



# Вестник Российского фонда фундаментальных исследований

Гуманитарные и общественные науки

ISSN 2587-6090 eISSN 2587-8956 № 2 (109) апрель – июнь 2022 года

**Основан в 1995 году**

Зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания  
и средств массовых коммуникаций, свидетельство ПИ № 77-12977 от 25.12.2002

**Учредитель**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Российский фонд фундаментальных исследований»**

Главный редактор В.Я. Панченко,  
заместители главного редактора В.Н. Фридлянов, В.В. Квардаков

**Редакционная коллегия:**

И.Ю. Алексеева, Л.А. Беляева, И.А. Виноградов, Ю.Л. Воротников,  
П.Г. Гайдуков, В.П. Гребенюк, А.А. Демидов, Н.Г. Денисов, В.Н. Захаров,  
М.В. Иванова, Г.Б. Клейнер, А.А. Малышев, Н.И. Пикуров, Д.А. Рубвальтер,  
Н.Л. Селиванова, Д.В. Трубочкин, Д.В. Ушаков, В.А. Хащенко, В.В. Шелохаев

**Редакция:**

Р.А. Казакова, И.Л. Ровинская

**Адрес редакции:**

119334, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 32а

Тел.: +7 (499) 941-01-15 (доб. 3121)

E-mail: rovir@rfbr.ru





# Russian Foundation for Basic Research Journal

---

**Humanities and social sciences**

**ISSN 2587-6090 eISSN 2587-8956 No 2 (109) April – June 2022**

**Founded in 1995**

Registered by the Ministry of the Russian Federation for printed media, television and radio broadcasting and mass media, certificate ПИИ No. 77-12977 dated December 25, 2002

**The Founder**

**Federal State Institution**

**“Russian Foundation for Basic Research”**

Chief editor V.Ya. Panchenko,

Deputy chief editors V.N. Fridlyanov, V.V. Kvardakov

**Editorial board:**

I.Yu. Alekseeva, L.A. Belyaeva, I.A. Vinogradov, Yu.L. Vorotnikov,  
P.G. Gaidukov, V.P. Grebenyuk, A.A. Demidov, N.G. Denisov, V.N. Zakharov, M.V. Ivanova,  
G.B. Kleyner, A.A. Malyshev, N.I. Pikurov, D.A. Rubvalter, N.L. Selivanova,  
D.V. Trubochkin, D.V. Ushakov, V.A. Khashchenko, V.V. Shelokhaev

**Editorial staff:**

R.A. Kazakova, I.L. Rovinskaya

**Editorial office address:**

32a, Leninskiy Ave., Moscow, 119334, Russia

Tel.: +7 (499) 941-01-15 (3121)

E-mail: rovir@rfbr.ru



**Плунгян В.А.**

**Русский язык: современное состояние, словари, проблемы усвоения и обучения (комплексные исследования)..... 9**

## РУССКИЙ ЯЗЫК: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ВАРИАТИВНОСТЬ, ЯЗЫКОВЫЕ КОНТАКТЫ

<b>Захаров В.П., Азарова И.В., Головина А.В., Гудков В.В., Москвина А.Д.</b> Квантитативная онтология и база данных русских предлогов .....	17
<b>Кустова Г.И.</b> Динамика языковой системы: корпусное исследование синхронной вариативности и диахронических изменений в текстах разных типов .....	27
<b>Лещенко Ю.Е., Доценко Т.И., Остапенко Т.С.</b> Комбинированное триязычие и его влияние на языковую и когнитивную деятельность индивида: интегративная модель .....	37
<b>Мызникова Я.В.</b> Русские говоры Симбирского Заволжья в контексте этноязыкового взаимодействия .....	50
<b>Нестерова Н.Г., Волкова Е.В., Сабаяева Ю.С., Ермоленко С.В., Арсеньева Т.Е.</b> Новые тексты и новая грамотность как следствие трансформаций в медиадискурсе .....	61

## РУССКИЙ ЯЗЫК: КОРПУСА И СЛОВАРИ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

<b>Дымарский М.Я., Крылов С.А., Фролова О.Е., Ширинкина М.А.</b> Корпус официально-деловых текстов русского языка .....	72
<b>Козловская Н.В.</b> Словарь авторских терминов как метод изучения языковой личности философа .....	88
<b>Кравецкий А.Г., Плетнёва А.А.</b> Большой словарь церковнославянского языка Нового времени .....	99
<b>Левичкин А.Н., Гайдамашко Р.В., Крылова О.Н.</b> Лексическая система пинежских говоров .....	109

## РУССКИЙ ЯЗЫК: ПРОБЛЕМЫ УСВОЕНИЯ И ОБУЧЕНИЯ

<b>Верaksa А.Н., Ощепкова Е.С., Бухаленкова Д.А.</b> Взаимосвязь когнитивной гибкости и развития связной речи у дошкольников (на материале рассказов старших дошкольников) .....	121
---	-----

**Горобец Е.А., Гамирова Р.Г., Ахутина Т.В., Есин Р.Г.**

Исследование когнитивных функций и речевого статуса у детей и подростков с эпилепсией на фоне противосудорожной терапии ..... 134

**Драгой О.В., Дорофеева С.В., Лопухина А.А., Больгина Т.А.,**

**Паршина О.А., Лауринавичюте А.К.**

Фонологический дефицит и его мозговые корреляты у детей с дислексией ..... 145

**Гудова М.Ю.**

Полилингвизм в эпоху постграмотности: философско-культурологическое обоснование и методико-педагогическая разработка модели полилингвального образования ..... 159

**Садыкова Г.В., Каюмова А.Р.**

Цифровые технологии в развитии русской речи и социокультурных компетенций детей-билингвов в России и за рубежом ..... 172

Индекс УДК 81'23  
 Код ГРНТИ 16.21.29, 16.21.21, 34.39.23  
 DOI: 10.22204/2587-8956-2022-109-02-145-158



**О.В. ДРАГОЙ  
 С.В. ДОРОФЕЕВА,  
 А.А. ЛОПУХИНА,  
 Т.А. БОЛЬГИНА,  
 О.А. ПАРШИНА,  
 А.К. ЛАУРИНАВИЧЮТЕ\***



## **Фонологический дефицит и его мозговые корреляты у детей с дислексией**

Данная работа представляет комплексное кроссметодическое экспериментальное исследование нарушений навыков фонологической обработки у русскоговорящих детей с дислексией. Мы разработали и стандартизировали русскоязычную батарею тестов для оценки навыков фонологической обработки, с её помощью оценили особенности фонологического дефицита у детей с дислексией и провели анализ трудностей чтения и их мозговых структурных коррелятов, используя современные методы видеоокулографии и нейровизуализации. Результаты первого этапа проекта показали, что более сложные фонологические тесты оказались для детей и более трудными, а показатели детей в этих тестах являются значимыми предикторами скорости чтения. Второй этап

\* **Драгой Ольга Викторовна** — доктор филологических наук, профессор, директор Центра языка и мозга НИУ «Высшая школа экономики», руководитель проекта «Лингвистический дефицит и его мозговые корреляты у детей с дислексией» (17-29-09122).

E-mail: [odragoy@hse.ru](mailto:odragoy@hse.ru)

**Дорофеева Светлана Валентиновна** — кандидат филологических наук, младший научный сотрудник Центра языка и мозга НИУ «Высшая школа экономики», исполнитель того же проекта.

E-mail: [sdorofeeva@hse.ru](mailto:sdorofeeva@hse.ru)

**Лопухина Анастасия Александровна** — кандидат филологических наук, научный сотрудник Центра языка и мозга НИУ «Высшая школа экономики», исполнитель того же проекта.

E-mail: [nastya.lopukhina@gmail.com](mailto:nastya.lopukhina@gmail.com)

**Больгина Татьяна Александровна** — стажёр-исследователь Центра языка и мозга НИУ «Высшая школа экономики», исполнитель того же проекта.

E-mail: [tatyana.bolgina@gmail.com](mailto:tatyana.bolgina@gmail.com)

**Паршина Ольга Александровна** — Ph. D., научный сотрудник Центра языка и мозга НИУ «Высшая школа экономики».

E-mail: [parshinaolga23@gmail.com](mailto:parshinaolga23@gmail.com)

**Лауринавичюте Анна Кестучё** — Ph. D., младший научный сотрудник Центра языка и мозга НИУ «Высшая школа экономики», Университет Потсдама (Германия), исполнитель того же проекта.

E-mail: [annlaurin@gmail.com](mailto:annlaurin@gmail.com)

проекта позволил выявить пять типичных паттернов движений глаз при чтении предложений среди детей с дислексией и без неё. Мы обнаружили, что дети с дислексией читают по тем же паттернам, что и их типично развивающиеся сверстники, но с трёхлетней задержкой. Наконец, третий этап исследований позволил выявить значимые различия в объёме серого вещества мозга в мозжечке, инсule и теменной доле между группой детей с дислексией и контрольной группой типично развивающихся детей.

Полученные результаты имеют большое значение для клинической практики, дальнейших междисциплинарных исследований дислексии и могут быть важны для образовательной системы.

**Ключевые слова:** дислексия, нарушения чтения, фонологическая обработка, глобальные паттерны чтения, видеоокулография, нейровизуализация

## Введение

Дислексия — это специфическое нарушение способности к освоению чтения при нормальном интеллектуальном развитии и сохранении зрения и слухе. Распространённость дислексии, по данным различных исследований, колеблется в диапазоне от менее 5% до более 20% в зависимости от используемых процедур диагностики и пороговых значений, а также от особенностей письменности конкретного языка [1]. Отсутствие своевременной адекватной помощи может приводить к неудачам в школе, тревоге, депрессивному поведению и суицидальным мыслям [2].

Проявлением дислексии на поведенческом уровне может быть снижение как скорости, так и точности чтения, а вторичные последствия могут включать трудности с пониманием прочитанного, сокращение читательского опыта и замедление роста базовых знаний [3]. Среди причин возникновения дислексии на уровне развития когнитивных функций называют дефицит фонологической обработки, нарушения обработки зрительной и зрительно-пространственной информации, зрительного внимания, регуляторные нарушения или комбинацию этих дефицитов [4]. Особенности развития на уровне когнитивных функций могут быть обусловлены особенностями формирования и функциониро-

вания мозга в процессе развития детей с дислексией.

Современные экспериментальные исследования предоставляют различные свидетельства нейробиологических основ данного расстройства. Так, в отношении проводящих путей головного мозга показано, что меньший объём левого дугообразного пучка положительно коррелирует с трудностями фонологической обработки и развитием дислексии [5]. Отмечаются изменения в функциональной связи между мозжечком и другими регионами в «сети чтения», в том числе левой угловой и нижней лобной извилиной [6, 7]. При этом одни исследования обнаруживают увеличенный или уменьшенный объём задних височных, височно-теменных структур серого вещества, другие — уменьшенный объём левой нижнелобной извилины и билатерально уменьшенный объём височно-затылочных областей и, наконец, билатерально уменьшенный объём серого вещества в мозжечке [8]. С другой стороны, было показано, что объём серого вещества в нескольких регионах, включая левую височную кору, снижен у детей с дислексией по сравнению с контрольной группой того же возраста, но не по сравнению с младшей группой детей аналогичного уровня по чтению [9]. Иначе говоря, отличия в объёме серого вещества

при дислексии связаны с уровнем текущей способности чтения, при этом частично они отражают недостаточный опыт чтения при дислексии, а не являются исключительным признаком дислексии как таковой. Однако при наличии большого количества подобных свидетельств картина нейроанатомических основ дислексии до сих пор далека от ясности. В частности, метааналитические работы обнаруживают недостаточную согласованность между данными различных авторов [10], а в масштабном исследовании с большим количеством испытуемых не удалось воспроизвести более ранние результаты [11].

Одной из существенных причин недостаточной согласованности между результатами исследований может быть то, что в большинстве экспериментов не проводилось строгого отбора испытуемых по критерию типа функционального дефицита (фонологического, зрительно-пространственного, регуляторного и т.д.). Учитывая сформированное в отечественной науке понимание чтения как когнитивного процесса, связанного с высшими психическими функциями и опирающегося на работу сложно организованного мозгового субстрата [12], можно ожидать, что результаты нейронаучных исследований детей со сходным дефицитом, выявленным путём детального поведенческого тестирования, могли бы показывать более стабильные и однородные результаты. Однако, несмотря на наличие протоколов комплексного нейропсихологического обследования для *качественной* оценки отдельных функций, отсутствие стандартизированных инструментов для *детальной количественной* оценки различных видов дислексии выступало ограничением для проведения подобных исследований.

Целью нашей работы было заложить основы современного научного подхода к комплексному междисциплинарному исследованию механизмов дислексии на материале русского языка. Учитывая широкую распространённость фонологического дефицита у детей с дислексией,

мы сосредоточились на изучении именно этого вида нарушений. В основе проекта лежит фундаментальная научная проблема, связанная с необходимостью анализа ядерной, языковой составляющей дислексии. Для проведения такого анализа в рамках данного проекта предусматривалась масштабная работа, состоящая из трёх этапов. На первом этапе ставилась задача разработки учитывающего современное (психо)лингвистическое научное знание инструментария для детальной количественной оценки профиля фонологической обработки у русскоговорящих детей. После стандартизации и оценки надёжности созданного инструментария мы исследовали связь фонологических навыков и чтения у типично развивающихся детей и отличия в фонологических навыках у детей с дислексией. На втором этапе мы провели детализированный анализ трудностей чтения у детей с дислексией по данным видеоокулографии. Для этого использовались исследование связи метрик движений глаз с показателями фонологической обработки и описание основных паттернов движений глаз при чтении у детей с дислексией по сравнению с детьми из группы нормы. Наконец, на третьем этапе мы исследовали особенности развития мозга детей с дислексией и провели анализ структурных коррелятов фонологического дефицита у русскоговорящих детей.

В данной статье мы кратко описываем результаты комплекса проведённых исследований.

### **Этап 1. Разработка батареи фонологических тестов ЗАРЯ и исследование связи навыков фонологической обработки и чтения**

В мировой практике как для диагностики дислексии, так и для выявления фонологического дефицита в исследовательских целях используются стандартизированные батареи тестов, например Comprehensive Test of Phonological Processing [13], Tests for Auditory Processing Disorders [14]. Однако при-

менять разработанные для других языков инструменты, переводя стимулы напрямую, нельзя, поскольку важно учитывать особенности конкретного языка и контролировать многие (психо)лингвистические параметры стимулов (такие как частотность и возраст усвоения слов, наличие артикуляторных переключений и проч.).

Впервые в рамках данного проекта для русского языка был разработан и стандартизирован необходимый инструментарий для оценки навыков фонологической обработки – батарея тестов ЗАРЯ (Звуковой анализ русского языка) (описание структуры батареи тестов ЗАРЯ и нормативные данные см. в Методическом руководстве [15], подробные результаты исследования связи навыков фонологической обработки и чтения, а также информация о надёжности фонологических тестов опубликованы нами в статье «Complex phonological tasks predict reading in 7 to 11 years of age typically developing Russian children» [16], результаты сравнения навыков фонологической обработки у детей с дислексией и без дислексии детально представлены в нашей статье «Исследование фонологического дефицита у русскоязычных детей с дислексией» [17]).

При разработке батареи тестов ЗАРЯ мы использовали ранжирование заданий по сложности – в зависимости от количества речевых процессов, задействование которых необходимо для успешного выполнения задания. Это позволило нам проверить никогда ранее не подвергавшуюся экспериментальной проверке гипотезу о том, что общая сложность фонологического теста влияет на способность этого теста предсказывать навыки чтения. Фонологическая батарея ЗАРЯ состоит из семи тестов. Для каждого теста мы оценивали, задействует ли он следующие речевые процессы: 1) декодирование входящих речевых сигналов, 2) лексический доступ, 3) фонологическую память, 4) сознательный фонологический анализ, 5) операции с последовательностями фонем и 6) порождение речи и артикуляция. В результате семь тестов

были классифицированы как принадлежащие к четырём уровням сложности [16].

Для сбора нормативных данных и исследования связи фонологических навыков и чтения мы привлекли типично развивающихся учащихся начальной школы ( $N = 105$ ) в возрасте 7–11 лет. Все участники были без истории диагностированных неврологических расстройств, без проблем с освоением чтения, с нормальным или скорректированным до нормально-го зрением. Скрининг на отсутствие нарушений слуха (аудиометрическая система Audiogramm версии 4.6.1.3, аудиометрические наушники Sennheiser HDA 280) привёл к исключению трёх участников. Скрининг на уровень невербального интеллекта [18] привёл к исключению 12 участников. Данные 90 детей (48 девочек, средний возраст = 8.7,  $SD = 1.13$ ) остались в анализе. Для сравнения фонологических навыков в группе детей с дислексией и в контрольной группе мы привлекли ещё 55 детей с клинически диагностированной дислексией, подтверждённой субнормативными показателями чтения [19], и 45 детей без дислексии с нормативными показателями чтения. Все участники были без диагностированных неврологических расстройств, с нормальными зрением, слухом и уровнем невербального интеллекта. У всех детей навыки фонологической обработки оценивались с помощью батареи тестов ЗАРЯ, а навыки чтения – с помощью «Стандартизированной методики оценки навыка чтения» [19].

Мы обнаружили, что, действительно, более сложные тесты, вовлекающие большее число процессов, оказались для детей более трудными (дети совершали в них больше ошибок). Кроме того, мы выявили, что интегральный показатель, отражающий затраты отдельного ребёнка на обработку одного дополнительного речевого процесса в фонологическом тесте, является значимым предиктором скорости чтения (подробное описание результатов см. в [16]). Этот результат получен впервые, и он является важным вкладом в дискус-

сию о том, почему показатели выполнения различных фонологических тестов по-разному коррелируют с чтением.

При сравнении навыков фонологической обработки в группе детей с дислексией и без неё мы обнаружили, что две группы не различались статистически значимо по успешности выполнения двух самых простых заданий батареи тестов ЗАРЯ («Дискриминация фонем» и «Лексическое решение»), но различались по успешности выполнения всех более сложных фонологических тестов: «Повторение псевдослов», «Первый звук в слове», «Наличие звука в слове», «Количество звуков в слове», «Замена звука в псевдослове». Корреляционный анализ в объединённой группе 100 детей с дислексией и без неё показал, что скорость чтения значимо положительно коррелирует только с успешностью в самых сложных фонологических тестах (подробное описание см. в [17]).

Дополнительно важным практическим результатом первого этапа проекта стала публикация нами современных нормативных данных по чтению у русскоязычных детей младшего школьного возраста [19].

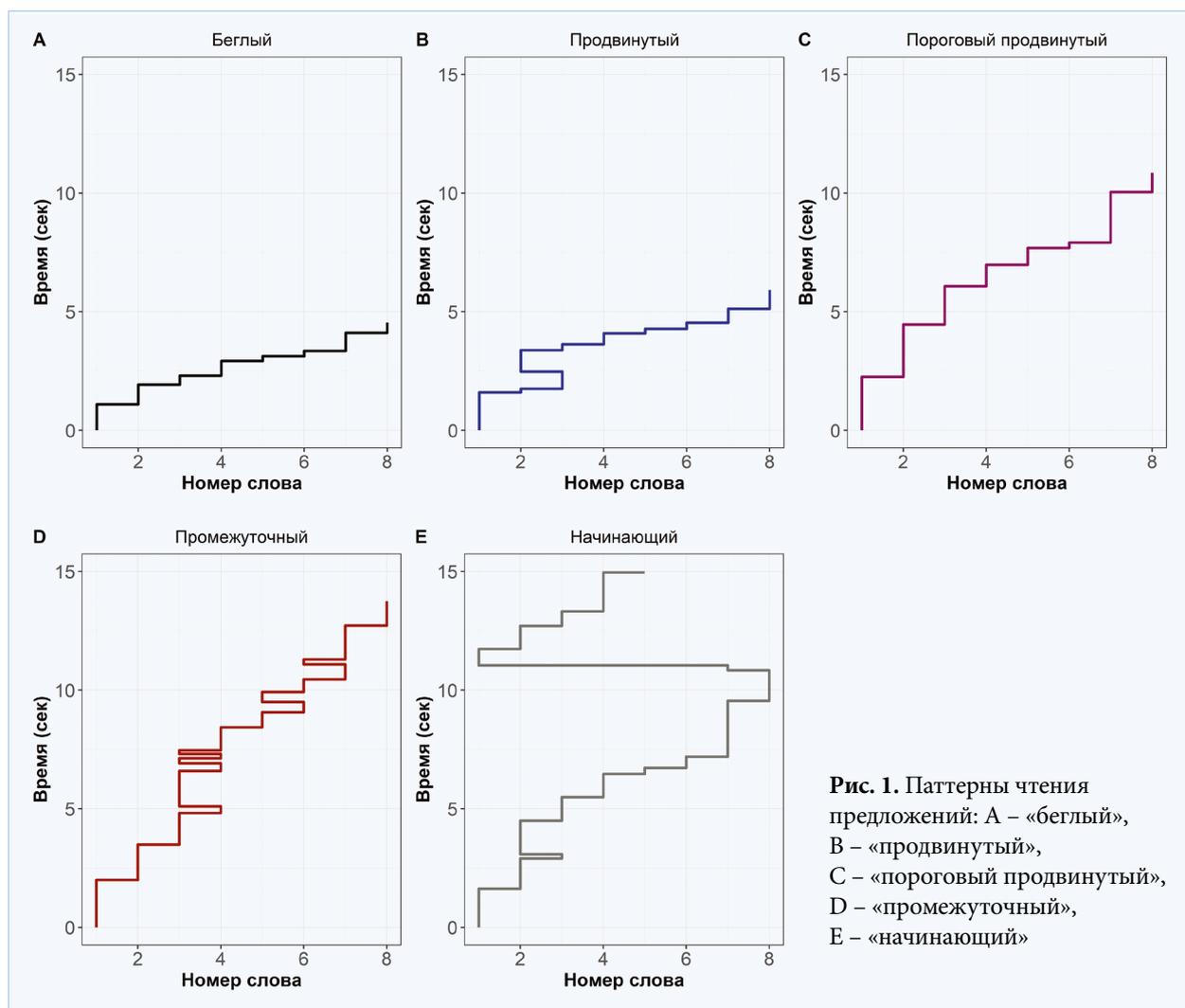
## Этап 2. Видеоокулографическое исследование

Второй задачей проекта было описание особенностей движений глаз при чтении у детей с дислексией по сравнению с детьми из группы нормы. Предыдущие исследования на материале европейских языков показали, что дети с дислексией делают больше коротких фиксаций на словах, чаще перечитывают части предложения и реже пропускают слова при чтении, чем их ровесники без нарушений чтения. Такие особенности движений глаз, вероятно, отражают сублексическую стратегию чтения слов по слогам, которую используют дети с дислексией. В нашем первом эксперименте в группе 68 учащихся 1–4 классов (22 с дислексией и 46 из группы нормы) мы наблюдали аналогичные результаты в длительности фиксаций, перечитывании и от-

сутствии пропуска слов [20]. Кроме того, мы обнаружили, что дети, имеющие более высокие баллы в субтесте ЗАРЯ «Замена звука в псевдослове» [16], тратили меньше времени на перечитывание слов, чем дети с низкими баллами; причём этот эффект более выражен у детей с дислексией, чем у детей из группы нормы. Вероятно, хорошие навыки сложного фонематического анализа, которые отражаются в успешности выполнения данного субтеста, особенно важны для чтения у детей с дислексией.

Хотя видеоокулографические исследования подробно описали количественные различия в основных глазодвигательных мерах при чтении слов в предложениях, до сих пор практически ничего не известно о глобальных стратегиях при чтении на уровне предложения у детей с типичным и нарушенным чтением. Глобальные стратегии чтения позволяют не фокусироваться на локальных метриках чтения отдельных слов, а проанализировать паттерн движения глаз при чтении всего предложения. Выявление и классификация таких стратегий даёт возможность понять, как именно дети читают на уровне предложения, а также как и почему могут различаться паттерны чтения у разных детей или групп детей. Задачами нашего исследования, результаты которого детально опубликованы в статье «Global reading processes in children with high risk of dyslexia: a scanpath analysis» [21], стали выявление основных паттернов движений глаз при чтении предложений при нормальном и нарушенном чтении, а также отслеживание того, как эти паттерны меняются в зависимости от класса обучения.

В эксперименте приняли участие 144 учащихся 1–5 классов (54 девочки, средний возраст = 9.4, SD = 1.19) с невербальным интеллектом в пределах возрастной нормы [18]: 72 ребёнка с дислексией согласно «Стандартизированной методике оценки навыка чтения» (СМИНЧ) и соответствующие по полу и возрасту 72 ребёнка без нарушений чтения согласно СМИНЧ. Все дети прочитали про себя 30 специ-



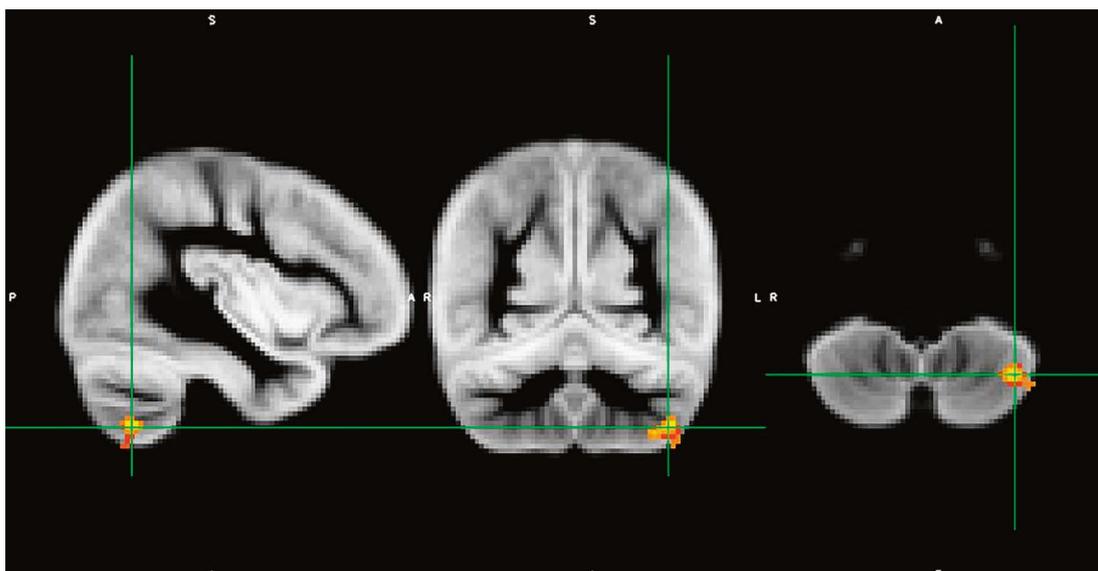
**Рис. 1.** Паттерны чтения предложений: А – «беглый», В – «продвинутый», С – «пороговый продвинутый», D – «промежуточный», E – «начинающий»

ально подобранных предложений, которые предъявлялись участникам в случайном порядке. Движения глаз детей записывались при помощи видеоокулографов EyeLink 1000 Plus или EyeLink Portable Duo. Собранные данные были проанализированы по протоколу анализа паттернов чтения (scanpaths analysis; [22]).

В результате на основе данных всех участников были выявлены пять типичных паттернов чтения предложений (рис. 1). «Беглый» паттерн (А) характеризуется короткими фиксациями, высокой вероятностью пропусков слов и невысокой вероятностью перечитывания. «Продвинутый» и «пороговый продвинутый» (В, С) качественно похожи на «беглый», однако отличаются более длительными фиксациями. «Промежуточный» паттерн (D) предпола-

гает ещё более долгие фиксации и высокую вероятность перечитывания слов внутри предложения. Последний «начинающий» паттерн (E) предполагает перечитывание больших порций предложения или всего предложения несколько раз.

Наконец, мы проанализировали, как следование тому или иному паттерну чтения меняется в зависимости от класса обучения для детей с дислексией по сравнению с нормой. Оказалось, что дети из группы нормы быстро переходили от одного паттерна к другому и уже в 4-м классе использовали преимущественно «беглый» паттерн. Дети с дислексией в 1-м классе следовали «начинающему» паттерну, затем со 2-го по 4-й классы переключались на «промежуточный» и «пороговый продвинутый» и только в 5-м классе использовали «продвинутый» паттерн



**Рис. 2.** Кластер серого вещества в левом полушарии мозжечка, в котором объём серого вещества значимо меньше при больших показателях фонологического теста «Наличие звука в слове». Здесь и далее мозг изображён в радиологической конвенции (левое полушарие мозга изображено справа на рисунке)

чтения. В целом анализ глобальных паттернов чтения показывает, что дети с дислексией читают по тем же паттернам чтения, что и их типично читающие сверстники, но с трёхлетней задержкой.

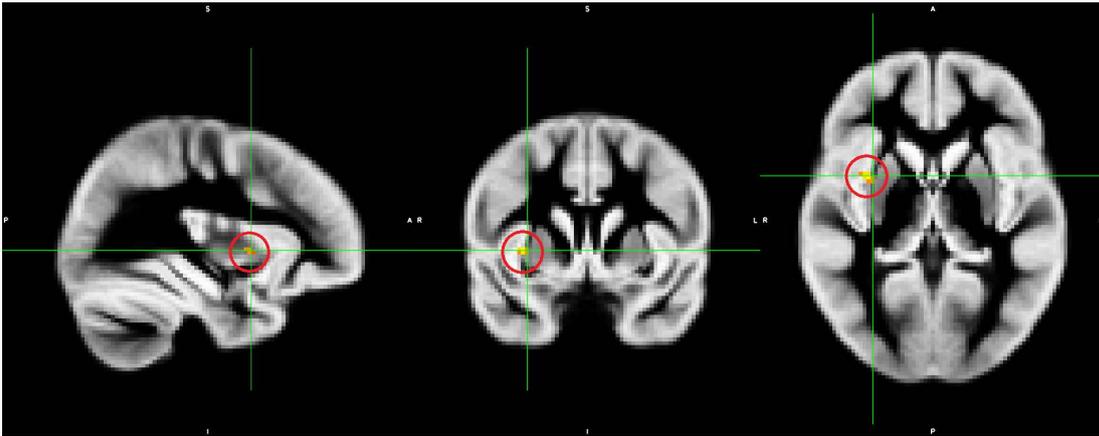
### Этап 3. Нейровизуализационное исследование

Третьей задачей проекта было выявление структурных мозговых коррелятов фонологических нарушений на уровне серого вещества у русскоговорящих детей с дислексией по сравнению с группой типично осваивающих чтение детей. В рамках этого исследования были выполнены два типа сравнений. Во-первых, мы провели анализ корреляций между объёмом серого вещества головного мозга и поведенческими результатами по всем заданиям батареи тестов ЗАРЯ и количеству правильно прочитанных слов в минуту на разнородной выборке, включающей детей с диагностированной дислексией, с риском дислексии и здоровых детей. Во-вторых, мы сравнили объём серого вещества мозга в группах детей с дислексией и без неё на полной выборке.

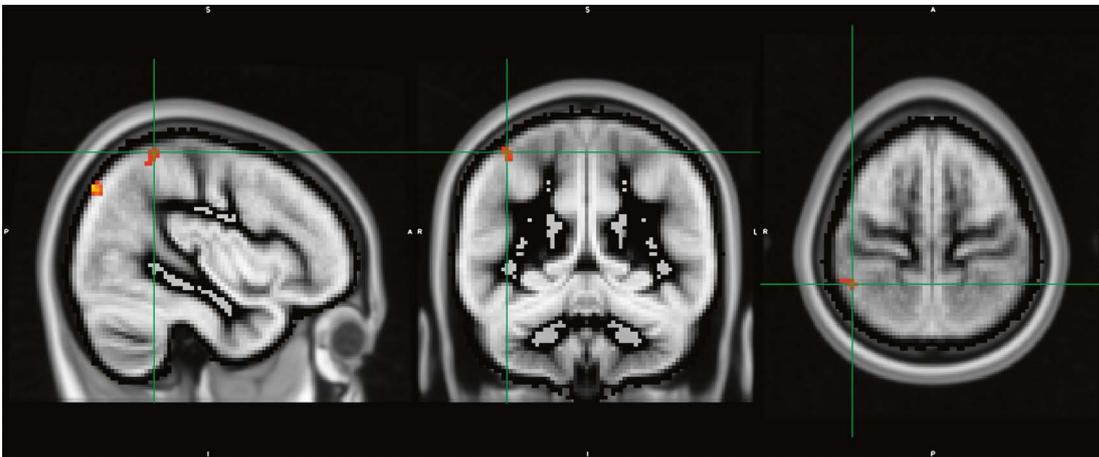
В исследовании приняли участие 75 учащихся 1–5 классов (31 девочка, средний возраст = 9,39, SD = 1,16): 35 детей с диагностированной дислексией и 40 неврологически здоровых детей, из которых четыре ребёнка были определены в группу риска по количеству правильно прочитанных слов в минуту. Все дети прошли структурную магнитно-резонансную томографию (3Т МРТ сканер, TR = 1900 мсек, TE = 3,37 мсек; 176 анатомических T1-изображений мозга, размер вокселя  $1 \times 1 \times 1$  мм<sup>3</sup>).

Все дети имели нормальные зрение, слух и уровень невербального интеллекта. Навыки чтения оценивались с помощью «Стандартизированной методики оценки навыка чтения» и батареи фонологических тестов ЗАРЯ. Морфометрический повоксельный анализ объёма серого вещества выполнялся в программе FSL-VBM.

Анализ корреляций успешности фонологической обработки с объёмом серого вещества на разнородной выборке 75 детей показал, что чем меньше объём серого вещества в левом полушарии мозжечка, тем лучше показатели теста «Наличие звука в слове» (102 вокселя,  $r = 0.041, -40, -60, -52$ ; здесь и далее уровень



**Рис. 3.** Кластер серого вещества в инсуре и базальном ядре, в котором объём серого вещества значимо больше при больших показателях фонологического теста «Повторение псевдослов»



**Рис. 4.** Кластеры серого вещества в верхней теменной долике правого полушария, в которых объём серого вещества значимо больше у детей с дислексией по сравнению с детьми группы нормы

значимости представлен с поправками на множественные сравнения, а координаты доложены в системе координат человеческого мозга Монреальского неврологического института (Montreal Neurological Institute) (рис. 2).

Кроме того, меньший объём серого вещества в инсуре и базальном ядре правого полушария коррелировал с худшими показателями выполнения теста «Повторение псевдослов» (18 вокселей,  $p = 0.045$ , 34, 4, 2) (рис. 3). Наконец, с увеличением возраста объём серого вещества значимо уменьшался в левом предклинии и правом верхнем отделе латеральной затылочной коры ( $p < 0.05$ ), а у девочек было обнаружено значимо больше серого вещества, чем

у мальчиков, в правом мозжечке, левом и правом гиппокампе и в затылочной области правого полушария ( $p < 0,01$ ).

Сравнение объёма серого вещества у детей с дислексией и без дислексии на выборке из 71 ребёнка (без включения детей группы риска) показало, что у первых значимо больше серого вещества, чем у детей группы нормы, в верхней теменной долике правого полушария в двух кластерах (26 вокселей,  $p = 0.044$ , 42, -46, 60; 142 вокселя,  $p = 0.028$ , 34, -82, 42) (рис. 4).

### Заключение

В рамках данного проекта впервые было проведено комплексное исследование навыков фонологической обработки у рус-

скоговорящих детей с дислексией. Для этого мы не только разработали и стандартизировали батарею фонологических тестов ЗАРЯ, но и провели ряд экспериментов, в том числе используя современные методы видеоокулографии и нейровизуализации.

Мы обнаружили, что результаты детей с дислексией (с подтверждённым отсутствием первичных нарушений слуха) не имели статистически значимых отличий от результатов успешно осваивающих чтение детей в двух самых простых заданиях батареи тестов ЗАРЯ – на дискриминацию фонем и лексическое решение. Это говорит о том, что у участвовавших в исследовании детей с дислексией не было трудностей как со способностью различать фонемы (звуки языка), так и с лексическим доступом. Мы впервые показали, что по мере усложнения задания (за счёт повышенного вовлечения рабочей памяти, манипуляций фонологическим материалом, подключения артикуляции – увеличения количества вовлечённых процессов) способность фонологических тестов предсказывать скорость чтения увеличивается, с наибольшей предсказательной способностью у самых сложных тестов. Концептуально это соответствует гипотезе о том, что выполнение сложных фонологических заданий включает в себя комплекс речевых процессов, пересекающийся с комплексом процессов, вовлечённых и в более сложный процесс чтения.

Связь продвинутых навыков фонологической обработки и успешного чтения подтверждают и результаты нашего видеоокулографического исследования, в котором мы обнаружили, что дети, которые лучше справляются с самым сложным заданием из батареи тестов ЗАРЯ («Замена звука в псевдослове»), тратили меньше времени на перечитывание слов. Кроме того, метрики движений глаз на уровне отдельных слов в нашей выборке в целом совпадают с результатами предыдущих исследований: русскоговорящие дети с дислексией делают больше коротких фикса-

ций на словах, чаще перечитывают части предложения и реже пропускают слова при чтении. При этом результат нового анализа глобальных паттернов чтения является важным свидетельством в пользу того, что динамика развития навыков чтения детей с дислексией имеет скорее не принципиальные отличия от типично развивающихся детей, а задержку по времени – примерно на три года. Этот результат может иметь большое значение для образовательной системы, однако его важно проверить в лонгитюдном исследовании.

В нейровизуализационном исследовании мы не нашли значимых корреляций объёма серого вещества и успешности выполнения простых фонологических тестов («Дискриминация фонем» и «Лексическое решение») – возможно, это связано с так называемым эффектом потолка, поскольку практически все участники, включая детей с дислексией, выполняли простые тесты с высокой точностью. Тесты средней сложности («Повторение псевдослов» и «Наличие звука в слове») позволили получить следующие важные результаты. Обнаруженная нами обратная корреляция результатов в тесте «Наличие звука в слове» с объёмом серого вещества в левом полушарии мозжечка согласуется с имеющимися свидетельствами, что различия в симметрии мозжечка и объёме серого вещества – одни из наиболее последовательно обнаруживающихся структурных отличий мозга детей с дислексией по сравнению с хорошо читающими детьми.

Интересно, что в исследовании англоговорящих детей 9–14 лет ранее выявили сеть повышенной активации в инсule (билатерально), правой верхней височной извилине, правой нижней теменной доле, а также в левом мозжечке, которая постоянно ассоциировалась с более низкими показателями в языковых тестах и тестах на чтение [23]. В ходе исследования мы обнаружили, что меньший объём серого вещества в инсule и базальном ядре правого полушария коррелировал с худши-

ми показателями выполнения теста на повторение псевдослов. Критически важная роль левой инсулы для внутрислоговой и межслововой координации сложных артикуляционных движений, предшествующих выполнению речевых команд, была недавно показана в исследовании взрослых пациентов с чистой апраксией речи (без афазии и нарушений способности двигать артикуляторным аппаратом) [24]. Эта функция особенно важна при повторении псевдослов.

Стоит обратить внимание, что в недавно опубликованном исследовании взрослых носителей финского языка с дислексией и без [25] был проведён анализ связи метрик серого вещества с широким спектром нейропсихологических тестов, была также обнаружена связь кластера, включающего левую инсулу, с результатами фонологических тестов. Однако авторы этого исследования в качестве метрики фонологических навыков использовали сводный индекс на основе трёх фонологических тестов, поэтому выявить связь именно с функцией координации сложных артикуляционных движений не представлялось возможным. При этом каждый из использованных авторами тестов задействует артикуляцию. Наше же исследование с использованием широкого ряда фонологических тестов с разным числом задействованных речевых процессов позволяет уточнить интерпретацию роли инсулы: эта область не оказывается статистически значимой при проведении корреляционного анализа с результатами тестов, требующих только восприятия звучащей речи и вовлечения рабочей памяти (но без вовлечения артикуляции), но оказывается значимой при использовании результатов тестов на повторение псевдослов – когда необходимо

не автоматизированное озвучивание знаковых слов, а осознанное планирование артикуляции для необычных сочетаний звуков; и её значимость не обнаруживается в тестах, в которых, кроме артикуляции, требуются также более сложные процессы фонематического анализа или манипуляций с фонологическим материалом. Для надёжной интерпретации остальных результатов требуются дополнительные исследования.

В целом, полученные нами результаты имеют непосредственное значение как для клинической практики, так и для дальнейших междисциплинарных исследований дислексии. В соответствии с этими результатами различие детей с дислексией, имеющих нарушения фонологической обработки и не имеющих таковых, должно базироваться на результатах тестирования именно сложными фонологическими тестами как наиболее дискриминативными. В то же время для планирования коррекционных мероприятий важно использовать более широкий спектр тестов и, сравнивая набор задействованных речевых процессов в тестах с высокими результатами и с более низкими, определять локус дефицита. Кроме того, стандартизированная фонологическая батарея или её отдельные тесты могут использоваться в междисциплинарных исследованиях нарушений речевого развития не только детей с дислексией, но и детей с другими нарушениями (в частности, с аутизмом). Использование нескольких фонологических тестов с известным набором необходимых для выполнения задания речевых процессов важно также для интерпретации результатов сложных нейровизуализационных исследований в этой области.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Wagner R.K., Zirps F.A., Edwards A.A., Wood S.G., Joyner R.E., Becker B.J., Liu G., Beal B. The Prevalence of Dyslexia: A New Approach to Its Estimation // Journal of Learning Disabilities. 2020. № 53 (5). Pp. 354–365. DOI: 10.1177/0022219420920377.

2. Nelson J.M., Harwood H. Learning disabilities and anxiety: A meta-analysis // *Ibid.* 2011. № 44 (1). Pp. 3–17. DOI: 10.1177/0022219409359939.
3. World Health Organization International statistical classification of diseases and related health problems – Tenth revision (2<sup>nd</sup> edn). Geneva: World Health Organization, 2008.
4. Pernet C., Andersson J., Paulesu E., Demonet J.F. When all hypotheses are right: A multifocal account of dyslexia // *Human Brain Mapping.* 2009. № 30 (7). Pp. 2278–2292. DOI: 10.1002/hbm.20670.
5. Saygin Z.M., Norton E.S., Osher D.E., Beach S.D., Cyr A.B., Ozernov-Palchik O., Yendiki A., Fischl B., Gaab N., Gabrieli J.D.E. Tracking the Roots of Reading Ability: White Matter Volume and Integrity Correlate with Phonological Awareness in Prereading and Early-Reading Kindergarten Children // *Journal of Neuroscience.* 2013. № 33 (33). Pp. 13251–13258. DOI: 10.1523/jneurosci.4383-12.2013.
6. Horwitz B., Rumsey J.M., Donohue B.C. Functional connectivity of the angular gyrus in normal reading and dyslexia // *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 1998. № 95 (15). Pp. 8939–8944. DOI: 10.1073/pnas.95.15.8939.
7. Stanberry L.I., Richards T.L., Berninger V.W., Nandy R.R., Aylward E.H., Maravilla K.R., Stock P.S., Cordes D. Low-frequency signal changes reflect differences in functional connectivity between good readers and dyslexics during continuous phoneme mapping // *Magnetic Resonance Imaging.* 2006. № 24 (3). Pp. 217–229. DOI: 10.1016/j.mri.2005.12.006.
8. Jednoróg K., Gawron N., Marchewka A., Heim S., Grabowska A. Cognitive subtypes of dyslexia are characterized by distinct patterns of grey matter volume // *Brain Structure and Function.* 2013. № 219 (5). Pp. 1697–1707. DOI: 10.1007/s00429-013-0595-6.
9. Krafnick A.J., Flowers D.L., Luetje M.M., Napoliello E.M., Eden G.F. An Investigation into the Origin of Anatomical Differences in Dyslexia // *The Journal of Neuroscience.* 2014. № 34 (3). Pp. 901–908. DOI: 10.1523/jneurosci.2092-13.2013.
10. Richlan F. Developmental dyslexia: dysfunction of a left hemisphere reading network // *Frontiers in human neuroscience.* 2012. № 6. Pp. 120–125. DOI: 10.3389/fnhum.2012.00120
11. Richlan F., Kronbichler M., Wimmer H. Structural abnormalities in the dyslexic brain: a meta-analysis of voxel-based morphometry studies // *Hum. Brain Mapp.* 2013. № 34 (11). Pp. 3055–3065. DOI: 10.1002/hbm.22127.
12. Лурия А.Р. Высшие корковые функции человека и их нарушения при локальных поражениях мозга. М.: Изд-во МГУ, 1969.
13. Wagner R.K., Torgesen J.K., Rashotte C.A., Pearson N.A. Comprehensive Test of Phonological Processing / 2<sup>nd</sup> ed. (CTOPP-2), Austin, TX: Pro-Ed, 2013.
14. Keith R.W. SCAN-3 for Adolescents and Adults: Tests for Auditory Processing Disorders. San Antonio, TX: Pearson, 2009.
15. Дорофеева С.В., Драгой О.В. Методическое руководство к батарее тестов для оценки навыков фонологической обработки ЗАРЯ (Звуковой Анализ Русского Языка). [https://www.hse.ru/data/2021/08/25/1414837805/RuToPP\\_manual.pdf](https://www.hse.ru/data/2021/08/25/1414837805/RuToPP_manual.pdf) (дата обращения: 22.02.2022).
16. Dorofeeva S.V., Laurinavichyute A., Reshetnikova V., Akhutina T.V., Tops W., Dragoy O. Complex phonological tasks predict reading in 7 to 11 years of age typically developing Russian children // *Journal of Research in Reading.* 2020. № 43 (4). Pp. 516–535. DOI: 10.1111/1467-9817.12327.
17. Дорофеева С.В., Решетникова В.А., Искра Е.В., Горанская Д.Н., Зырянов А.С., Гордеева Е.А., Серебрякова М.Н., Ахутина Т.В., Драгой О.В. Исследование фонологического дефицита у русскоязычных детей с дислексией // Первый Национальный конгресс по когнитивным исследованиям, искусственному интеллекту и нейроинформатике. Девятая международная конференция по когнитивной науке: Сборник научных трудов. В 2 ч. С. 158–160. № 2. С. 848.
18. Равен Д. Цветные прогрессивные матрицы серии А. М.: Когито-Центр, 2004.

19. Dorofeeva S.V., Reshetnikova V., Serebryakova M., Goranskaya D., Akhutina T.V., Dragoy O.V. Assessing the validity of the standardized assessment of reading skills in Russian and verifying the relevance of available normative data // The Russian Journal of Cognitive Science. 2019. № 6 (1). Pp. 4–24.
20. Лопухина А.А., Гольдина С.М., Лауринавичюте А.К., Искра Е.В., Драгой О.В. Специфика движений глаз при чтении предложений у детей с дислексией // Когнитивная наука в Москве: новые исследования. 2021. С. 261–266.
21. Parshina O., Lopukhina A., Goldina S., Iskra E., Serebryakova M., Staroverova V., Zdorova N., Dragoy O. Global reading processes in children with high risk of dyslexia: a scanpath analysis // Annals of Dyslexia. 2022. Pp. 1–23. DOI: 10.1007/s11881-021-00251-z.
22. Von der Malsburg T., Vasishth S. What is the scanpath signature of syntactic reanalysis? // Journal of Memory and Language. 2011. № 65 (2). Pp. 109–127. DOI: 10.1016/j.jml.2011.02.004.
23. Rimrodt S.L., Clements-Stephens A.M., Pugh K.R., Courtney S.M., Gaur P., Pekar J.J., Cutting L.E. Functional MRI of sentence comprehension in children with dyslexia: beyond word recognition // Cerebral Cortex. 2009. № 19 (2). Pp. 402–413.
24. Tomaiuolo F., Campana S., Voci L., Lasaponara S., Doricchi F., Petrides M. The Precentral Insular Cortical Network for Speech Articulation // Cerebral Cortex. 2021. № 31 (8). Pp. 3723–3731.
25. Kujala T., Sihvonen A.J., Thiede A., Palo-Oja P., Virtala P., Numminen J., Laasonen M. Voxel and surface based whole brain analysis shows reading skill associated grey matter abnormalities in dyslexia // Scientific Reports. 2021. № 11 (1). Pp. 1–9.

## Phonological Deficit and its Brain Correlates in Children with Developmental Dyslexia

**Olga Viktorovna Dragoy** – Doctor of Sciences (Philology), Professor, Director of the Center for Language and Brain, HSE University, head of the project “Linguistic deficit and its brain correlates in children with developmental dyslexia” (17-29-09122).

E-mail: [odragoy@hse.ru](mailto:odragoy@hse.ru)

**Svetlana Valentinovna Dorofeeva** – Candidate of Sciences (Philology), Junior researcher, the Center for Language and Brain, HSE University, executor of the same project.

E-mail: [sdorofeeva@hse.ru](mailto:sdorofeeva@hse.ru)

**Anastasiya Alexandrovna Lopukhina** – Candidate of Sciences (Philology), Researcher, the Center for Language and Brain, HSE University, executor of the same project.

E-mail: [nastya.lopukhina@gmail.com](mailto:nastya.lopukhina@gmail.com)

**Tatyana Alexandrovna Bolgina** – Trainee Researcher, the Center for Language and Brain, HSE University, executor of the same project.

E-mail: [tatyana.bolgina@gmail.com](mailto:tatyana.bolgina@gmail.com)

**Olga Alexandrovna Parshina** – Ph. D., Researcher, the Center for Language and Brain, HSE University.

E-mail: [parshinaolga23@gmail.com](mailto:parshinaolga23@gmail.com)

**Anna Kestuche Laurinavichyute** – Ph. D., Junior researcher, the Center for Language and Brain, HSE University; Potsdam University (Germany), executor of the same project.

E-mail: [annlaurin@gmail.com](mailto:annlaurin@gmail.com)

This work is a comprehensive cross-methodological experimental study of phonological processing disorders in dyslexic Russian-speaking children. We developed and standardized a Russian-language test battery to assess phonological processing skills (The Russian Test of Phonological Processing), which we then used to assess the features of phonological deficits in children with dyslexia and conduct an analysis of reading difficulties and their structural brain

correlates using modern methods of videooculography and neuroimaging. The first phase's findings revealed that more complex phonological tests were also more difficult, whereas children's performance in these tests was found to be a significant predictor of reading speed. The project's second phase identified five common patterns of eye movements during reading in children with and without dyslexia. We discovered that children with dyslexia exhibit the same patterns as their typically developing peers, albeit with a three-year delay. Finally, the third phase revealed significant differences in gray matter volume in the cerebellum, insula, and parietal lobule between group of children with dyslexia and control group of typically developing children.

These findings have significant implications for clinical practice, interdisciplinary research on dyslexia, and possibly the educational system.

**Keywords:** dyslexia, reading disorders, phonological processing, videooculography, global reading patterns, neuroimaging

## REFERENCES

1. Wagner R.K., Zirps F.A., Edwards A.A., Wood S.G., Joyner R.E., Becker B.J., Liu G., Beal B. The Prevalence of Dyslexia: A New Approach to Its Estimation // *Journal of Learning Disabilities*. 2020. № 53 (5). Pp. 354–365. DOI: 10.1177/0022219420920377.
2. Nelson J.M., Harwood H. Learning disabilities and anxiety: A meta-analysis // *Ibid.* 2011. № 44 (1). Pp. 3–17. DOI: 10.1177/0022219409359939.
3. World Health Organization International statistical classification of diseases and related health problems – Tenth revision (2<sup>nd</sup> edn). Geneva: World Health Organization, 2008.
4. Pernet C., Andersson J., Paulesu E., Demonet J.F. When all hypotheses are right: A multifocal account of dyslexia // *Human Brain Mapping*. 2009. № 30 (7). Pp. 2278–2292. DOI: 10.1002/hbm.20670.
5. Saygin Z.M., Norton E.S., Osher D.E., Beach S.D., Cyr A.B., Ozernov-Palchik O., Yendiki A., Fischl B., Gaab N., Gabrieli J.D.E. Tracking the Roots of Reading Ability: White Matter Volume and Integrity Correlate with Phonological Awareness in Prereading and Early-Reading Kindergarten Children // *Journal of Neuroscience*. 2013. № 33 (33). Pp. 13251–13258. DOI: 10.1523/jneurosci.4383-12.2013.
6. Horwitz B., Rumsey J.M., Donohue B.C. Functional connectivity of the angular gyrus in normal reading and dyslexia // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1998. № 95 (15). Pp. 8939–8944. DOI: 10.1073/pnas.95.15.8939.
7. Stanberry L.I., Richards T.L., Berninger V.W., Nandy R.R., Aylward E.H., Maravilla K.R., Stock P.S., Cordes D. Low-frequency signal changes reflect differences in functional connectivity between good readers and dyslexics during continuous phoneme mapping // *Magnetic Resonance Imaging*. 2006. № 24 (3). Pp. 217–229. DOI: 10.1016/j.mri.2005.12.006.
8. Jednoróg K., Gawron N., Marchewka A., Heim S., Grabowska A. Cognitive subtypes of dyslexia are characterized by distinct patterns of grey matter volume // *Brain Structure and Function*. 2013. № 219 (5). Pp. 1697–1707. DOI: 10.1007/s00429-013-0595-6.
9. Krafnick A.J., Flowers D.L., Luetje M.M., Napoliello E.M., Eden G.F. An Investigation into the Origin of Anatomical Differences in Dyslexia // *The Journal of Neuroscience*. 2014. № 34 (3). Pp. 901–908. DOI: 10.1523/jneurosci.2092-13.2013.
10. Richlan F. Developmental dyslexia: dysfunction of a left hemisphere reading network // *Frontiers in human neuroscience*. 2012. № 6. Pp. 120–125. DOI: 10.3389/fnhum.2012.00120.
11. Richlan F., Kronbichler M., Wimmer H. Structural abnormalities in the dyslexic brain: a meta-analysis of voxel-based morphometry studies // *Hum. Brain Mapp.* 2013. № 34 (11). Pp. 3055–3065. DOI: 10.1002/hbm.22127.

12. Luria A.P. Vysshie korkovye funktsii cheloveka i ikh narusheniya pri lokal'nykh porazheniyakh mozga. M.: Izd-vo MGU, 1969.
13. Wagner R.K., Torgesen J.K., Rashotte C.A., Pearson N.A. Comprehensive Test of Phonological Processing / 2nd ed. (СТОПП-2), Austin, TX: Pro-Ed, 2013.
14. Keith R.W. SCAN-3 for Adolescents and Adults: Tests for Auditory Processing Disorders. San Antonio, TX: Pearson, 2009.
15. Dorofeeva .V., Dragoy O.V. Metodicheskoe rukovodstvo k bataree testov dlya otsenki navykov fonologicheskoi obrabotki ZARYA (Zvukovoi Analiz Russkogo Yazyka). [https://www.hse.ru/data/2021/08/25/1414837805/RuToPP\\_manual.pdf](https://www.hse.ru/data/2021/08/25/1414837805/RuToPP_manual.pdf) (data obrashcheniya: 22.02.2022) (in Russian).
16. Dorofeeva S.V., Laurinavichyute A., Reshetnikova V., Akhutina T.V., Tops W., Dragoy O. Complex phonological tasks predict reading in 7 to 11 years of age typically developing Russian children // Journal of Research in Reading. 2020. № 43 (4). Pp. 516–535. DOI: 10.1111/1467-9817.12327.
17. Dorofeeva S.V., Reshetnikova V.A., Iskra E.V., Goranskaya D.N., Zyryanov A.S., Gordeeva E.A., Serebryakova M.N., Akhutina T.V., Dragoy O.V. Issledovanie fonologicheskogo defitsita u ruskoyazychnykh detei s disleksiei // Pervyi Natsional'nyi kongress po kognitivnym issledovaniyam, iskusstvennomu intellektu i neiroinformatike. Devyataya mezhdunarodnaya konferentsiya po kognitivnoi nauke: Sbornik nauchnykh trudov. V 2 ch. S. 158–160. № 2. S. 848 (in Russian).
18. Raven D. Tsvetnye progressivnye matritsy Ravena M.: Kogito-Tsentr, 2004 (in Russian).
19. Dorofeeva S.V., Reshetnikova V., Serebryakova M., Goranskaya D., Akhutina T.V., Dragoy O.V. Assessing the validity of the standardized assessment of reading skills in Russian and verifying the relevance of available normative data // The Russian Journal of Cognitive Science. 2019. № 6 (1). Pp. 4–24.
20. Lopukhina A.A., Gol'dina S.M., Laurinavichyute A.K., Iskra E.V., Dragoy O.V. Spetsifika dvizhenii glaz pri chtenii predlozhenii u detei s disleksiei // Kognitivnaya nauka v Moskve: novye issledovaniya. 2021. S. 261–266 (in Russian).
21. Parshina O., Lopukhina A., Goldina S., Iskra E., Serebryakova M., Staroverova V., Zdorova N., Dragoy O. Global reading processes in children with high risk of dyslexia: a scanpath analysis // Annals of Dyslexia. 2022. Pp. 1–23. DOI: 10.1007/s11881-021-00251-z.
22. Von der Malsburg T., Vasishth S. What is the scanpath signature of syntactic reanalysis? // Journal of Memory and Language. 2011. № 65 (2). Pp. 109–127. DOI: 10.1016/j.jml.2011.02.004.
23. Rimrodt S.L., Clements-Stephens A.M., Pugh K.R., Courtney S.M., Gaur P., Pekar J.J., Cutting L.E. Functional MRI of sentence comprehension in children with dyslexia: beyond word recognition // Cerebral Cortex. 2009. № 19 (2). Pp. 402–413.
24. Tomaiuolo F., Campana S., Voci L., Lasaponara S., Doricchi F., Petrides M. The Precentral Insular Cortical Network for Speech Articulation // Cerebral Cortex. 2021. № 31 (8). Pp. 3723–3731.
25. Kujala T., Sihvonen A.J., Thiede A., Palo-Oja P., Virtala P., Numminen J., Laasonen M. Voxel and surface based whole brain analysis shows reading skill associated grey matter abnormalities in dyslexia // Scientific Reports. 2021. № 11 (1). Pp. 1–9.