

УДК 159.9.07

КОГНИТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ УСПЕВАЕМОСТИ ПО МАТЕМАТИКЕ¹

Т.Н. Тихомирова^{a, b}, Э.К. Хуснутдинова^a, С.Б. Малых^{a, b}

^a *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119991, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1*

^b *Психологический институт РАО, 125009, г. Москва, ул. Моховая, д. 9, стр. 4*

Представлены результаты эмпирического исследования особенностей когнитивного функционирования младших школьников с отличной, хорошей и удовлетворительной успеваемостью по математике. Показано, что уровень развития невербального интеллекта, рабочей памяти и чувства числа различается в группах младших школьников с различным уровнем успеваемости. Получены качественные и количественные различия в структуре взаимосвязей показателей когнитивного функционирования в анализируемых группах обучающихся.

Ключевые слова: когнитивное функционирование; скорость переработки информации; рабочая память; невербальный интеллект; чувство числа; математика; успеваемость; младший школьный возраст.

Введение

Успешность в обучении математике имеет важное значение в жизни каждого человека в современном технологическом обществе [1]. Неудивительно, что изучение факторов успешности в обучении математике находится в постоянном фокусе внимания исследователей. Показано, в частности, что целый спектр факторов, таких как образование родителей, наличие книг и учебных пособий в домашней библиотеке, уровень подготовки учителей, содержание учебных программ, а также время, затрачиваемое на изучение математики, являются важными факторами, влияющими на уровень развития математических навыков [2]. При этом особый интерес исследователей привлекают особенности когнитивного развития, которые оказываются связанными с успешностью обучения математике: в работах приводятся коэффициенты корреляции от 0,40 до 0,63 [2–5]. В целом ряде исследований показано, что индивидуальные различия в математической успешности связаны с базовыми когнитивными характеристиками – скоростью переработки информации, рабочей памятью, чувством числа, и с общей – невербальным интеллектом [2].

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 17-78-30028.

Скорость переработки информации как базовая способность обрабатывать поступающую информацию, выраженная в точности и скорости выполнения элементарных умственных действий, согласно ряду исследований является одним из важных предикторов успешности в обучении математике [6, 7]. Вместе с тем в других работах сообщается об отсутствии связей между этим когнитивным показателем и академической успешностью [8]. Такие противоречия в результатах могут объясняться различиями в возрасте, поскольку возраст участников исследований варьировал от детей дошкольного возраста [6] до старших школьников [8] и студентов [7]. Об этом свидетельствует высокая чувствительность скорости переработки к влиянию возраста. Так, например, на британской выборке показано увеличение времени реакции на возрастном промежутке от 10 до 80 лет [9]. Подобная неравномерность в развитии может отражаться в специфике взаимосвязей с успешностью в обучении в разные возрастные периоды. В ряде исследований сообщается о более сложных, непрямых взаимосвязях скорости переработки информации с показателями школьной успешности [10, 11]. В частности, отмечается, что скорость переработки информации является основой невербального интеллекта как общего когнитивного показателя, который, в свою очередь, отражается в индивидуальных различиях в успешности в школьном обучении [11].

Рабочая память как базовая способность человека удерживать небольшие фрагменты информации, необходимые для актуальной в данный момент времени мыслительной деятельности, играет важную роль в успешности обучения математике и связывается с различными аспектами математического знания – от понимания сущности арифметических действий в раннем возрасте [12, 13] до выполнения сложных математических вычислений в школьном возрасте [8, 14]. Отмечается, что низкие показатели успешности в решении математических заданий связаны с низкими показателями рабочей памяти в задании «Последовательности» [15, 16]. В исследовании на российской выборке показано, что высокие показатели рабочей памяти наблюдаются у старшеклассников, более успешно выполняющих математические задания с ограничением времени [17]. Показатели рабочей памяти также меняются с возрастом, причем эта зависимость носит нелинейный характер: наиболее интенсивно объем рабочей памяти увеличивается в период младшего и среднего школьного возраста [15]. При этом отмечается высокая пластичность пространственной рабочей памяти (в том числе ее объема) под влиянием обучения, что, в свою очередь, способствует успешности в выполнении математических задач [18, 19].

Чувство числа как базовая способность воспринимать не символически выраженные количества без счета – еще один показатель когнитивного функционирования, связанный с успешностью в обучении математике [20]. При этом результаты исследований чувства числа как основы математических достижений являются достаточно противоречивыми. В ряде исследований отмечается, что чувство числа связано с успешностью в обучении математике, оцененной как по результатам тестовых заданий [20, 21], так и

на основе учительских оценок [22]. При этом в других исследованиях взаимосвязи между чувством числа и успешностью решения математических заданий не наблюдаются ни у взрослых людей [23], ни у детей дошкольного возраста [24]. Кроме того, противоречия в результатах отмечаются и в исследовании долгосрочных связей между чувством числа и математической успешностью в школьном возрасте [20, 25]. В частности, в одних работах чувство числа является значимым предиктором успешности в математике [20], тогда как в других не доказана ее прогностическая ценность [25].

Невербальный интеллект как общая способность к эффективному решению задач, основанных на использовании невербального стимульного материала, является одним из самых существенных предикторов индивидуальных достижений в различных академических областях, что подтверждается во многих исследованиях с участием респондентов разного возраста, пола, социально-экономического статуса [2, 3, 26–28]. При этом особо подчеркивается роль образования в формировании индивидуальных различий в невербальном интеллекте, измеренном с помощью теста «Стандартные прогрессивные матрицы» [29]. Так, показано, что максимальные индивидуальные или групповые различия средних значений интеллекта между группами детей будут наблюдаться на начальных этапах обучения, а в дальнейшем эти различия должны уменьшаться при условии относительно равных образовательных возможностей [Ibid.].

Отмечается, что наиболее выраженные связи между показателями когнитивного развития и академической успешности наблюдаются на начальном уровне обучения по сравнению с основным [10]. Этот факт связывается с феноменом сужения диапазона вариативности показателей когнитивного развития в ходе школьного обучения [2]. Кроме того, каждая из анализируемых когнитивных характеристик имеет свою траекторию развития с периодами интенсивного роста и относительной стабилизации [30]. Эта неравномерность когнитивного развития может обуславливать специфику взаимосвязей в определенные возрастные периоды. При этом особый интерес в плане взаимосвязи с математической успешностью представляет младший школьный возраст, на протяжении которого происходит процесс активного усвоения новых знаний, связанных с арифметическими операциями сравнения, сложения и вычитания.

Целью данного исследования является изучение особенностей когнитивных характеристик и их взаимосвязей у младших школьников с различным уровнем успеваемости по математике.

Методики и методы исследования

Выборка. В исследовании приняли участие все школьники 2–4-х классов ($N = 401$) одного общеобразовательного учреждения в возрасте от 7,8 до 11,5 года (среднее значение 10,07 года), из них 49,8% мальчиков. На участие в исследовании были получены письменные информированные

согласия от родителей младших школьников. Анализ результатов осуществлялся на базе обезличенных персональных данных.

Все участники исследования были разделены на три группы в соответствии с годовой оценкой по математике: школьники, имеющие годовую оценку «5», вошли в группу «Отличная успеваемость» (N = 102, 25,5% от общего числа участников исследования), получившие годовую оценку «4» – в группу «Хорошая успеваемость» (N = 233, 58,2%), а получившие годовую оценку «3» – в группу «Удовлетворительная успеваемость» (N = 66, 16,3%).

Методика

Когнитивные характеристики

Скорость переработки информации. В компьютеризированном тесте «Время реакции выбора» числа 1, 2, 3, 4 появляются 40 раз в случайном порядке со случайным временным интервалом между 1 и 3 секундами [2, 31]. Задача участника состоит в быстром и точном нажатии клавиши, соответствующей числу на экране. Время ответа ограничено восемью секундами. В статистическом анализе учитывается среднее значение времени реакции на правильные ответы.

Рабочая память. В компьютеризированном тесте «Последовательности» появляются последовательности «зажигającychся» блоков-кубиков [Там же]. Минимальное количество элементов в последовательности – 4, максимально возможное количество – 9. Во время предъявления кубики «светятся» в течение 1 с, интервал между предъявлениями – 1 с. Задача участника состоит в точном повторении последовательностей нажатием на нужные кубики с помощью компьютерной мыши. В статистическом анализе учитывается количество правильно воспроизведенных последовательностей. В статистическом анализе учитывается количество правильно воспроизведенных последовательностей.

Чувство числа. В компьютеризированном тесте «Чувство числа» предъявляются массивы из желтых и синих точек, различающиеся по размеру [Там же]. Участнику требуется решить, предъявляемый массив содержит больше желтых или синих точек, и нажать на нужную клавишу на клавиатуре (Ж или С). Стимульный материал содержит 150 статических фотографий с массивами желтых и синих точек, число которых колеблется от 5 до 21 точки каждого цвета, отношения массивов в двух цветах составляют 1 : 3 и 6 : 7. Задание появляется на экране в течение 400 мс, максимальное время ответа составляет 8 с. Тест состоит из трех блоков по 50 заданий. В статистическом анализе учитывается количество правильных ответов.

Невербальный интеллект. В исследовании использовалась «бумажная» версия теста «Стандартные прогрессивные матрицы» [32]. Задания сгруппированы в 5 серий, каждая из которых состоит из 12 заданий. Участник должен выбрать недостающий элемент задания-матрицы среди 8 предложенных вариантов. В статистическом анализе учитывается количество правильных решений по всему тесту.

Академическая успешность по математике. В качестве показателей успешности в обучении математике использовалась годовая оценка по математике, выставленная учителем начальных классов.

Статистический анализ

Для изучения особенностей когнитивного функционирования в группах младших школьников с отличной, хорошей и удовлетворительной успеваемостью по математике:

- а) рассчитывались описательные статистики;
- б) проводился дисперсионный анализ различий в уровне развития когнитивных характеристик по анализируемым группам школьников – скорости переработки информации, рабочей памяти, чувства числа и невербального интеллекта;
- в) выполнялся корреляционный анализ структуры взаимосвязей этих когнитивных характеристик в каждой из анализируемых групп младших школьников.

Результаты исследования

В табл. 1 представлены описательные статистики по показателям скорости переработки информации, рабочей памяти, чувства числа, невербального интеллекта в группах «Отличная успеваемость», «Хорошая успеваемость» и «Удовлетворительная успеваемость». Для рабочей памяти, чувства числа и невербального интеллекта указано общее количество правильных ответов, а для скорости переработки информации – среднее значение времени реакции на правильные ответы в секундах. Согласно описательной статистике средние значения по всем анализируемым показателям различаются в группах младших школьников с различным уровнем успеваемости по математике. При этом лучшие значения когнитивных характеристик наблюдаются в группе обучающихся с отличной успеваемостью по сравнению с теми школьниками, которые имеют годовые оценки «4» и «3».

Таблица 1

Средние значения и стандартные отклонения (в скобках) когнитивных характеристик в группах с различающейся успеваемостью по математике

Когнитивные характеристики	Группа «Отличная успеваемость»	Группа «Хорошая успеваемость»	Группа «Удовлетворительная успеваемость»
Скорость переработки информации	0,8 (0,2)	0,9 (0,2)	1,0 (0,3)
Рабочая память	3,2 (1,8)	2,3 (1,9)	2,2 (1,8)
Чувство числа	102,1 (13,6)	95,2 (13,6)	88,7 (13,2)
Невербальный интеллект	46,7 (5,5)	40,8 (6,5)	36,5 (8,2)

Для изучения различий в уровне когнитивного развития применялся однофакторный дисперсионный анализ эффекта фактора успеваемости по математике – принадлежности к группе «Отличная успеваемость», «Хорошая успеваемость» и «Удовлетворительная успеваемость» – на индивиду-

альные различия в уровне развития скорости переработки информации, рабочей памяти, чувства числа и невербального интеллекта в младшем школьном возрасте.

В табл. 2 представлены результаты дисперсионного анализа эффекта успеваемости по математике на показатели когнитивного развития младших школьников. Критерий Ливиня использовался для проверки равенства дисперсий зависимых переменных для сравниваемых выборок. Для всех анализируемых когнитивных показателей уровень значимости больше уровня 5%, что говорит о равенстве дисперсий.

Таблица 2

**Эффект фактора успеваемости по математике
на показатели уровня когнитивного развития**

Когнитивные характеристики	Сумма квадратов (SS)	Критерий Фишера (F)	Уровень значимости (p)	Размер эффекта (η^2)
Чувство числа	5 683,6	15,5	0,00	0,10
Рабочая память	39,3	5,8	0,00	0,04
Скорость переработки информации	0,15	1,2	0,28	0,01
Невербальный интеллект	3 421,5	39,0	0,00	0,21

Полученные результаты показывают, что младшие школьники с разной успеваемостью по математике различаются по уровню развития следующих когнитивных характеристик: чувства числа, рабочей памяти и невербального интеллекта. При этом наибольший размер эффекта влияния наблюдается на показатель невербального интеллекта ($\eta^2 = 0,21$; $p = 0,00$), а наименьший – на рабочую память ($\eta^2 = 0,04$; $p = 0,00$). Не обнаружено статистически значимого эффекта влияния успеваемости по математике на показатель скорости переработки информации ($p > 0,05$).

Для множественного сравнения средних показателей когнитивного функционирования в группах младших школьников с отличной, хорошей или удовлетворительной успеваемостью был применен критерий Бонферрони. Показано, что по невербальному интеллекту и чувству числа различаются обучающиеся всех трех анализируемых групп ($p < 0,05$). При этом бóльшие значения по этим когнитивным характеристикам зафиксированы у школьников из группы «Отличная успеваемость», чуть меньшие – у их сверстников из группы «Хорошая успеваемость», а самые низкие – у обучающихся из группы «Удовлетворительная успеваемость».

Следует отметить, что по рабочей памяти получены различия только между школьниками, входящими в группу «Отличная успеваемость», и их сверстниками из групп «Хорошая успеваемость» и «Удовлетворительная успеваемость». При этом младшие школьники из групп «Хорошая успеваемость» и «Удовлетворительная успеваемость» не различаются по показателю рабочей памяти ($p > 0,05$).

Таким образом, исследование уровня когнитивного развития младших школьников, обучающихся математике на «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно», показало статистически достоверные различия для таких

показателей, как невербальный интеллект, чувство числа и рабочая память. При этом в большей степени обучающиеся на «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно» по математике различаются по уровню развития невербального интеллекта.

Для изучения структуры взаимосвязей когнитивных характеристик – чувства числа, рабочей памяти, скорости переработки информации и невербального интеллекта – у школьников с различным уровнем успеваемости по математике проводился корреляционный анализ.

В табл. 3 представлены коэффициенты корреляции Спирмена между чувством числа, рабочей памятью, скоростью переработки информации и невербальным интеллектом в группах младших школьников с отличной, хорошей и удовлетворительной успеваемостью по математике.

Таблица 3

**Матрица взаимных корреляций когнитивных характеристик
в группах младших школьников с различной успеваемостью по математике**

Когнитивные характеристики	Чувство числа	Рабочая память	Скорость переработки информации
Рабочая память	0,14 0,21* 0,46**	1	
Скорость переработки информации	-0,18 -0,11 0,04	-0,44** -0,25* -0,26*	1
Невербальный интеллект	0,25** 0,13 0,33**	0,10 0,27* 0,38**	-0,22* -0,17* -0,24*

Примечание. В ячейках верхняя строка – группа «Отличная успеваемость», средняя строка – «Хорошая успеваемость», нижняя строка – «Удовлетворительная успеваемость»; * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$.

Корреляционный анализ показал различия в структуре взаимосвязей когнитивных характеристик в группах младших школьников с различной успеваемостью по математике. В частности, большее количество взаимосвязей наблюдается в группе «Удовлетворительная успеваемость», чем в группах «Хорошая успеваемость» и «Отличная успеваемость». Так, выявлено 5 взаимосвязей между анализируемыми когнитивными показателями в группе школьников с удовлетворительной успеваемостью, в группе с хорошей успеваемостью – 4, а в группе с отличной успеваемостью – 3.

При этом обращают на себя внимание в целом более высокие коэффициенты в группе школьников с удовлетворительной успеваемостью по сравнению с группой обучающихся на «отлично». Например, рабочая память и невербальный интеллект оказываются статистически взаимосвязанными только в группах младших школьников с хорошей ($r = 0,27$; $p < 0,05$) и удовлетворительной ($r = 0,38$; $p < 0,01$) успеваемостью по математике, причем коэффициент связи возрастает при ухудшении успеваемости.

Исключение составляет лишь одна взаимосвязь – скорости переработки информации и рабочей памяти, где наибольший размер коэффициента корреляции достигает в группе школьников, обучающихся на «отлично» ($r = -0,44$; $p < 0,01$), по сравнению со школьниками, обучающимися на «хорошо» ($r = -0,25$; $p < 0,05$) и «удовлетворительно» ($r = -0,26$; $p < 0,05$).

Таким образом, изучение структуры взаимосвязей когнитивных характеристик у младших школьников, обучающихся математике на «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно», показало количественные и качественные различия. В целом структура взаимосвязей когнитивных характеристик в группе школьников с отличной успеваемостью по математике характеризуется меньшим количеством и низкими коэффициентами корреляции по сравнению с группами школьников с хорошей и удовлетворительной успеваемостью.

Обсуждение результатов

В исследовании изучались особенности когнитивного функционирования младших школьников с различным уровнем успеваемости по математике – отличной, хорошей и удовлетворительной. В фокусе исследовательского внимания оказались как базовые когнитивные характеристики – чувство числа, рабочая память и скорость переработки информации, так и общая характеристика – невербальный интеллект. Деление младших школьников на группы «Отличная успеваемость», «Хорошая успеваемость» и «Удовлетворительная успеваемость» осуществлялось на основе годовой оценки по математике: «5», «4» или «3» соответственно.

Анализ процентного распределения по группам показал, что в период младшего школьного возраста успешных в обучении математике школьников с годовой оценкой «5», больше, чем тех, кто учится на «3». В частности, наименьшее количество обучающихся вошло в группу «Удовлетворительная успеваемость» и составило лишь 16,3% от общего количества обучающихся во 2–4-х классах школы. В группу младших школьников, обучающихся на «отлично», вошло 25,5% детей. Самой многочисленной является группа «Средняя успеваемость», в которую вошли школьники, имеющие годовую оценку по математике «4» (58,2%). Подобное распределение обучающихся является типичным для начального уровня общего образования. Согласно исследованиям именно на начальном уровне образования наблюдается большее количество «отличников» по сравнению с основным уровнем (5–9-е классы), что может быть связано со степенью сложности математики как предмета изучения [2]. Действительно, содержание школьного курса математики на начальном уровне образования существенно отличается от математики в шестом классе и тем более от алгебры и геометрии в девятом классе. Кроме того, большее количество «отличников», чем «троечников», в младшем школьном возрасте может быть связано и с возрастной спецификой мотивационной сферы, приводящей к изменениям (увеличению или уменьшению) индивидуальной ценности учебной

деятельности и социальной значимости академической успешности на всем протяжении школьного обучения [33, 34].

Анализ уровня развития когнитивных характеристик у младших школьников, обучающихся математике на «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно», показал различия по показателям как базовых когнитивных характеристик – чувству числа и рабочей памяти, так и общей – невербальному интеллекту.

При этом наибольшие различия между группами младших школьников, обучающихся на «5», «4» или «3», показаны для невербального интеллекта – 21% дисперсии этого показателя объяснено принадлежностью школьника к группе отличников, хорошистов или троечников. При этом уровень развития этой общей когнитивной характеристики оказывается прямо пропорционально связанным с успеваемостью ребенка по математике: чем выше успеваемость, тем выше уровень развития интеллекта. Этот полученный в данном исследовании результат хорошо согласуется с имеющимися в литературе данными. Так, в ряде работ, включая метаанализы исследований, показано, что невербальный интеллект является наиболее весомым предиктором успешности обучения математике на всем протяжении школьного обучения [2, 35, 36]. В частности, в исследованиях с участием школьников из разных стран сообщается об умеренных и высоких взаимосвязях интеллекта и успешности в математике [3, 27, 28]. Так, на основании анализа восьми выборок из шести исследований сообщается о корреляции от 0,40 до 0,63 между показателями интеллекта и успешности в обучении [37]. В более поздних работах делаются в целом похожие выводы [35, 36]. Указывается, что оценка взаимосвязи оказывается более высокой, если интеллект рассматривался не в качестве балла по конкретному тесту, а в качестве латентной переменной, выделяемой на основании показателей по целому ряду тестов. При этом подчеркивается, что наиболее тесные взаимосвязи между невербальным интеллектом и математической успешностью наблюдаются в младшем школьном возрасте [2]. Так, в исследовании с участием российских школьников всех уровней образования самые тесные связи зафиксированы на начальном уровне обучения ($r = 0,48$; $p < 0,01$) по сравнению, например, с основным уровнем ($r = 0,36$; $p < 0,01$). Этот факт свидетельствует о важности уровня развития невербального интеллекта в процессе начального обучения математике. В настоящем исследовании именно невербальный интеллект является той когнитивной характеристикой, по которой младшие школьники с разной успешностью в обучении математике различаются сильнее всего.

Различия между группами младших школьников, обучающихся математике на «5», «4» или «3», показаны и для базовой когнитивной характеристики – чувства числа: 10% дисперсии этого показателя объяснено принадлежностью школьника к группе отличников, хорошистов или троечников. В частности, показано, что наибольшей точностью оценки не символически выраженных количеств обладают младшие школьники с отличной успеваемостью по математике по сравнению с их менее успешными в учебе

сверстниками. Согласно исследованиям, чувство числа является наиболее «математически ориентированной» когнитивной характеристикой, уровень развития которой связан с успешным обучением математике [20, 25, 38]. Так, в исследовании с участием российских младших школьников показано, что чувство числа является основой успешности в обучении математике, измеренной годовой оценкой [33]. Вместе с тем анализ причинно-следственных отношений между чувством числа, связанным с оперированием не символически выраженных количеств, и успешностью в математике в период третьего и четвертого годов обучения в школе не подтвердил наличия статистически значимых прогностических связей на выборке российских детей [25]. В настоящем исследовании показаны различия между группами школьников с отличной, хорошей или удовлетворительной успеваемостью по чувству числа, измеренному в тот же временной период, что и годовая оценка по математике.

Еще одной базовой когнитивной характеристикой, по которой получены различия между группами младших школьников с различной успеваемостью по математике, является рабочая память. Показано, что 4% дисперсии этого показателя когнитивного функционирования объяснено фактором успешности в обучении математике. При этом различия обнаружены только между школьниками с отличной успеваемостью и их сверстниками с хорошей и удовлетворительной успеваемостью. Этот результат хорошо согласуется с данными, полученными на выборке российских старшеклассников [17]. Показано, в частности, что 6% дисперсии показателя рабочей памяти может быть объяснено успешностью выполнения математических заданий с ограничением времени. При этом, в отличие от результатов настоящей работы, различия обнаружены только между школьниками с низким уровнем успешности по математике и их сверстниками с высоким и средним уровнями. В целом наибольшие различия в уровне развития рабочей памяти получены для крайних групп по успешности в обучении математике.

Особо следует отметить, что уровень развития скорости переработки информации не различается у младших школьников с отличной, хорошей и удовлетворительной успеваемостью по математике. Этот результат, возможно, подтверждает отсутствие прямой зависимости скорости переработки информации с успешностью в обучении математике и свидетельствует в пользу имеющих в литературе данных о косвенной связи через показатель невербального интеллекта в младшем школьном возрасте [10].

В целом показано, что младшие школьники с различной успеваемостью по математике – отличной, хорошей или удовлетворительной – различаются уровнем развития невербального интеллекта, рабочей памяти и чувства числа. При этом связь является прямо пропорциональной: чем успешнее учится школьник, тем более высокий уровень развития этих когнитивных характеристик у него наблюдается.

В ходе анализа *структуры взаимосвязей когнитивных характеристик в группах школьников, обучающихся математике на «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно»*, выявлены различия во взаимосвязях чувства

числа, рабочей памяти, скорости переработки информации и невербального интеллекта.

В работе показано, что в группе школьников с отличной успеваемостью по математике выявлено меньшее количество взаимосвязей анализируемых когнитивных характеристик, чем у школьников, обучающихся на «4» и «3». Так, более успешные в обучении математике младшие школьники используют меньшее количество когнитивных характеристик, но, согласно анализу, с более высоким уровнем развития по сравнению со своими сверстниками, обучающимися на «хорошо» или «удовлетворительно». В частности, в структуре взаимосвязей когнитивных характеристик в группе отличников зафиксировано только три взаимосвязи. Напротив, в группе школьников, обучающихся на «3», обнаружено пять взаимосвязей между анализируемыми когнитивными характеристиками. Этот полученный в настоящей работе результат может быть проинтерпретирован в терминах ресурсной теории продуктивности при решении задач разного уровня сложности [39]. В контексте данной теории количество взаимосвязей между отдельными когнитивными характеристиками характеризует сложность когнитивной организации человека и, как следствие, мощность его когнитивного ресурса. Следовательно, меньшее количество взаимосвязей отражает большую сложность когнитивной сферы.

В настоящей работе меньшее количество взаимосвязей между анализируемыми когнитивными характеристиками получено в группе младших школьников с отличной успеваемостью по сравнению с их сверстниками, менее успешными в обучении математике. Согласно ресурсной теории, младшие школьники с удовлетворительной успеваемостью по математике характеризуются меньшей мощностью когнитивного ресурса. В ситуации ограничения мощности когнитивного ресурса для эффективного решения учебных задач у младших школьников с низкой успеваемостью одновременно актуализируется большее количество показателей когнитивного функционирования.

Таким образом, структура когнитивного функционирования младших школьников с отличной успеваемостью характеризуется высоким уровнем функционирования небольшого количества когнитивных характеристик, а у их сверстников, обучающихся лишь на «3» и «4», решение учебных задач происходит за счет активации максимально возможных когнитивных характеристик, но более низкого уровня развития. Подобные механизмы некорректного распределения когнитивных «мощностей» задействованы в ходе обучения, когда на выполнение элементарных заданий школьник затрачивает максимум своих когнитивных возможностей, тем самым оставляя минимум на выполнение более сложных задач, приводящих к успешному освоению учебной программы [17].

В целом изучение структуры взаимосвязей когнитивных характеристик у младших школьников, обучающихся математике на «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно», показало количественные и качественные различия. В частности, структура взаимосвязей когнитивных характери-

стик в группе школьников с отличной успеваемостью по математике характеризуется меньшим количеством слабо выраженных взаимосвязей по сравнению с группами школьников с хорошей и удовлетворительной успеваемостью.

Дальнейшее направление этой работы может быть связано с включением в исследование школьников других возрастных категорий и расширением академических дисциплин.

Литература

1. Power C., Kuh D., Morton S. From developmental origins of adult disease to life course research on adult disease and aging: insights from birth cohort studies // *Public Health*. 2013. Vol. 34 (1). P. 7–28.
2. Тихомирова Т.Н., Малых С.Б. Когнитивные основы индивидуальных различий в успешности обучения. М. ; СПб. : Нестор-История, 2017. 312 с.
3. Brouwers S.A., van de Vijver F.J.R., van Hemert D.A. Variation in Raven's Progressive Matrices scores across time and place // *Learning and Individual Differences*. 2009. Vol. 19. P. 330–338.
4. Geary D.C., Hoard M.K., Byrd-Craven J., Nugent L., Numtee C. Cognitive mechanisms underlying achievement deficits in children with mathematical learning disability // *Child Development*. 2007. Vol. 78. P. 1343–1359.
5. Luo D., Thompson L.A., Detterman D.K. The criterion validity of tasks of basic cognitive processes // *Intelligence*. 2006. Vol. 34 (1). P. 79–120.
6. Мисожникова Е.Б. Роль скорости переработки информации в успешности выполнения тестовых заданий в старшем дошкольном возрасте // *Теоретическая и экспериментальная психология*. 2014. Т. 7, № 1. С. 38–42.
7. Semmes R., Davison M.L., Close C. Modeling Individual Differences in Numerical Reasoning Speed as a Random Effect of Response Time Limits // *Applied Psychological Measurement*. 2011. Vol. 35, № 6. P. 433–446.
8. Тихомирова Т.Н., Ковас Ю.В. Взаимосвязь когнитивных характеристик учащихся и успешности решения математических заданий (на примере старшего школьного возраста) // *Психологический журнал*. 2013. Т. 34, № 1. С. 63–73.
9. Der G., Deary I.J. Age and sex differences in reaction time in adulthood: Results from the United Kingdom Health and Lifestyle Survey // *Psychology and Aging*. 2006. Vol. 21. P. 62–73.
10. Тихомирова Т.Н., Воронин И.А., Мисожникова Е.Б., Малых С.Б. Структура взаимосвязей когнитивных характеристик и академической успешности в школьном возрасте // *Теоретическая и экспериментальная психология*. 2015. Т. 8, № 8. С. 55–68.
11. Rindermann H., Neubauer A.C. Processing speed, intelligence, creativity, and school performance: testing of causal hypotheses using structural equation model // *Intelligence*. 2004. Vol. 32. P. 573–589.
12. Белова А.П., Малых С.Б. Природа индивидуальных различий рабочей памяти // *Теоретическая и экспериментальная психология*. 2013. Т. 6, № 3. С. 54–64.
13. Kytala M., Aunio P., Lehto J.E., Van Luit J., Hautamaki J. Visuospatial working memory and early numeracy // *Educational and Child Psychology*. 2003. Vol. 20. P. 65–76.
14. Maybery M.T., Do N. Relationships between facets of working memory and performance on a curriculum-based mathematics test in children // *Educational and Child Psychology*. 2003. Vol. 20 (3). P. 77–92.
15. Bull R., Espy K.A., Wiebe S.A. Short-Term Memory, Working Memory, and Executive Functioning in Preschoolers: Longitudinal Predictors of Mathematical Achievement at Age 7 Years // *Developmental Neuropsychology*. 2008. Vol. 33. P. 205–228.

16. Owens M., Stevenson J., Norgate R., Hadwin J.A. Processing efficiency theory in children: Working memory as a mediator between trait anxiety and academic performance // *Anxiety, Stress, & Coping*. 2008. Vol. 21(4). P. 417–430.
17. Tikhomirova T. Spatial thinking and memory in Russian high school students with different levels of mathematical fluency // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2017. Vol. 237. P. 1260–1264.
18. Uttal D.H., Meadow N.G., Tipton E., Hand L.L., Alden A.R., Warren C., Newcombe N.S. The malleability of spatial skills: a meta-analysis of training studies // *Psychological bulletin*. 2013. Vol. 139 (2). P. 352–402.
19. Spence I., Feng J. Video games and spatial cognition // *Review of General Psychology*. 2010. Vol. 14 (2). P. 92–104.
20. Halberda J., Mazocco M.M., Feigenson L. Individual differences in nonverbal estimation ability predict maths achievement // *Nature*. 2008. Vol. 455. P. 665–668.
21. Тихомирова Т.Н., Малых С.Б., Тосто М.Г., Ковас Ю.В. Когнитивные характеристики и успешность в решении математических заданий в старшем школьном возрасте: кросскультурный анализ // *Психологический журнал*. 2014. Т. 35, № 1. С. 41–53.
22. Моросанова В.И., Фомина Т.Г., Ковас Ю.В. Взаимосвязь регуляторных, интеллектуальных и когнитивных особенностей учащихся с математической успешностью // *Психологические исследования*. 2014. Т. 7, № 34. С. 11. URL: <http://psystudy.ru>
23. Inglis M., Attridge N., Batchelor S., Gilmore C. Non-verbal number acuity correlates with symbolic mathematics achievement: but only in children // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2011. Vol. 18 (6). P. 1222–1229.
24. Soltész F., Scöz D., Scöz L. Relationship between magnitude representation, counting and memory in 4- to 7-year old children: a developmental study // *Behavioral and Brain Functions*. 2010. Vol. 6 (13). P. 1–14.
25. Тихомирова Т.Н., Малых С.Б. Чувство числа и успешность в обучении математике в младшем школьном возрасте: перекрестно-лонгитюдный анализ // *Психологический журнал*. 2018. Т. 39, № 6. С. 47–58.
26. Von Stumm S., Plomin R. Socioeconomic status and the growth of intelligence from infancy through adolescence // *Intelligence*. 2015. Vol. 48. P. 30–36.
27. Deary I.J., Strand S., Smith P., Fernandez C. Intelligence and educational achievement // *Intelligence*. 2007. Vol. 35. P. 13–21.
28. Taub G.E., Keith T.Z., Floyd R.G., McGrew K.S. Effects of general and broad cognitive abilities on mathematics achievement // *School Psychology Quarterly*. 2008. Vol. 53. P. 187–198.
29. Nisbett R. *Intelligence and how to get it: Why schools and cultures count*. New York : WW Norton, 2009.
30. Tikhomirova T., Kuzmina Y., Lysenkova I., Malykh S. Development of Approximate Number Sense across the Elementary School Years: a Cross-cultural Longitudinal Study // *Developmental Science*. 2019. <https://doi.org/10.1111/desc.12823>
31. Tosto M.G., Tikhomirova T., Galajinsky E., Akimova K., Kovas Y. Development and Validation of a Mathematics-number sense Web-based Test Battery // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2013. Vol. 86. P. 423–428.
32. Равен Дж., Равен Дж.К., Корт Дж. *Стандартные прогрессивные матрицы : руководство*. М. : Когито-Центр, 2002. 144 с.
33. Тихомирова Т.Н., Модяев А.Д., Леонова Н.М., Малых С.Б. Факторы успешности в обучении на начальной ступени общего образования: половые различия // *Психологический журнал*. 2015. Т. 36, № 5. С. 43–54.
34. Eccles J.S. Where are all the women? Gender differences in participation in physical science and engineering // *Why aren't more women in science? Top researchers debate the evidence* / S.J. Ceci, W.M. Williams (eds.). Washington, DC : American Psychological Association, 2007. P. 199–210.

35. Bartels M., Rietveld M.J., van Baal G.C., Boomsma D.I. Heritability of educational achievement in 12-year-olds and the overlap with cognitive ability // *Twin Research*. 2002. Vol. 5. P. 544–553.
36. Brody N. What cognitive intelligence is and what emotional intelligence is not // *Psychological Inquiry*. 2004. Vol. 15. P. 234–238.
37. Jencks C. Who gets ahead? The determinants of economic success in America. New York : Basic Books, 1979.
38. Tosto M.G., Petrill S.A., Halberda J., Trzaskowski M., Tikhomirova T.N., Bogdanova O.Y., ... Plomin R. Why do we differ in Number sense? Evidence from a genetically sensitive investigation // *Intelligence*. 2014. Vol. 43. P. 35–46.
39. Дружинин В.Н. Психология общих способностей. 3-е изд. СПб. : Питер, 2007.

Поступила в редакцию 25.04.2019 г.; принята 28.06.2019 г.

Тихомирова Татьяна Николаевна – член-корреспондент РАО, доктор психологических наук, профессор факультета психологии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова; ведущий научный сотрудник лаборатории возрастной психогенетики Психологического института РАО.

E-mail: tikho@mail.ru

Хуснутдинова Эльза Камилевна – член-корреспондент РАО, доктор биологических наук, профессор факультета психологии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

E-mail: elzakh@mail.ru

Малых Сергей Борисович – академик РАО, доктор психологических наук, заведующий лабораторией факультета психологии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова; заведующий лабораторией возрастной психогенетики Психологического института РАО.

E-mail: malykhsb@mail.ru

For citation: Tikhomirova, T.N., Khusnutdinova, E.K., Malykh, S.B. Cognitive Characteristics in Primary School Children with Different Levels of Mathematical Achievement. *Sibirskiy Psikhologicheskiy Zhurnal – Siberian journal of psychology*. 2019; 73: 159–175. doi: 10.17223/17267080/73/10. In Russian. English Summary

Cognitive Characteristics in Primary School Children with Different Levels of Mathematical Achievement

T.N. Tikhomirova^{a, b}, E.K. Khusnutdinova^a, S.B. Malykh^{a, b}

^a *Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation*

^b *Psychological Institute of Russian Academy of Education, Moscow, 125009, 9-4 Mokhovaya Str., Russian Federation*

Abstract

The aim of the article is to investigate the characteristics of the cognitive functioning of primary school children with different levels of mathematics achievement. The study analyzed both basic cognitive characteristics – processing speed, working memory, number sense, and general characteristics – nonverbal intelligence. Computerized test tasks “Choice Reaction Time”, “Corsi Block”, “Number Sense” were used to test basic cognitive characteristics; the paper version of the “Standard Progressive Matrices” test was used to test the level of nonverbal intelligence.

The study involved all students in grades 2–4 of a general educational institution aged 7.8 to 11.5 years. All participants were divided into three groups according to the annual math grade: “Excellent performance”, “Good performance”, “Satisfactory performance”.

The results of variance analysis revealed statistically significant differences between the three groups of primary school children (“Excellent performance”, “Good performance” or “Satisfactory performance”) in working memory, Number sense and nonverbal intelligence. The greatest differences were observed for nonverbal intelligence – 21% of the variance of this indicator is explained by the student's belonging to the group “Excellent performance”, “Good performance” or “Satisfactory performance”. The processing speed does not differ in primary school children with excellent, good and satisfactory performance in mathematics.

The results of the correlation analysis showed that the structure of relationships changes in groups with different performance – in the group with satisfactory performance; there are a greater number of connections than in the excellent performance group. In addition, higher correlation coefficients are observed in the group of schoolchildren with satisfactory performance compared with the group of schoolchildren with excellent performance. In particular, working memory and nonverbal intelligence are statistically interrelated only in groups of younger students with good and satisfactory math performance, and the coefficient of communication increases with the deterioration of performance. It is possible that these schoolchildren solve learning problems by attracting additional cognitive and non-cognitive resources. The results obtained are interpreted in terms of the resource productivity theory in solving problems of different levels of complexity.

Keywords: cognitive development; processing speed; working memory; nonverbal intelligence; number sense; mathematics; progress; primary school age.

References

1. Power, C., Kuh, D. & Morton, S. (2013) From developmental origins of adult disease to life course research on adult disease and aging: insights from birth cohort studies. *Public Health*. 34(1). pp. 7–28.
2. Tikhomirova, T.N. & Malykh, S.B. (2017) *Kognitivnye osnovy individual'nykh razlichiy v uspekhnosti obucheniya* [Cognitive foundations of individual differences in learning success]. Moscow; St. Petersburg: Nestor-Istoriya.
3. Brouwers, S.A., van de Vijver, F.J.R. & van Hemert, D.A. (2009) Variation in Raven's Progressive Matrices scores across time and place. *Learning and Individual Differences*. 19. pp. 330–338. DOI: 10.1016/j.lindif.2008.10.006
4. Geary, D.C., Hoard, M.K., Byrd-Craven, J., Nugent, L. & Numtee, C. (2007) Cognitive mechanisms underlying achievement deficits in children with mathematical learning disability. *Child Development*. 78. pp. 1343–1359. DOI: 10.1111/j.1467-8624.2007.01069.x
5. Luo, D., Thompson, L.A. & Detterman, D.K. (2006) The criterion validity of tasks of basic cognitive processes. *Intelligence*. 34(1). pp. 79–120. DOI: 10.1016/j.intell.2004.12.003
6. Misozhnikova, E.B. (2014) Role of information processing speed in successful test performance at late preschool age. *Teoreticheskaya i eksperimental'naya psikhologiya – Journal of Theoretical and Experimental Psychology*. 7(1). pp. 38–42. (In Russian).
7. Semmes, R., Davison, M.L. & Close, C. (2011) Modeling Individual Differences in Numerical Reasoning Speed as a Random Effect of Response Time Limits. *Applied Psychological Measurement*. 35(6). pp. 433–446. DOI: 10.1177/0146621611407305
8. Tikhomirova, T.N. & Kovas, Yu.V. (2013) Interrelation between cognitive characteristics and mathematical achievements (by the example of high school pupils). *Psikhologicheskii zhurnal*. 34(1). pp. 63–73. (In Russian).
9. Der, G. & Deary, I.J. (2006) Age and sex differences in reaction time in adulthood: Results from the United Kingdom Health and Lifestyle Survey. *Psychology and Aging*. 21. pp. 62–73. DOI: 10.1037/0882-7974.21.1.62

10. Tikhomirova, T.N., Voronin, I.A., Misozhnikova, E.B. & Malykh, S.B. (2015) The structure of relationships of cognitive characteristics and academic success at school age. *Teoreticheskaya i eksperimental'naya psikhologiya – Journal of Theoretical and Experimental Psychology*. 8(2). pp. 55–68. (In Russian).
11. Rindermann, H. & Neubauer, A.C. (2004) Processing speed, intelligence, creativity, and school performance: testing of causal hypotheses using structural equation. *Intelligence*. 32. pp. 573–589.
12. Belova, A.P. & Malykh, S.B. (2013) Nature of individual differences working memory. *Teoreticheskaya i eksperimental'naya psikhologiya*. 6(3). pp. 54–64. (In Russian).
13. Kytala, M., Aunio, P., Lehto, J.E., Van Luit, J. & Hautamaki, J. (2003) Visuospatial working memory and early numeracy. *Educational and Child Psychology*. 20. pp. 65–76.
14. Maybery, M.T. & Do, N. (2003) Relationships between facets of working memory and performance on a curriculum-based mathematics test in children. *Educational and Child Psychology*. 20(3). pp. 77–92.
15. Bull, R., Espy, K.A. & Wiebe, S.A. (2008) Short-Term Memory, Working Memory, and Executive Functioning in Preschoolers: Longitudinal Predictors of Mathematical Achievement at Age 7 Years. *Developmental Neuropsychology*. 33. pp. 205–228. DOI: 10.1080/87565640801982312
16. Owens, M., Stevenson, J., Norgate, R. & Hadwin, J.A. (2008) Processing efficiency theory in children: Working memory as a mediator between trait anxiety and academic performance. *Anxiety, Stress, & Coping*. 21(4). pp. 417–430. DOI: 10.1080/10615800701847823
17. Tikhomirova, T. (2017) Spatial thinking and memory in Russian high school students with different levels of mathematical fluency. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 237. pp. 1260–1264. DOI: 10.1016/j.sbspro.2017.02.204
18. Uttal, D.H., Meadow, N.G., Tipton, E., Hand, L.L., Alden, A.R., Warren, C. & Newcombe, N.S. (2013) The malleability of spatial skills: a meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*. 139(2). pp. 352–402. DOI: 10.1037/a0028446
19. Spence, I. & Feng, J. (2010) Video games and spatial cognition. *Review of General Psychology*. 14(2). pp. 92–104. DOI: 10.1037/a0019491. 92
20. Halberda, J., Mazocco, M.M. & Feigenson, L. (2008) Individual differences in nonverbal estimation ability predict maths achievement. *Nature*. 455. pp. 665–668.
21. Tikhomirova, T.N., Malykh, S.B., Tosto, M.G. & Kovas, Yu.V. (2014) Cognitive characteristics and mathematical achievement in high school students: cross-cultural analyses. *Psikhologicheskiy zhurnal*. 35(1). pp. 41–53. (In Russian).
22. Morosanova, V.I., Fomina, T.G. & Kovas, Yu.V. (2014) Vzaimosvyaz' regulatorynykh, intellektual'nykh i kognitivnykh osobennostey uchashchikhsya s matematicheskoy uspešnost'yu [The interrelation of regulatory, intellectual and cognitive characteristics of students with mathematical success]. *Psikhologicheskie issledovaniya*. 7(34). pp. 11. [Online] Available from: <http://psystudy.ru>
23. Inglis, M., Attridge, N., Batchelor, S. & Gilmore, C. (2011) Non-verbal number acuity correlates with symbolic mathematics achievement: but only in children. *Psychonomic Bulletin & Review*. 18(6). pp. 1222–1229. DOI: 10.3758/s13423-011-0154-1
24. Soltész, F., Scöz, D. & Scöz, L. (2010) Relationship between magnitude representation, counting and memory in 4- to 7-year old children: a developmental study. *Behavioral and Brain Functions*. 6(13). pp. 1–14. DOI: 10.1186/1744-9081-6-13
25. Tikhomirova, T.N. & Malykh, S.B. (2018) The sense of number and success in teaching mathematics at primary school age: a cross-longitudinal analysis. *Psikhologicheskiy zhurnal*. 39(6). pp. 47–58. (In Russian).
26. Von Stumm, S. & Plomin, R. (2015) Socioeconomic status and the growth of intelligence from infancy through adolescence. *Intelligence*. 48. pp. 30–36. DOI: 10.1016/j.intell.2014.10.002

27. Deary, I.J., Strand, S., Smith, P. & Fernandez, C. (2007) Intelligence and educational achievement. *Intelligence*. 35. pp. 13–21. DOI: 10.1016/j.intell.2006.02.001
28. Taub, G.E., Keith, T.Z., Floyd, R.G. & McGrew, K.S. (2008) Effects of general and broad cognitive abilities on mathematics achievement. *School Psychology Quarterly*. 53. pp. 187–198. DOI: 10.1037/1045-3830.23.2.187
29. Nisbett, R. (2009) *Intelligence and how to get it: Why schools and cultures count*. New York: WW Norton.
30. 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*. DOI: 10.1111/desc.12823
31. Tosto, M.G., Tikhomirova, T., Galajinsky, E., Akimova, K. & Kovas, Y. (2013) Development and Validation of a Mathematics-number sense Web-based Test Battery. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 86. pp. 423–428. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.08.591
32. Raven, J., Raven, J.K. & Cort, J. (2002) *Standartnye progressivnye matritsy* [Standard progressive matrices]. Translated from English. Moscow: Kogito-Tsentr.
33. Tikhomirova, T.N., Modyaev, A.D., Leonova, N.M. & Malykh, C.B. (2015) Factors of academic achievement at primary school level: sex differences. *Psikhologicheskii zhurnal*. 36(5). pp. 43–54. (In Russian).
34. Eccles, J.S. (2007) Where are all the women? Gender differences in participation in physical science and engineering. In: Ceci, S.J. & Williams, W.M. (eds) *Why aren't more women in science? Top researchers debate the evidence*. Washington, DC: American Psychological Association. pp. 199–210.
35. Bartels, M., Rietveld, M.J., van Baal, G.C. & Boomsma, D.I. (2002) Heritability of educational achievement in 12-year-olds and the overlap with cognitive ability. *Twin Research*. 5. pp. 544–553. DOI: 10.1375/136905202762342017
36. Brody, N. (2004) What cognitive intelligence is and what emotional intelligence is not. *Psychological Inquiry*. 15. pp. 234–238. DOI: 10.1375/136905202762342017
37. Jencks, C. (1979) *Who gets ahead? The determinants of economic success in America*. New York: Basic Books.
38. Tosto, M.G., Petrill, S.A., Halberda, J., Trzaskowski, M., Tikhomirova, T.N., Boganova, O.Y. & Plomin, R. (2014) Why do we differ in Number sense? Evidence from a ge-netically sensitive investigation. *Intelligence*. 43. pp. 35–46. DOI: 10.1016/j.intell.2013.12.007
39. Druzhinin, V.N. (2007) *Psikhologiya obshchikh sposobnostey*. 3rd ed. St. Petersburg: Piter.

Received 25.04.2019; Accepted 28.06.2019

Tatiana N. Tikhomirova – Leading Researcher, Psychological Institute of Russian Academy of Education, Professor, Lomonosov Moscow State University, Corresponding Member of the Russian Academy of Education, Sc.D. (Psychol.).

E-mail: tikho@mail.ru

Elsa K. Khusnutdinova – Professor, Lomonosov Moscow State University, Corresponding Member of the Russian Academy of Education, Sc.D. (Biolog.).

E-mail: elzakh@mail.ru

Sergey B. Malykh – Head of Behavior Genetics Laboratory, Psychological Institute of Russian Academy of Education; Head of the Laboratory of the Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, Academician of the Russian Academy of Education, Professor, Sc.D. (Psychol.).

E-mail: malykhsb@mail.ru