

Факторы когнитивной сложности тестовых вопросов в психофизиологических исследованиях

И. А. Горбунов^{1а}, М. В. Куприкова²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет,

Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

² Санкт-Петербургский государственный институт психологии и социальной работы,

Российская Федерация, 199178, Санкт-Петербург, 12-я линия В. О., 13

Для цитирования: Горбунов И. А., Куприкова М. В. Факторы когнитивной сложности тестовых вопросов в психофизиологических исследованиях // Вестник Санкт-Петербургского университета. Психология. 2023. Т. 13. Вып. 2. С. 244–260. <https://doi.org/10.21638/spbu16.2023.208>

В работе представлены результаты исследования особенностей функционального состояния мозга при аудиальном восприятии 60 типичных для психофизиологической экспертизы вопросов, взятых из шаблонов базы данных полиграфа, и ответов на них, имеющих различные лингвистические характеристики. Это количество различных типов слов, процентные соотношения слов из разных частей речи, количество отрицаний, наличие форм личных местоимений и их место в вопросе, количество букв, процент гласных, положение интонационного ударения. В качестве психологических характеристик, влияющих на функциональное состояние мозга, были измерены: вербальный интеллект по тесту Р. Амтхауэра, личностная и ситуативная тревожность по тесту Спилбергера — Ханина. Для измерения функционального состояния мозга проводилась регистрация 19-канальной ЭЭГ в системе 10–20%. Функциональное состояние мозга оценивалось через расчет фрактальной размерности ЭЭГ-методом. Выборку составили студенты и служащие ряда учебных заведений Санкт-Петербурга, девять мужчин и восемь женщин в возрасте от 19 до 59 лет. Анализ экспериментальных данных позволил подтвердить гипотезу о влиянии измеренных анкетных характеристик, лингвистических характеристик вопросов и психологических особенностей испытуемых на фрактальную размерность ЭЭГ. Анализ ЭЭГ в различных отведениях позволил выявить два фактора сложности ЭЭГ, относящиеся к лобным и затылочным областям мозга. Была получена регрессионная модель оценки когнитивной сложности того или иного вопроса теста, отражающей в сложности кривой ЭЭГ испытуемого, воспринимающего данный вопрос. Полученная модель позволяет подбирать вопросы для психофизиологической экспертизы, имеющие требуемый уровень когнитивной сложности. Результаты работы свидетельствуют о значимости такого показателя, как фрактальная размерность ЭЭГ, для исследований функционального состояния мозга и зависимости его как от личностных и биологических характеристик человека, так и от эмоционального состояния и сложности поступающей на анализаторы информации.

Ключевые слова: ЭЭГ, фрактальная размерность, когнитивная сложность, лингвистические особенности, психофизиологическая экспертиза.

^а Автор для корреспонденции.

Введение

В настоящее время актуальным для практической психофизиологии является внедрение психофизиологических методов в такие области, как психофизиологическая экспертиза и детекция лжи. Применяемый здесь методический аппарат в достаточной степени устарел, требует новых научных подходов и взглядов на интерпретацию данных. В частности, одним из слабых мест традиционной детекции лжи является подбор стимульного материала в виде тестовых вопросов, которые эксперт-полиграфолог обычно формулирует исходя из собственных субъективных предпочтений, основанных на опыте. Однако субъективный опыт не всегда исчерпывающе описывает такую сложную предметную область, как психика человека. Одним из факторов, которые могут влиять на реакции испытуемого во время эксперимента по детекции лжи, может быть субъективная когнитивная сложность вопроса, заключающаяся в его структурно-семантических особенностях, языковой форме, а также уровне понимания его испытуемым в силу его психологических особенностей. Современные работы по изучению и моделированию речевых механизмов человека базируются на нейросетевых моделях психосемантики в сочетании с данными электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и ФМРТ (Gillis et al., 2021; Gorbunov et al., 2019; Just et al., 2010; Lutzenberger et al., 1992). Если мы представляем психические явления в контексте их нейросетевых моделей, зачастую можно рассматривать динамику их работы в контексте системно-динамических теорий и соотносить явления с термином «сложность» (Холодная и др., 2013; Gorbunov et al., 2019; Mekler et al., 2014; Tkacheva et al., 2015). С нашей точки зрения, необходимо изучение вопроса о влиянии различных языковых параметров тестового вопроса на сложность протекания физиологических процессов в мозге и учет этих особенностей при создании тестов в детекции лжи.

Анализ ЭЭГ человека является одним из путей изучения закономерностей переработки информации мозгом. Согласно результатам исследований И. Е. Кануникова и соавторов, рассмотрение ЭЭГ с позиций теории динамического хаоса является адекватным и эффективным методическим приемом анализа мозговой активности (Кануников и др., 1998). Взаимосвязь коэффициента умственного развития и корреляционной размерности ЭЭГ анализировалась У. Луценбергером (W. Lutzenberger) и соавторами. Ими было показано, что в условии покоя испытуемые с более высокими показателями IQ имеют и более высокую размерность ЭЭГ-аттрактора (Lutzenberger et al., 1992).

В исследованиях, проводимых в лаборатории психофизиологии СПбГУ, было показано, что функциональное состояние мозга связано со степенью упорядоченности сознания, выражаемой в семантической упорядоченности между собой различных понятий, актуальных в данный момент для испытуемого. Также было выявлено наличие корреляций между сложностью ЭЭГ-сигнала и степенью осознания смысла читаемого в данный момент сюжета (Горбунов, Ткачева, 2011; Tkacheva et al., 2015).

Исследования М. А. Холодной и соавторов показали, что усложнение когнитивной деятельности требует больших затрат энергии и ментальных ресурсов (Холодная и др., 2013; Shcherbakova et al., 2014). При этом обнаружено, что «чем выше уровень организации индивидуального ментального опыта, тем в меньшей мере будут расходоваться ментальные ресурсы в силу более богатого арсенала процедурных

когнитивных схем» (Холодная и др., 2013, с. 98) на решение задач, что снижает уровень активации в процессе когнитивной деятельности. Снижение энергетического потенциала мозга, сопровождающее продуктивные проявления когнитивной деятельности, также связано с переходом мозга в более упорядоченное состояние. Это соответствует концепции нейроэффективности мозга, сформулированной А. Нойбауэром (A. Neubauer), см.: (Neubauer, Fink, 2009).

Исходя из теорий, описывающих работу мозга, можно утверждать, что изменение активации структурных элементов нервной системы является следствием изменения связей между ними (Арбиб, 2004; Осовский, 2004; Шеперд, 1987; Gorbunov et al., 2019; Huth et al., 2016). Чтобы точно предсказать, какую сложность вызовет вопрос с тем или иным набором характеристик, необходимо учитывать, что структурированность речи отражает сформированность определенных рисунков активации и торможения различных участков нервной системы для адекватного восприятия речи. Это то, что можно отнести к «чутью языка». Такая активация может являться следствием нескольких факторов: решаемой в момент измерения актуальной задачи, поступающего на сенсорный вход потока информации, а также предыдущего опыта, который привел к определенным изменениям матрицы межнейронных связей (Горбунов и др., 2015).

Наличие проблем, связанных как со сложностью мозга, так и с лингвистической сложностью текстов, позволяет предположить, что в психофизиологических показателях активности мозга можно выявить зависимость ее сложности от сложности текста. Актуальность темы представленной работы связана с неоднозначностью исследований, демонстрирующих, насколько разные реакции нервной системы вызывают у человека вопросы, неодинаковые по семантической, лексической, фонетической сложности, и как эти характеристики сказываются на сложности понимания вопросов людьми, имеющими разные особенности. Особенно это касается такого показателя ЭЭГ, как фрактальная размерность, которая отражает интегральные показатели сложности мозга (Вассерман и др., 2004). Так, в процедуре проведения полиграфных проверок традиционно не учитывается тот факт, что регистрируемые психофизиологические реакции могут включать параллельную активацию нервной системы, вызванную сложностью заданного вопроса.

Целью исследования является изучение физиологических маркеров понимания речи в процессе детекции лжи, базирующихся на системных моделях процессов распознавания речи. Предметом проведенного исследования является когнитивная сложность, отражающаяся в психофизиологических показателях, регистрируемых при ответах на тестовые вопросы. Под когнитивной сложностью в данной работе понимается сложность предъявляемой испытуемому информации в двух взаимодополняющих аспектах. С одной стороны, это объективная сложность, связанная с характеристиками этой информации. С другой стороны, это субъективная сложность для испытуемого восприятия информации на уровне его понимания или непонимания задаваемых вопросов. Производимая оценка уровня когнитивной сложности вопросов тестов представляет собой определенную поправку к анализу регистрируемых реакций испытуемого в психофизиологическом исследовании с применением полиграфа и позволит более адекватно интерпретировать ответы конкретного человека как с учетом его индивидуальных особенностей, так и с учетом искажений, вносимых сложностью предъявляемого вопроса.

Гипотеза исследования: лингвистические характеристики вопроса влияют на фрактальную размерность ЭЭГ наряду с психологическими особенностями испытуемого, определяющими психологическую интерпретацию данного вопроса, такими как интеллектуальные способности, эмоциональное состояние и т. п.

Методика исследования

До эксперимента и по его окончании с каждым участником проводилась беседа, имеющая целью получить информацию о текущем психическом состоянии и индивидуальных особенностях. Выборку составили студенты и служащие ряда учебных заведений Санкт-Петербурга, девять мужчин и восемь женщин в возрасте от 19 до 59 лет. Для всех испытуемых русский язык является родным.

В исследовании были использованы тесты Спилбергера — Ханина и Г. Айзенка для экспресс-диагностики психических состояний. Вербальный интеллект оценивался по тесту Р. Амтхауэра «Структура интеллекта (TSI)». Во внимание принимались показатели четырех вербальных субтестов, позволяющих получить представление об общей способности испытуемых оперировать словами как сигналами и символами: I субтест «Логический отбор (LS)» — исследование индуктивного мышления, чутья языка; II субтест «Определение общих черт (GE)» — оценка способности к абстрагированию, оперированию вербальными понятиями; III субтест «Аналогии (AN)» — анализ комбинаторных способностей; IV субтест «Классификации (KL)» — оценка способности выносить суждение.

В соответствии с целью и задачами эксперимента, 60 тестовых вопросов были проанализированы по ряду содержательных и структурных характеристик. Большая часть вопросов взята из базы компьютерного полиграфа «Диана» и является типичной для полиграфных проверок.

В рамках лексического анализа в вопросах подсчитывались количество значимых (низкочастотных) слов и количество повторяющихся слов, влияющее на информативность текста (Ляшевская, Шаров, 2009; Фрумкина, 2006; Шанский, 1990).

В качестве характеристик морфологической структуры текста вопроса рассматривались количество слов и их процент от общего количества слов, относящихся к различным частям речи. Анализировались количество и процент в вопросе слов без референтного индекса (то есть свободной трактовки), количество отрицаний, содержащихся в вопросе (частиц «не», «ни» и слов с приставкой «не-»). А также принималась во внимание форма личного местоимения (актив — «Вы» или пассив — «Вами, Вас») и его место следования в вопросе (Фрумкина, 2006; Шанский, 1990).

Фонетический анализ включал подсчет количества букв всех слов вопроса, количество и процент гласных букв, соотношение гласных и согласных букв всех слов вопроса. Также анализировалось положение в вопросе слова, на которое интонационно падает смысловой акцент.

Эксперимент проводился в специальной камере, где у испытуемых регистрировались показатели психофизиологических процессов (КГР, ЭКГ) и ЭЭГ в процессе ответа на зачитываемые им вслух вопросы. Здесь же находился монитор, на котором испытуемым предъявлялись инструкции по проведению эксперимента.

Каждый вопрос воспроизводился из звукового файла определенное время, в течение которого регистрировалась ЭЭГ. По истечении этого времени испытуемый нажимал клавишу лежащей у него на коленях клавиатуры, соответствующую ответу «да» или «нет», и запись ЭЭГ прекращалась.

Регистрация психофизиологических параметров велась на комплексной электрофизиологической установке «Телепат-104П» (ООО «Потенциал», Россия), предназначенной для исследования и диагностики центральной нервной системы, включающей компьютерный электроэнцефалограф с полиграфическими каналами и персональный компьютер для стимуляции испытуемого. Регистрация ЭЭГ осуществлялась монополярно, с помощью неполяризующихся хлорсеребряных электродов от 19 энцефалографических отведений, установленных в соответствии с международной схемой 10–20%. В качестве референта использовались закороченные электроды, установленные на мочках ушей. Одновременно регистрировалась электроокулограмма, используемая в дальнейшем для устранения артефактов от движений глаз.

У каждого испытуемого регистрировались фоновая ЭЭГ (30 секунд) и 60 участков ЭЭГ, в течение которых воспроизводились звуковые файлы тестовых вопросов. Анализ ЭЭГ-данных производился на основе компьютерной программы WinEEG. С помощью программного обеспечения, разработанного в лаборатории психофизиологии СПбГУ, были рассчитаны фрактальные размерности ЭЭГ по алгоритму Хигучи (Higuchi, 1988).

Результаты исследования

Для анализа различий групп вопросов по разнообразию их признаков была рассчитана связь характеристик лингвистических особенностей вопросов с типом вопросов (нейтральный, симптоматический, проверочный, контрольный, неоднозначной трактовки). Достоверность влияния фактора «тип вопроса» на характеристики текста вопросов оценивалась по статистике λ Уилкса (Wilks Lambda) с помощью многомерного дисперсионного анализа. Согласно результатам такого анализа, выбранные характеристики вопросов в большинстве своем достоверно по-разному распределены в различных типах предъявляемых вопросов (λ Уилкса = 0,0027, $F = 2,28$, $df = (136, 90, 237)$, $p = 0,00002$). Этот факт говорит о том, что различные типы вопросов, традиционно используемые в экспериментах по «детекции лжи», имеют разные лингвистические характеристики, что может сказываться на получаемых результатах.

С помощью факторного анализа вся база фрактальных размерностей ЭЭГ в разных отведениях, рассчитанных по эпохам, зарегистрированным в процессе прослушивания текста вопросов и до ответа на них, была компактно представлена несколькими факторами. Согласно правилу отбора факторов, имеющих собственные значения больше единицы, в рассмотрение были приняты два фактора, объясняющие в сумме почти 67% дисперсии. В табл. 1 представлены коэффициенты, отражающие значимость выделенных факторов при описании сложности линии ЭЭГ. Выделение двух факторов фрактальных размерностей ЭЭГ также использовалось ранее в исследованиях функционального состояния мозга (Холодная и др., 2013; Tkacheva et al., 2015).

Таблица 1. Собственные показатели факторов

№ фактора	Собственные числа	% от общей дисперсии	Накопленное собственное число	Накопленный процент дисперсии
1	11,05	58,16	11,05	58,16
2	1,64	8,61	12,69	66,77

Таблица 2. Факторные нагрузки переменных (ЭЭГ-отведений)

Фактор 1				Фактор 2			
отведение	вес	отведение	вес	отведение	вес	отведение	вес
Fp1	0,08	T3	0,53	Fp1	0,83	T3	0,59
Fp2	0,24	T4	0,51	Fp2	0,71	T4	0,56
F7	0,28	T5	0,75	F7	0,70	P3	0,36
Fz	0,33	P3	0,77	F3	0,80	Pz	0,35
F3	0,37	Pz	0,81	Fz	0,75	P4	0,35
F4	0,43	P4	0,84	F4	0,69	T5	0,31
F8	0,47	T6	0,73	F8	0,59	T6	0,22
C3	0,51	O1	0,82	C3	0,64	O1	0,22
C4	0,51	O2	0,80	C4	0,66	O2	0,15
Cz	0,61			Cz	0,55		
Объясненная дисперсия			6,58	Объясненная дисперсия			6,11
% от общей дисперсии			0,35	% от общей дисперсии			0,32

Примечание: варимакс-вращение факторов. Метод главных компонент. Выделены переменные с весом > 0,45.

В табл. 2 приведены факторные нагрузки переменных (фрактальных размерностей ЭЭГ-отведений), которые являются мерами связи между исходной переменной и соответствующим фактором.

Анализируя переменные, объединенные факторами, можно заметить, что первый объединяет главным образом ЭЭГ-отведения затылочных отделов, а второй — ЭЭГ-отведения лобных отделов головного мозга. В силу этого первый фактор был определен как «Фактор сложности ЭЭГ затылочных отделов», а второй как «Фактор сложности ЭЭГ лобных отделов», что согласуется с результатами упомянутых исследований (Холодная и др., 2013). Далее с помощью регрессионных формул вычислялись факторные оценки, отражающие значения факторов для функционального состояния мозга при ответе на каждый из 60 вопросов, заданных каждому испытуемому.

Для оценки влияния на вычисленные факторы фрактальной размерности ЭЭГ других переменных с помощью регрессионного анализа были рассчитаны коэффициенты множественной регрессии как для ряда психологических показателей испытуемых, так и для характеристик предъявляемых тестовых вопросов. В табл. 3 и 4 показаны стандартизированные регрессионные коэффициенты (Beta) и обычные регрессионные коэффициенты (B). Величина Beta-коэффициентов позволяет

Таблица 3. Результаты регрессионного анализа фактора сложности ЭЭГ затылочных отделов

Предикторы фактора	Beta	B	$p \leq$
Свободный член уравнения	–	6,90	0,0001
Тревожность	–1,12	–0,32	0,0001
Пол	–0,78	–1,57	0,0001
Фрустрация	0,72	0,19	0,0001
Агрессивность	0,50	0,17	0,0001
Ситуативная тревожность	–0,42	–0,05	0,0001
IQ «Аналогии»	0,42	0,05	0,0001
IQ «Определение общих черт»	–0,39	–0,04	0,0001
Возраст	–0,37	–0,03	0,0001
IQ «Классификации»	–0,31	–0,04	0,0001
% местоимений	–0,18	–0,02	0,0014
% имен существительных	–0,14	–0,01	0,0088
Порядок предъявления вопроса	0,14	0,17	0,0001
Ригидность	–0,12	–0,04	0,0021
% служебных слов	–0,09	–0,01	0,0265
Количество числительных	–0,07	–0,21	0,0286

Примечание: $R = 0,586$; $R^2 = 0,344$; $F(24, 1055) = 23,027$; $p < 0,0000$.

сравнивать относительный вклад каждой независимой переменной в предсказание зависимой переменной.

Фактор «сложности ЭЭГ затылочных отделов» объясняется более чем на 34 % общей дисперсии результативного признака влиянием независимых переменных ($R^2 = 0,344$, $p < 0,01$). По результатам множественного регрессионного анализа можно заключить, что наиболее важными и статистически значимыми ($p < 0,01$) предикторами для этого фактора являются такие особенности испытуемых, как тревожность, пол, фрустрация, агрессивность, ситуативная тревожность, вербальный интеллект, рассчитанный по субтестам «Аналогии», «Определение общих черт», «Классификации», возраст испытуемого, ригидность. Тревожность испытуемых являлась главной переменной, сопровождающей снижение сложности ЭЭГ, которая, с нашей точки зрения, связана с когнитивной сложностью понимания данного вопроса. Менее значимо она снижается у испытуемых с большей ригидностью. То же происходит и с увеличением возраста. У мужчин-испытуемых сложность ЭЭГ, регистрируемая в затылочных отделах, ниже, чем у женщин (табл. 3).

На снижение сложности влияют способности к оперированию словами, умение воспринимать их обобщенно и абстрактно (высокие показатели по субтестам «Определение общих черт» и «Классификации»). Увеличение фрактальной размерности ЭЭГ в затылочных отделах коррелирует с показателями фрустрированности и агрессивности. Также существенную роль играет способность находить аналогии по заданным связям. Помимо этого, фрактальная размерность, отражающая,

Таблица 4. Результаты регрессионного анализа фактора сложности ЭЭГ лобных отделов

Предиктор фактора	Beta	B	$p \leq$
Свободный член уравнения	–	13,78	0,0001
Тревожность	–1,89	–0,54	0,0001
IQ «Аналогии»	–1,48	–0,19	0,0001
Пол	–1,02	–2,05	0,0001
Ситуативная тревожность	0,77	0,10	0,0001
Личностная тревожность	0,77	0,11	0,0001
IQ «Классификации»	–0,70	–0,09	0,0001
IQ «Логический отбор»	0,65	0,08	0,0001
Фрустрация	0,51	0,13	0,0001
Агрессивность	0,24	0,08	0,0001
IQ «Определение общих черт»	0,22	0,02	0,0021
Возраст	0,16	0,01	0,0091
Ригидность	–0,15	–0,05	0,0080
Порядок предъявления вопроса	0,11	0,13	0,0001
Количество имен существительных	–0,07	–0,05	0,0115

Примечание: $R = 0,614$; $R^2 = 0,377$; $F(16,1063) = 40,236$; $p < 0,00001$.

с нашей точки зрения, активность (Холодная и др., 2013) в затылочных отделах, положительно коррелирует с порядком следования вопроса, что может быть связано с возрастающим утомлением.

Что касается лингвистических характеристик вопросов, наибольший вклад в фактор сложности ЭЭГ дают процент местоимений от общего количества слов в вопросе, аналогичный процент имен существительных, служебных частей речи, количество в вопросе числительных. Регрессионные коэффициенты этих предикторов отрицательные. Следовательно, чем больше доля этих частей речи в вопросе, тем меньшую сложность активности затылочных отделов такой вопрос вызовет.

Второй фактор «сложности ЭЭГ лобных отделов» (табл. 4) объясняет более 37 % общей дисперсии ($R^2 = 0,377$, $p < 0,01$)

Анализ этих данных показывает, что в дисперсию фактора «сложности ЭЭГ лобных отделов» наибольший относительный вклад дают тревожность (определяемая по тесту ДСПС), вербальный интеллект, рассчитанный для субтестов «Аналогии», «Классификации», «Определение общих черт» и «Логический отбор», пол испытуемого, ситуативная и личностная тревожность, фрустрация, возраст испытуемого, ригидность мышления и поведения, агрессивность.

Этот фактор дает несколько иную раскладку влияния этих переменных на когнитивную сложность. Так, тревожность и ригидность ее снижают, как и способность испытуемого выносить суждение (показатели субтеста «Классификации»). Значимой здесь оказывается способность к нахождению аналогий по заданным связям. Ситуативная и личностная тревожность в одинаковой степени

Таблица 5. Собственные показатели факторов

№ фактора	Собственное число	% от общей дисперсии	Накопленное собственное число	Накопленный процент дисперсии
1	9,83	51,72	9,83	51,72
2	1,62	8,53	11,45	60,25

Таблица 6. Факторные нагрузки переменных матрицы нормализованных данных

Фактор 1				Фактор 2			
отведение	вес	отведение	вес	отведение	вес	отведение	вес
Fp1	0,74	C4	0,51	Fp1	0,14	C3	0,54
Fp2	0,74	Cz	0,48	Fp2	0,22	Cz	0,55
F3	0,80	T5	0,35	F7	0,24	C4	0,59
F7	0,75	P4	0,31	F3	0,26	T5	0,63
Fz	0,73	T6	0,30	F8	0,29	T6	0,64
F4	0,73	Pz	0,29	Fz	0,35	P4	0,78
F8	0,68	P3	0,25	T3	0,37	P3	0,79
T3	0,61	O1	0,20	T4	0,38	Pz	0,82
T4	0,60	O2	0,17	F4	0,41	O1	0,74
C3	0,58	–	–	–	–	O2	0,68
Объясненная дисперсия			5,92	Объясненная дисперсия			5,53
% от общей дисперсии			0,31	% от общей дисперсии			0,29

Примечание: варимакс-вращение факторов. Метод главных компонент. Выделены переменные с весом > 0,45.

повышают сложность в лобных отделах, наряду с психическими состояниями фрустрации и агрессивности. Такие интеллектуальные способности, как актуализация необходимых знаний (субтест «Логический отбор») и оперирование вербальными понятиями (субтест «Определение общих черт»), тоже усложняют характер активности нервных процессов. Эта сложность увеличивается с возрастом испытуемых. Из «лингвистических» предикторов фактора статистически достоверно на снижение сложности влияет количество в вопросе имен существительных.

Для детального анализа влияния лингвистических характеристик вопросов на факторы сложности ЭЭГ-данные, представленные через фрактальную размерность, были нормализованы (приведены к Z-оценке, выраженной в количестве стандартных отклонений от среднего). Таким образом, из экспериментальных данных исключалась константа, связанная с различиями в индивидуальных характеристиках испытуемых. Преобразованные данные ЭЭГ-отведений содержат информацию о других различиях, связанных, в частности, с лингвистическими особенностями воспринимаемой информации.

При анализе матрицы нормализованных данных в рассмотрение были приняты два фактора, объясняющие в сумме 60,25 % дисперсии (табл. 5).

В табл. 6 приведены факторные нагрузки нормализованных значений фрактальных размерностей ЭЭГ-отведений с соответствующими факторами.

Таблица 7. Результаты регрессионного анализа фактора остаточной сложности ЭЭГ лобных отделов

Предиктор фактора	Beta	B	p
Свободный член уравнения	–	0,54	0,56
Общее количество слов	–0,99	–0,22	0,02
Количество служебных слов	0,73	0,41	0,00
% слов без референтного индекса	–0,42	–0,04	0,01
Количество слов без референтного индекса	0,38	0,32	0,03
% глаголов и глагольных форм	0,38	0,04	0,01
% служебных слов	–0,33	–0,03	0,00
% слов после «Вы»-формы	0,31	0,02	0,02
Порядок предъявления вопроса	0,28	0,34	0,00
% имен существительных	–0,26	–0,02	0,05
% значимых слов	–0,20	–0,01	0,02
Тип вопроса	0,18	0,12	0,01

Примечание: $R = 0,243$; $R^2 = 0,059$; $F(27,1052) = 2,454$; $p < 0,00006$.

Анализируя величину нагрузок (весов переменных), фактор 1 можно интерпретировать как остаточную сложность ЭЭГ лобных отделов, а фактор 2 — как остаточную сложность затылочных отделов, связанную с активностью мозга при восприятии языковых особенностей информации.

С помощью регрессионного анализа данных были получены коэффициенты множественной регрессии как для ряда психологических показателей испытуемых, так и для характеристик предъявляемых тестовых вопросов. Представленные в табл. 7 и 8 результаты показывают наличие значимых корреляций ($p < 0,05$) особенностей тестовых вопросов с активностью лобных и затылочных отделов. Фактор остаточной сложности ЭЭГ лобных отделов (табл. 7) достоверно описывает около 6 % общей дисперсии ($R^2 = 0,059$, $p < 0,01$).

Наибольший относительный вклад в предсказание значений фактора дают переменные «количество слов в вопросе» и «количество служебных частей речи». Отрицательные знаки регрессионных коэффициентов предикторов: длина вопроса, процент слов без референтного индекса, процент служебных частей речи, процент имен существительных и процент значимых слов — означают, что чем больше эти показатели в тексте вопроса, тем меньшую фрактальную размерность имеет ЭЭГ лобных отделов. Для количества служебных частей речи, процента глаголов и отглагольных форм, процента слов, стоящих после какой-либо формы местоимения «Вы», а также для номера следования вопроса предполагается прямая зависимость от них фрактальной размерности ЭЭГ лобных отделов.

Для фактора остаточной сложности ЭЭГ затылочных отделов (табл. 8) процент объясненной дисперсии составляет более 12 % ($R^2 = 0,122$, $p < 0,01$). Наибольший относительный вклад в предсказание этого фактора дают процент глаголов и отглагольных форм, процент гласных, общее количество гласных, соотношение гласных

Таблица 8. Результаты регрессионного анализа фактора остаточной сложности ЭЭГ затылочных отделов

Предиктор фактора	Beta	B	$p \leq$
Свободный член уравнения	–	13,96	0,00001
% глаголов и глагольных форм	2,32	0,27	0,00007
% глаголов	–2,15	–0,25	0,00028
% гласных	–1,69	–0,56	0,00542
Количество гласных	1,60	0,15	0,01937
Гласные/согласные	1,56	17,28	0,00958
Общее количество слов	–1,49	–0,34	0,00015
% имен существительных	–1,02	–0,07	0,00001
Количество служебных слов	0,92	0,52	0,00002
Количество глагольных форм	–0,90	–2,65	0,00002
Количество местоимений	0,83	0,64	0,00050
% местоимений	–0,78	–0,08	0,00002
Количество имен существительных	0,76	0,51	0,00002
% служебных слов	–0,70	–0,07	0,00001
% слов после логического ударения	–0,64	–0,02	0,00003
Место в вопросе «Вы»-формы	0,63	0,24	0,00026
% слов после «Вы»-формы	0,55	0,03	0,00018
Место логического ударения	–0,51	–0,17	0,00060
Количество слов без референтного индекса	–0,41	–0,35	0,01227
% значимых слов	–0,36	–0,02	0,00001
Количество отрицательных частиц	–0,25	–0,57	0,00073
Порядок предъявления вопроса	0,23	0,28	0,00000
Актив местоимения «Вы»	0,12	0,16	0,02433

Примечание: $R = 0,350$; $R^2 = 0,122$; $F(30,1049) = 4,866$; $p < 0,00000$.

и согласных букв, количество слов в вопросе, процент имен существительных, количество служебных частей речи, количество местоимений, общее количество слов в вопросе, относящихся к имени существительному. Отрицательные коэффициенты предикторов указывают, что проценты гласных, глаголов, имен существительных, служебных частей речи, значимых слов и слов, стоящих после интонационно выделенного слова, количество слов и глагольных форм в вопросе, порядковое место интонационно выделенного слова, количество слов без референтного индекса и отрицательных частиц снижают фрактальную размерность ЭЭГ.

Остальные — общий процент глаголов и отглагольных форм, количество гласных, соотношение гласных и согласных букв, количество местоимений, имен существительных, служебных частей речи, порядковое место в вопросе какой-либо

формы местоимения «Вы», процент слов, стоящих после «Вы»-формы местоимения до конца предложения, форма актива местоимения «Вы», а также порядковый номер вопроса в предъявлении — напротив, повышают фрактальную размерность ЭЭГ затылочных отделов.

Анализ полученной модели

Согласно проведенному анализу данных, зависимость факторов когнитивной сложности от индивидуальных особенностей испытуемых может быть описана системой следующих уравнений (1):

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_{30} = -0,32 \cdot \text{тревожность} - 1,57 \cdot \text{пол} + 0,19 \cdot \text{фрустрация} + \\ + 0,17 \cdot \text{агрессивность} - 0,05 \cdot \text{ситуативная тревожность} + \\ + 0,05 \cdot \text{IQ_an} - 0,04 \cdot \text{IQ_ge} - 0,3 \cdot \text{возраст} - 0,04 \cdot \text{IQ_kl} - \\ - 0,04 \cdot \text{ригидность} + 0,17 \cdot \text{nn} + 6,9 + \Delta_1 \\ Y_{10} = -0,54 \cdot \text{тревожность} - 0,19 \cdot \text{IQ_an} - 2,05 \cdot \text{пол} + \\ - 0,1 \cdot \text{ситуативная тревожность} + \\ + 0,11 \cdot \text{личностная тревожность} - 0,09 \cdot \text{IQ_kl} + 0,09 \cdot \text{IQ_ls} + \\ + 0,13 \cdot \text{фрустрация} + 0,01 \cdot \text{возраст} - 0,05 \cdot \text{ригидность} + \\ + 0,08 \cdot \text{агрессивность} + 0,02 \cdot \text{IQ_ge} + 0,13 \cdot \text{nn} + 13,78 + \Delta_2, \end{array} \right. \quad (1)$$

где *nn* соответствует порядку следования вопроса в предъявлении, Δ_1 и Δ_2 — вклад в регрессию лингвистических характеристик вопросов и более подробно представлены ниже.

Описываемая данными уравнениями линейная модель предполагает, что на когнитивную сложность деятельности и лобных, и затылочных отделов более всего влияют индивидуальные свойства испытуемых. Это главным образом свойственные человеку тревожность и другие психологические состояния, его пол, возраст и интеллект.

Факторы показателей когнитивной сложности могут быть описаны и через лингвистические характеристики вопросов следующей системой уравнений (2):

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_{10} = -0,99 \cdot \text{количество слов} + 0,41 \cdot \text{количество служебных частей речи} - \\ - 0,04 \cdot \% \text{ слов без реф. инд.} + 0,32 \cdot \text{количество слов без реф. инд.} + \\ + 0,04 \cdot \% \text{ глаголов и глаг. форм} - 0,03 \cdot \% \text{ служебных частей речи} + \\ + 0,02 \cdot \% \text{ слов после «Вы»-формы} - 0,02 \cdot \% \text{ имен существительных} - \\ - 0,01 \cdot \% \text{ значимых слов} + 0,12 \cdot \text{тип вопроса} + 0,34 \cdot \text{nn} \\ Y_{30} = 0,27 \cdot \% \text{ глаголов и глаг. форм} - 0,25 \cdot \% \text{ глаголов} - 0,56 \cdot \% \text{ гласных} + \\ + 0,15 \cdot \text{гласные} + 17,28 \cdot \text{гласные/согласные} - 0,34 \cdot \text{количество слов} - \\ - 0,07 \cdot \% \text{ имен сущ.} + 0,52 \cdot \text{количество служебных частей речи} - \\ - 2,65 \cdot \text{количество глагольных форм} + 0,64 \cdot \text{количество местоимений} + \\ + 0,51 \cdot \text{количество имен сущ.} - 0,07 \cdot \% \text{ служебных частей речи} - \\ - 0,02 \cdot \% \text{ слов после логического ударения} + 0,24 \cdot \text{место «Вы»-формы} + \\ + 0,03 \cdot \% \text{ слов после «Вы»-формы} - 0,17 \cdot \text{место логического ударения} - \\ - 0,35 \cdot \text{количество слов без реф. индекса} - 0,02 \cdot \% \text{ значимых слов} - \\ - 0,57 \cdot \text{отрицательные частицы} + 0,16 \cdot \text{активные «Вы»-формы} + \\ + 0,28 \cdot \text{nn} + 13,96, \end{array} \right. \quad (2)$$

где *m* соответствует порядку следования вопроса в тесте, реф. инд. — сокр. референтный индекс слова.

Таким образом, регистрируемая сложность когнитивных процессов, отражающаяся, с нашей точки зрения, во фрактальной размерности ЭЭГ (Горбунов и др., 2015; Холодная и др., 2013), в лобных и затылочных отделах по-разному зависит от длины предъявляемого вопроса, его фонетических характеристик, количества и соотношения частей речи, а также семантики текста вопроса, включающей расстановку логически акцентированных слов, количества низкочастотных слов. На сложности сказывается и место предъявляемого вопроса в тесте.

Обсуждение результатов исследования

Результаты проведенного исследования показали, что когнитивная сложность мозга, описываемая в работе через фрактальную размерность полученных ЭЭГ-данных, варьирует главным образом относительно двух блоков. Это блок затылочных отделов мозга (соответствует второму функциональному блоку приема и переработки информации по А. Р. Лурии) и блок лобных отделов (третий функциональный блок программирования, регуляции и контроля сложных форм деятельности). Это согласуется с предыдущими исследованиями (Вассерман и др. 2004; Кануников и др., 1998; Холодная и др., 2013; Gillis et al., 2021). Исходя из этого, можно предположить, что у человека существуют два функциональных аспекта переработки информации. С одной стороны, это активность затылочных отделов, чувствительная к сложности поступающей информации; с другой стороны, активность, связанная с актуальной задачей, сложность которой определяет выработку программы поведения (лобные отделы). Согласно полученным данным, вклад в сложность активности мозга предикторов фактора лобных отделов выше, чем фактора затылочных отделов в случае анализа влияния индивидуальных особенностей испытуемых и ниже — при анализе влияния лингвистических особенностей вопросов.

Полученная модель описывает характер сложности когнитивных процессов в соответствии с психическими состояниями испытуемого. Выявлено, что влияние свойственных человеку ригидности, агрессивности и фрустрации на характер активности в лобных отделах такое же, как и в затылочных. Для разных видов тревожности это влияние неоднозначно. Можно предположить, что негативные эмоции, сопутствующие тревожности, уменьшают фрактальную размерность (Mekler et al., 2014), однако общая активация мозга, соответствующая концентрации внимания на вопросе и неоднозначности его понимания, может повышать фрактальную размерность.

Интеллектуальные способности также связаны с фрактальной размерностью обоих блоков неоднозначно. Можно отметить общий тренд на снижение фрактальной размерности при увеличении интеллектуальных способностей, особенно в классификации понятий. Это в целом соответствует идее нейроэффективности (Neubauer, Fink, 2009; Холодная и др., 2013; Горбунов, Ткачева, 2011; Tkacheva et al., 2015). Способность улавливать связи между понятиями и оперировать ими снижает фрактальную размерность лобных отделов, но несколько увеличивает ее в затылочных, а способность определения общих черт при исключении лишних понятий снижает фрактальную размерность затылочных, но несколько увеличивает ее в лобных отделах. И наконец,

способности к индуктивному мышлению, измеряемые тестом Амтхауэра, увеличивают фрактальную размерность ЭЭГ лобных отделов. Видимо, эти интеллектуальные способности, измеряемые разными субтестами, по-разному используются в процессе понимания смысла вопросов и принятия решений об ответе на них. В одном случае они упрощают мыслительную деятельность, а в другом — усложняют.

В нашем эксперименте фрактальная размерность ЭЭГ у мужчин была однозначно ниже, чем у женщин. С возрастом испытуемых модель предсказывает снижение фрактальной размерности ЭЭГ в затылочных отделах и увеличение в лобных отделах мозга, то есть увеличение когнитивной сложности при принятии решения.

Влияние семантики текста и таких лингвистических характеристик вопроса, как его длина, фонетический и лексический состав, на сложность когнитивных процессов различается в лобных и затылочных отделах. В целом можно отметить общее снижение сложности ЭЭГ при увеличении длины вопроса в словах. Некоторое усложнение в обоих блоках наблюдается при увеличении процента глаголов и глагольных форм, а уменьшение сложности — при относительном увеличении количества существительных, местоимений и служебных слов.

Выводы

1. Полученные результаты позволяют предположить, что гипотеза о зависимости фрактальной размерности ЭЭГ от лингвистических характеристик вопроса, преломляющихся через понимание их человеком, которое, в свою очередь, зависит от его психологических характеристик, подтвердилась.

2. Проведенный лексический, грамматический и фонетический анализ типичных вопросов полиграфной проверки показал существование в них различий, связанных с типом вопроса (нейтральный, симптоматический, проверочный, контрольный).

3. По результатам анализа сложности ЭЭГ-сигналов в разных отведениях были выделены два фактора. В первый из них вошли главным образом ЭЭГ-отведения затылочных отделов, а во второй — ЭЭГ-отведения лобных отделов головного мозга, что сопоставляется с работой второго и третьего функциональных блоков мозга по А. Р. Лурии. При этом вклад в сложность активности мозга предикторов фактора лобных отделов выше, чем фактора затылочных отделов, в случае анализа влияния индивидуальных особенностей испытуемых и ниже — при анализе влияния лингвистических особенностей вопросов.

4. Психофизиологическое исследование показало, что большую роль в сложности восприятия вопросов играют индивидуальные психологические свойства испытуемых (показатели вербального интеллекта, тревожность, агрессивность, фрустрация и ригидность). Зависимость фрактальной размерности ЭЭГ при ответах на вопросы от интеллектуальных способностей в целом не противоречит гипотезе нейроэффективности (Mekler et al., 2014; Shcherbakova et al., 2014), однако у разных функциональных блоков мозга существуют свои особенности. Эмоциональное состояние и тревожность также неоднозначно связаны с фрактальной размерностью, и если основные связи отражают снижение фрактальной размерности при повышении отрицательных эмоций (Mekler et al., 2014), то некоторые, связанные, видимо, с общей активацией, наоборот, повышают фрактальную размерность.

5. Также выявлено статистически значимое влияние лингвистических характеристик вопросов на сложность психофизиологических показателей. Параметры длины вопроса уменьшают фрактальную размерность обоих блоков, так как вопрос становится более однозначным. Увеличение доли глаголов и глагольных форм увеличивает фрактальную размерность, создавая более сложную картину семантических связей в предложении.

Данные, полученные в исследовании, способствуют пониманию процессов восприятия, переработки и принятия решений испытуемым при проведении экспертиз методом инструментальной детекции лжи и позволяют выработать критерии оценки когнитивной сложности вопроса при учете различных особенностей испытуемого, таких как тревожность, пол, возраст, показатели интеллектуального развития.

Литература

- Арбиб М. Метафорический мозг. 2-е изд. М.: Едиториал УРСС, 2004.
- Вассерман Е. Л., Карташев Н. К., Полонников Р. И. Фрактальная динамика электрической активности мозга. СПб.: Наука, 2004.
- Горбунов И. А., Зайнутдинов М. Р., Локоткова М. А. Моделирование процесса речепорождения с помощью математических моделей нейронных сетей у больных неврозами // Петербургский психологический журнал. 2015. № 11. С. 11–37.
- Горбунов И. А., Ткачева Л. О. Связь семантических характеристик сознания с изменениями функционального состояния мозга // Вестник СПбГУ. 2011. Т. 12, №1. С. 324–329.
- Кануников И. Е., Антонова Е. В., Белов Д. Р., Марков Ю. Г. Применение теории динамического хаоса для анализа электроэнцефалограмм // Вестник СПбГУ. Сер. 3. Биология. 1998. Вып. 1. № 3. С. 55–61.
- Ляшевская О. Н., Шаров С. А. Частотный словарь современного русского языка на материалах Национального корпуса русского языка. М.: Азбуковник, 2009.
- Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. М.: Финансы и статистика, 2004.
- Фрумкина Р. М. Психолингвистика. 2-е изд. М.: Академия, 2006.
- Холодная М. А., Щербакова О. В., Горбунов И. А., Голованова И. В., Паповян М. И. Информационно-энергетические характеристики различных типов когнитивной деятельности // Психологический журнал. 2013. Т. 34, № 5. С. 96–107.
- Шанский Н. М. Лингвистический анализ художественного текста. Л.: Просвещение, 1990.
- Шеперд Г. Нейробиология: в 2 т. М.: Мир, 1987.
- Gillis M., Vanthornhout J., Simon J. Z., Francart T., Brodbeck Ch. Neural markers of speech comprehension: measuring EEG tracking of linguistic speech representations, controlling the speech acoustics // Journal of Neuroscience. 2021. Vol. 41, no. 50. P. 10316–10329.
- Gorbunov I., Pershin I., Zainutdinov M., Koval V. Using the neural model of the person's semantic space to reveal the occurred with him events // IMCIC 2019-10th International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics, Proceedings. Vol. 2. Orlando, 2019. P. 164–165.
- Higuchi T. Approach to an irregular time series on the basis of the fractal theory // Physica D. 1988. No. 31. P. 277–283.
- Huth A. G., Heer W. A. de, Griffiths Th. L., Theunissen F. E., Gallant J. L. Natural speech reveals the semantic maps that tile human cerebral cortex // Nature. 2016. Vol. 532, no. 7600. P. 453–458.
- Just M. A., Cherkassky V. L., Aryal S., Mitchell T. M. A neurosemantic theory of concrete noun representation based on the underlying brain codes // PloS one. 2010. Vol. 5, no. 1. P. e8622.
- Lutzenberger W., Birbaumer N., Flor H., Rockstroh B., Elbert T. Dimensional analysis of the human EEG and intelligence // Neuroscience Letters. 1992. Vol. 143, no. 1–2. P. 10–40.
- Mekler A. A., Gorbunov I., Gavrilov V. Systemic processes in the brain: The EEG study on the emotions of different hierarchical levels and signs // International Journal of Psychophysiology. 2014. Т. 94, no. 2. P. 191–191.
- Neubauer A. C., Fink A. Intelligence and neural efficiency // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. 2009. Vol. 33. P. 1004–1023.
- Shcherbakova O. V., Gorbunov I. A., Golovanova I. V., Kholodnaya M. A. The neural efficiency hypothesis: Further evidence from the EEG study of conceptual thinking // International Journal of Psychophysiology. 2014. Vol. 2, no. 94. P. 218.

Контактная информация:

Горбунов Иван Анатольевич — канд. психол. наук, ст. науч. сотр.; i.a.gorbunov@spbu.ru
Курпикова Марина Владимировна — бакалавр психологии; ndan40@yandex.ru

Factors of cognitive complexity of test questions in psychophysiological studies

I. A. Gorbunov^{1a}, M. V. Kurpikova²

¹ St. Petersburg State University,

7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

² St. Petersburg State Institute of Psychology and Social Work,

13, 12-ia liniia V. O., St. Petersburg, 199178, Russian Federation

For citation: Gorbunov I. A., Kurpikova M. V. Factors of cognitive complexity of test questions in psychophysiological studies. *Vestnik of Saint Petersburg University. Psychology*, 2023, vol. 13, issue 2, pp. 244–260. <https://doi.org/10.21638/spbu16.2023.208> (In Russian)

The paper presents the results of a study of the functional state evaluations of the brain during auditory perception. The subjects listened 60 questions with different linguistic characteristics, taken from polygraph database templates, and answered to them. This characteristics: is the number of different types of words, the percentage of words from different parts of speech, the number of negations, the presence of forms of personal pronouns and their place in the question, the number of letters, the percentage of vowels, the position of intonational stress. As psychological characteristics that affect the functional state of the brain, the following were measured: verbal intelligence according to the R. Amthauer's test, personal and situational anxiety according to the Spielberger — Khanin test. To measure the functional state of the brain, a 19-channel EEG was recorded in the 10–20 % system. The functional state of the brain was assessed by calculating the fractal dimension of the EEG using the method. The sample consisted of students and employees of a number of educational institutions in St Petersburg, 9 men and 8 women aged 19 to 59 years. An analysis of the experimental data made it possible to confirm the hypothesis about the influence of the measured questionnaire characteristics, the linguistic characteristics of the questions, and the psychological characteristics of the subjects on the fractal dimension of the EEG. EEG analysis in various leads revealed two EEG “complexity” factors related to the frontal and occipital areas of the brain. A regression model was obtained for assessing the cognitive complexity of a particular test question, which is reflected in the complexity of the EEG curve of the subject perceiving this question. The resulting model allows you to select questions for psychophysiological examination that have the required level of cognitive complexity. The results of the work testify to the importance of such an indicator as the fractal dimension of the EEG for studying the functional state of the brain and its dependence both on the personal and biological characteristics of a person, and on the emotional state and complexity of the information received by the analyzers.

Keywords: EEG, fractal dimension, cognitive complexity, linguistic features, psychophysiological expertise.

^a Author for correspondence.

References

- Arbib, M. (2004). *Metaphorical brain*. 2nd ed. Moscow: Editorial URSS Publ. (In Russian)
- Frumkina, R. M. (2006). *Psycholinguistics*. 2nd ed. Moscow: Akademiia Publ. (In Russian)
- Gillis, M., Vanthornhout, J., Simon, J.Z., Francart, T., Brodbeck, Ch. (2021). Neural markers of speech comprehension: measuring EEG tracking of linguistic speech representations, controlling the speech acoustics. *Journal of Neuroscience*, 41, 50, 10316–10329.
- Gorbunov, I. A., Tkacheva, L. O. (2011). Connection of semantic characteristics of consciousness with changes in the functional state of the brain. *Vestnik of St Petersburg University*, 12, 1, 324–329. (In Russian)
- Gorbunov, I., Pershin, I., Zainutdinov, M., Koval, V. (2019). Using the neural model of the person's semantic space to reveal the occurred with him events. *IMCIC 2019-10th International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics, Proceedings*, 2, 164–165.
- Gorbunov, I. A., Zainutdinov, M. R., Lokotkova, M. A. (2015). Modeling the process of speech production using mathematical models of neural networks in patients with neurosis. *Peterburgskii psikhologicheskii zhurnal*, 11, 11–37. (In Russian)
- Higuchi, T. (1988). Approach to an irregular time series on the basis of the fractal theory. *Physica D*, 31, 277–283.
- Huth, A. G. Heer, W. A. de, Griffiths, Th. L., Theunissen, F. E., Gallant, J. L. (2016). Natural speech reveals the semantic maps that tile human cerebral cortex. *Nature*, 532, 7600, 453–458.
- Just, M. A., Cherkassky, V. L., Aryal, S., Mitchell, T. M. (2010). A neurosemantic theory of concrete noun representation based on the underlying brain codes. *PLoS One*, 5, 1, e8622.
- Lutzenberger, W., Birbaumer, N., Flor, H., Rockstroh, B., Elbert, T. (1992). Dimensional analysis of the human EEG and intelligence. *Neuroscience Letters*, 143, 1–2, 10–40.
- Lyashevskaya, O. N., Sharov, S. A. (2009). *Frequency Dictionary of the Modern Russian Language Based on the Materials of the National Corpus of the Russian Language*. Moscow, Azbukovnik Publ. (In Russian)
- Kanunikov, I. E., Antonova, E. V., Belov, D. R., Markov, Yu. G. (1998). Application of the theory of dynamic chaos for the analysis of electroencephalograms. *Vestnik of St. Petersburg University. Ser. 3. Biology*, 1, 3, 55–61. (In Russian)
- Kholodnaya, M. A., Shcherbakova, O. V., Gorbunov, I. A., Golovanova, I. V., Papovyan, M. I. (2013). Information and energy characteristics of various types of cognitive activity. *Psikhologicheskii zhurnal*, 34, 5, 96–107. (In Russian)
- Mekler, A. A., Gorbunov, I., Gavrilov, V. (2014). Systemic processes in the brain: The EEG study on the emotions of different hierarchical levels and signs. *International Journal of Psychophysiology*, 94, 2, 191–191.
- Neubauer, A. C., Fink, A. (2009). Intelligence and neural efficiency. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33, 1004–1023.
- Osovsky, S. (2004). *Neural networks for information processing*. Moscow, Finansy i statistika Publ. (In Russian)
- Shansky, N. M. (1990). *Linguistic analysis of a literary text*. Leningrad, Prosveshchenie Publ. (In Russian)
- Shcherbakova, O. V., Gorbunov, I. A., Golovanova, I. V., Kholodnaya, M. A. (2014). The neural efficiency hypothesis: Further evidence from the EEG study of conceptual thinking. *International Journal of Psychophysiology*, 2, 94, 218.
- Shepherd, G. (1987). *Neurobiology*: in 2 vols. Moscow, Mir Publ. (In Russian)
- Tkacheva, L. O., Gorbunov, I. A., Nasledov, A. D. (2015). Reorganization of system brain activity while understanding visually presented texts with the increasing completeness of information. *Human Physiology*, 41, 11–21. <https://doi.org/10.1134/S0362119714060127>
- Wasserman, E. L., Kartashev, N. K., Polonnikov, R. I. (2004). *Fractal dynamics of the electrical activity of the brain*. St Petersburg, Nauka Publ. (In Russian)

Received: June 16, 2022

Accepted: February 9, 2023

Authors' information:

Ivan A. Gorbunov — PhD in Psychology, Associate Professor; i.a.gorbunov@spbu.ru

Marina V. Kuprikova — Bachelor; ndan40@yandex.ru