

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТРЕВОЖНОСТЬ: ЭТИОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ И СВЯЗЬ С УСПЕШНОСТЬЮ В МАТЕМАТИКЕ

А.В. БУДАКОВА¹, М.В. ЛИХАНОВ², Т. БЛОНИЕВСКИ^{1,2,3},
С.Б. МАЛЫХ^{1,4}, Ю.В. КОВАС^{1,2,3}

¹ *Национальный исследовательский Томский государственный университет*

² *Научно-технологический университет «Сириус», Сочи*

³ *Голдсмитс, Университет Лондона, Великобритания*

⁴ *Психологический институт РАО, Москва*

Математическая тревожность – один из видов эмоциональных реакций, связанных с обучением. Феномен негативно соотносится с математическими способностями и уровнем достижений в математике. В последнее время количество исследований тревожности, связанной с математикой, значительно возросло, что требует обобщенного методологического анализа полученных результатов. В данном обзоре анализируются наиболее значимые современные исследования математической тревожности и особенности проявления ее симптоматики. Показана ключевая роль рабочей памяти в функционировании тревожности и представлен ряд связанных с ней эффектов: «эффект тревожности сложности», «эффект избегания» и «эффект различия». Представлены результаты исследований мозговых механизмов взаимодействия математической тревожности с когнитивными способностями. Исследования показали, что математическая тревожность связана с активностью в областях мозга, связанных с переживанием физической боли, и влияет на эффективность мозговой обработки числовой информации. Показана генетическая и средовая этиология феномена: до 70% индивидуальных различий в математической тревожности объясняются средовыми факторами. Представлены описания семейных, школьных и социальных факторов, способствующих развитию математической тревожности. Описаны теоретические представления и результаты экспериментальных исследований связей конструкта с другими психологическими процессами: мотивацией, самооценкой способностей и др. В работе обсуждаются в том числе положительные эффекты тревожности: тревожность может вызвать физиологическое состояние «вызов» и тем улучшить продуктивность человека. Анализируются методы, используемые для снижения математической тревожности: экспрессивное письмо, медитация, смена установки в отношении математической тревожности. Анализ современных данных показал необходимость дальнейших исследований математической тревожности и ее механизмов для разработки более эффективных методов регуляции негативных эмоций по отношению к математике.

Ключевые слова: математическая тревожность, обработка числовой информации, рабочая память, снижение математической тревожности.

Математическая тревожность (МТ) определяется в различных исследованиях по-разному: как «иррациональный страх математики» (Lazarus, 1974); «паника,

беспомощность, паралич, дезорганизация когнитивной деятельности, которая появляется у людей, когда им необходимо решить математическую задачу» (Tobias, 1978, p. 65); «общий страх взаимодействия с математикой» (Hembree, 1990, p. 45); «чувство напряжения, опасения и даже страха, которое негативно

сказывается на оперировании числами в повседневной жизни (например, при необходимости посчитать сдачу в магазине, планировании расходов и т.д.) и процессах, связанных с решением математических задач» (Ashcraft, Faust, 1994, p. 98). Все эти определения сходятся в том, что ситуации, связанные с использованием чисел, могут вызывать негативную эмоциональную реакцию у некоторых людей. Феномен широко исследуется в настоящее время (Богданова и др., 2013; Suárez-Pellicioni, Núñez-Peña, Colomé, 2016; Alkan, 2018; Адаскина, 2019). Исследования (включая один мета-анализ) показали, что МТ пересекается, но не совпадает полностью с другими типами тревожности. Например, показаны умеренные корреляции между МТ и личностной тревожностью ($r = 0,32-0,38$; Hembree, 1990; Ma, 1999; Wang et al., 2014; Malanchini et al., 2017), средние – с тестовой/экзаменационной тревожностью ($r = 0,52$; Hembree, 1990), и умеренные – с пространственной тревожностью ($r = 0,32-0,41$; Malanchini et al., 2017).

Математическая тревожность появляется в раннем возрасте и усиливается (или остается на том же уровне) в подростковом (Ma, Kishor, 1997; Dowker, 2005; Mata, Monteiro, Peixoto, 2012; Krinzinger, Kaufmann, Willmes, 2009; Wu et al., 2012; Ramirez et al., 2013). Высокая МТ наблюдается у значительного числа людей: у 30–48% школьников (PISA..., 2012) и 25% студентов (Chang, Veilock, 2016). В двух исследованиях показано отсутствие кросс-культурных различий в МТ, например, между российскими и британскими выборками младших школьников (Руденко и др., 2013) и студентов (Кодиролы и др., 2013).

Целый ряд исследований показал, что МТ отрицательно связана с успешностью в математике (Dowker, Sarkar, Looi, 2016; Zhang, Zhao, Kong, 2019). У людей с более высоким уровнем МТ в среднем наблюдается более низкая успеваемость в решении математических заданий. Например,

в одном исследовании показана разница в 34 балла между группами с высокой и низкой МТ по математическому тесту, которая эквивалентна почти одному году обучения (PISA..., 2012). МТ также связана с такими важными аспектами жизни человека, как уровень и направление образования, а также трудоустройство. Например, МТ может приводить к недостатку специалистов в некоторых областях, что может отрицательно влиять на развитие всего общества (Там же).

Результаты исследований связи между МТ и когнитивными способностями достаточно противоречивы. В одних исследованиях обнаруживаются умеренные связи между МТ и математическими способностями ($r = -0,24$; Ma, 1999); между МТ и пространственными способностями ($r = -0,38$; Maloney et al., 2012); МТ и числовыми способностями ($r = -0,44$; Ashcraft, Kirk, 2001). В одном исследовании показано, что общая тревожность, но не МТ, является модератором связи между пространственными и математическими способностями (Likhanov et al., 2017). Еще одно исследование показывает значимые негативные связи математической тревожности с математическими способностями разного уровня (базовой числовой обработкой и пониманием чисел), а также с рабочей памятью (Skagerlund et al., 2019). В других исследованиях не обнаружены значимые связи (см. обзор: Eden, Heine, Jacobs, 2013). В недавнем исследовании МТ у взрослых участников было обнаружено, что в связи между базовыми числовыми навыками и математической тревожностью медиатором выступали математические способности более высокого уровня (Douglas, Le Fevre, 2018).

По результатам срезовых и лонгитюдных исследований были сформулированы несколько гипотез о причинно-следственных связях между МТ и низкой успеваемостью по математике (Meece, Wigfield, Eccles, 1990; Ma, Xu, 2004; Ashcraft, Krause, 2007).

Согласно «Модели когнитивных недостатков» (Ferguson et al., 2015; Maloney et al., 2010; Maloney, Ansari, Fugelsang, 2011; Maloney et al., 2012), или «Теории дефицита» (Carey et al., 2016), изначально низкий уровень базовых числовых и пространственных способностей или низкий уровень математических достижений приводит к постепенному развитию МТ. Однако одно лонгитюдное исследование показало, что связь между математическими способностями в 9–12 лет и МТ в 18 лет была слабой (Field et al., 2019).

В ряде исследований подтверждается другая гипотеза о направлении причинно-следственных связей между МТ и математической успешностью – «Наносящая ущерб тревожность» (Carey et al., 2016). Показано, что манипуляции по снижению МТ приводили к повышению результатов последующих математических тестов (Faust et al., 1996; Schmader, Johns, Forbes, 2008; Park, Ramirez, Beilock, 2014). Однако в других исследованиях эти результаты не воспроизвелись (Camerer et al., 2018).

Противоречивость результатов привела к формулировке гипотезы «Реципрокного эффекта» (Carey et al., 2016). Согласно этой теории, развитие базовых способностей (например, абстрактного мышления, понимания числа) и низкая успеваемость становятся причиной развития МТ, которая в свою очередь может являться причиной снижения успеваемости в дальнейшем. Ряд исследований показал реципрокные связи между МТ и математической успешностью (Ashcraft, Krause, 2007; Pekrun, 2006; Luo et al., 2014; Schilling et al., 2018; Gunderson et al., 2018).

ЭТИОЛОГИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ РАЗЛИЧИЙ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТРЕВОЖНОСТИ

К настоящему времени проведено только два генетически информативных исследования МТ с использованием близ-

нецового метода. По результатам этих исследований от 30 до 40% индивидуальных различий в МТ объясняются генетическими факторами, часть из которых связана с генетическими факторами общей тревожности и математической успешности (Wang et al., 2014). Исследования также показали большую роль факторов неразделенной среды – до 70% приходилось на индивидуально-специфичные средовые факторы (Wang et al., 2014; Malanchini et al., 2017).

В исследованиях средовых факторов развития МТ выделены следующие аспекты школьной среды: самооценка учителей, их негативный опыт в математике, требования и ожидания от учеников, математическая тревожность самого учителя (Swars, Daane, Guesen, 2006; Bekdemir, 2010; Turner et al., 2002; Beilock et al., 2010; Geist, 2010; Ramirez et al., 2018). Выявлена также роль таких факторов семейной среды, как отношение родителей к математике, убеждения родителей в способностях ребенка, поощрение и участие в учебе ребенка (Eccles, Jacobs, Harold, 1990; McLeod, Wood, Weisz, 2007; Vukovic, Roberts, Wright, 2013). В некоторых исследованиях показана роль гендерных стереотипов (например, мнения о том, что женщины хуже справляются с математикой), которые проявляются на уровне семьи (Goetz et al., 2013) или всего общества (Hembree, 1990; Beilock, Rydell, McConnell, 2007).

На первый взгляд наблюдается противоречие между важной ролью неразделенной среды (близнецовые исследования) и общей среды (семья, школа и общество). Например, близнецовые исследования указывают, что внутрипарное сходство близнецов, обучающихся в одном классе или школе, не выше, чем у близнецов, обучающихся в разных классах (Kovas et al., 2015; White et al., 2018). Эти результаты свидетельствуют о том, что факторы, обычно считающиеся общими для членов разных сообществ (семья, школа, культура и др.), имеют индивидуальный эффект.

Например, обучаясь в одном классе, дети могут воспринимать одного и того же учителя по-разному (для одного он слишком строгий, а для другого просто требовательный). Таким образом, даже объективно одинаковая среда может выступать как разная. Более того, один и тот же учитель может относиться по-разному к разным ученикам или родители могут поощрять одного из детей (например, сына, а не дочь). В основе этих процессов могут лежать механизмы генно-средового «со-действия», а также взаимодействие различных средовых факторов (Геномика поведения..., 2016). Школьные и семейные исследования, как правило, изучают одного ребенка в семье, что не позволяет оценить вариации внутри семьи и, соответственно, получить оценки неразделенной среды.

МЕХАНИЗМЫ СВЯЗИ МТ И КОГНИТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ

Ряд исследований показал ключевую роль рабочей памяти во взаимосвязях МТ и математической успешности (Ashcraft, Kirk, 2001; Lyons, Beilock, 2011, 2012; Young, Wu, Menon, 2012; Park, Ramirez, Beilock, 2014). Например, согласно «Теории эффективности обработки» (Eysenk et al., 2007) или ранее «Теории контроля внимания» (Eysenck, Calvo, 1992) рабочая память является основным механизмом, опосредствующим взаимосвязи между личностной тревожностью и академической успешностью. Состояние тревожности/беспокойства, отвлекая внимание на посторонние мысли и стимулы, сокращает ресурсы рабочей памяти для обработки поставленной задачи.

Возможно, негативное влияние математической тревожности на когнитивные процессы возрастает с увеличением потребности задачи в рабочей памяти (Ashcraft, Kirk, 2001). Например, результаты одного исследования показали, что в группе с высокой МТ количество ошибок в арифметических заданиях (в отличие от вербальных

задач) увеличивалось с увеличением нагрузки на рабочую память. В исследовании также показано, что отрицательный эффект МТ сильнее выражен у людей с высоким объемом рабочей памяти. Это может быть связано с тем, что они больше полагаются на стратегии решения задач, которые зависят от рабочей памяти, что, в свою очередь, приводит к снижению успешности при ее загруженности тревогой (Ashcraft, Kirk, 2001). В другом исследовании показано, что эффект МТ проявляется при выполнении сложных заданий (требующих значительных ресурсов рабочей памяти), но не простых (Ramirez et al., 2013). Эти результаты могут свидетельствовать в пользу гипотезы о том, что негативное влияние МТ возрастает с увеличением нагрузки на рабочую память. Еще в одном исследовании было обнаружено, что после двухнедельного обучения математике учеников V классов самые низкие результаты наблюдались в группе с высокой МТ и низкой рабочей памятью (Soltanlou et al., 2019).

В ряде исследований говорится о том, что МТ имеет как когнитивный, так и эмоциональный эффекты. Например, «эффект избегания»: глобальный — когда человек полностью избегает математики, например, не выбирает математические курсы в университете; локальный — желание скорее завершить математические задания, зачастую в ущерб правильности выполнения. Одно исследование показало, что группа с самой высокой МТ решала задачи быстрее, чем любая другая группа, но при этом совершала больше всего ошибок (Ashcraft, Faust, 1994).

В ряде исследований показано, что у людей с высокой МТ нарушены механизмы принятия решений в ситуациях, связанных с математикой. Например, в исследовании с помощью эксперимента с «эффектом различия» (split-effect) было обнаружено, что при упрощении заданий МТ нарушала процесс принятия решения (Faust et al., 1996). Показано, что люди с низкой МТ делали

больше ошибок в задачах с малым различием (например, $2 + 8 = 11$), в то время как у людей с высокой МТ уровень ошибок увеличивался с ростом различия.

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТРЕВОЖНОСТИ

Результаты нейровизуализационных исследований подтверждают сложную природу математической тревожности (см. обзор: Suárez-Pellicioni, Núñez-Peña, Colomé, 2016). МТ связана с активацией целого ряда структур головного мозга. Особый интерес представляет миндалина, которая интенсивно изучается в аспекте когнитивно-аффективного взаимодействия. Например, у детей (7–9 лет) с высокой МТ при решении математических задач наблюдались повышенная активность в правой миндалине, распространяющаяся на передний гиппокамп, и при этом снижение активности в вентромедиальной префронтальной коре. Эти результаты могут свидетельствовать о том, что дети с высокой МТ воспринимают числовые стимулы более негативно, чем дети с низкой МТ (Young et al., 2012).

Есть данные о том, что МТ коррелирует с активностью в областях мозга, связанных с переживанием физической боли (Brooks et al., 2002; Lyons, Veilock, 2011, 2012). Например, в одном исследовании показано, что ожидание предстоящей сложной числовой задачи в группе с высокой МТ (но не в группе с низкой МТ) приводило к усилению активности мозга в четырех областях: в правом и левом дорсо-постериарных островках (INSp), центральной поясной коре (MCC) и правой центральной борозде (CSd).

Также было обнаружено, что МТ связана с активностью сети пассивного режима работы мозга (Default Mode Network, DMN; Buckner, Andrews-Hanna, Schacter, 2008). Например, в одном исследовании в группе с высокой МТ наблюдалась меньшая деактивация DMN (Pletzer et al., 2015).

Поскольку деактивация DMN является индикатором эффективности обработки, этот результат указывает на ее снижение в группе с высокой МТ во время выполнения математических операций. По-видимому, обработка стимулов, связанных с математикой, у людей с высоким уровнем МТ требует больше усилий в связи с подавлением негативных эмоциональных реакций, которые могут повлиять на успешность в более сложных задачах.

В другом нейрофизиологическом исследовании использовался метод вызванных потенциалов (Núñez-Peña, Suárez-Pellicioni, 2015). Группа с высокой МТ демонстрировала меньшее время реакции и совершала больше ошибок в тестах на математические способности, чем группа с низкой МТ. У людей с высокой МТ компонент P200, который наблюдается в ответ на эмоционально отрицательные стимулы, был более позитивен по сравнению с людьми с низкой МТ (Bar-Haim et al., 2007; Eldar et al., 2010). Возможно, у людей с высокой МТ происходит большая мобилизация внимания, чем у людей с низкой МТ.

ВСЕГДА ЛИ ТРЕВОЖНОСТЬ – ЭТО ПЛОХО?

Говоря о негативных эффектах математической тревожности, следует помнить, что тревожность как возбуждение (активизация нервной системы) не всегда производит деструктивный эффект. С точки зрения физиологии, возбуждение может быть связано с увеличением ответов симпатической нервной системы (СНС). Увеличение активности СНС связывают с двумя различными мотивационными состояниями: вызов и угроза (Blascovich, Mendes, 2000), причем состояния вызова обычно приводят к относительно большей активации СНС. В отличие от угрозы, состояние вызова характеризуется повышением производительности (Dienstbier, 1989). Исследования свидетельствуют, что состояния вызова были обычно связаны с большей

когнитивной успешностью в различных областях, включая обнаружение паттернов, совместные игры и задания на принятие решений (Blascovich et al., 1999; Mendes et al., 2008). Более того, одно исследование (Wang et al., 2015) показало взаимодействие между математической тревожностью и математической мотивацией. Умеренный уровень тревожности в совокупности с высокой мотивацией может приводить к повышению математической успешности, тогда как низкая и высокая тревожность при высокой мотивации не имеют такого эффекта. Это исследование говорит о том, что поскольку МТ взаимодействует с другими конструктами (мотивация, самооценка способностей и др.), «бесконтрольное» снижение уровня тревожности может приводить к нежелательным результатам (Ahmed et al., 2012). Таким образом, при определенном уровне тревожности и обстоятельствах (например, при отсутствии ограничения по времени и т.д.) возбуждение может быть преимуществом.

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТРЕВОЖНОСТИ

На данный момент изучаются несколько методов снижения математической тревожности. Эти методы направлены на коррекцию негативных факторов, связанных с МТ, таких как недостаточная тренировка математических навыков (Bander, Russell, Zamostny, 1982; Soltanlou et al., 2019), волнение во время выполнения задания (Park, Ramirez, Beilock, 2014), негативные установки (Jamieson et al., 2010) и др.

Поскольку в рамках реального образовательного процесса сложно организовать долгосрочные работы по снижению МТ, необходима разработка краткосрочных, не требующих значительных ресурсов, методов. Одним из таких методов является экспрессивное письмо (Ramirez, Beilock, 2011; Park, Ramirez, Beilock, 2014). Данный метод предлагает описать мысли и чувства,

опасения и страхи в отношении математики в целом и предстоящего математического задания в частности. Результаты исследований противоречивы — одни исследования показывают эффект, который выражается в повышении успеваемости (Frattaroli, Thomas, Lyubomirsky, 2011; Park, Ramirez, Beilock, 2014); в другом исследовании эффекта не обнаружено (Camerer et al., 2018). Еще один краткосрочный метод заключается в том, что участникам перед выполнением задания рассказывают о пользе тревожности и ее мобилизующем эффекте (Jamieson et al., 2010). Результаты этого исследования показали, что участники, которым предоставлялась такая информация, выполняли задания математического тестирования лучше, чем контрольная группа.

Несмотря на оптимистичные результаты, механизм действия этих методов в отношении МТ не до конца исследован. Например, экспрессивное письмо, скорее всего, снижает ситуативную математическую тревожность, освобождая рабочую память от негативных мыслей в соответствии с теориями, которые обсуждались выше: теорией эффективности обработки и теорией контроля внимания. Однако нейрофизиологических исследований, позволяющих отследить механизм действия этого метода, не проводилось. Большинство подобных эффектов было обнаружено на достаточно маленьких выборках и с большой вероятностью может не воспроизвестись на выборках большего размера. Например, эффективность экспрессивного письма не была воспроизведена на большой выборке: 66 человек в репликационном исследовании (Camerer et al., 2018) и 20 — в оригинальном (Ramirez, Beilock, 2011). Таким образом, эти результаты требуют дальнейшей репликации и апробации методов в условиях реальной работы с математикой в школе и вузах. Более того, подобные методы могут не оказывать влияния на личностную математическую тревожность, которая является относительно стабильной чертой (например,

корреляция между двумя замерами с промежутком в четыре месяца составила 0,71; Ciroga et al., 2015). В ряде исследований показано, что изменения в самом образовательном процессе (например, способы подачи информации и оценивания знания) могут положительно влиять на снижение МТ (см.: Адаскина, 2019).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ исследований свидетельствует о том, что МТ наблюдается у многих и может приводить к серьезным негативным последствиям. Однако при определенных условиях МТ может оказывать и позитивное влияние на успешность в математике. Существует целый ряд гипотез о причинах развития МТ и взаимосвязях между МТ и математической успешностью. Целый ряд исследований указывает на важную опосредствующую роль рабочей памяти в этих взаимосвязях. Исследования показали сложную этиологию математической тревожности, включающую большое количество генетических и средовых факторов и их взаимодействия. Выявлена связь МТ с различными областями мозга, но не определены нейрофизиологические механизмы индивидуальных различий в МТ. Для разработки эффективных методов регуляции МТ необходимы дальнейшее исследование и углубление знаний об особенностях самой математической тревожности.

1. Адаскина А.А. Изучение феномена математической тревожности в зарубежной психологии // Современная зарубежная психология. 2019. Т. 8. № 1. С. 28–35.
2. Богданова О.Е. и др. Феномен «математической тревожности» в образовании / Богданова О.Е., Ковас Ю.В., Богданова Е.Л., Акимова К.К., Гынку Е.И. // Теоретич. и экспериментальная психол. 2013. Т. 6. № 4. С. 6–17.
3. Геномика поведения: детское развитие и образование / Под ред. С.Б. Малыха, Ю.В. Ковас, Д.А. Гайсиной. Томск: ИД Томского гос. ун-та, 2016.
4. Кодиролы Н. и др. Процессы обработки числовой информации и математическая тревожность студентов в Великобритании и России / Кодиролы Н., Ковас Ю.В., Тосто М., Купер Е., Будакова А.В., Богданова О.Е. // Теоретич. и экспериментальная психол. 2013. Т. 6. № 4. С. 18–26.
5. Руденко М. и др. Математическая тревожность, пространственные способности и математическая успешность: кросс-культурное исследование детей младшего школьного возраста в России и Великобритании / Руденко М., Родич М., Купер Е., Колиенко Т.В., Шарафиева К.Р., Гынку Е.И., Акимова К.К., Богданова О.Е., Чжоу К., Ковас Ю.В. // Теоретич. и экспериментальная психол. 2013. Т. 6. № 4. С. 27–38.
6. Ahmed W. et al. Reciprocal relationships between math self-concept and math anxiety / Ahmed W., Minnaert A., Kuyper H., van der Werf G. // Learn. and Individ. Diff. 2012. V. 22 (3). P. 385–389.
7. Alkan V.A. Systematic Review Research: Mathematics Anxiety in Turkey // Intern. J. Assess. Tools in Educ. 2018. V. 5 (3). P. 567–592.
8. Ashcraft M.H., Faust M.W. Mathematics anxiety and mental arithmetic performance: An exploratory investigation // Cognition and Emotion. 1994. V. 8 (2). P. 97–125.
9. Ashcraft M.H., Kirk E.P. The relationships among working memory, math anxiety, and performance // J. Exp. Psychol: General. 2001. V. 130 (2). P. 224–237.
10. Ashcraft M.H., Krause J.A. Working memory, math performance, and math anxiety // Psychonom. Bull. and Rev. 2007. V. 14 (2). P. 243–248.
11. Bander R.S., Russell R.K., Zamostny K.P. A comparison of cue-controlled relaxation and study skills counseling in the treatment of mathematics anxiety // J. Educ. Psychol. 1982. V. 74 (1). P. 96–103.
12. Bar-Haim Y. et al. Threat-related attentional bias in anxious and nonanxious individuals: A meta-analytic study / Bar-Haim Y., Lamy D., Pergamin L., Bakermans-Kranenburg M.J., van Ijzendoorn M.H. // Psychol. Bull. 2007. V. 133 (1). P. 1–24.
13. Beilock S.L., Rydell R.J., McConnell A.R. Stereotype threat and working memory: Mechanisms, alleviation, and spillover // J. Exp. Psychol: General. 2007. V. 136 (2). P. 256–276.
14. Beilock S.L. et al. Female teachers' math anxiety affects girls' math achievement / Beilock S.L., Gunderson E.A., Ramirez G., Levine S.C. // Proc. of the National Academy of Sciences. 2010. V. 107 (5). P. 1860–1863.
15. Bekdemir M. The pre-service teachers' mathematics anxiety related to depth of negative experiences in mathematics classroom while they were students // Educ. Studies in Mathematics. 2010. V. 75 (3). P. 311–328.
16. Blascovich J., Mendes W.B. Challenge and threat appraisals: The role of affective cues / Forgas J.P.

- (ed.). Studies in emotion and social interaction, second series. Feeling and thinking: The role of affect in social cognition. N.Y.: Cambridge Univ. Press, 2000. P. 59–82.
17. *Blascovich J.* et al. Social “facilitation” as challenge and threat / Blascovich J., Mendes W.B., Hunter S.B., Salomon K. // *J. Pers. and Soc. Psychol.* 1999. V. 77 (1). P. 68–77.
 18. *Brooks J.C.W.* et al. fMRI of thermal pain: Effects of stimulus laterality and attention / Brooks J.C.W., Nurmikko T.J., Bimson W.E., Singh K.D., Roberts N. // *Neuro Image.* 2002. V. 15 (2). P. 293–301.
 19. *Buckner R.L., Andrews-Hanna J.R., Schacter D.L.* The brain’s default network // *Annals of the New York Academy of Sciences.* 2008. V. 1124 (1). P. 1–38.
 20. *Camerer C.F.* et al. Evaluating the replicability of social science experiments in Nature and Science between 2010 and 2015 / Camerer C.F., Dreber A., Holzmeister F., Ho T.H., Huber J., Johannesson M., Kirchler M., Nave G., Nosek B.A., Pfeiffer T., Altmeld A., Buttrick N., Chan T., Chen Y., Forsell E., Gampa A., Heikensten E., Hummer L., Imai T., Isaksson S., Manfredi D., Rose J., Wagenmakers E.-J., Wu H. // *Nature Hum. Behav.* 2018. V. 2 (9). P. 637–644.
 21. *Carey E.* et al. The chicken or the egg? The direction of the relationship between mathematics anxiety and mathematics performance / Carey E., Hill F., Devine A., Szűcs D. // *Frontiers in Psychol.* 2016. V. 6. P. 1–6.
 22. *Chang H., Beilock S.L.* The math anxiety-math performance link and its relation to individual and environmental factors: A review of current behavioral and psychophysiological research // *Current Opinion in Behav. Sci.* 2016. V. 10. P. 33–38.
 23. *Cipora K.* et al. Math anxiety assessment with the Abbreviated Math Anxiety Scale: Applicability and usefulness: Insights from the Polish adaptation / Cipora K., Szczygiel M., Willmes K., Nuerk H.C. // *Frontiers in Psychol.* 2015. V. 6. P. 1–16.
 24. *Dienstbier R.A.* Arousal and physiological toughness: Implications for mental and physical health // *Psychol. Rev.* 1989. V. 96 (1). P. 84–100.
 25. *Douglas H.P., LeFevre J.A.* Exploring the influence of basic cognitive skills on the relation between math performance and math anxiety // *J. Numerical Cognit.* 2018. V. 3 (3). P. 642–666.
 26. *Dowker A.* Individual differences in arithmetic: Implications for psychology, neuroscience and education. N.Y.: Psychology Press, 2005.
 27. *Dowker A., Sarkar A., Looi C.Y.* Mathematics anxiety: What have we learned in 60 years? // *Frontiers in Psychol.* 2016. V. 7. P. 508–545.
 28. *Eccles J.S., Jacobs J.E., Harold R.D.* Gender role stereotypes, expectancy effects, and parents’ socialization of gender differences // *J. Soc. Issues.* 1990. V. 46 (2). P. 183–201.
 29. *Eden C., Heine A., Jacobs A.M.* Mathematics anxiety and its development in the course of formal schooling – a review // *Psychol.* 2013. V. 4 (06). P. 27–41.
 30. *Eldar S.* et al. Enhanced neural reactivity and selective attention to threat in anxiety / Eldar S., Yankelevitch R., Lamy D., Bar-Haim Y. // *Biol. Psychol.* 2010. V. 85 (2). P. 252–257.
 31. *Eysenck M.W., Calvo M.G.* Anxiety and performance: The processing efficiency theory // *Cognition and Emotion.* 1992. V. 6 (6). P. 409–434.
 32. *Eysenck M.W.* et al. Anxiety and cognitive performance: Attentional control theory / Eysenck M.W., Derakshan N., Santos R., Calvo M.G. // *Emotion.* 2007. V. 7 (2). P. 336–345.
 33. *Faust M.W.* Mathematics anxiety effects in simple and complex addition // *Math. Cognit.* 1996. V. 2 (1). P. 25–62.
 34. *Ferguson A.M.* et al. On the relation between math and spatial ability: The case of math anxiety / Ferguson A.M., Maloney E.A., Fugelsang J., Risko E.F. // *Learn. and Indiv. Diff.* 2015. V. 39. P. 1–12.
 35. *Field A.P.* et al. Predicting maths anxiety from mathematical achievement across the transition from primary to secondary education / Field A.P., Evans D., Bloniewski T., Kovas Y. // *Royal Society Open Sci.* 2019. V. 6 (11). P. 1–13.
 36. *Frattaroli J., Thomas M., Lyubomirsky S.* Opening up in the classroom: effects of expressive writing on graduate school entrance exam performance // *Emotion.* 2011. V. 11 (3). P. 691–696.
 37. *Geist E.* The anti-anxiety curriculum: Combating math anxiety in the classroom // *J. Instructional Psychol.* 2010. V. 37 (1). P. 24–32.
 38. *Goetz T.* et al. Do girls really experience more anxiety in mathematics? / Goetz T., Bieg M., Lüdtke O., Pekrun R., Hall N. C. // *Psychol. Sci.* 2013. V. 24 (10). P. 2079–2087.
 39. *Gunderson E.A.* et al. Reciprocal relations among motivational frameworks, math anxiety, and math achievement in early elementary school / Gunderson E.A., Park D., Maloney E.A., Beilock S.L., Levine S.C. // *J. Cognit. and Devel.* 2018. V. 19 (1). P. 21–46.
 40. *Hembree R.* The nature, effects, and relief of mathematics anxiety // *J. for Res. in Math. Educ.* 1990. V. 21 (1). P. 33–46.
 41. *Jamieson J.P.* et al. Turning the knots in your stomach into bows: Reappraising arousal improves performance on the GRE / Jamieson J.P., Mendes W.B., Blackstock E., Schmader T. // *J. Exp. Soc. Psychol.* 2010. V. 46 (1). P. 208–212.
 42. *Kovas Y.* et al. Why children differ in motivation to learn: Insights from over 13,000 twins from 6 countries / Kovas Y., Garon-Carrier G., Boivin M., Petrill S.A., Plomin R., Malykh S.B., Spinath F., Murayama K., Ando Y., Bogdanova O.Y., Brend-

- gen M., Dionne G., Forget-Dubois N., Galajinsky G.V., Gottschling J., Guay F., Lemelin J.P., Logan J.A.R., Vitaro F. // *Pers. and Indiv. Diff.* 2015. V. 80. P. 51–63.
43. *Krinzinger H., Kaufmann L., Willmes K.* Math anxiety and math ability in early primary school years // *J. Psychoeduc. Assess.* 2009. V. 27 (3). P. 206–225.
 44. *Lazarus M.* Mathophobia: Some personal speculations // *National Elementary Principals.* 1974. V. 53 (2). P. 16–22.
 45. *Likhanov M.* et al. Maths anxiety does not moderate the link between spatial and maths ability / *Likhanov M., Zakharov I., Kuzmina Y., Budakova A., Vasin G., Malykh S., Kovas Y.* // *The Eur. Proc. of Soc. and Behav. Sci.* 2017. V. 33 (21). P. 212–226.
 46. *Luo W.* et al. Self-construal and students' math self-concept, anxiety and achievement: An examination of achievement goals as mediators / *Luo W., Hogan D., Tan L.S., Kaur B., Ng P.T., Chan M.* // *Asian J. Soc. Psychol.* 2014. V. 17 (3). P. 184–195.
 47. *Lyons I.M., Beilock S.L.* Mathematics anxiety: Separating the math from the anxiety // *Cerebral Cortex.* 2011. V. 22 (9). P. 2102–2110.
 48. *Lyons I.M., Beilock S.L.* When math hurts: Math anxiety predicts pain network activation in anticipation of doing math // *PLoS ONE.* 2012. V. 7 (10). P. 1–6.
 49. *Ma X.* A meta-analysis of the relationship between anxiety toward mathematics and achievement in mathematics // *J. for Res. in Math. Educ.* 1999. V. 30 (5). P. 520–531.
 50. *Ma X., Kishor N.* Assessing the relationship between attitude toward mathematics and achievement in mathematics: A meta-analysis // *J. for Res. in Math. Educ.* 1997. V. 28. P. 26–47.
 51. *Ma X., Xu J.* The causal ordering of mathematics anxiety and mathematics achievement: A longitudinal panel analysis // *J. Adolescence.* 2004. V. 27 (2). P. 165–179.
 52. *Malanchini M.* et al. The genetic and environmental etiology of spatial, mathematics and general anxiety / *Malanchini M., Rimfeld K., Shakeshaft N.G., Rodic M., Schofield K., Selzam S., Dale P.S., Petrill S.A., Kovas Y.* // *Sci. Reports.* 2017. V. 7. P. 42218–42229.
 53. *Maloney E.A., Ansari D., Fugelsang J.A.* The effect of mathematics anxiety on the processing of numerical magnitude // *The Quart. J. Exp. Psychol.* 2011. V. 64 (1). P. 10–16.
 54. *Maloney E.A.* et al. Mathematics anxiety affects counting but not subitizing during visual enumeration / *Maloney E.A., Risko E.F., Ansari D., Fugelsang J.* // *Cognition.* 2010. V. 114 (2). P. 293–297.
 55. *Maloney E.A.* et al. Reducing the sex difference in math anxiety: The role of spatial processing ability / *Maloney E.A., Waechter S., Risko E.F., Fugelsang J.A.* // *Learn. and Indiv. Diff.* 2012. V. 22 (3). P. 380–384.
 56. *Mata M.L., Monteiro V., Peixoto F.* Attitudes towards mathematics: Effects of individual, motivational, and social support factors // *Child Devel. Res.* 2012. V. 2012. P. 1–10.
 57. *McLeod B.D., Wood J.J., Weisz J.R.* Examining the association between parenting and childhood anxiety: A meta-analysis // *Clin. Psychol. Rev.* 2007. V. 27 (2). P. 155–172.
 58. *Meece J.L., Wigfield A., Eccles J.S.* Predictors of math anxiety and its influence on young adolescents' course enrollment intentions and performance in mathematics // *J. Educ. Psychol.* 1990. V. 82 (1). P. 60–72.
 59. *Mendes W.B.* et al. How attributional ambiguity shapes physiological and emotional responses to social rejection and acceptance / *Mendes W.B., Major B., McCoy S., Blascovich J.* // *J. Pers. and Soc. Psychol.* 2008. V. 94 (2). P. 278–291.
 60. *Núñez-Peña M.I., Suárez-Pellicioni M.* Processing of multi-digit additions in high math-anxious individuals: Psychophysiological evidence // *Frontiers in Psychol.* 2015. V. 6. P. 1268–1275.
 61. *Park D., Ramirez G., Beilock S.L.* The role of expressive writing in math anxiety // *J. Exp. Psychol: Applied.* 2014. V. 20 (2). P. 103–118.
 62. *Pekrun R.* The control-value theory of achievement emotions: Assumptions, corollaries, and implications for educational research and practice // *Educ. Psychol. Rev.* 2006. V. 18 (4). P. 315–341.
 63. *PISA 2012 assessment and analytical framework: Maths, reading science, problem solving and financial literacy.* Paris: OECD Publishing, 2012.
 64. *Pletzer B.* et al. Mathematics anxiety reduces default mode network deactivation in response to numerical tasks / *Pletzer B., Kronbichler M., Nuerk H.C., Kerschbaum H.H.* // *Frontiers in Hum. Neurosci.* 2015. V. 9. P. 202–217.
 65. *Ramirez G., Beilock S.L.* Writing about testing worries boosts exam performance in the classroom // *Science.* 2011. V. 331. P. 211–213.
 66. *Ramirez G.* et al. Math anxiety, working memory, and math achievement in early elementary school / *Ramirez G., Gunderson E.A., Levine S.C., Beilock S.L.* // *J. Cognit. and Devel.* 2013. V. 14 (2). P. 187–202.
 67. *Ramirez G.* et al. Teacher math anxiety relates to adolescent students' math achievement / *Ramirez G., Hooper S.Y., Kersting N.B., Ferguson R., Yeager D.* // *AERA Open.* 2018. V. 4 (1). P. 1–16.
 68. *Schillinger F.L.* et al. Math anxiety, intelligence, and performance in mathematics: Insights from the German adaptation of the Abbreviated Math Anxiety Scale (AMAS-G) / *Schillinger F.L., Vogel*

- S.E., Diedrich J., Grabner R.H. // Learn. and Individ. Diff. 2018. V. 61. P. 109–119.
69. *Schmader T., Johns M., Forbes C.* An integrated process model of stereotype threat effects on performance // Psychol. Rev. 2008. T. 115 (2). P. 336–356.
 70. *Skagerlund K.* et al. How does mathematics anxiety impair mathematical abilities? Investigating the link between math anxiety, working memory, and number processing / Skagerlund K., Östergren R., Västfjäll D., Träff U. // PloS ONE. 2019. V. 14 (1). P. 1–17.
 71. *Soltanlou M.* et al. Math anxiety in combination with low visuospatial memory impairs math learning in children / Soltanlou M., Artemenko C., Dresler T., Fallgatter A.J., Ehlis A.C., Nuerk H.C. // Frontiers in Psychol. 2019. V. 10. P. 1–10.
 72. *Suárez-Pellicioni M., Núñez-Peña M. I., Colomé À.* Math anxiety: A review of its cognitive consequences, psychophysiological correlates, and brain bases // Cognit., Affect. and Behav. Neurosci. 2016. V. 16 (1). P. 3–22.
 73. *Swars S.L., Daane C.J., Giesen J.* Mathematics anxiety and mathematics teacher efficacy: What is the relationship in elementary preservice teachers? // School Sci. and Math. 2006. V. 106 (7). P. 306–315.
 74. *Tobias S.* Overcoming math anxiety. Boston, MA: Houghton Mifflin Company, 1978.
 75. *Turner J.C.* et al. The classroom environment and students' reports of avoidance strategies in mathematics: A multimethod study / Turner J.C., Midgley C., Meyer D.K., Gheen M., Anderman E.M., Kang Y., Patrick H. // J. Educ. Psychol. 2002. V. 94 (1). P. 88–106.
 76. *Vukovic R.K., Roberts S.O., Wright L.* From parental involvement to children's mathematical performance: The role of mathematics anxiety // Early Educ. and Devel. 2013. V. 24 (4). P. 446–467.
 77. *Wang Z.* et al. Who is afraid of math? Two sources of genetic variance for mathematical anxiety / Wang Z., Hart S.A., Kovas Y., Lukowski S., Soden B., Thompson L.A., Plomin R., McLoughlin G., Bartlett C.W., Lyons I.M., Petrill S.A. // J. Child Psychol. and Psychiatry. 2014. V. 55 (9). P. 1056–1064.
 78. *Wang Z.* et al. Is math anxiety always bad for math learning? The role of math motivation / Wang Z., Lukowski S.L., Hart S.A., Lyons I.M., Thompson L.A., Kovas Y., Mazzocco M.M., Plomin R., Petrill S.A. // Psychol. Sci. 2015. V. 26 (12). P. 1863–1876.
 79. *White E.K.* et al. Twin classroom dilemma: To study together or separately? / White E.K., Garon-Carrier G., Tosto M.G., Malych S.B., Li X., Kiddle B., Riglin L., Byrne B., Dionne G., Brengden M., Vitaro F., Trembley R. Boivin M., Kovas Y.V. // Devel. Psychol. 2018. V. 54 (7), P. 1244–1254.
 80. *Wu S.* et al. Math anxiety in second and third graders and its relation to mathematics achievement / Wu S., Amin H., Barth M., Malcarne V., Menon V. // Frontiers in Psychol. 2012. V. 3. P. 162–171.
 81. *Young C.B., Wu S.S., Menon V.* The neurodevelopmental basis of math anxiety // Psychol. Sci. 2012. V. 23 (5). P. 492–501.
 82. *Zhang J., Zhao N., Kong P.Q.* The relationship between math anxiety and math performance: A meta-analytic investigation // Frontiers in Psychology. 2019. V. 10. P. 1–17.
- References in Russian:**
1. *Adaskina A.A.* Izucheniye fenomena matematicheskoy trevozhnosti v zarubezhnoy psikhologii [The study of the phenomenon of math anxiety in foreign psychology] // Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya. 2019. T. 8. N 1. S. 28–35.
 2. *Bogdanova O.E.* i dr. Fenomen «matematicheskoy trevozhnosti» v obrazovanii [The phenomenon of “mathematical anxiety” in education] / Bogdanova O.E., Kovas Yu.V., Bogdanova E.L., Akimova K.K., Ginku E.I. // Teoreticheskaya i eksperimental'naya psikhologiya. 2013. T. 6. N 4. S. 6–17.
 3. Genomika povedeniya: detskoe razvitiye i obrazovanie [Genomics of behavior: child development and education]. Pod red. S.B. Malych, Yu.V. Kovas, D.A. Gaisina. Tomsk: Izdatel'skiy dom Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, 2016. 442 s.
 4. *Kodiroli N.* i dr. Protssesy obrabotki chislovyoy informatsii i matematicheskaya trevozhnost studentov v Velikobritanii i Rossii [Numerical processes and mathematical anxiety in the UK and Russian university students] / Kodiroli N., Kovas Yu.V., Tosto M., Cooper E., Budakova A.V., Bogdanova O.E. // Teoreticheskaya i eksperimental'naya psikhologiya. 2013. T. 6. N 4. S. 18–26.
 5. *Rudenko M.* i dr. Matematicheskaya trevozhnost, prostranstvennyye sposobnosti i matematicheskaya uspehnost: kross-kulturnoye issledovaniye detey mladshego shkolnogo vozrasta v Rossii i Velikobritanii [Mathematical anxiety, spatial ability and mathematical achievement: cross-cultural study of primary school children in Russia and the UK] / Rudenko M., Rodich M., Cooper E., Kolienko T.V., Sharafieva K.R., Gynku E.I., Akimova K.K., Bogdanova O.E., Zhou K., Kovas Yu.V. // Teoreticheskaya i eksperimental'naya psikhologiya. 2013. T. 6. N 4. S. 27–38.