</i>	Число студентов <i>Number of students</i>		Общий балл <i>Total score</i>	Число студентов <i>Number of students</i>		Общий балл <i>Total score</i>	Число студентов <i>Number of students</i>	
	КГ <i>CG</i>	ЭГ <i>EG</i>		КГ <i>CG</i>	ЭГ <i>EG</i>		КГ <i>CG</i>	ЭГ <i>EG</i>
78		1	94		2	108		2
80	2	1	95	1		109	1	
82	1		96	1		110	3	
85	1		97	1	4	111	2	
86		2	98	2	6	113	2	
87		2	99	1		114		3
88	2	1	101	3		115	1	2

89	3	1	102		1	116		2
90		2	103	2	1	117		1
91	2		104	1	2	119	2	
92		2	106	2	1	120	1	1
93	2		107	2				

Также перед началом преподавания с помощью Шкалы барьеров критического мышления (The Critical Thinking Barriers Scale, CTBS) [9] были определены трудности на пути его развития. Выявленные затруднения будущих биотехнологов – познавательные и мотивационные – совпадают с регистрируемыми другими исследователями проблемами [14; 17]. В том числе и на их преодоление нацелена реализация методических условий.

Прежде чем перейти к описанию формирующего и контролирующего этапов эксперимента сделаем одно важное замечание. В сентябре 2021 г. до проведения опытного преподавания проводилось добровольное анкетирование среди студентов – будущих биотехнологов ВятГУ с целью выяснения их отношения к значению математики и математического образования в их повседневной, учебной и будущей профессиональной жизни. Кроме студентов первого курса в опросе приняло участие 74 студента второго курса, 35 – третьего и 27 – четвертого. Помимо прочего среди вопросов анкеты содержалось три открытых задания с просьбой продолжить фразы «Считаю, что математика нужна», «Если бы я преподавал математику, то обратил бы внимание на следующее» и «Рекомендации по усовершенствованию процесса обучения математике». В качестве ответа на первый вопрос вариант «для интеллектуального развития» предложили 82 % первокурсников, 65,5 % второкурсников, 54 % третьекурсыков и 40 % студентов выпускного курса. При ответе на два последних вопроса респонденты указывали доступность излагаемого материала, обеспечение индивидуального подхода к обучению математике, увеличение количества практических примеров или приложений из профильных дисциплин. Таким образом, развитие критического мышления не называлось.

Полученные результаты согласуются с предыдущими исследованиями, посвященными проблемам оснащения учащихся навыками критического мышления в процессе обучения математике. Firdaus, I. Kailani, Md. N. B. Bakar, Bakry указали, что при ответе на аналогичные вопросы только 85 % обучающихся Южного Сулавеси (Индонезия) акцентировали внимание на применении исключительно арифметических вычислений в своей жизни, остальные затруднились определить, где им нужна высшая математика. Никто из респондентов не упомянул формирование критического мышления [23]. Опрос норвежских школьников, инициированный S. Sachdeva, P.-O. Eggen, показал: характеризуя условия совершенствования математической подготовки, учащиеся перечислили свои личные интересы и предпочтения в изучении математики; цели научиться мыслить критически никто не ставил [16].

Обе группы (КГ и ЭГ), участвовавшие в эксперименте, изучали курс высшей математики по одной и той же программе у одного преподавателя. Процесс обучения математике в ЭГ осуществлялся с учетом сформулированных методических условий, направленных на развитие критического мышления студентов – будущих биотехнологов. Это согласуется с мнением ученых G. Merma-Molina, D. Gavilán-Martín, S. Baena-Morales, M. Urrea-Solano: формирование критического мышления не происходит «естественно и случайно» («naturally or casually»), возникает необходимость в его стимулировании [3]. Студенты КГ не участвовали во вмешательстве и не обучались критическому мышлению целенаправленно.

Повторная оценка навыков критического мышления студентов КГ и ЭГ осуществлялась на основе специально составленного диагностического инструментария, включающего три группы заданий. Контекстом для них послужила вызвавшая, по мнению V. Jungic [25] и M. Stephan с коллегами [24], повышенное внимание общественности к критической математической грамотности во всем мире эпидемия COVID-19, предоставив беспрецедентную возможность продемонстрировать связь изучаемого математического материала с глобальной проблемой.

Уточним, что данная проблематика является не единственно возможной. Например, С. И. Калинин и С. И. Торопова считают, что вопросы экологии представляют актуальный контекст для разработки подобных задач и тем проектов [29; 30]. L. O’Keeffe и K. Raige использовали проблемы местного значения, связанные с доступом к воде районов Южной Австралии, как источник развития критического математического мышления [36]. Это мышление трактуется ими как возможность не только понимать и применять математику, оценивать информацию и принимать решения на основе ее методов, но и средство сознать проблемы реального мира. Подводя итог исследованию, авторы обозначают потенциал критической математической грамотности для переориентации процесса обучения математике от передачи предметно-ориентированных знаний к обеспечению обучающихся ресурсом для взаимодействия с социальной, физической, политической и биологической средой.

Схожей позиции придерживаются L. H. Rubel и C. Nicol, предложившие целый цикл специализированных задач исследовательского и междисциплинарного характера, составленных с учетом местного контекста. Авторы считают, что внедрение критического математического образования следует подчинить следующей логике: от решения повседневных и учебных проблем учащегося к рассмотрению сложных и неоднозначных социально-общественных вопросов. Их тематика такова: изучение с опорой на теорию графов маршрутов автобусов по дороге в школу для определения оптимального пути или рассмотрение особенностей дорог и их влияния на время движения; анализ показателей вырубки деревьев в рамках обследования методов лесозаготовки; расчет доли земель, покрытых водой, массы воды в теле и количества потребляемой в день человеком жидкости, исследование стоимости водных ресурсов в разных стра-

нах относительно минимальной почасовой оплаты труда; математический анализ, представление и оценка прибыли, человеческих, природных и финансовых затрат в цепочке поставок и производства шоколада; математическое моделирование в описании и прогнозировании изменения климата [37].

Мы постарались подобрать задачи таким образом, чтобы они охватывали разнообразные разделы математики, изученные студентами – будущими биотехнологами на первом курсе, в частности, дифференциальное исчисление, обыкновенные дифференциальные уравнения, теория вероятностей и математическая статистика, математическое моделирование. Данный подход согласуется с результатами I. Gal и V. Geiger, представившими девять категорий математико-статистических продуктов, владение которыми позволит критически анализировать, оценивать значение и достоверность новостных сообщений в материалах СМИ, из которых, по мнению ученых, большинство граждан получают сведения о текущих событиях по ключевым социально-экономическим вопросам. Среди этих категорий – описательная количественная информация; модели, прогнозы, риск; визуальное представление; качество данных и достоверность доказательств; демографические показатели; неоднородность и контекстуальные факторы; требования к грамотности и языку; множественность источников информации; критические способности. Первые восемь категорий идентифицируются как дискретные, хотя и часто взаимосвязанные. Девятая категория, имеющая отношение к критическому мышлению, признается интегративной, поскольку все остальные продукты, связанные, например, с пандемией, могут стать предметом критической математической проверки [38].

Прежде чем приступить к описанию диагностических заданий, сделаем еще одно важно замечание. Несмотря на то что все они были направлены на оценку навыков критического мышления будущих биотехнологов и обладали междисциплинарным контекстом, их решение было математически содержательным. Это означает, что используемый математический аппарат имел основное, а не вспомогательное значение. Такая точка зрения соответствует позиции Ö. Dulun и J. F. Lane: необходимым условием развития критического мышления студентов являются знания предметной области, которые приобретаются в рамках академических дисциплин, и умение их применять в новой обстановке [1]. На первостепенное значение предметного математического содержания также указывают H. Basri, Purwanto, A. R. As'ari, Sisworo [5], N. Namakshi, H. K. Warshauer, S. Strickland, L. McMahon [15].

Численные данные в четырех задачах *первой группы* (Part I) представляли собой реальные значения заболеваемости населения Кировской области. Например, на основании динамики ежедневного выявления случаев заражения за период с 10.01.2022 г. по 11.05.2022 г. будущим биотехнологам предлагалось выбрать математическую модель, которая лучше остальных аппроксимирует рассматриваемые данные. 82,5 % студентов ЭГ и 56,1 % – КГ справились с этим заданием.

Заметим, что на составление аналогичных задач указывают другие ученые. Так, D. S. Nusantara, Zulkardi, R. I. I. Putri используют контекст панических покупок в г. Палембанг на юге Индонезии [39]. Zulkardi, Meryansumayeka, R. I. I. Putri, Z. Alwi, D. S. Nusantara, S. M. Ambarita, Y. Maharani, L. Puspitasari заявляют о разработке 10 подобных математических задач. Сюжетом для них служит реальная рецептура, рекомендованная Всемирной организацией здравоохранения для изготовления кожного антисептика, а также данные о заболеваемости в столице и ряде провинций Индонезии [40]. Исследователи подчеркивают: чтобы иметь возможность помочь учащимся в формировании навыков мышления высшего порядка средствами математики, необходимо понимать, как они работают над решением контекстных задач, разработкой которых целесообразно заниматься.

Содержание задач *второй группы* (Part II) составил ряд заданий экзамена по курсу дифференциального исчисления функции одной независимой переменной, разработанных автором работы [25] и иллюстрирующих связь между материалом указанного раздела математического анализа и эпидемией. В частности, диагностировалось понимание студентами экспоненциального роста, производной как мгновенной скорости изменения, приложения аппарата дифференциального исчисления для исследования и построения графиков функций. N. M. I. Kertiyani, S. Fatimah, J. A. Dahlan использовали аналогичное содержание для получения данных о математических навыках критического мышления обучающихся в ходе вмешательства, основанного на проблемно-ориентированном подходе [41].

Задания этой группы потребовали значительных временных затрат и вызвали наибольшее количество затруднений у студентов. Так, на открытый вопрос о существовании предела на бесконечности производной функции $A(t)$, описывающей кумулятивное число инфицированных на 1 млн. людей в Британской Колумбии через t дней после начала вспышки, только трое студентов ЭГ дали ответ: двое предположили, что предел не определен (вероятно, в долгосрочной перспективе COVID-19 будет похож на сезонный грипп, поэтому количество случаев заражения будет периодически то увеличиваться, то уменьшаться), и один студент выразил надежду, что данный предел существует и равен нулю.

Существенная сложность задач Part II была опосредована известной концепцией Л. С. Выготского о зоне ближайшего развития, согласно которой задания должны быть достаточно трудными и незнакомыми для обучающихся. Для оказания им «дозированной помощи» задача, основанная на реальной проблеме заболеваемости на западе Канады, была разделена на последовательность подвопросов. Аналогичный прием был использован в упоминаемом исследовании N. M. I. Kertiyani, S. Fatimah, J. A. Dahlan [41]. Такая структурированная помощь обеспечивает сохранение временного темпа, способствует получению более точных ответов от студентов и повышению их уверенности в собственных силах. Следовательно, стимулирование мышления учащихся

происходит целенаправленно не только посредством подбора специализированных задач, но и за счет организации особым образом деятельности по их решению [18]. По справедливому замечанию В. А. Тестова, в возникающем при этой деятельности переходе из зоны ближайшего развития в зону актуального развития проявляются математические навыки, в том числе критического мышления [20].

Центральной идеей заданий второй группы служила идея математического моделирования. В процессе решения задач предполагалась как работа с построенной моделью, так и самостоятельное ее составление. Студенты могли получить альтернативные варианты показательной функции. Особое внимание было уделено прогнозированию уровня заболеваемости на основе математических моделей.

О математике как о научно обоснованном инструменте прогнозирования рассуждает O. Skovsmose, употребляя термин «математическое форматирование пандемии», под которым понимается следующее. Когда встает потребность в прогнозировании реального явления, математическое моделирование дает представление о том, что может произойти в будущем при бездействии. Проводя систематические эксперименты с моделью, состоящие в изменении входных параметров, можно определить, какие выходные данные значительно изменятся, т. е. являются чувствительными переменными. Это, в свою очередь, позволяет понять, какие возможные меры можно было бы предпринять, чтобы изменить ситуацию. Следовательно, благодаря применению математического моделирования проблема становится управляемой. Таким образом, под «математическим форматированием пандемии» подразумевается критическое математическое прочтение ситуации с целью определить то, как мы можем действовать в этой ситуации, чтобы ее изменить. Это ключевой момент: математическая модель не только описывает проблему или предлагает прогноз, на ее основе эпидемия становится измеримой, предсказуемой, а сама модель формирует то, какие меры принимаются [42].

В *заключительной части* (Part III) диагностической работы содержались примеры некорректного представления данных о пандемии в некоторых зарубежных средствах массовой информации: первые два примера опубликованы в исследовании [27, с. 161–162], третий – [24, с. 521]. Примерно треть студентов обеих групп обнаружила вводящие в заблуждение приемы визуализации статистических данных в первом источнике. Однако число студентов ЭГ, предложивших верный ответ к третьей задаче, вчетверо превысило соответствующую численность КГ, при этом 45 % респондентов КГ и 10 % – ЭГ привели обоснование без применения числовых данных и каких-либо математических рассуждений, например, без обращения к величине приращения функции.

Целесообразность предъявления студентам подобных сомнительных суждений подчеркивают другие авторы научных работ. Так, A. Kajander приводит в качестве примера восстановленный из современной на тот период статьи график инфицирования в Северной Америке [43]. I. Gal и V. Geiger не только

собирают, но и классифицируют по математическому содержанию недостоверные сообщения и «фейковые новости» [38].

Количественный анализ полученных результатов (табл. 2) диагностической работы с помощью U -критерия Манна-Уитни подтвердил достоверность различий ($U_{\text{эмп.}}=128$, $U_{\text{кр.}}=142$ при $p<0,01$). При описании задач группы Part II использовалась нумерация автора исследования [25].

Таблица 2

Доля студентов – будущих биотехнологов, выполнивших задания диагностической работы по математике (в %)

Table 2

Percentage of students – future biotechnologists, who completed the tasks of diagnostic work in mathematics (in %)

Номер задачи Task	Part I				Part II									
	1	2	3	4	1.1	1.2	2.1	3.1	3.2	4.1	4.2	4.3	4.4	
КГ CG	82,9	92,7	56,1	0	14,6	24,4	0	82,9	61	17,1	24,4	15	10	
ЭГ EG	95	95	82,5	90	90	27,5	7,3	100	65	90	40	24,4	22	
Номер задачи Task	Part II						Part III							
	4.5	5.1 a)		5.1 b)		5.2	5.3	6.1	1	2	3			
КГ CG	0	5		2,5		2,5	5	0	25	30	19,5			
ЭГ EG	12,2	22		17,1		22	19,5	7,5	39	36,6	75			

На аналогичные выводы об эффективном влиянии вмешательства на развитие навыков критического мышления указывают Н. Semilarski, R. Soobard, M. Rannikmäe [21]. По мнению исследователей, положительные результаты были опосредованы организацией обучения на междисциплинарной основе в группах с использованием контекстных сценариев.

В качестве еще одного аргумента, подтверждающего различия КГ и ЭГ, укажем на тот факт, что на предложение преподавателя принять участие в проектной работе, ответили только студенты ЭГ. Заметим, что значение метода проектов в развитии критического мышления студентов вузов подчеркивается в исследованиях наших коллег. Так, К. В. Christian, А. М. Kelly, М. F. Bugallo [7] приводят в качестве примера разработку микробного топливного элемента по биотехнологии для обсуждения зависимости человека от ископаемого топлива. Firdaus, I. Kailani, Md. N. B. Bakar, Bakry [23] изучают навыки критического мышления в рамках проекта LOCUMS (Local Culture for Understanding Mathematics and Science). Ученые полагают, что не только стандартизированные тесты, но и контекстуальные математические задачи, основанные, в частности, на особенностях местной культуры, могут свидетельствовать об успешном развитии данных навыков у обучающихся.

Важно отметить, что ряд результатов исследований студентов ЭГ, принявших участие в проектной деятельности, опубликован. Например, описанный в статье¹ метод неравенств решения оптимизационных задач биохимии может эффективно применяться к поиску экстремальных значений различных функций, возникающих при изучении химико-технологических и биотехнологических процессов. Востребованность таких задач подчеркивается в [7]: оценивая упоминаемый выше проект, авторы уделяют особое внимание возникшей в процессе его реализации задаче максимизации переменных, связанных с состоянием почвы и окружающей среды. В работе², посвященной применению информационных технологий для решения прикладных задач экологии, продемонстрировано использование библиотеки NumPy языка программирования Python для моделирования численности популяции амурского тигра, обитающего в естественных условиях Дальнего Востока РФ.

Заключение

Необходимость в современных условиях научно-технологического развития в области здравоохранения, пищевой и фармацевтической промышленности требует от системы высшего образования подготовки инженерных кадров, обладающих биотехнологической грамотностью, которая помимо прочего включает умения рассматривать и критически оценивать связанные с данной сферой вопросы, принимать обоснованные решения и формировать мнения, основанные на знаниях [8].

Настоящее исследование представляет собой поиск оптимальных методических условий, обеспечивающих развитие критического мышления студентов – будущих биотехнологов средствами математики. Первостепенное значение из них было отведено решению задач с реальным контекстом, имеющим непосредственное отношение к общественно-социальной и личной жизни обучающихся с тем, чтобы они могли осознать востребованность изучения математики и ее ресурсы в повседневной и профессиональной деятельности. Таким образом, решение задач является основным средством развития навыков критического мышления, трансформируя его значение от когнитивного инструментария принятия решений «во что верить и что делать» до понимания роли математики и математического образования в современном мире.

В работе также впервые описана технология диагностики данного типа мышления у студентов, обучающихся по программе бакалавриата «Биотехнология». Предложенный диагностический инструментарий разработан на осно-

¹ Торопова С. И., Ярмачкова С. А. Об одном методе решения оптимизационных задач биохимии [Электрон. ресурс] // Проблемы управления качеством образования: сборник статей международной научной конференции, 27 января 2023 г. Санкт-Петербург: ГНИИ «Нацразвитие», 2023. С. 25–27. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50322153> (дата обращения: 14.03.2023).

² Торопова С. И., Шелимова М. А. Использование информационных технологий для решения прикладных задач экологии на занятиях по математике в вузе [Электрон. ресурс] // Современная информационно-образовательная среда: педагогические, психологические и технические подходы: сборник статей всероссийской научной конференции, 29 октября 2022 г. Санкт-Петербург: ГНИИ «Нацразвитие», 2022. С. 25–27. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_49764174_16352517.pdf (дата обращения: 06.02.2023).

ве специально составленных контекстных математических заданий и обладает рядом достоинств. Во-первых, перед студентом ставится задача с актуальным соционаучным контекстом, в процессе решения которой осуществляется работа с математическими моделями реальных процессов. Во-вторых, содержание заданий, максимально приближенных к будущей профессиональной деятельности обучающегося, повышает мотивацию к их выполнению и потенциально увеличивает возможность сбора надежной и валидной диагностической информации [15]. В-третьих, задания могут служить основой проведения аналогичных исследований со студентами смежных направлений подготовки (биологами, химиками, экологами и др.) Наконец, по мнению M. R. Ariza, A. Q. Armenteros и A. E. Castro, посредством таких задач наряду с критической математической грамотностью можно диагностировать научную и статистическую грамотность обучающихся [32].

В целом полученные данные опытно-экспериментальной работы свидетельствуют о том, что создание предложенных методических условий может рассматриваться в качестве одного из возможных ресурсов развития критического мышления студентов вузов без введения специального курса в рамках изучаемых академических дисциплин.

Список использованных источников

1. Dulun Ö., Lane J. F. Supporting critical thinking skills needed for the International Baccalaureate Diploma Programme: A content analysis of a national and two international education programs in Turkey // *Thinking Skills and Creativity*. 2023. Vol. 47. DOI: 10.1016/j.tsc.2022.101211
2. Evendi E., Al Kusaeri A. K., Pardi M. H. H., Sucipto L., Bayani F., Prayogi S. Assessing students' critical thinking skills viewed from cognitive style: Study on implementation of problem-based e-learning model in mathematics courses // *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2022. № 7 (8). DOI: 10.29353/ejmste/12161
3. Merma-Molina G., Gavilán-Martín D., Baena-Morales S., Urrea-Solano M. Critical thinking and effective personality in the framework of education for sustainable development // *Education Sciences*. 2022. № 1 (12). DOI: 10.3390/educsci12010028
4. Facione P. A. Critical thinking: What it is and why it counts. Measured Reasons LLC. 2020. Available from: <https://www.insightassessment.com/wp-content/uploads/ia/pdf/whatwhy.pdf> (date of access: 06.02.2023).
5. Basri H., Purwanto, Asari A. R., Sisworo. Investigating critical thinking skill of junior high school in solving mathematical problem // *International Journal of Instruction*. 2019. № 3 (12). P. 745–758. DOI: 10.29353/iji.2019.12345a
6. Солодихина М. В., Солодихина А. А. Развитие критического мышления магистрантов с помощью STEM-кейсов // *Образование и наука*. 2019. Т. 21, № 3. С. 125–153. DOI: 10.17853/1994-5639-2019-3-125-153
7. Christian K. B., Kelly A. M., Bugallo M. F. NGSS-based teacher professional development to implement engineering practices in STEM instruction // *International Journal of STEM Education*. 2021. № 8. DOI: 10.1186/s40594-021-00284-1
8. De la Hoz M. C., Solé-Llussà A., Haro J., Gericke N., Valls C. Student primary teachers' knowledge and attitudes towards biotechnology – are they prepared to teach biotechnological literacy? // *Journal of Science Education Technology*. 2022. № 2 (31). P. 203–216. DOI: 10.1007/s10956-021-09942-z

9. Semerci N., Semerci Ç., Ünal F., Yılmaz E., ve Yılmaz Ö. Eleştirel düşünme engelleri (ELDEN) ölçüğü: Geçerlik ve güvenilirlik çalışmaları // Cumhuriyet International Journal of Education. 2019. № 1 (8). P. 281–299. DOI: 10.30703/cije.48427

10. Surjanti J., Prakoso A. F., Kurniawan R. Y., Sakti N. C., Nurlaili E. I. Development of high order thinking skills in Indonesian teachers // The Education and Science Journal. 2022. № 3 (24). P. 104–125. DOI: 10.17853/1994-5639-2022-3-104-125

11. Pepin B., Kock Zj. Students' Use of Resources in a challenge-based learning context involving mathematics // International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education. 2021. № 2 (7). P. 306–327. DOI: 10.1007/s40753-021-00136-x

12. Irham, Tolla I., Jabu B. Development of the 4C teaching model to improve students' mathematical critical thinking skills // International Journal of Educational Methodology. 2022. № 3 (8). P. 493–504. DOI: 10.12973/ijem.8.3.493

13. Tossavainen T., Rensaa R. J., Haukkanen P., Mattila M., Johansson M. First-year engineering students' mathematics task performance and its relation to their motivational values and views about mathematics // European Journal of Engineering Education. 2021. № 4 (46). P. 604–617. DOI: 10.1080/03043797.2020.1849032

14. Тарасова К. В., Орел Е. А. Измерение критического мышления студентов в открытой онлайн-среде: концептуальная рамка и типология заданий // Вопросы образования. 2022. № 3. С. 187–212. DOI: 10.17323/1814-9545-2022-3-187-212

15. Namakshi N., Warshauer H. K., Strickland S., McMahon L. Investigating preservice teachers' assessment skills: Relating aspects of teacher noticing and content knowledge for assessing student thinking in written work // School Science and Mathematics. 2022. № 3 (122). P. 142–154. DOI: 10.1111/ssm.12522

16. Sachdeva S., Eggen P.-O. Learners' Critical Thinking about learning mathematics // International Electronic Journal of Mathematics Education. 2021. № 3 (16). DOI: 10.29333/iejme/11003

17. Durnali M. 'Destroying barriers to critical thinking' to surge the effect of self-leadership skills on electronic learning styles // Thinking Skills and Creativity. 2022. Vol. 46. DOI: 10.1016/j.tsc.2022.101130

18. Mahmud M. S., Pa W. A. M. W., Zainal M. S., Drus N. F. M. Improving students' critical thinking through oral questioning in mathematics teaching // International Journal of Learning, Teaching and Educational Research. 2021. № 11 (20). P. 407–421. DOI: 10.26803/ijlter.20.11.22

19. Setiana D. S., Purwoko R. Y., Sugiman. The application of mathematics learning model to stimulate mathematical critical thinking skills of senior high school students // European Journal of Educational Research. 2021. № 1 (10). P. 509–523. DOI: 10.12973/eu-jer.10.1.509

20. Тестов В. А. Решение задач как основное средство развития математического мышления // Математический вестник Вятского государственного университета. 2022. № 1 (24). С. 57–61. DOI: 10.25730/VSU.0536.22.008

21. Semilarski H., Soobard R., Rannikmäe M. Promoting students' perceived self-efficacy towards 21st century skills through everyday life-related scenarios // Education Sciences. 2021. № 10 (11). DOI: 10.3390/educsci11100570

22. Monrat N., Phaksunchai M., Chonchaiya R. Developing students' mathematical critical thinking skills using open-ended questions and activities based on student learning preferences // Education Research International. 2022. Vol. 2022. DOI: 10.1155/2022/3300363

23. Firdaus, Kailani I., Bakar Md. N. B., Bakry. Developing critical thinking skills of students in mathematics learning // Journal of Education and Learning. 2015. Vol. 3. P. 226–236. Available from: <http://edulearn.intelektual.org/index.php/EduLearn/article/view/1830/1482> (date of access: 29.01.2023).

24. Stephan M., Register J., Reinke L., Robinson C., Pugalethi P., Pugalee D. People use math as a weapon: Critical mathematics consciousness in the time of COVID-19 // Educational Studies in Mathematics. 2021. № 3 (108). P. 513–532. DOI: 10.1007/s10649-021-10062-z

25. Jungic V. Making calculus relevant: Final exam in the time of COVID-19 // *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*. 2021. № 4 (52). P. 609–621. DOI: 10.1080/0020739X.2020.1775903

26. Engelbrecht J., Borba M. C., Llinares S., Kaiser G. Will 2020 be remembered as the year in which education was changed? // *ZDM Mathematics Education*. 2020. № 5 (52). P. 821–824. DOI: 10.1007/s11858-020-01185-3

27. Engledowl C., Weiland T. Data (Mis)representation and COVID-19: Leveraging misleading data visualizations for developing statistical literacy across grades 6–16 // *Journal of Statistics and Data Science Education*. 2021. № 2 (29). P. 160–164. DOI: 10.1080/26939169.2021.1915215

28. Zhao Y., Watterston J. The changes we need: Education post COVID-19 // *Journal of Educational Change*. 2021. № 1 (22). P. 3–12. DOI: 10.1007/s10833-021-09417-3

29. Калинин С. И., Торопова С. И. Использование метода проектов в математической подготовке студентов – будущих экологов // *Перспективы науки и образования*. 2020. № 3 (45). С. 158–168. DOI: 10.32744/pse.2020.3.12

30. Калинин С. И., Торопова С. И. Диагностика математической мотивации как составляющая процесса обучения математике студентов – будущих экологов // *Перспективы науки и образования*. 2022. № 3 (57). С. 253–272. DOI: 10.32744/pse.2022.3.14

31. Тестов В. А., Перминов Е. А. Роль математики в трансдисциплинарности содержания современного образования // *Образование и наука*. 2021. Т. 23, № 3. С. 11–34. DOI: 10.17853/1994-5639-2021-3-11-34

32. Ariza M. R., Armenteros A. Q., Castro A. E. Promoting critical thinking through mathematics and science teacher education: The case of argumentation and graphs interpretation about climate change // *European Journal of teacher Education*. 2021. DOI: 10.1080/02619768.2021.1961736

33. Luque A., Mullinix J., Anderson M., Williams K. S., Bowers J. Aligning calculus with life sciences disciplines: The argument for integrating statistical reasoning // *PRIMUS*. 2022. № 2 (32). P. 199–217. DOI: 10.1080/10511970.2021.1881847

34. Orhan A. Critical thinking dispositions as a predictor for high school students' environmental attitudes // *Journal of Education in Science, Environment and Health*. 2022. № 1 (8). P. 75–85. DOI: 10.21891/jeseh.1056832

35. Liu Y., Pásztor A. Effects of problem-based learning instructional intervention on critical thinking in higher education: A meta-analysis // *Thinking Skills and Creativity*. 2022. Vol. 45. DOI: 10.1016/j.tsc.2022.101069

36. O'Keeffe L., Paige K. Re-highlighting the potential of critical numeracy // *Mathematics Education Research Journal*. 2021. № 2 (33). P. 285–299. DOI: 10.1007/s13394-019-00297-8

37. Rubel L. H., Nicol C. The power of place: Spatializing critical mathematics education // *Mathematical Thinking and Learning*. 2020. № 3 (22). P. 173–194. DOI: 10.1080/10986065.2020.1709938

38. Gal I., Geiger V. Welcome to the era of vague news: A study of the demands of statistical and mathematical products in the COVID-19 pandemic media // *Educational Studies in Mathematics*. 2022. № 1 (111). DOI: 10.1007/s10649-022-10151-7

39. Nusantara D. S., Zulkardi, Putri R. I. I. Designing PISA-like mathematics task using a COVID-19 context (PISAComat) // *Journal on Mathematics Education*. 2021. № 2 (12). P. 349–364. DOI: 10.22342/jme.12.2.13181.349-364

40. Zulkardi, Meryansumayeka, Putri R. I. I., Alwi Z., Nusantara D. S., Ambarita S. M., Maharani Y., Puspitasari L. How students work with PISA-like mathematical tasks using Covid-19 context // *Journal on Mathematics Education*. 2020. № 3 (11). P. 405–416. DOI: 10.22342/jme.11.3.12915.405-416

41. Kertiyani N. M. I., Fatimah S., Dahlan J. A. Critical thinking skill through problem-based learning with problem posing within solution // *Journal of Mathematics and Science Teacher*. 2022. № 2 (2). DOI: 10.29333/mathsciteacher/12369

42. Skovsmose O. Mathematics and crises // Educational Studies in Mathematics. 2021. № 1–2 (108). P. 369–383. DOI: 10.1007/s10649-021-10037-0

43. Kajander A. The mandate of scholarly mathematics education research: Moving ourselves forward // Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education. 2020. № 4 (20). P. 775–779. DOI: 10.1007/s42330-020-00121-7

References

1. Dulun Ö., Lane J. F. Supporting critical thinking skills needed for the International Baccalaureate Diploma Programme: A content analysis of a national and two international education programs in Turkey. *Thinking Skills and Creativity*. 2023; 47. DOI: 10.1016/j.tsc.2022.101211

2. Evendi E., Al Kusaeri A. K., Pardi M. H. H., Sucipto L., Bayani F., Prayogi S. Assessing students' critical thinking skills viewed from cognitive style: Study on implementation of problem-based e-learning model in mathematics courses. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2022; 18 (7). DOI: 10.29333/ejmste/12161

3. Merma-Molina G., Gavilán-Martín D., Baena-Morales S., Urrea-Solano M. Critical thinking and effective personality in the framework of education for sustainable development. *Education Sciences*. 2022; 12 (1). DOI: 10.3390/educsci12010028

4. Facione P. A. Critical thinking: What it is and why it counts. Measured reasons LLC [Internet]. 2020 [cited 2023 Feb 06]. Available from: <https://www.insightassessment.com/wp-content/uploads/ia/pdf/whatwhy.pdf>

5. Basri H., Purwanto, As'ari A. R., Sisworo. Investigating critical thinking skill of junior high school in solving mathematical problem. *International Journal of Instruction*. 2019; 12 (3): 745–758. DOI: 10.29333/iji.2019.12345a

6. Solodikhina M. V., Solodikhina A. A. Development of critical thinking of master's degree students using STEM cases. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*. 2019; 3 (21): 125–153. DOI: 10.17853/1994-5639-2019-3-125-153 (In Russ.)

7. Christian K. B., Kelly A. M., Bugallo M. F. NGSS-based teacher professional development to implement engineering practices in STEM instruction. *International Journal of STEM Education*. 2021; 8. DOI: 10.1186/s40594-021-00284-1

8. De la Hoz M. C., Solé-Llussà A., Haro J., Gericke N., Valls C. Student primary teachers' knowledge and attitudes towards biotechnology – are they prepared to teach biotechnological literacy? *Journal of Science Education Technology*. 2022; 31 (2): 203–216. DOI: 10.1007/s10956-021-09942-z

9. Semerci N., Semerci Ç., Ünal F., Yılmaz E., ve Yılmaz Ö. Eleştirel düşünme engelleri (ELDEN) ölçeği: Geçerlik ve güvenilirlik çalışmaları. *Cumhuriyet International Journal of Education*. 2019; 8 (1): 281–299. DOI: 10.30703/cije.48427 (In Turkish)

10. Surjanti J., Prakoso A. F., Kurniawan R. Y., Sakti N. C., Nurlaili E. I. Development of high order thinking skills in Indonesian teachers. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*. 2022; 24 (3): 104–125. DOI: 10.17853/1994-5639-2022-3-104-125

11. Pepin B., Kock Zj. Students' use of resources in a challenge-based learning context involving mathematics. *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education*. 2021; 7 (2): 306–327. DOI: 10.1007/s40753-021-00136-x

12. Irham, Tolla I., Jabu B. Development of the 4C teaching model to improve students' mathematical critical thinking skills. *International Journal of Educational Methodology*. 2022; 8 (3): 493–504. DOI: 10.12973/ijem.8.3.493

13. Tossavainen T., Rensaa R. J., Haukkanen P., Mattila M., Johansson M. First-year engineering students' mathematics task performance and its relation to their motivational values and views about mathematics. *European Journal of Engineering Education*. 2021; 46 (4): 604–617. DOI: 10.1080/03043797.2020.1849032

14. Tarasova K. V., Orel E. A. Measuring students' critical thinking in online environment: Methodology, conceptual framework and tasks typology. *Voprosy obrazovaniya = Educational Studies Moscow*. 2022; 3: 187–212. DOI: 10.17323/1814-9545-2022-3-187-212 (In Russ.)

15. Namakshi N., Warshauer H. K., Strickland S., McMahon L. Investigating preservice teachers' assessment skills: Relating aspects of teacher noticing and content knowledge for assessing student thinking in written work. *School Science and Mathematics*. 2022; 122 (3): 142–154. DOI: 10.1111/ssm.12522

16. Sachdeva S., Eggen P.-O. Learners' critical thinking about learning mathematics. *International Electronic Journal of Mathematics Education*. 2021; 16 (3). DOI: 10.29333/iejme/11003

17. Durnali M. 'Destroying barriers to critical thinking' to surge the effect of self-leadership skills on electronic learning styles. *Thinking Skills and Creativity*. 2022; 46. DOI: 10.1016/j.tsc.2022.101130

18. Mahmud M. S., Pa W. A. M. W., Zainal M. S., Drus N. F. M. Improving students' critical thinking through oral questioning in mathematics teaching. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*. 2021; 20 (11): 407–421. DOI: 10.26803/ijlter.20.11.22

19. Setiana D. S., Purwoko R. Y., Sugiman. The application of mathematics learning model to stimulate mathematical critical thinking skills of senior high school students. *European Journal of Educational Research*. 2021; 10 (1): 509–523. DOI: 10.12973/eu-jer.10.1.509

20. Testov V. A. Problem solving as the main means of developing mathematical thinking. *Matematicheskiy vestnik Vyatskogo gosudarstvennogo universiteta = Mathematical Bulletin of Vyatka State University*. 2022; 24 (1): 57–61. DOI: 10.25730/VSU.0536.22.008 (In Russ.)

21. Semilarski H., Soobard R., Rannikmäe M. Promoting students' perceived self-efficacy towards 21st century skills through everyday life-related scenarios. *Education Sciences*. 2021; 11 (10). DOI: 10.3390/educsci11100570

22. Monrat N., Phaksunchai M., Chonchaiya R. Developing students' mathematical critical thinking skills using open-ended questions and activities based on student learning preferences. *Education Research International*. 2022; 2022. DOI: 10.1155/2022/3300363

23. Firdaus, Kailani I., Bakar Md. N. B., Bakry. Developing critical thinking skills of students in mathematics learning. *Journal of Education and Learning*. 2015 [cited 2023 Jan 29]; 3: 226–236. Available from: <http://edulearn.intelektual.org/index.php/EduLearn/article/view/1830/1482>

24. Stephan M., Register J., Reinke L., Robinson C., Pugalenti P., Pugalee D. People use math as a weapon: Critical mathematics consciousness in the time of COVID-19. *Educational Studies in Mathematics*. 2021; 108 (3): 513–532. DOI: 10.1007/s10649-021-10062-z

25. Jungic V. Making calculus relevant: Final exam in the time of COVID-19. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*. 2021; 52 (4): 609–621. DOI: 10.1080/0020739X.2020.1775903

26. Engelbrecht J., Borba M. C., Llinares S., Kaiser G. Will 2020 be remembered as the year in which education was changed? *ZDM Mathematics Education*. 2020; 52 (5): 821–824. DOI: 10.1007/s11858-020-01185-3

27. Engledowl C., Weiland T. Data (Mis)representation and COVID-19: Leveraging misleading data visualizations for developing statistical literacy across grades 6–16. *Journal of Statistics and Data Science Education*. 2021; 29 (2): 160–164. DOI: 10.1080/26939169.2021.1915215

28. Zhao Y., Watterston J. The changes we need: Education post COVID-19. *Journal of Educational Change*. 2021; 22 (1): 3–12. DOI: 10.1007/s10833-021-09417-3

29. Kalinin S. I., Toropova S. I. Using the project method in the mathematical education of students – future ecologists. *Perspektivy nauki i obrazovaniya = Perspectives of Science and Education*. 2020; 45 (3): 158–168. DOI: 10.32744/pse.2020.3.12 (In Russ.)

30. Kalinin S. I., Toropova S. I. Diagnostics of mathematical motivation as a component of the process of teaching mathematics to students – future ecologists. *Perspektivy nauki i obrazovaniya = Perspectives of Science and Education*. 2022; 57 (3): 253–272. DOI: 10.32744/pse.2022.3.14 (In Russ.)

31. Testov V. A., Perminov E. A. The role of mathematics in transdisciplinarity content of modern education. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*. 2021; 23 (3): 11–34. DOI: 10.17853/1994-5639-2021-3-11-34 (In Russ.)

32. Ariza M. R., Armenteros A. Q., Castro A. E. Promoting critical thinking through mathematics and science teacher education: The case of argumentation and graphs interpretation about climate change. *European Journal of Teacher Education*. 2021. DOI: 10.1080/02619768.2021.1961736

33. Luque A., Mullinix J., Anderson M., Williams K. S., Bowers J. Aligning calculus with life sciences disciplines: The argument for integrating statistical reasoning. *PRIMUS*. 2022; 32 (2): 199–217. DOI: 10.1080/10511970.2021.1881847

34. Orhan A. Critical thinking dispositions as a predictor for high school students' environmental attitudes. *Journal of Education in Science, Environment and Health*. 2022; 8 (1): 75–85. DOI: 10.21891/jeseh.1056832

35. Liu Y., Pásztor A. Effects of problem-based learning instructional intervention on critical thinking in higher education: A meta-analysis. *Thinking Skills and Creativity*. 2022; 45. DOI: 10.1016/j.tsc.2022.101069

36. O'Keeffe L., Paige K. Re-highlighting the potential of critical numeracy. *Mathematics Education Research Journal*. 2021; 33 (2): 285–299. DOI: 10.1007/s13394-019-00297-8

37. Rubel L. H., Nicol C. The power of place: Spatializing critical mathematics education. *Mathematical Thinking and Learning*. 2020; 22 (3): 173–194. DOI: 10.1080/10986065.2020.1709938

38. Gal I., Geiger V. Welcome to the era of vague news: A study of the demands of statistical and mathematical products in the COVID-19 pandemic media. *Educational Studies in Mathematics*. 2022; 111 (1): 5–28. DOI: 10.1007/s10649-022-10151-7

39. Nusantara D. S., Zulkardi, Putri R. I. I. Designing PISA-like mathematics task using a COVID-19 context (PISAComat). *Journal on Mathematics Education*. 2021; 12 (2): 349–364. DOI: 10.22342/jme.12.2.13181.349-364

40. Zulkardi, Meryansumayeka, Putri R. I. I., Alwi Z., Nusantara D. S., Ambarita S. M., et al. How students work with PISA-like mathematical tasks using Covid-19 context. *Journal on Mathematics Education*. 2020; 11 (3): 405–416. DOI: 10.22342/jme.11.3.12915.405-416

41. Kertiyani N. M. I., Fatimah S., Dahlan J. A. Critical thinking skill through problem-based learning with problem posing within solution. *Journal of Mathematics and Science Teacher*. 2022; 2 (2). DOI: 10.29333/mathsciteacher/12369

42. Skovsmose O. Mathematics and crises. *Educational Studies in Mathematics*. 2021; 108 (1–2): 369–383. DOI: 10.1007/s10649-021-10037-0

43. Kajander A. The mandate of scholarly mathematics education research: Moving ourselves forward. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*. 2020; 20 (4): 775–779. DOI: 10.1007/s42330-020-00121-7

Информация об авторе:

Торопова Светлана Ивановна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры фундаментальной математики Вятского государственного университета; ORCID 0000–0003–0533–5654, ResearcherID Y-5928-2019; Киров, Россия. E-mail: svetori82@mail.ru

Информация о конфликте интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 07.12.2022; поступила после рецензирования 25.03.2023; принята к публикации 05.04.2023.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Information about the author:

Svetlana I. Toropova – Cand. Sci. (Education), Associate Professor, Department of Fundamental Mathematics, Vyatka State University; ORCID 0000-0003-0533-5654, ResearcherID Y-5928-2019; Kirov, Russia. E-mail: svetori82@mail.ru

Conflict of interest statement. The author declares that there is no conflict of interest.

Received 07.12.2022; revised 25.03.2023; accepted for publication 05.04.2023.

The author has read and approved the final manuscript.

Información sobre el autor:

Svetlana Ivánovna Tóropova: Candidata a Ciencias de la Pedagogía, Profesora Asociada, Departamento de Matemáticas Fundamentales, Universidad Estatal de Vyatka; ORCID 0000-0003-0533-5654, ResearcherID Y-5928-2019; Kirov, Rusia. Correo electrónico: svetori82@mail.ru

Información sobre conflicto de intereses. El autor declara no tener conflictos de intereses.

El artículo fue recibido por los editores el 07/12/2022; recepción efectuada después de la revisión el 25/03/2023; aceptado para su publicación el 05/04/2023.

El autor leyó y aprobó la versión final del manuscrito.