

СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВЫЯВЛЕНИЮ И ОБОСНОВАНИЮ ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИХ ЗАДАНИЙ В ОЛИМПИАДАХ ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ

¹Черняк Д. М. ORCID ID 0009-0001-3995-3007,
²Гавронская Ю. Ю. ORCID ID 0000-0003-4813-3235

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», Москва, Российская Федерация;

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена», Санкт-Петербург,
Российская Федерация, e-mail: yugavronskaya@gmail.com

Статья посвящена проблеме анализа олимпиадных заданий по химии с наибольшей дифференцирующей способностью на высокорейтинговых олимпиадах школьников. Анализ литературы показал, что, наряду со сложившимися требованиями к содержанию и сложности олимпиадных задач по химии, количественные показатели их способности идентифицировать учащихся, обладающих высоким уровнем предметной подготовки и исследовательского потенциала, изучены недостаточно. Целью исследования стало доказательство целесообразности статистического подхода к выявлению и обоснованию дифференцирующих заданий на основе рассчитанного с привлечением среднего балла дискриминационного индекса задачи в сопоставлении с фактическим измерительным весом. В качестве материала исследования использованы результаты Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии. В ходе исследования для теоретических заданий олимпиады вычисляли дискриминационный индекс как нормированную разность среднего балла за задачу в верхней и нижней квантильных подвыборках. На основе полученных значений дискриминационного индекса были построены распределения по задачам. Рассмотрено соотношение дискриминационного индекса и среднего балла за задачу во всей выборке. Показано, что задания с одинаковым максимальным баллом за решение могут вносить различный вклад в итоговую дифференциацию участников. Результаты указывают на возможность целенаправленного конструирования олимпиадных комплектов: наличие небольшого числа задач с высоким дискриминационным индексом является критически важным для качества отбора. Проведенный анализ подтверждает высокий дифференцирующий потенциал задач средней сложности по сравнению как с легкими, так и с очень сложными задачами. Сделан вывод о целесообразности использования статистического подхода к выявлению и обоснованию дифференцирующих заданий, входящих в комплект заданий олимпиады школьников по химии.

Ключевые слова: олимпиада по химии, дифференцирующие задания, дискриминационный индекс, максимальный балл.

STATISTICAL APPROACH TO IDENTIFYING AND JUSTIFYING DIFFERENTIATING TASKS IN THE OLYMPIADS OF SCHOOLCHILDREN IN CHEMISTRY

¹ Chernyakh D. M. ORCID ID 0009-0001-3995-3007,
² Gavronskaya Yu. Yu. ORCID ID 0000-0003-4813-3235

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“Moscow State University named after M. V. Lomonosov”, Moscow, Russian Federation;

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“Russian State Pedagogical University named after A. I. Herzen”,
Saint Petersburg, Russian Federation, e-mail: yugavronskaya@gmail.com

The article is devoted to the problem of analyzing chemistry Olympiad tasks with the greatest differentiating ability in high-ranking school Olympiads. The analysis of the literature has shown that, along with the established requirements for the content and complexity of chemistry Olympiad tasks, the quantitative indicators of their ability to identify students with a high level of subject preparation and research potential have not been sufficiently studied. The purpose of the study was to prove the feasibility of a statistical approach to identifying and justifying differentiating tasks based on the average score of the task's discrimination index, which was calculated using the actual measurement weight. The results of the St. Petersburg Chemistry Olympiad for

schoolchildren were used as the research material. In the course of the study, the discrimination index was calculated for theoretical tasks of the Olympiad as the normalized difference of the average score for the task in the upper and lower quantile subsamples. Based on the obtained values of the discrimination index, the distributions of tasks were constructed. The ratio of the discrimination index and the average score for the task in the entire sample was considered. It was shown that tasks with the same maximum score for the solution can make different contributions to the final differentiation of participants. The results indicate the possibility of purposeful design of Olympiad sets: the presence of a small number of tasks with a high discrimination index is critical for the quality of selection. The article concludes that it is advisable to use a statistical approach to identifying and justifying the differentiating tasks included in the set of tasks for the chemistry Olympiad.

Keywords: chemistry Olympiad, differentiated tasks, discrimination index, maximum score.

Введение

Олимпиадные задачи по химии занимают особое место в системе работы с одаренными школьниками. Олимпиада является не просто формой контроля, а инструментом отбора, развития и ранней идентификации учащихся, обладающих высоким уровнем предметной подготовки и исследовательского потенциала [1–3]. В современных условиях значимость олимпиадного движения существенно возрастает и для обучающихся, поскольку успешное участие в олимпиадах высокого уровня предоставляет значительные льготы при поступлении в ведущие университеты. В связи с этим задача разработки качественных олимпиадных заданий приобретает не только методическое, но и институциональное значение.

Вместе с тем вопрос о том, какие именно задачи действительно дифференцируют участников, в отечественной литературе разработан значительно слабее, чем вопросы содержания, тематики и способов составления задач. На практике ценность задачи нередко оценивается экспертным методом: по интуиции составителей, по репутации олимпиады, по общему впечатлению от сложности или «красоты» решения. Однако для научного анализа этого недостаточно. Если задача рассматривается как измерительный инструмент, то ее качество должно описываться не только содержательно, но и статистически – через данные о реальных результатах участников. В этом смысле особый интерес представляют *дифференцирующие задачи*, то есть такие задания, которые позволяют устойчиво различать более сильных и менее сильных участников [4].

Актуальность исследования определяется именно этой проблемой. Для олимпиад высокого уровня принципиально важно, чтобы комплект заданий не сводился ни к слишком легким, ни к чрезмерно трудным вопросам. В работах по методике составления олимпиадных задач прямо указывается, что в хорошем комплекте обязательно должны присутствовать как «утешительные», так и дифференцирующие («дискриминирующие») элементы, а итоговое распределение баллов по задаче в идеале должно приближаться к нормальному и обеспечивать разделение участников по уровню подготовки [4, 5].

В данной статье предлагается статистический подход к выявлению таких задач на материале Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии. Для каждой задачи рассчитывается дискриминационный индекс как разность средних баллов верхней и нижней

групп участников, нормированная на максимальный балл за задачу. Дискриминационный индекс, предложенный Т. Келли и обосновывающий сравнение верхних и нижних 27 % выборки как оптимального способа выявления различий между участниками [6], широко используется в теории и практике педагогических измерений [7]. Выбор порога в 27 % в данном исследовании имеет еще одно сильное основание. Помимо его классического статуса в теории педагогических измерений [8, 9], он соотносится с реальной логикой олимпиадного отбора: доля дипломантов на рассматриваемой олимпиаде очень близка к этой границе. Поэтому сопоставление верхних и нижних 27 % позволяет не только опереться на устоявшуюся тестологическую практику, но и приблизить статистическую модель к реальному разделению участников на группы разного уровня соревновательной успешности.

Выбор именно Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии также имеет основание. С одной стороны, за последние 9 лет по профилю «химия» олимпиада входила в Перечень РСОШ, имея I или II уровень (в последние годы чаще I уровень [10]). С другой стороны, сама структура ее заданий удобна для аналитического исследования: задачи в ней, как правило, компактны, лаконичны и допускают разбор по отдельным содержательным и формальным признакам. Это делает возможным переход от общих рассуждений о «сложности» или «качестве» олимпиадных задач к более строгому анализу того, какие тематические разделы и какие типы задач действительно работают как инструменты дифференциации участников.

Исследования, посвященные олимпиадным задачам по химии, можно условно разделить на две группы. Первая, наиболее многочисленная, носит описательно-методический характер. В таких работах внимание сосредоточено прежде всего на содержательных особенностях задач, типичных идеях решения, подборе интересного химического материала, способах усложнения и на тех когнитивных действиях, которые должны быть сформированы у учащегося. При всей методической ценности этих публикаций они, как правило, не опираются на статистический анализ реальных олимпиадных результатов и потому почти не отвечают на вопрос, насколько успешно конкретные задачи выполняют функцию различения участников по уровню подготовки.

Характерным примером второй, более редкой линии работ являются публикации, посвященные самим принципам конструирования задач. Так, в программной статье Г. В. Лисичкина и С. С. Карлова подчеркивается, что составление задач не сводится к одному лишь глубокому знанию предмета: наряду с творческой составляющей необходим системный методический подход, позволяющий соотносить задачу с целями обучения, уровнем аудитории и требованиями к комплекту заданий [5]. В свою очередь, С. С. Астанин в методических требованиях к олимпиадным заданиям отмечает, что уровень сложности

заданий должен меняться от базового к углубленному, а задания должны быть творческими и креативными для роста познавательного интереса школьников [11]. Особое место в литературе занимает статья В. В. Еремина о задачах олимпиад высокого уровня. В ней прямо формулируется мысль о том, что задача должна «работать», то есть давать жюри информацию о различиях между участниками. Автор показывает, что одинаково нежелательны и слишком простые, и чрезмерно трудные задания: в обоих случаях задача теряет измерительную ценность. В качестве методического ориентира предлагается правило «20–80»: хорошо сконструированная задача должна содержать и доступные элементы, и собственно дифференцирующие вопросы; при этом распределение результатов по задаче в идеале тяготеет к гауссову со средним в области 50–60 % от максимума. В работе это ярко иллюстрируется на примере задач Международной химической олимпиады. Таким образом, автор формулирует критерии успешной олимпиадной задачи. Хорошая олимпиадная задача должна быть адекватной уровню участников, интересной по содержанию и включать разные уровни сложности, в том числе вопросы, выполняющие собственно дифференцирующую функцию [4]. Для настоящего исследования особенно значимо, что в работах Еремина категория «дискриминирующего» вопроса вводится как центральная характеристика олимпиадной задачи, однако остается преимущественно на уровне методического принципа [4, 12]. Иными словами, автор убедительно объясняет, почему такие элементы необходимы, но не предлагает формализованного способа их систематического выявления на массиве реальных данных. Именно в этой точке возникает исследовательский пробел, который и заполняет статистический анализ результатов участников.

Другой важный для обзора блок составляют работы, посвященные задачам, ориентированным на развитие научного мышления, а не только на тренировку олимпиадной техники [13, 14]. Например, преподаватели СУНЦ МГУ, анализируя работу со школьниками, отмечают, что обычные учебниковые задачи и даже часть олимпиадных задач часто проверяют главным образом воспроизведение материала и комбинирование данных в рамках знакомых схем. В противовес этому авторы разрабатывают задания «с открытым условием» и задачи на основе оригинальных научных текстов, требующие поиска информации, критической оценки источников и самостоятельного выбора данных, необходимых для решения [15]. Такие задания особенно важны как образец содержательно сильной задачи, однако и здесь основной акцент сделан на методике разработки и развивающем потенциале, а не на статистической проверке их дифференцирующей способности.

Тем самым анализ литературы показывает следующую картину. С одной стороны, в отечественной методической традиции накоплен существенный опыт осмысления того, какими должны быть хорошие химические задачи: интересными, содержательно

корректными, соответствующими уровню аудитории, многоуровневыми по сложности и способными выявлять сильных участников. С другой стороны, работ, где эти свойства проверялись бы на основе количественных показателей по отдельным задачам, заметно меньше. Даже когда речь заходит о дифференцирующих заданиях, данная характеристика чаще выступает как экспертная метафора, а не как эмпирически измеряемый параметр.

Цель исследования – доказательство целесообразности статистического подхода к выявлению и обоснованию дифференцирующих заданий на основе рассчитанного с привлечением среднего балла дискриминационного индекса задачи в сопоставлении с фактическим измерительным весом.

Материал и методы исследования

В качестве эмпирической базы исследования использовались результаты Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии (<https://olymp.academtalant.ru/chemspb#!/tab/616350182-3>). Для анализа были рассмотрены данные с 2016 по 2025 г. в параллелях 9–11-х классов, включающие индивидуальные результаты участников по каждой теоретической задаче тура. Все задачи имели одинаковый максимальный балл, равный 10.

В классической формулировке, восходящей к работе Келли, дискриминационный индекс определяется для тестовых заданий с бинарной шкалой оценивания (0/1) как разность долей правильных ответов в верхней и нижней группах испытуемых:

$$D_{\text{классич}} = p_{\text{верх}} - p_{\text{низ}},$$

где $p_{\text{верх}}$ и $p_{\text{низ}}$ – доли участников, правильно выполнивших задание в верхних и нижних 27 % выборки соответственно. Такое определение предполагает бинарную оценку задания и потому напрямую неприменимо к олимпиадным задачам, для которых характерна градуированная шкала оценивания (в рассматриваемом случае – от 0 до 10 баллов). В этой ситуации естественным обобщением является переход от доли правильных ответов к среднему баллу за задачу в соответствующих группах.

В настоящей работе предлагается использовать следующую величину:

$$D = \frac{\bar{X}_{\text{верх}} - \bar{X}_{\text{низ}}}{X_{\text{макс}}},$$

где $\bar{X}_{\text{верх}}$ – средний балл за задачу среди верхних 27 % участников по суммарному результату;

$\bar{X}_{\text{низ}}$ – средний балл среди нижних 27 % участников;

$X_{\text{макс}} = 10$ – максимальный балл за задачу.

Предложенная величина является естественным обобщением классического дискриминационного индекса. В случае бинарной шкалы оценивания (0 или 1) средний балл

за задачу в группе совпадает с долей правильных ответов; таким образом, подставляя в предложенную формулу $\bar{X} = p$ и $X_{\text{макс}} = 1$ получим $D = p_{\text{верх}} - p_{\text{низ}} = D_{\text{классич}}$.

Содержательно величина D сохраняет интерпретацию классического показателя. Она принимает значения в интервале $[0, 1]$, где значения, близкие к нулю, соответствуют задачам, не различающим участников (схожие результаты в верхней и нижней группах), а значения, близкие к единице, – задачам с высокой дифференцирующей способностью. При этом увеличение значения D означает рост разрыва между сильными и слабыми участниками по данной задаче.

Следует отметить, что предложенное определение не требует бинаризации результатов и, в отличие от классического индекса, позволяет учитывать частичные решения, что является принципиально важным для олимпиадных задач. Тем самым показатель D более адекватно отражает структуру реальных результатов участников и может использоваться как количественная мера дифференцирующей способности задач в условиях градуированной шкалы оценивания. Фактически величина D представляет собой нормированную разность условных математических ожиданий балла за задачу в верхней и нижней квантильных подвыборках.

Для анализа распределений дискриминационного индекса задачи рассматривались в объединенной выборке без разделения по классам (9–11-е классы) и годам проведения олимпиады с 2016 по 2024 г. На основе полученных значений дискриминационного индекса были построены распределения по всем задачам и сопоставлены со средним баллом.

Результаты исследования и их обсуждение

Распределение значений дискриминационного индекса (рис. 1) по совокупности исследованных задач показывает, что данная величина не подчиняется нормальному закону. Уже сам этот факт представляется содержательно значимым. Если бы задачи, формально имеющие одинаковый вес в структуре олимпиады, в среднем одинаково работали на разделение участников по уровню подготовки, можно было бы ожидать более однородного распределения значений индекса вокруг некоторого центрального значения. Однако наблюдаемая картина свидетельствует о противоположном: несмотря на одинаковый максимальный балл за задачу, отдельные задачи вносят различный вклад в итоговую дифференциацию участников. Иными словами, «вес» задачи, заданный регламентом олимпиады, не совпадает с ее фактическим измерительным весом. Некоторые задания действительно позволяют различить сильных и слабых участников, тогда как другие либо оказываются слишком доступными, либо, напротив, чрезмерно трудными. Следовательно, формальное равенство задач по балльной стоимости не означает их равенства с точки зрения отбора и ранжирования участников.

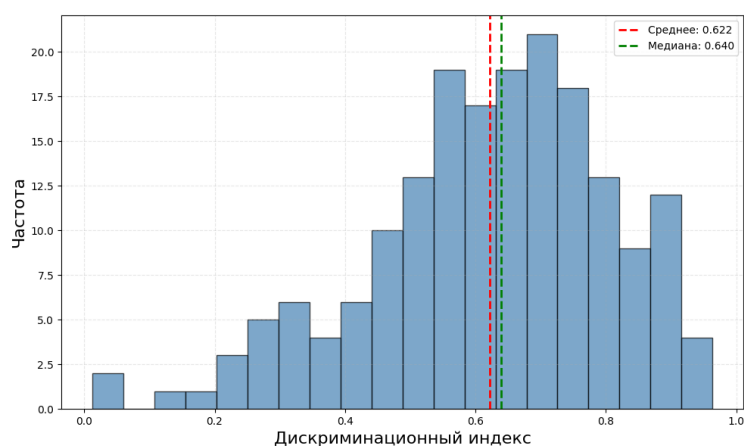


Рис. 1. Распределение дискриминационного индекса задач Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии.

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Отдельного внимания заслуживает левая часть распределения. В эту область, по-видимому, попадают два разных типа заданий. Во-первых, это легкие задания, с которыми справляется подавляющее большинство участников, во-вторых – чрезмерно трудные задания. Дополнительное понимание природы этого распределения дает анализ соотношения дискриминационного индекса и среднего балла за задачу (рис. 2).

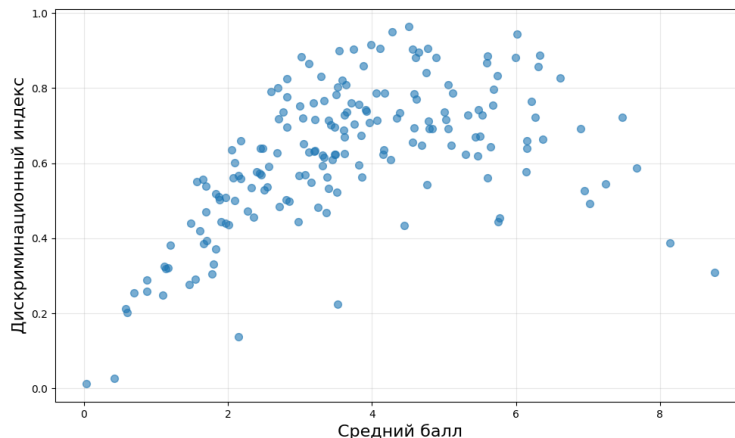


Рис. 2. Зависимость дискриминационного индекса от среднего балла за задачу.

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Зависимость носит характер «перевернутой U-образной кривой», где максимальная дискриминационная способность достигается при средних значениях сложности задачи. Это наблюдение позволяет содержательно объяснить форму распределения дискриминационного индекса: левый хвост формируется за счет задач с экстремально низкой или высокой решаемостью, тогда как центральная часть распределения соответствует задачам с оптимальным уровнем сложности. Таким образом, анализ распределения подтверждает

качественную гипотезу о том, что наибольшей дифференциальной способностью обладают не легкие задачи, которые слабые участники решают на высокий балл, а сильные – на максимальный балл, и даже не сложные задачи, которые оказываются под силу только особо подготовленным участникам, а средние задачи, характеризующиеся средним баллом $\approx 3-6$.

Тем самым график зависимости дискриминационного индекса от среднего балла позволяет интерпретировать распределение не просто как статистический факт, а как отражение фундаментальной связи между сложностью задачи и ее способностью дифференцировать участников, что согласуется с классической теорией тестов [4].

Заключение

Результаты указывают на возможность целенаправленного конструирования олимпиадных комплектов: наличие небольшого числа (2–3) задач с высоким дискриминационным индексом является критически важным для качества отбора; равномерное распределение баллов между задачами не гарантирует их равного вклада в результат; статистический анализ может использоваться как инструмент апостериорной оценки качества задач и потенциально для улучшения будущих комплектов. Необходим дальнейший анализ связи дискриминационного индекса с содержательными и структурными особенностями условия задачи, что позволит использовать статистические методы не только для оценки, но и для целенаправленного конструирования олимпиадных заданий.

Список литературы

1. Лунин В. В., Архангельская О. В., Павлова М. В., Тюльков И. А. Роль химических олимпиад в развитии образования и науки // Химия в школе. 2008. № 7. С. 69–72. EDN: JUXWKP.
2. Головнер В. Н. Школьная олимпиада: средство мотивации или спорт высших достижений? // Химия в школе. 2023. № 8. С. 2–8. EDN: WZVAZT.
3. Романова О. В. Химические олимпиады в системе современного школьного образования // Современное образование. 2018. № 3. С. 61–70. DOI: 10.25136/2409-8736.2018.3.22475. EDN: YTXWGT.
4. Еремин В. В. Составление задач для олимпиад высокого уровня // Естественнонаучное образование: методические основы разработки заданий по химии: методический ежегодник химического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова. Т. 18. / под общ. ред. проф. Г. В. Лисичкина. М.: Издательство Московского университета, 2022. 245, [3] с.: ил. С. 98–109. EDN: OSBPBD.

5. Лисичкин Г. В., Карлов С. С. Методические основы разработки заданий по химии // *Естественнонаучное образование: методические основы разработки заданий по химии: методический ежегодник химического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова*. Т. 18 / под общ. ред. проф. Г. В. Лисичкина. М.: Издательство Московского университета. 2022. С. 8–17. EDN: VRXZCT.
6. Kelley T. L. The selection of upper and lower groups for the validation of test items // *Journal of educational psychology*. 1939. Т. 30. Vol. 1. P. 17. DOI: 10.1037/h0057123.
7. Metsämuuronen J. Generalized discrimination index // *International Journal of Educational Methodology*. 2020. Т. 6. № 2. С. 237–258. DOI: 10.12973/ijem.6.2.237.
8. Metsämuuronen J. Dimension-corrected Somers' D for the item analysis settings // *International Journal of Educational Methodology*. 2020. Т. 6. Vol. 2. P. 297–317. DOI: 10.12973/ijem.6.2.297.
9. Earnest D. S. Calculating item discrimination values using samples of examinee scores around real and anticipated cut scores: Effects on item discrimination, item selection, examination reliability, and classification decision consistency. The University of North Carolina at Chapel Hill, 2014. DOI: 10.17615/5sr6-y323.
10. Бадиков А. Р., Бречалов А. А., Гришин А. В., Гусев И. М., Давыдов Н. А., Ильиных Е. А., Калиничев А. В., Коронатов А. Н., Кутузов Я. А., Макаров И. А., Пошехонов И. С., Ростовский Н. В., Севастьянова Т. Н., Скрипкин М. Ю., Спасюк П. В., Филиппов И. П., Черняк Д. М. Задания 90-й Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии. СПб.: ООО «Издательство ВВМ», 2024. 58 с. ISBN 978-5-9651-1573-0. EDN: NWZSNQ.
11. Астанин С. С., Звонарева Е. А., Корецкая И. И. Методика и специфика составления заданий очного этапа олимпиад по биологии и химии для школьников // *Бизнес. Образование. Право*. 2022. № 3 (60). С. 428–433. DOI: 10.25683/VOLBI.2022.60.366. EDN: TAWGFX.
12. Еремин В. В. Школьная олимпиада: от мотивации к победам // *Химия в школе*. 2024. № 6. С. 48–54. DOI: 10.62709/0368-5632-2024-6-48-54. EDN: QAXQWV.
13. Арстанбекова Н. Б., Жакышева Б. Ш., Кыялбек К. М. Развитие креативного мышления учащихся посредством решения нестандартных задач по химии // *Проблемы Науки*. 2026. № 2 (213). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-kreativnogo-myshleniya-uchaschihsya-posredstvom-resheniya-nestandartnyh-zadach-po-himii> (дата обращения: 21.03.2026).
14. Гилязева Р. Р., Космодемьянская С. С. Формирование креативного мышления обучающихся в процессе обучения химии // *Синергия в науке и технологиях: сборник статей Международной научно-практической конференции* (г. Саратов, 18 марта 2025 г.). М.: Издательство «Доброе слово и Ко», 2025. С. 679–686. EDN: JFJRLP.

15. Морозова Н. И., Колясников О. В. Методические особенности подготовки химических задач для школьников СУНЦ МГУ // Естественнонаучное образование: методические основы разработки заданий по химии. 2022. Т. 18. С. 85–97. EDN: IQBSEO.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.