Экспериментальная психология
2026. *19*(3), 99–113.
https://doi.org/10.17759/exppsy.2026190306
ISSN: 2072-7593
ISSN: 2311-7036 (online)

Experimental Psychology (Russia)
2026. *19*(3), 99–113.
https://doi.org/10.17759/exppsy.2026190306
ISSN: 2072-7593
ISSN: 2311-7036 (online)

Научная статья | Original paper

Зависит ли точность восприятия количества от зрительно-пространственной рабочей памяти в ходе школьного обучения?

Т.Н. Тихомирова[1] ✉
[1] Федеральный научный центр психологических и междисциплинарных исследований, Москва, Российская Федерация
✉ tikho@mail.ru

Резюме

Контекст и актуальность. Восприятие количественной информации является неотъемлемой составляющей познания окружающего мира и лежит в основе успешного освоения школьных знаний по математике и естественно-научным дисциплинам. При этом точность восприятия количества, предъявляемого в разных форматах, на протяжении общего образования оказывается в различной степени зависимой от зрительно-пространственной рабочей памяти, а оба эти признака рассматриваются в качестве «двойного дефицита» когнитивных ресурсов при обучении. **Цель**: изучить специфику зависимости точности восприятия количественной информации, предъявляемой в разных форматах — в виде объектов и чисел, — от уровня развития зрительно-пространственной рабочей памяти у школьников, завершающих начальный уровень (IV классы) и основной уровень (IX классы) общего образования. **Методы и материалы.** В исследовании участвовали 1013 школьников, из них 511 учеников IV классов ($M_{возраста}$ = 10,7, SD = 0,5; 49,2% девочек) и 502 ученика IX классов ($M_{возраста}$ = 15,9, SD = 0,5; 52,2% девушек). Точность восприятия количества в виде объектов измерялась с помощью теста «Чувство числа», в виде чисел — тестом «Числовая линия» (Тихомирова, Малых, 2021). Зрительно-пространственная рабочая память оценивалась с помощью теста «Последовательности» (Тихомирова, 2025). **Результаты.** Точность восприятия количества, выраженного в виде объектов, умеренно прямо пропорционально зависит от зрительно-пространственной рабочей памяти; эта зависимость прослеживается при завершении и начального, и основного уровней общего образования с заметным увеличением в финале обязательного школьного обучения. Точность восприятия количества в виде чисел в меньшей мере оказывается зависимой от показателя рабочей памяти и наблюдается только на начальном уровне общего образования. **Выводы.** Зависимость точности восприятия количественной информации от зрительно-пространственной рабочей памяти опосредована форматом предъявления количества — в виде объектов или чисел — и имеет выраженный возрастной характер.

Ключевые слова: восприятие количественной информации, точность, формат предъявления количества, объекты и числа, зрительно-пространственная рабочая память, начальный и основной уровни общего образования, школьники IV и IX классов

Для цитирования: Тихомирова, Т.Н. (2026). Зависит ли точность восприятия количества от зрительно-пространственной рабочей памяти в ходе школьного обучения? *Экспериментальная психология, 19*(3), 99—113. https://doi.org/10.17759/exppsy.2026190306

© Тихомирова Т.Н., 2026

CC BY-NC

Does non-symbolic and symbolic representation depend on visual-spatial working memory across school education?

T.N. Tikhomirova[1] ✉
[1] Federal Scientific Center for Psychological and Interdisciplinary Research, Moscow, Russian Federation
✉ tikho@mail.ru

Abstract
Context and relevance. Representation of quantitative information is an integral component of understanding the world around us and underlies academic success in STEM disciplines. At the same time, the accuracy of quantitative perception presented in various formats is dependent to varying degrees on visual-spatial working memory throughout school education, and both are considered a "double deficit" of cognitive resources in learning. **Objective**: to study the specifics of the dependence of the accuracy of both non-symbolic and symbolic representation on visual-spatial working memory in schoolchildren at the primary (grades 4) and secondary (grades 9) school. **Methods and materials.** The study involved 1,013 schoolchildren, including 511 fourth-grade students (M_{age} = 10.7, SD = 0.5; 49.2% girls) and 502 ninth-grade students (M_{age} = 15.9, SD = 0.5; 52.2% girls). The non-symbolic and symbolic representations were used by "Number Sense" and the "Number Line" tests, respectively (Tikhomirova, Malykh, 2022). Visual-spatial working memory was assessed using the "Corsi Block Test" (Tikhomirova, 2025). **Results.** The accuracy of non-symbolic representation is moderately and directly proportional to visual-spatial working memory; and this relationship is observed at both primary and secondary school, with a significant increase at the end of schooling. The accuracy of symbolic representation is less dependent on working memory and is observed only at the primary school. **Conclusions.** The dependence of the accuracy of non-symbolic and symbolic representation**s** on visual-spatial working memory is mediated by the format of quantity presentation and has a pronounced age-related character.

Keywords: perception of quantitative information, accuracy, non-symbolic and symbolic representations, visual-spatial working memory, primary and secondary education, schoolchildren in grades 4 and 9

For citation: Tikhomirova, T.N. (2026). Does non-symbolic and symbolic representation depend on visual-spatial working memory across school education? *Experimental Psychology (Russia), 19*(3), 99—113. (In Russ.). https://doi.org/10.17759/exppsy.2026190306

Введение

Восприятие количественной информации является неотъемлемой составляющей познания окружающего мира, а ее точность, согласно исследованиям и их метаанализам, с одной стороны, лежит в основе успешного освоения учебных знаний в области математики и определяет дальнейший профессиональный выбор (Kroesbergen, Huijsmans, Friso-van den Bos, 2023; Tikhomirova, A. Malykh, S. Malykh, 2020; Halberda et al., 2012), а с другой — формируется под влиянием условий образования, изменяющихся на протяжении жизни человека (Nelwan et al., 2022; Tosto et al., 2019).

В литературе отмечается гетерогенность феномена восприятия количества, обусловленная форматом предъявления количественной информации — в виде расположенных в пространстве множеств объектов, не требующих точного подсчета, или с помощью чисел с их позиционным расположением на числовой прямой, напротив, с необходимостью

понимания числового ряда и знаний о соотношении между числами (Тихомирова, Малых, 2021; Kuzmina et al., 2020). Становление и совершенствование восприятия количества в виде объектов и чисел обеспечивают две автономные системы репрезентации — несимволическая и символическая соответственно, действие которых подчинено различным возрастным и социокультурным закономерностям (Тихомирова, Малых, 2021). Так, согласно лонгитюдным исследованиям с участием российских школьников, развитие точности восприятия количества в виде объектов характеризуется медленным изменением и относительно стабильным диапазоном вариативности без заметного влияния образовательных условий на всем протяжении школьного обучения (Malykh, Kuzmina, Tikhomirova, 2021; Tikhomirova et al., 2019). Напротив, траектория развития точности при восприятии количества в виде чисел оказывается более динамичной, с высоким темпом изменения под влиянием образования, и, как следствие, характеризуется интенсивным сужением диапазона вариативности в ходе школьного обучения (Tikhomirova et al., 2023; Kuzmina et al., 2020).

Наряду с точностью восприятия количества как важнейшего прогностического признака учебных результатов обозначается зрительно-пространственная рабочая память — базовая когнитивная функция временного хранения и переработки небольших фрагментов информации, необходимых для выполнения актуальной задачи (Тихомирова, 2025; Zhang, Tolmie, Gordon, 2022 и др.). Оба когнитивных признака — восприятие количества и зрительно-пространственная рабочая память — рассматриваются при тестировании гипотезы «двойного дефицита» когнитивных ресурсов при обучении, подтверждая наиболее слабые учебные результаты у детей с одновременно низкой точностью восприятия количества и низким уровнем рабочей памяти (Toll, Kroesbergen, Van Luit, 2016; Nelwan et al., 2022). Показано, в частности, что низкая точность оценки количества компенсируется возрастающей нагрузкой на зрительно-пространственную рабочую память при выполнении учебных задач (Toll, Kroesbergen, Van Luit, 2016). Более того, при увеличении сложности учебных задач взаимная нагрузка перераспределяется в зависимости от степени сформированности каждого из признаков, но заметно снижается (и даже нивелируется) при завершении того или иного уровня образования, когда учеником достигнуты требования к освоению образовательных программ, а навыки оперирования числовым материалом «автоматизируются» (Nelwan et al., 2022).

Вместе с тем изменения в соотношении точности восприятия количества и зрительно-пространственной рабочей памяти в ходе общего образования, согласно исследованиям, могут быть обусловлены: а) форматом предъявления количества (например, Kuzmina et al., 2020) и б) уровнем общего образования со специфическим содержанием образовательных программ, прежде всего по математике, и требованиями к предметным результатам их освоения (например, Тихомирова, Малых, 2021).

Так, в лонгитюдных исследованиях восприятия количества разных форматов сообщается, что базовые когнитивные функции, включая зрительно-пространственную рабочую память, полностью объясняют темп развития точности при восприятии количества в виде объектов, но не в виде чисел, на протяжении начального общего образования (Kuzmina et al., 2020). Показано, в частности, что интенсивное развитие точности при сравнении множеств объектов наблюдалось только у школьников с высокими показателями скорости переработки информации, зрительно-пространственной рабочей памяти и интеллекта, в то время как рост точности определения позиции числа на линии не зависел от уровня развития базовых

когнитивных функций. В то же время сообщается, что зрительно-пространственная рабочая память важна не только для точного восприятия расположенных в пространстве объектов, но и оказывается крайне необходимой для правильного определения позиции числа на числовой линии (Pellizzoni et al., 2025; Shvartsman, Shaul, 2023; Bisagno, Cadamuro, Morra, 2023). Показано, в частности, что зрительно-пространственная рабочая память является устойчивым прогностическим показателем последующего развития точности восприятия количественной информации в виде чисел (Pellizzoni et al., 2025). Более того, в метаанализе психофизиологических исследований делаются выводы, что эффективное функционирование системы репрезентации количества любого формата (и символического, и несимволического) частично зависит от объема зрительно-пространственной памяти, что неизбежно приводит к определению степени взаимозависимости в контексте прогностической ценности для математических достижений (Sokolowski et al., 2017).

Кроме того, в кросс-секционных исследованиях с участием российских школьников сообщается, что соотношение точности восприятия количества в виде объектов и зрительно-пространственной рабочей памяти изменяется в ходе общего образования — от слабых взаимосвязей на начальном уровне до умеренных при завершении основного общего образования (Tikhomirova, A. Malykh, S. Malykh, 2020). Напротив, исследование с участием бельгийских школьников не подтверждает связи точности восприятия количества с рабочей памятью ни в начальной, ни в средней школе (Moorkens et al., 2025). Подобное разнообразие результатов связывается, в том числе, с различиями в национальных системах образования и, соответственно, содержанием образовательных программ, в частности по математике, на разных уровнях школьного обучения и требованиями к их освоению.

Показано, в частности, что медиатором зависимости точности при восприятии количества разных форматов от зрительно-пространственной рабочей памяти может выступать степень освоения арифметических операций, понимания числового ряда, а также отношений между объектами и их числовыми эквивалентами (Pellizzoni et al., 2025; Tikhomirova et al., 2023; Nelwan et al., 2022). Следовательно, чем более усвоены математические знания вплоть до их «автоматизации», тем меньше используются ресурсы зрительно-пространственной рабочей памяти, которые при восприятии количества в виде чисел «извлекают» пространственное положение числа на числовой линии, а в виде объектов «сопоставляют» характеристики пространственного расположения множеств объектов. Подобное объяснение зависимости точности при восприятии количественной информации от рабочей памяти описано также в исследованиях с участием детей с атипичным развитием, когда даже при завершении школьного обучения такие ученики продолжают максимально задействовать когнитивные ресурсы, в том числе рабочую память, при выполнении арифметических операций, в то время как их сверстники с типичным развитием уже «автоматизировали» эти навыки и не опираются на рабочую память (Kroesbergen, Huijsmans, Friso-van den Bos, 2023; Kuhn et al., 2016).

В настоящем исследовании изучается специфика зависимости точности восприятия количественной информации, предъявляемой в разных форматах, от уровня развития зрительно-пространственной рабочей памяти у школьников, завершающих начальный уровень (IV классы) и основной уровень (IX классы) общего образования. Исследовательское внимание уделяется феномену восприятия количества, выраженного в двух форматах — в виде чисел на числовой линии от 0 до 1000, для которых указывается позиционное расположение,

и множеств объектов, которые сравниваются между собой без счета в категории «больше — меньше» (Тихомирова, Малых, 2021).

Предполагается, что зависимость точности восприятия количественной информации от зрительно-пространственной рабочей памяти будет опосредована форматом предъявления количества с большей выраженностью для объектов с пространственным расположением по сравнению с числами, а также окажется специфичной для начального и основного общего образования.

Методы и материалы

Выборка

В исследовании участвовали 1013 школьников, из них 511 учеников IV классов (средний возраст = 10,7 года, стандартное отклонение = 0,5; 49,2% девочек) и 502 ученика IX классов (средний возраст = 15,9 года, стандартное отклонение = 0,5; 52,2% девушек) 2018/19, 2022/23 и 2024/25 учебного года из одной общеобразовательной школы. Когортных различий по всем анализируемым показателям не выявлено ($p > 0,05$).

Процедура

Каждый участник исследования выполнил цифровые тестовые задания, направленные на измерение зрительно-пространственной рабочей памяти, а также точности восприятия количественной информации, представленной в виде объектов и чисел. Задания выполнялись группами по 15—18 учеников в кабинете информатики в конце учебного года под наблюдением исследователя и педагога-психолога. Предварительно были собраны информированные согласия родителей на участие в исследовании каждого ученика. Тесты и задания в них предъявлялись каждому участнику в строго определенной последовательности. Согласно протоколу, инструкции зачитывались исследователем перед началом работы и были доступны на экране компьютера непосредственно перед заданиями.

Методики

Точность восприятия количества в виде объектов

В тесте «Чувство числа» предъявляется 150 статичных заданий-изображений с множеством синих и желтых точек различного диаметра, расположенных произвольно (Тихомирова, Малых, 2021). Каждое изображение предъявляется на 400 мс, а количество точек каждого цвета варьируется от 5 до 21. Ученику ставится задача без счета решить, каких точек больше — синих или желтых — содержит каждое изображение, и быстро нажать на клавиатуре клавишу «С» (в случае, если больше синих точек) или «Ж» (если больше желтых точек). В тесте фиксируется точность выполнения, соответствующая количеству правильных решений.

Точность восприятия количества в виде чисел

В тесте «Числовая линия» каждое из 22 заданий состоит из числовой линии «0—1000» и числа от 0 до 1000, которое появляется над линией (Тихомирова, Малых, 2021). Ученику ставится задача определить позицию этого числа на числовой линии, указав ее с помощью компьютерной мыши. Числа предъявляются в следующем порядке: 246, 179, 818, 78, 722, 150, 366, 122, 738, 5, 147, 938, 18, 606, 2, 34, 754, 100, 56, 163, 486 и 725. В тесте фиксируется точность выполнения, соответствующая среднему значению отклонений выбранной учеником позиции каждого числа на линии от действительной позиции этого числа. Следовательно, чем меньше значение по этому тесту, тем точнее участник исследования.

Зрительно-пространственная рабочая память

В тесте «Последовательности» ученику необходимо повторить с помощью компьютерной мыши последовательности кубиков, которые один за другим в определенном порядке подсвечиваются на 1 секунду с интервалом в 1 секунду (Тихомирова, 2025). Длина последовательностей варьируется от 4 до 9 кубиков, образуя 6 уровней сложности по 2 последовательности с одинаковым количеством кубиков. Из всех возможных показателей этого теста в исследовании фиксируется количество правильно воспроизведенных последовательностей, которое позволит сопоставить данные учеников разных уровней образования (Тихомирова, 2025).

Результаты

В исследовании анализируются данные по показателям точности восприятия количественной информации, представленной в виде объектов и чисел, а также зрительно-пространственной памяти в двух группах школьников — IV и IX классов, завершающих соответственно начальный и основной уровни общего образования.

Описательные статистики

В табл. 1 представлены средние значения и стандартные отклонения показателей точности восприятия количества в виде объектов и чисел, а также зрительно-пространственной памяти, измеренных у школьников IV и IX классов.

Таблица 1 / Table 1

Описательные статистики показателей когнитивного функционирования, измеренные у школьников IV и IX классов

Descriptive statistics of cognitive functioning indicators in schoolchildren at Grades 4 and 9

Показатель когнитивного функционирования / Cognitive functioning indicators	**Школьники IV классов / Grade 4**	**Школьники IX классов / Grade 9**
Восприятие количества в виде объектов / Non-symbolic representation	100,1 (12,9)	107,4 (13,0)
Восприятие количества в виде чисел / Symbolic representation	79,8 (50,6)	45,2 (25,3)
Зрительно-пространственная рабочая память / Visual-spatial working memory	3,5 (1,7)	5,4 (1,2)

В табл. 1 приведено среднее значение количества правильных ответов при выполнении заданий «Чувство числа» и «Последовательности». Максимально возможный диапазон значений по тесту «Чувство числа» составляет от 0 до 150, по тесту «Последовательности» — от 0 до 12. Для теста «Числовая линия» указано среднее значение отклонения выбранной учеником позиции числа от действительной позиции этого числа на числовой линии, что предполагает интерпретацию меньших значений в качестве лучшего, более точного, результата.

Согласно данным, по всем анализируемым показателям когнитивного функционирования школьники IX классов в среднем показывают более высокие результаты по сравнению с четвероклассниками. Так, точность восприятия позиции числа на числовой линии возрастает практически в 2 раза, о чем свидетельствует значительно меньшее значение этого показателя восприятия количества у школьников IX классов.

Диапазон проявления индивидуальных различий по показателю восприятия количественной информации, выраженной в виде чисел, и зрительно-пространственной рабочей памяти у школьников IX классов заметно сужается согласно меньшим стандартным отклонениям. Напротив, индивидуальные различия в точности восприятия количества в виде объектов остаются неизменными в группах школьников IV и IX классов, демонстрируя стабильность диапазона вариативности и косвенно подтверждая меньшее воздействие школьного обучения на процессы восприятия количества, предъявляемого в формате объектов, а не чисел (например, Kuzmina et al., 2020).

Взаимосвязи точности восприятия объектов и чисел со зрительно-пространственной рабочей памятью

В табл. 2 представлены коэффициенты корреляции Пирсона между показателями восприятия количества, выраженного в виде объектов и чисел, а также зрительно-пространственной рабочей памяти у школьников IV и IX классов.

Таблица 2 / Table 2

Коэффициенты корреляции между показателями когнитивного функционирования, измеренными у школьников IV и IX классов

Correlation coefficients between cognitive functioning indicators in schoolchildren at Grades 4 and 9

Показатель / Indicator	Зрительно-пространственная рабочая память / Visual-spatial working memory	
	Школьники IV классов / Grade 4	Школьники IX классов / Grade 9
Восприятие количества в виде объектов / Non-symbolic representation	0,229**	0,501**
Восприятие количества в виде чисел / Symbolic representation	-0,181*	-0,094

Примечание: «**» — $p < 0{,}01$; «*» — $p < 0{,}05$.
Note: «**» — $p < 0.01$; «*» — $p < 0.05$.

Согласно данным табл. 2, на выборках школьников IV и IX классов для точности восприятия количества выявлено своеобразие взаимосвязи с показателем зрительно-пространственной рабочей памяти в зависимости от формата предъявления количественной информации. Так, точность восприятия количества в виде объектов по тесту «Чувство числа» оказывается в различной мере взаимосвязанной со зрительно-пространственной рабочей памятью при завершении начального и основного уровней общего образования. У школьников IV классов эта взаимосвязь оказывается слабо выраженной ($r = 0{,}23$ при $p < 0{,}01$), а в IX классах — заметно возрастает ($r = 0{,}50$ при $p < 0{,}01$). Напротив, для точности восприятия количества в виде чисел по тесту «Числовая линия» взаимосвязь слабо выраженна у школьников IV классов ($r = -0{,}18$ при $p < 0{,}05$), а в IX классах становится статистически не достоверной ($p > 0{,}05$).

Характер всех выявленных взаимосвязей между точностью восприятия количества и зрительно-пространственной рабочей памятью является прямо пропорциональным: при увеличении одного когнитивного показателя увеличивается значение другого показателя, в том числе относительно точности восприятия количества в виде чисел с учетом интерпретации меньшего значения в качестве лучшего результата.

Точность восприятия количества в зависимости от зрительно-пространственной рабочей памяти

В табл. 3 представлены результаты однофакторного дисперсионного анализа, который был выполнен на выборках школьников IV и IX классов для изучения различий в зависимости точности восприятия количества в виде объектов и чисел от зрительно-пространственной рабочей памяти.

Категориальным фактором выступила принадлежность к «низкой», «средней» или «высокой» группе, выделенной на основании показателя выполнения теста зрительно-пространственной рабочей памяти. Деление на группы в каждой возрастной выборке выполнялось в соответствии со значением ниже 25 квантиля («низкая» группа), с 25 по 75 квантиль («средняя» группа) и выше 75 квантиля («высокая» группа). На выборке школьников IV классов «низкая» группа включала 26,6% респондентов, «средняя» группа — 47,1%, а «высокая» — 26,3%. На выборке школьников IX классов «низкая» группа включала 25,6% респондентов, «средняя» группа — 48,5%, а «высокая» — 25,9%.

В качестве зависимых переменных рассматривались показатели точности восприятия количества в виде объектов (тест «Чувство числа») и чисел (тест «Числовая линия»). Анализ распределения зависимых переменных для сравниваемых групп с применением критерия Ливиня показал равенство дисперсий ($p > 0,05$).

В левой части табл. 3 приведены средние значения и стандартные отклонения (в скобках) точности восприятия количественной информации, выраженной в виде объектов и чисел, для «низкой», «средней» и «высокой» групп школьников относительно эффективности выполнения теста зрительно-пространственной рабочей памяти «Последовательности». В правой части — параметры оценки различий в точности восприятия количества двух форматов между группами школьников с различной зрительно-пространственной рабочей памятью.

Таблица 3 / Table 3

Результаты дисперсионного анализа различий в точности восприятия количества в зависимости от зрительно-пространственной рабочей памяти на выборках школьников IV и IX классов

Differences in the accuracy of symbolic and non-symbolic representation depending on the indicators of visual-spatial working memory in schoolchildren at Grades 4 and 9

Точность восприятия количества / Accuracy of representation	**Описательные статистики для групп / Descriptive statistics for groups**			**Оценка групповых различий / Group differences**			
	Низкая / Low	**Средняя / Medium**	**Высокая / High**	**SS**	**F**	***p***	**η^2**
Школьники IV классов / Grade 4							
Количество в виде объектов / Non-symbolic representation	95,2 (11,6)	100,4 (12,5)	104,8 (13,3)	1805,1	7,8	0,002	0,069
Количество в виде чисел / Symbolic representation	96,8 (58,9)	80,7 (50,9)	67,4 (44,9)	24790,1	6,9	0,010	0,066

Точность восприятия количества / Accuracy of representation	**Описательные статистики для групп / Descriptive statistics for groups**			**Оценка групповых различий / Group differences**			
	Низкая / Low	**Средняя / Medium**	**Высокая / High**	**SS**	**F**	***p***	**η^2**
Школьники IX классов / Grade 9							
Количество в виде объектов / Non-symbolic representation	96,4 (16,3)	107,1 (12,7)	115,3 (11,1)	16392,1	50,6	0,000	0,248
Количество в виде чисел / Symbolic representation	46,2 (26,9)	46,1 (29,5)	41,2 (23,7)	6425,9	1,9	0,097	0,001

П*римечание*: SS — сумма квадратов типа III, F — критерий Фишера, *p* — уровень значимости, η^2 — размер эффекта принадлежности к группе.
Note: SS — Sum of squares, F — Fisher criterion value, *p* — Significance level, η^2 — Effect size.

Согласно табл. 3, на выборке школьников IV классов точность восприятия количественной информации, выраженной в виде и объектов, и чисел, достоверно различается между группами респондентов в зависимости от уровня развития зрительно-пространственной рабочей памяти ($p < 0,05$). Анализ множественных сравнений с поправкой Бонферрони показал различия только между «высокой» и «низкой» группами: например, при восприятии объектов группа четвероклассников с высокими показателями рабочей памяти заметно лучше справляется с заданиями по сравнению со сверстниками из «низкой» группы (104,8 против 95,2 соответственно). При этом размер эффекта принадлежности к группе оказывается практически идентичным для точности восприятия количества, представленного в каждом из двух форматов, и составляет 7%.

На выборке школьников IX классов зависимость точности восприятия количественной информации от зрительно-пространственной рабочей памяти оказывается достоверной только для количества, выраженного в виде объектов ($p = 0,000$). При этом зависимость оказывается более заметной по сравнению с выборкой школьников IV классов и достигает значения в 25%. Анализ множественных сравнений выявил различия в точности восприятия объектов между всеми тремя группами относительно уровня развития зрительно-пространственной рабочей памяти, а не только между «высокой» и «низкой» группами, как в IV классах. Напротив, согласно данным дисперсионного анализа, точность восприятия количества, предъявляемого в виде чисел, не зависит от показателя зрительно-пространственной рабочей памяти ($p > 0,05$).

Обсуждение результатов

В исследовании изучена специфика зависимости точности восприятия количественной информации, предъявляемой в разных форматах — объектах и числах, — от уровня развития зрительно-пространственной рабочей памяти у школьников, завершающих начальный уровень (IV классы) и основной уровень (IX классы) общего образования. Объектом исследования выступает феномен восприятия количества, выраженного в двух форматах — в виде чисел на числовой линии от 0 до 1000, для которых указывается по-

зиционное расположение, и множеств объектов в пространстве, которые сравниваются между собой без счета.

Согласно описательной статистике возрастные особенности процесса восприятия количественной информации проявляются в увеличении средних значений точности у школьников основного уровня общего образования по сравнению со школьниками начального уровня. При этом, однако, наиболее заметное увеличение точности (практически в 2 раза) характерно для восприятия количества в формате чисел по сравнению с количеством в виде объектов. Эти результаты соотносятся с данными лонгитюдного исследования, которые подтверждают более высокий темп роста точности восприятия количества в символическом формате, чем в несимволическом формате, на протяжении начального обучения в школе (Tikhomirova et al., 2019). Один из механизмов более интенсивного увеличения точности восприятия количественной информации, выраженной числами, связывается с усвоением школьных знаний о числовых рядах и операциях с числами, что, в свою очередь, приводит к смещению траектории развития от логарифмического паттерна с неравномерным распределением ошибок к линейному паттерну с более четким представлением о позиционном расположении числа на линии (Тихомирова, Малых, 2021; Kuzmina et al., 2020). Напротив, точность восприятия количества, выраженного с помощью объектов, изменяется медленно без заметного воздействия образовательных событий, а максимальная точность достигается далеко за пределами школьного обучения, в возрасте около 30 лет (Halberda et al., 2012).

Изменение диапазона вариативности точности восприятия количественной информации у школьников IV и IX классов заметно различается для количества, представленного в формате объектов или чисел, подтверждая неравнозначную степень подверженности образовательным событиям. Так, уменьшение вариативности (в два раза) по показателю точности от школьников IV классов к их сверстникам из IX классов зафиксировано только при восприятии количества в виде чисел. При этом вариативность точности при восприятии объектов остается стабильной у школьников IV и IX классов, демонстрируя широкий спектр индивидуальных различий, независимо от уровня учебных умений в области числового познания. Эти данные в полной мере согласуются с результатами лонгитюдных исследований, где сообщается о стабильности диапазона вариативности для точности восприятия объектов и сужении диапазона за счет компенсаторного паттерна изменений при восприятии чисел на протяжении начального школьного обучения (Kuzmina et al., 2020; Tikhomirova et al., 2019). Показано, в частности, что сужение диапазона вариативности при восприятии количества только в виде чисел связано с системным обучением математике, которое оказывается более заметным для детей с низкой точностью на старте школьного образования (Tikhomirova et al., 2023; Nelwan et al., 2022; Tosto et al., 2019; Tikhomirova et al., 2019).

Выявленные возрастные особенности в восприятии количества разных форматов у школьников, завершающих начальный и основной уровень общего образования, могут изменять соотношение точности с показателем зрительно-пространственной рабочей памяти. Действительно, результаты корреляционного анализа подтверждают существенные различия во взаимосвязях между точностью восприятия количества, выраженного в разных форматах — объектах или числах, — и рабочей памятью у школьников IX классов. Показано, в частности, что при завершении основного общего образования точность вос-

приятия расположенных в пространстве объектов, а не чисел прямо пропорционально связана с показателем зрительно-пространственной рабочей памяти. Эти данные согласуются с результатами исследований, свидетельствующими о специфике в траекториях изменения точности восприятия количества разных форматов на более поздних уровнях школьного обучения (в частности, Malykh, Kuzmina, Tikhomirova, 2021). Вместе с тем у школьников IV классов точность восприятия количества в виде и объектов, и чисел оказывается слабо, но достоверно взаимосвязанной со зрительно-пространственной рабочей памятью. Возрастная специфика взаимосвязи может быть обусловлена требованиями к усвоению школьных знаний в области математики на разных уровнях общего образования и, соответственно, формированием навыка оперирования числами с опорой на ресурсы рабочей памяти только на более ранних этапах школьного обучения (Pellizzoni et al., 2025; Shvartsman, Shaul, 2023; Bisagno, Cadamuro, Morra, 2023; Nelwan et al., 2022).

Действительно, согласно результатам дисперсионного анализа, точность восприятия количественной информации, представленной в виде чисел с их позиционным расположением на числовой линии от 0 до 1000, зависит от зрительно-пространственной рабочей памяти только при завершении начального общего образования. Так, школьники IV классов с высокими показателями зрительно-пространственной рабочей памяти (> 75 процентиля) превосходят своих сверстников, имеющих ограниченные ресурсы (< 25 процентиля), по точности определения позиции числа на линии. При этом размер эффекта достигает значения лишь в 7%, свидетельствуя о различиях только между крайними по уровню сформированности рабочей памяти группами школьников. Сходные данные были получены в исследованиях, в том числе с двумя измерениями: уровень зрительно-пространственной рабочей памяти предсказывал дальнейшую точность определения позиции числа на числовой линии (Pellizzoni et al., 2025; Shvartsman, Shaul, 2023; Bisagno, Cadamuro, Morra, 2023). В то же время школьники IX классов с высокими и низкими показателями зрительно-пространственной рабочей памяти не различаются относительно точности восприятия количества, выраженного в виде чисел. Эти данные об отсутствии достоверной зависимости при завершении основного уровня общего образования соответствуют выводам лонгитюдного исследования, где сообщается о росте точности определения позиции числа на числовой линии независимо от уровня развития базовых когнитивных функций, в том числе зрительно-пространственной рабочей памяти (Kuzmina et al., 2020).

Напротив, точность восприятия количественной информации, представленной в виде объектов, оказалась в большей мере зависимой от уровня сформированности зрительно-пространственной рабочей памяти на обоих уровнях общего образования — при завершении и начального, и основного уровней общего образования. Так, школьники IV классов с высокой зрительно-пространственной рабочей памятью показывают более высокую точность при сравнении множеств объектов, чем их сверстники с низким уровнем сформированности рабочей памяти. В то же время на выборке школьников IX классов зависимость точности восприятия объектов от рабочей памяти увеличилась: различия в точности показаны между всеми тремя группами относительно уровня зрительно-пространственной рабочей памяти, а не только между «высокой» и «низкой» группами, как при завершении начального обучения. Соответственно, размер эффекта зависимости восприятия количества в виде объектов от рабочей памяти у школьников IX классов до-

стигает 25%. Эти результаты свидетельствуют об активном «задействовании» ресурсов зрительно-пространственной рабочей памяти старшими школьниками для более точной оценки множеств объектов, расположенных в пространстве, и согласуются с имеющимися в научной литературе данными (Kuzmina et al., 2020; Sokolowski et al., 2017; Halberda et al., 2012). Так, в исследовании с ежегодными измерениями на протяжении начального общего образования сообщается о достоверном последующем приросте точности восприятия количества в виде объектов только у школьников с высокими показателями базовых когнитивных функций, в том числе зрительно-пространственной рабочей памяти (Kuzmina et al., 2020). Соответственно, низкий уровень сформированности рабочей памяти влечет за собой низкую точность оценки количественной информации в виде объектов, что, в конечном счете, приводит к «двойному дефициту» когнитивных ресурсов при обучении (Zhang, Tolmie, Gordon, 2022; Toll, Kroesbergen, Van Luit, 2016). Более того, сообщается, что процесс развития точности восприятия количественной информации в виде объектов продолжается за пределами обязательного общего образования и происходит с опорой на базовые когнитивные функции (Halberda et al., 2012).

Таким образом, точность восприятия количества в виде чисел с позиционным расположением на числовой линии в слабой степени и только при завершении начального уровня общего образования зависит от зрительно-пространственной рабочей памяти. Напротив, точность восприятия количества, выраженного в виде расположенных в пространстве объектов, в большей мере зависит от зрительно-пространственной рабочей памяти; и эта зависимость с увеличением эффекта наблюдается при завершении и начального, и основного уровней общего образования. Подобное своеобразие соотношения точности восприятия количества и зрительно-пространственной рабочей памяти обусловлено форматом предъявления количественной информации — объекты или их числовые эквиваленты и, как следствие, различиями в траекториях развития под влиянием содержания образовательных программ и требований к их освоению при завершении начального или основного уровней общего образования.

Заключение

В исследовании проанализирована зависимость восприятия количественной информации от зрительно-пространственной рабочей памяти на выборках российских школьников. В фокусе исследовательского внимания оказывается точность восприятия количества, представленного в двух различных форматах: в виде объектов, расположенных в пространстве, и чисел в их позиционном пространстве числовой линии. Участие в исследовании школьников, завершающих начальный и основной уровни общего образования, позволило установить выраженный возрастной характер зависимости точности восприятия количества от зрительно-пространственной рабочей памяти во время обязательного школьного обучения.

На основании результатов исследования представляется возможным сформулировать следующие основные выводы:

1) Точность восприятия количественной информации зависит от уровня развития зрительно-пространственной рабочей памяти. При этом большая точность восприятия количества наблюдается у школьников с высокими показателями зрительно-пространственной рабочей памяти по сравнению с их сверстниками, демонстрирующими

низкие результаты выполнения теста зрительно-пространственной рабочей памяти «Последовательности».

2) Зависимость точности восприятия количества от зрительно-пространственной рабочей памяти опосредована форматом предъявления количественной информации — в виде объектов или чисел, что подтверждает автономию двух систем репрезентации несимволического и символического количества, действие которых подчинено различным социокультурным закономерностям. При этом зависимость от зрительно-пространственной рабочей памяти оказывается более тесной для точности восприятия количества в виде расположенных в пространстве объектов, а не их числовых эквивалентов.

3) Выраженные возрастные особенности зависимости точности восприятия количества в разных форматах от зрительно-пространственной рабочей памяти зафиксированы на выборках школьников, завершающих начальный и основной уровень общего образования. Точность восприятия количества в виде объектов оказывается слабо зависимой от уровня развития зрительно-пространственной рабочей памяти в четвертых классах школы, однако эта зависимость заметно увеличивается в девятых классах. Напротив, для точности восприятия количества в виде чисел зависимость от зрительно-пространственной рабочей памяти оказывается слабо достоверной лишь в четвертых классах школы, свидетельствуя об отсутствии когнитивной нагрузки на рабочую память при завершении основного общего образования вследствие сформированных учебных умений в области числового познания.

Перспективы исследования связаны с лонгитюдным анализом зависимости восприятия количественной информации от зрительно-пространственной рабочей памяти на временно*м* интервале, включающем переход учеников с начального на основное общее образование, что позволит определить срочные, среднесрочные и долгосрочные эффекты влияния памяти на точность восприятия количества разных форматов предъявления. Эти лонгитюдные данные в виде ранних маркеров нарушений в точности восприятия количества станут научной основой своевременной психолого-педагогической помощи неуспевающим ученикам и профилактики сложностей в обучении, прежде всего математике.

Ограничения. Ограничение доступа к данным связано с отсутствием в информированном согласии пункта о размещении «сырых» данных несовершеннолетних участников исследования.

Limitations. The authors are unable to make the dataset available due to the absence of a clause in the informed consent regarding the placement of "raw" data of the participants.

Список источников / References

1. Тихомирова, Т.Н. (2025). Измерение зрительно-пространственной рабочей памяти у школьников в контексте учебных результатов: показатели точности, объема и эффективности. *Экспериментальная психология, 18*(4), 194—210. https://doi.org/10.17759/exppsy.2025180412
   Tikhomirova, T.N. (2025). Measuring visual-spatial working memory among schoolchildren: Accuracy, capacity, and efficiency in educational outcomes. *Experimental Psychology (Russia), 18*(4), 194—210. (In Russ.). https://doi.org/10.17759/exppsy.2025180412
2. Тихомирова, Т.Н., Малых, С.Б. (2021). Символическая и несимволическая репрезентация количества: специфика соотношения и связь с успешностью в математике. *Теоретическая и экспериментальная психология, 14*(3), 6—23.
   Tikhomirova, T.N., Malykh, S.B. (2021). Symbolic and non-symbolic representation of quantity: Specificity of the ratio and the relationship with success in mathematics. *Theoretical and Experimental Psychology, 14*(3), 6—23. (In Russ.).

3. Bisagno, E., Cadamuro, A., Morra, S. (2023). Multiple influences of working memory capacity on number comprehension: The interplay with metacognition and number-specific prerequisites. *Journal of Experimental Child Psychology,* 226, 105568. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2022.105568
4. Halberda, J., Ly, R., Wilmer, J.B., Naiman, D.Q., Germine, L. (2012). Number sense across the lifespan as revealed by a massive Internet-based sample. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 109*(28), 11116—11120. https://doi.org/10.1073/pnas.1200196109
5. Kroesbergen, E.H., Huijsmans, M.D., Friso-van den Bos, I. (2023). A meta-analysis on the differences in mathematical and cognitive skills between individuals with and without mathematical learning disabilities. *Review of Educational Research, 93*(5), 718—755. https://doi.org/10.3102/00346543221132773
6. Kuhn, J.T., Ise, E., Raddatz, J., Schwenk, C., Dobel, C. (2016). Basic numerical processing, calculation, and working memory in children with dyscalculia and/or ADHD symptoms. *Zeitschrift fur Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie, 44*(5), 365—375. https://doi.org/10.1024/1422-4917/a000450
7. Kuzmina, Y., Tikhomirova, T., Lysenkova, I., Malykh, S. (2020). Domain-general cognitive functions fully explained growth in nonsymbolic magnitude representation but not in symbolic representation in elementary school children. *PloS one, 15*(2), e0228960. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228960
8. Malykh, S., Kuzmina, Y., Tikhomirova, T. (2021). Developmental changes in ANS precision across grades 1—9: different patterns of accuracy and reaction time. *Frontiers in psychology*, 12, 589305. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.589305
9. Moorkens, J., Vonck, J., Cipora, K., van Dijck, J.P., Fias, W. (2025). The Mental Number Line and the Working Memory Line: Their Relationship Investigated Throughout the School Years. *Advances in Cognitive Psychology, 21*(2), 176—188. URL: https://hdl.handle.net/2134/29207630.v1
10. Nelwan, M., Friso-van den Bos, I., Vissers, C., Kroesbergen, E. (2022). The relation between working memory, number sense, and mathematics throughout primary education in children with and without mathematical difficulties. *Child Neuropsychology, 28*(2), 143—170. https://doi.org/10.1080/09297049.2021.1959905
11. Pellizzoni, S., Granello, F., Cuder, A., Doz, E., Passolunghi, M.C. (2025). Longitudinal relationships between visuospatial working memory, verbal counting and number line knowledge in preschoolers. *Psychological Research, 89*(3), 108. https://doi.org/10.1007/s00426-025-02142-z
12. Shvartsman, M., Shaul, S. (2023). The role of working memory in early literacy and numeracy skills in kindergarten and first grade. *Children, 10*(8), 1285. https://doi.org/10.3390/children10081285
13. Sokolowski, H.M., Fias, W., Mousa, A., Ansari, D. (2017). Common and distinct brain regions in both parietal and frontal cortex support symbolic and nonsymbolic number processing in humans: A functional neuroimaging meta-analysis. *Neuroimage*, 146, 376—394. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.10.028
14. Tikhomirova, T., Kuzmina, Y., Lysenkova, I., Malykh, S. (2019). Development of approximate number sense across the elementary school years: A cross-cultural longitudinal study. *Developmental science, 22*(4), e12823. https://doi.org/10.1111/desc.12823
15. Tikhomirova, T., Malykh, A., Lysenkova, I., Kuzmina, Y., Malykh, S. (2023). The development of number line accuracy in elementary school children: A cross-country longitudinal study. *British Journal of Educational Psychology, 93*(2), 423—436. https://doi.org/10.1111/bjep.12566
16. Tikhomirova, T., Malykh, A., Malykh, S. (2020). Predicting academic achievement with cognitive abilities: Cross-sectional study across school education. *Behavioral sciences, 10*(10), 158. https://doi.org/10.3390/bs10100158
17. Toll, S.W., Kroesbergen, E.H., Van Luit, J.E. (2016). Visual working memory and number sense: Testing the double deficit hypothesis in mathematics. *British Journal of Educational Psychology, 86*(3), 429—445. https://doi.org/10.1111/bjep.12116
18. Tosto, M.G., Garon-Carrier, G., Gross, S., Petrill, S.A., Malykh, S., Malki, K., ... Kovas, Y. (2019). The nature of the association between number line and mathematical performance: An international twin study. *British Journal of Educational Psychology, 89*(4), 787—803. https://doi.org/10.1111/bjep.12259
19. Zhang, Y., Tolmie, A., Gordon, R. (2022). The relationship between working memory and arithmetic in primary school children: A meta-analysis. *Brain Sciences, 13*(1), 22. https://doi.org/10.3390/brainsci13010022

Информация об авторе
Татьяна Николаевна Тихомирова, доктор психологических наук, академик РАО, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр психологических и междисциплинарных исследований (ФГБНУ ФНЦ ПМИ), Москва, Российская Федерация, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6748-763X, e-mail: tikho@mail.ru

Information about the author
Tatiana N. Tikhomirova, Sc.D. (Psychology), Academician of the Russian Academy of Education, Leading Researcher, Federal Scientific Center for Psychological and Interdisciplinary Research, Moscow, Russian Federation, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6748-763X, e-mail: tikho@mail.ru

Конфликт интересов
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest
The author declares no conflict of interest.

Декларация об этике
Исследование было рассмотрено и одобрено Этическим комитетом ФГБНУ «Психологический институт Российской академии образования» (проект № 2016/2-12).

Ethics statement
The study was reviewed and approved by the Ethics Committee of the Psychological Institute of Russian Academy of Education (project No. 2016/2-12).

Поступила в редакцию 26.04.2026 — Received 2026.04.26
Поступила после рецензирования 02.09.2026 — Revised 2026.09.02
Принята к публикации 02.09.2026 — Accepted 2026.09.02
Опубликована 30.09.2026 — Published 2026.09.30