

Эрик А. Арамян, Дмитрий Л. Гладилин, Константин С. Юдаков, Владимир В. Гаврилов, Виктор В. Знаков,
Владимир В. Апанович, Юрий И. Александров
Связанная с обучением динамика амплитуд компонентов ССП, выделяемых при оценке длительности зрительных сигналов
Российский психологический журнал, 22(4), 2025

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ

Научная статья
УДК 159.91
<https://doi.org/10.21702/rpj.2025.4.7>

Связанная с обучением динамика амплитуд компонентов ССП, выделяемых при оценке длительности зрительных сигналов

Эрик А. Арамян^{1*} , Дмитрий Л. Гладилин^{1,2} ,
Константин С. Юдаков^{1,3} , Владимир В. Гаврилов¹ ,
Виктор В. Знаков¹ , Владимир В. Апанович^{1,3} ,
Юрий И. Александров^{1,3} 

¹ Институт психологии РАН, Москва, Российская Федерация

² Московский государственный психолого-педагогический университет,
Москва, Российская Федерация

³ Государственный академический университет гуманитарных наук, Москва,
Российская Федерация

*Почта ответственного автора: aramyan.eric@gmail.com

Аннотация

Введение. В рамках системно-эволюционного подхода проведено исследование динамики взаимосвязей между результативностью решения задачи и амплитудных характеристик компонентов ССП в процессе обучения и совершенствования навыка. Научение и совершенствование оценивалось индивидуально для каждого участника исследования, в отличие от принятого в психофизиологии принципа оценивания «до-после» или деления на равномерные интервалы. Метод «скользящего окна» использован для анализа ковариаций между результативностью и амплитудами девяти выделенных компонентов ССП в эпоху оценки длительности сигнала. **Методы.** Применялась психофизическая задача различения коротких интервалов времени. Участники исследования ($N=28$) были разделены на группы не научившихся, научившихся, не усовершенствовавших и усовершенствовавших навык. Регистрировалась результативность решения

Эрик А. Арамян, Дмитрий Л. Гладилин, Константин С. Юдаков, Владимир В. Гаврилов, Виктор В. Знаков,

Владимир В. Апанович, Юрий И. Александров

Связанная с обучением динамика амплитуд компонентов ССП, выделяемых при оценке длительности зрительных сигналов

Российский психологический журнал, 22(4), 2025

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ

задачи, а также ЭЭГ монополярно на 11 отведений. **Результаты.** Было показано, что взаимосвязь между амплитудами компонентов ССП и результативностью решения задачи различна для разных компонентов ССП. В наибольшей степени с процессом обучения связаны компоненты, пики которых соответствуют интервалам перед предъявлением оцениваемого сигнала, ранний позитивный компонент и компонент перед окончанием оцениваемого сигнала. Несмотря на большую выраженность амплитуды компонентов, выделяемых в середине предъявления оцениваемого сигнала, взаимосвязь результативности с амплитудами данных компонентов не различалась в указанных выше группах участников исследования.

Обсуждение результатов. Полученные результаты обсуждаются в контексте того, что позитивные и негативные компоненты ССП интерпретируются как маркёры смен этапов (субэтапов) поведенческого акта. Показано, что разные субъективные способы выделения субэтапов поведенческого акта могут с большей или меньшей вероятностью приводить к обучению новому навыку.

Ключевые слова

системно-эволюционный подход, обучение, совершенствование навыка, ЭЭГ, психофизика, динамика обучения, метод «Да/Нет», связанные с событием потенциалы (ССП)

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-18-00473

Для цитирования

Арамян Э. А., Гладилин Д. Л., Юдаков К. С., Гаврилов В. В., Знаков В. В., Апанович В. В., Александров Ю. И. (2025). Связанная с обучением динамика амплитуд компонентов ССП, выделяемых при оценке длительности зрительных сигналов. *Российский психологический журнал*, 22(4), 133–157. <https://doi.org/10.21702/rpj.2025.4.7>

Введение

В психофизиологии является актуальной проблематика обучения и её связь с динамикой мозговой активности при разворачивании этих процессов (Александров, 2014). Важным аспектом является то, что под термином «Learning» в литературе зачастую понимаются разные процессы (Александров, 2006).

Согласно системно-эволюционному подходу (Швырков, 1995), совокупность элементов индивидуального опыта (систем поведенческого акта) представляет

собой структуру систем, отражающую историю взаимодействия индивида со средой. Формирование системы в процессе системогенеза обеспечивает нарастание дифференциации взаимодействия индивида с окружающей средой. Реализация поведения, в ходе которого оно может модифицироваться, сопряжена с изменением межсистемных отношений, что с позиций внешнего наблюдателя также, как и при обучении, может выглядеть как «улучшение реализации поведения». Таким образом, с позиций системно-эволюционного подхода возможно выделение двух процессов: системогенеза (в большей степени связанного с процессом обучения) и изменения межсистемных отношений (в большей степени связанного с процессом совершенствования уже имеющегося навыка).

Существуют работы с регистрацией нейронов и исследованием структуры индивидуального опыта, где было показано, что процессы системогенеза и изменения межсистемных отношений различны (Горкин, 2021). Также структуру индивидуального опыта возможно изучать с помощью метода ЭЭГ. Позитивные колебания ЭЭГ связываются с увеличением количества одновременно актуализирующихся систем индивидуального опыта (Гаврилов, 1987) и с увеличением степени конкретизации субъекта поведения (Максимова, Александров, 1987); негативные – с уменьшением количества одновременно актуализирующихся систем (Гаврилов, 1987) и с уменьшением степени конкретизации субъекта поведения (Максимова, Александров, 1987).

Вопрос динамического рассмотрения процессов обучения и совершенствования навыка с воздействием электроэнцефалографических методов поднимался достаточно редко. Существует ряд классических работ по исследованию мозгового обеспечения процесса обучения, однако большая их часть основана на экспериментах, построенных по принципу сравнения «до–после» (см. напр., Poon, 1974; Stuss & Picton, 1978; Verleger et al., 1985 и др.) или на произвольном выделении равномерных эпох анализа (McAdam, 1966; Peters et al., 1977; Taylor, 1978; Donald, 1980; Rosler, 1981; Kecei et al., 2006; Jongsma et al., 2006). При этом в литературе описываются противоречащие друг другу выводы об увеличении/уменьшении амплитуд компонентов в процессе обучения. На наш взгляд, данный подход является недостаточно информативным, т.к. не учитывает процессуальную составляющую обучения.

Для исследования динамики процессов обучения и совершенствования нами была взята психофизическая задача различия коротких интервалов времени по методике «Да/Нет» в силу того, что она позволяет проводить непрерывную (не дихотомическую) оценку результата обучения (Апанович и др., 2022; 2024), относительно свободную от факторов принятия решений (Забродин и др., 1984), а также то, что для данной задачи характерен выраженный по своему эффекту процесс обучения (Скотникова, 2003). Так же достоинством задачи на различие коротких интервалов времени является, по-видимому, относительно слабая представленность опыта данного поведения в структуре индивидуального опыта индивидов.

Задачей работы является оценка динамики амплитудных характеристик компонентов ССП, проявляющихся при обучении навыку различения длительности визуальных сигналов.

Методы

Участники исследования

В исследовании приняло участие 28 человек (7 мужчин, 21 женщина). Возраст составлял от 18 до 45 лет (средний возраст — 23,1 года; медиана возраста — 19 лет, стандартное отклонение — 8,66 лет). Возраст респондентов контролировался, поскольку в литературе имеются данные о том, что возрастная категория от 18 до 45 лет демонстрирует наибольшую стабильность показателей решения задач, связанных с оценкой/воспроизведением/различением временных интервалов (Лисенкова, Шпагонова, 2021).

На основе показателей результативности, согласно методу, разработанному и описанному нами в предыдущих работах (см. в Апанович и др., 2022; Апанович и др., 2024), участники исследования были распределены в 4 группы:

1. Не научившиеся — группа, в которой участники исследования изначально не решали задачу (показатель результативности статистически не отличался от 0) и не приобрели навык в процессе эксперимента (не преодолели порог неслучайного решения $d' = 0,546$).

2. Научившиеся — группа, в которой участники исследования приобрели навык решения задачи в процессе эксперимента (в начале эксперимента показатель результативности статистически не отличался от нуля, но затем был преодолён порог неслучайного решения $d' = 0,546$).

3. Не усовершенствовавшие — группа, в которой участники исследования изначально решали задачу на высоком (неслучайном, т.е. выше уровня неслучайного решения $d' = 0,546$) уровне, но не усовершенствовали навык в процессе участия в эксперименте (не улучшили статистически достоверно свой начальный результат).

4. Усовершенствовавшие — группа, в которой участники исследования изначально решали задачу на высоком (неслучайном, т.е. выше уровня неслучайного решения $d' = 0,546$) уровне и усовершенствовали навык в процессе участия в эксперименте (улучшили статистически достоверно свой начальный результат).

Процедура и схема исследования

Эксперимент состоял из трёх задач, но в данной статье рассматриваются результаты только основной, третьей серии. Первая задача заключалась в различении вертикальных и горизонтальных линий, после предъявления которых участник должен был нажать указательным или безымянным пальцем ведущей

руки на клавиатуре соответствующие им кнопки. Первая задача использовалась для контроля скорости времени ответа участника исследования. Вторая задача, названная нами «сенсибилизирующей» (под "сенсибилизация" нами понимается как особенности начала и прекращения нейронной активности, соотносимой с уже имеющимися системами (Апанович и др., 2022)) – использовалась с целью отделения данного процесса от процесса обучения *de novo*. Параметры этой серии повторяли параметры основной экспериментальной задачи, но участники исследования должны были различать не длительность предъявления сигналов, а их абсолютные размеры.

Третьей и основной экспериментальной задачей была модифицированная психофизическая методика «Да/Нет» (Гусев и др. 1998; Забродин и др., 1984). Предъявление проходило с помощью специальной программы «Visual Yes–No test» (автор программы – С. А. Карпов). В качестве оцениваемого параметра применялись короткие интервалы времени (описание одной пробы см. ниже). Данная методика, в нашем варианте эксперимента, состояла из 10 серий, каждая из которых включала 50 проб (о количестве серий и проб участнику исследования заранее не сообщалось для избегания эффекта предвосхищения). Перерыв между сериями составлял 1 минуту, в течении которой участника исследования просили сидеть с закрытыми глазами для снижения уровня утомления глаз. Суммарное время выполнения данной задачи составляло около 40 минут.

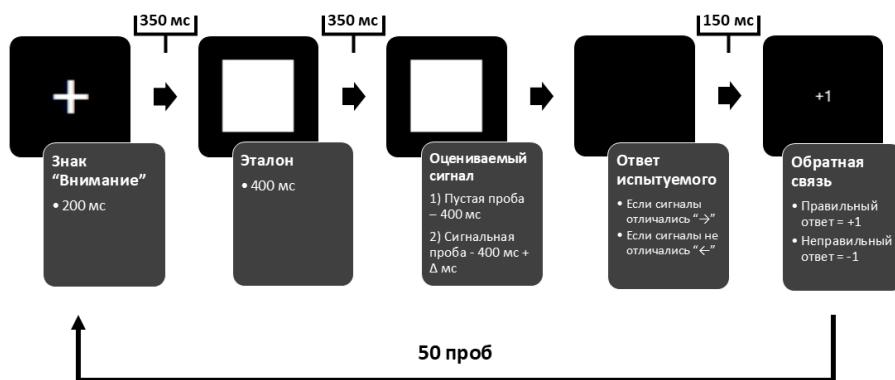
Первая и вторая экспериментальная задача являются контрольными для данного эксперимента и их результаты не будут представлены в данной работе.

Описание одной пробы

Началом каждой пробы являлось предъявление сигнала «Внимание» (белый крест, продолжительность предъявления – 200 мс, размеры – 1x1 см, RGB: 183, 183, 183). После перерыва в 350 мс (тёмный фон, RGB: 0, 0, 0) отображался эталонный сигнал длительностью 400 мс: белый квадрат, размерами 3x3 см, RGB: 183, 183, 183. Затем, после перерыва 350 мс (тёмный фон, RGB: 0, 0, 0) демонстрировался оцениваемый сигнал (белый квадрат, размерами 3x3 см, RGB: 183, 183, 183). Его длительность с вероятностью 50% совпадала с длительностью эталонного сигнала или же превышала длительность эталонного сигнала на заранее определенную сценарием величину (либо на 66 мс, либо на 92 мс больше, в зависимости от сценария, который был выбран для конкретного участника исследования). Задачей участника исследования было нажимать указательным пальцем на клавишу «→» в том случае, если он считает, что оцениваемый сигнал длился дольше эталона, и клавишу «←» в том случае, если он считает, что оцениваемый сигнал длился столько же, сколько эталон. После ответа участник исследования получал обратную связь о правильности его ответа («+1», если ответ был верным и «-1», если ответ был ошибочным). Графическое отображение одной пробы см. рисунок 1.

Рисунок 1

Графическое отображение одной пробы (Апанович и др., 2022)



Способ регистрации ЭЭГ

Запись производилась неполяризующимися хлорсеребряными электродами монополярно в 11 отведениях: F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4, O1, O2. Электроды размещались по международной системе 10–20. Два индифферентных электрода помещали на сосцевидных отростках за ушами, два электрода ЭОГ для отслеживания артефактов размещали на расстоянии 1 см от внешнего угла правого глаза по оси глазной щели и в середине контура нижнего века левого глаза. Контактное сопротивление не превышало 10 кОм. Частота дискретизации – 250 Гц, ФВЧ – 70 Гц, ФНЧ – 0,1 Гц, режекторный фильтр – 50 Гц. Модель электроэнцефалограф-регистратора: «Энцефалан-ЭЭГР-19/26». Режекция глазодвигательных, мышечных, технических и др. артефактов проводилась вручную, с помощью разработанной нами программы «EEGAnalyzer» (автор программы – С.А. Карпов).

Эпоха анализа

В качестве эпохи усреднения был выбран промежуток от окончания эталонного сигнала (за 350 мс до начала предъявления оцениваемого сигнала) до окончания предъявления оцениваемого сигнала (400 мс после начала предъявления оцениваемого сигнала). В качестве нулевой точки принималась точка начала предъявления оцениваемого сигнала. Таким образом, значения от -350 мс до 0 мс соответствовали промежутку между эталонным и оцениваемым сигналами; от 0 мс до 400 мс – интервал предъявления оцениваемого сигнала. Данная эпоха была выбрана в силу того, что в данный момент участник исследования оценивал длительность предъявления сигнала, т.е. реализовывал то поведение, научение которому исследовалось в нашей работе.

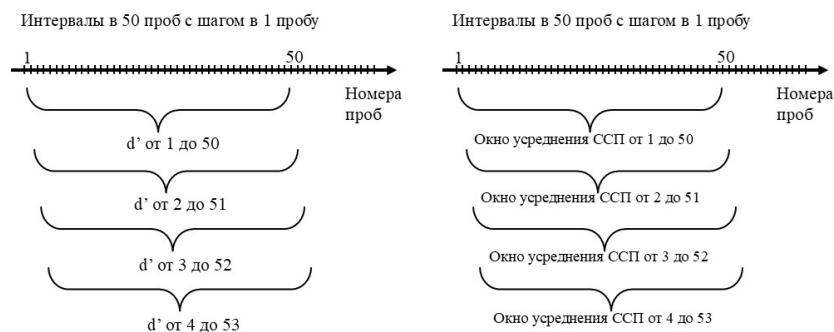
Анализируемые переменные и способы их получения методом «скользящего» окна

Для возможности сопоставления процесса научения с мозговым обеспечением поведения различия коротких интервалов времени нами анализировался показатель решения d' и амплитудные (по методу peak-to-peak) характеристики выделенных компонентов ССП (критерий включения компонентов в анализ см. в следующем разделе).

Для оценки динамики взаимосвязей между результативностью и амплитудами связанных с событиями потенциалов (ССП) применялся метод «скользящего» окна. Для каждого из участников исследования показатель d' высчитывался в интервалах длительностью по 50 проб, и далее это окно имело шаг смещения в 1 пробу (см. рисунок 2). В соответствии описанному выше методу производилось усреднение амплитуд выделенных компонентов ССП. Таким образом, каждый участник исследования после прохождения 500 проб имел 451 значение d' и 451 значение амплитуды каждого из выделенных компонентов. Данные временные ряды из 451 значения отображали динамику показателей в течение прохождения серии.

Рисунок 2

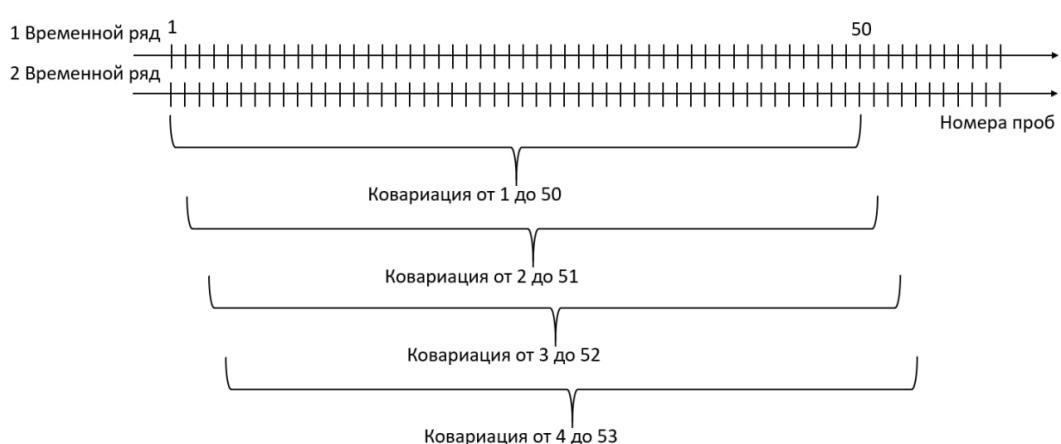
Иллюстрация принципа «скользящего» окна с размером окна в 50 проб и шагом в 1 пробу.



Аналогичным способом в дальнейшем рассчитывались ковариации между двумя временными рядами: ковариации рассчитывались по окну в 50 точек, полученных на предыдущем этапе, также с шагом окна в 1 точку (см. рисунок 3). Таким образом, два временных ряда в 451 точку позволяют получить динамический ряд из 402 ковариаций.

Рисунок 3

Иллюстрация принципа «скользящего» окна с размером окна в 50 проб и шагом в 1 пробу



Для анализа нами были взяты компоненты, описанные на предыдущем этапе исследования (Юдаков и др., 2025). В описанной эпохе были выделены компоненты, представленные в Табл. 1. Иллюстрацию модельного потенциала, описывающего выделенные компоненты, см. на рисунок 4. В качестве нулевой точки рассматривался момент предъявления оцениваемого сигнала.

Таблица 1

Амплитудно-временные характеристики выделяемых компонентов ССП на анализируемой эпохе

Компонент	Средний латентный период, мс	Средняя амплитуда, мкВ	Амплитуда peak-to-peak, мкВ
1	-258	-2,13	-
2	-99	1,83	3,96
3	-55	-1,65	3,48
4	-15	1,78	3,43
5	22	-2,03	3,81
6	154	2,73	4,76
7	203	-3,06	5,79
8	259	3,21	6,27
9	313	-1,87	5,08

Примечание: амплитуда peak-to-peak представлена в каждой строке относительно предыдущего компонента. Таким образом, расчёт амплитуды peak-to-peak для 1 компонента не является возможным.

Рисунок 4

Модельный потенциал выделяемых компонентов ССП на анализируемой эпохе (Юдаков и др., 2025)



Выделенные интервалы оценки ковариаций для выделенных групп участников исследования

Для каждого участника исследования методом «скользящих» ковариаций оценивались взаимосвязи между показателем результативности d' и амплитудой каждого выделенного компонента в каждой из 451 точек «скользящего» окна. Последовательность из 451 окна усреднения нами была поделена на следующие эпохи.

Для группы научившихся:

- Эпоха до преодоления точки неслучайного решения $d' = 0,546$ («до научения»).
- Эпоха, соответствующая росту результативности, при котором произошёл переход через точку неслучайного решения: промежуток между локальным минимумом, предшествующим росту, и локальному максимуму после преодоления точки неслучайного решения) («фронт научения»).
- Эпоха после преодоления точки неслучайного решения («после научения»).

Для группы усовершенствовавших:

- Эпоха до преодоления точки, достоверно превышающей изначальную результативность («до усовершенствования»).
- Эпоха, соответствующая росту результативности, при котором произошёл переход через точку достоверного отличия от изначальной результативности: промежуток между локальным минимумом, предшествующим росту, и локальному максимуму после преодоления точки неслучайного решения («фронт усовершенствования»).
- Эпоха после преодоления точки достоверного отличия от изначальной результативности («после усовершенствования»).

Для групп не научившихся и не усовершенствовавших для возможности сопоставления с группами, в которых наблюдался процесс обучения/совершенствования были выделены две эпохи:

- Первая половина эксперимента.
- Вторая половина эксперимента.

Указанные в скобках и кавычках значения будут использоваться далее как обозначения вышеописанных интервалов.

Статистические методы обработки данных

На первом этапе проводилась работа по возможному сокращению размерности отведений. Был проведён анализ согласованности полученных результатов между отведениями. В наших предыдущих исследованиях было показано, что мозговое обеспечение при решении задачи различия коротких интервалов времени сходно во фрonto-центральных отведениях, а также в парието-окципитальных (Гладилин и др., 2025), однако данный результат был получен без учёта динамики и оценок взаимосвязей. Для оценки согласованности отведений по показателю взаимосвязей между результативностью и амплитудными характеристиками анализируемых компонентов проводился анализ с помощью показателя согласованности Стандартизированная α .

Для оценки динамики взаимосвязей между показателем результативности и амплитудными характеристиками компонентов ССП был проведён следующий анализ, включавший три этапа:

1) Оценка отличия средней выделенной ковариации от нуля с помощью одновыборочного критерия Стьюдента (сравнение среднего значения ковариации с константой, равной нулю). На каждом из выделенных интервалов использовался массив ковариаций, и затем производилось сопоставление с целью выяснить, отличается ли на каждом интервале распределение ковариаций от нулевого значения или нет. Анализ проводился для каждого участника исследования отдельно.

2) Сравнение ковариаций в разных интервалах в рамках одной и той же группы. Для этого использовались вошедшие в каждый массив ковариации и сопоставлялись друг с другом с помощью критерия Стьюдента. Таким образом, для участников исследования из групп научившихся и усовершенствовавших проводилось по три попарных сравнения (в силу выделения трёх интервалов), а для групп не научившихся и не усовершенствовавших — по одному (сравнение первой и второй половин эксперимента). Анализ также проводился для каждого участника исследования отдельно.

3) Сравнение выделенных интервалов между участниками исследования из разных групп. Формировалась матрица, в которую включались распределения ковариаций на одном из интервалов всех участников исследования из одной группы со всеми участниками исследования в другой группе. Аналогично, сравнения проводились попарно между участниками исследования из выбранных групп.

Полученные на уровне внутрииндивидуальных сравнений результаты обобщались в контексте их воспроизводимости и репрезентативности относительно группы в целом, а не отдельных участников исследования. В силу применения анализа, базирующегося на внутрииндивидуальных сравнениях, за каждым результатом, характеризующим группы и/или процессы обучения/совершенствования, лежит распределение уровней значимости, приведение которых будет неоправданно расширять объём статьи, поэтому результаты приведены в обобщённом виде.

Результаты считались достоверными при уровне значимости $p \leq 0,05$. Уровень тенденции не учитывался.

Результаты

На основе описанных выше критериев были выделены 4 группы участников исследования: не научившихся (3 человека), научившихся (15 человек), не усовершенствовавших навык (6 человек) и усовершенствовавших навык (2 человека). Два участника исследования не были отнесены ни к одной из групп, т.к. показатели их результативности не позволяли сделать однозначный вывод о принадлежности участника исследования к одной из групп, т.е. они находились в «пограничном» положении, и их отнесение к одной из групп могло носить произвольный характер. Также из групп были исключены участники, чьи записи ЭЭГ были артефактными.

При сопоставлении согласованности отведений анализировалась схожесть средних значений ковариаций в трёх ситуациях: выделение фрonto-центрального кластера, парието-окципитального, а также объединение всех отведений в один кластер. Более высокие значения коэффициента Стандартизированная α говорят о более высокой согласованности отведений, включённых в данный кластер. Анализ проводился отдельно для каждого выделенного компонента ССП. Полученные результаты см. в Табл. 2.

Таблица 2

Показатели согласованности отведений при их объединении в разные кластеры по коэффициенту Стандартизированная α .

Компонент	Фрonto-центральный кластер	Парието-окципитальный кластер	Объединение всех отведений в один кластер
1–2	0,91	0,94	0,96
2–3	0,90	0,88	0,94
3–4	0,90	0,88	0,94
4–5	0,89	0,81	0,92
5–6	0,88	0,77	0,92
6–7	0,83	0,92	0,94
7–8	0,90	0,92	0,95
8–9	0,89	0,92	0,95

Примечание: полужирным отмечены максимальные значения по строке.

Как можно увидеть из таблицы, для всех выделенных компонентов были получены максимальные коэффициенты согласованности при объединении всех отведений в один кластер, поэтому показатели ковариаций по всем отведениям были усреднены и считались как интегративный показатель. В отличие от классических методов усреднения ЭЭГ, таких как General potential, где усредняется ЭЭГ до предварительной обработки, наше усреднение высчитывалось из показателей ковариаций выделенных пиков с результативностью на каждом отведении ЭЭГ, что позволяет избежать характерных недостатков традиционных методов усреднений ЭЭГ (напр., формирование «ложных» пиков, появляющихся только при смешении отведений, но не проявляющихся на каждом отведении отдельно).

Анализ взаимосвязи амплитуд компонентов ССП и результативности для выделенных компонентов

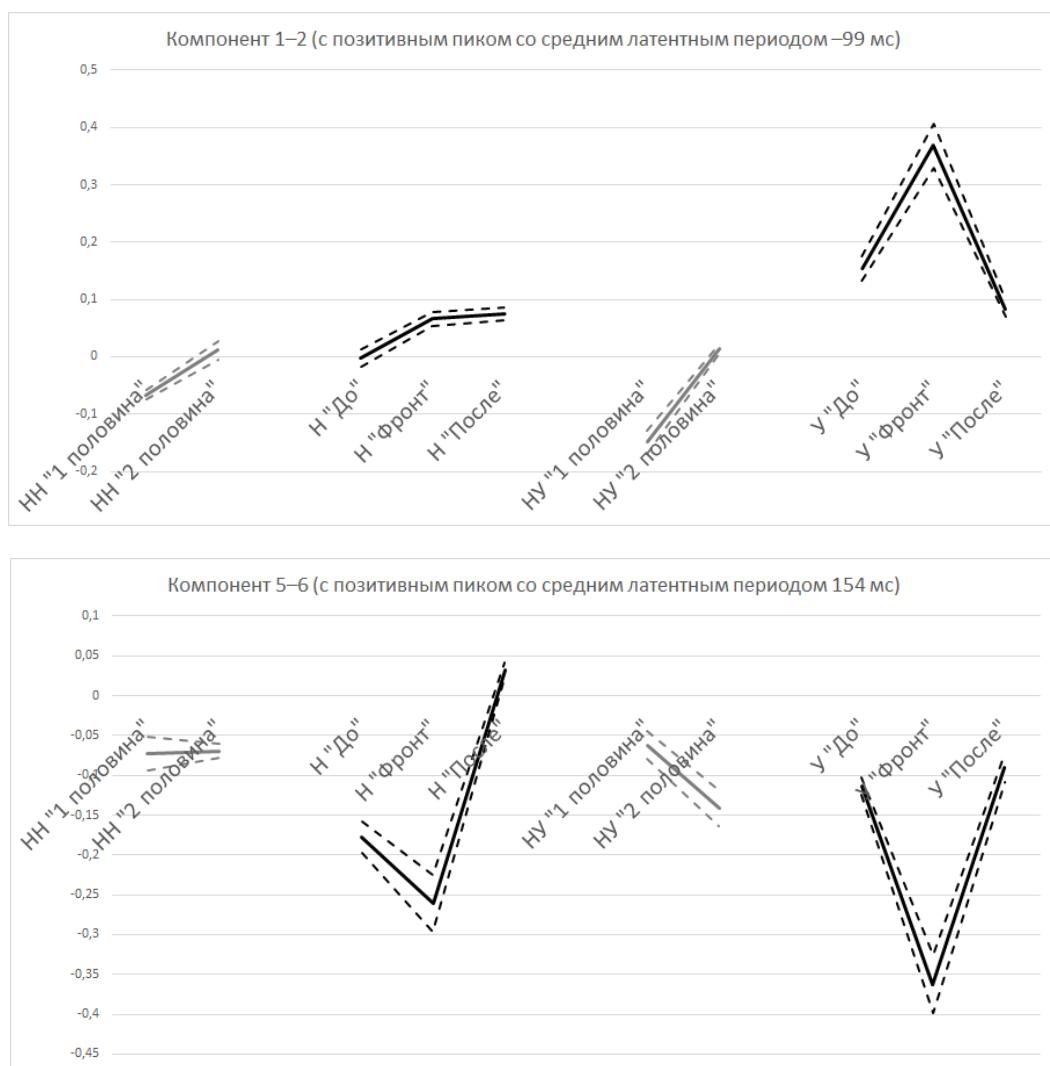
Было показано, что амплитуды разных компонентов имеют разную динамику взаимосвязи с показателями результативности в разных группах участников исследования. Дробление поведенческого акта в момент времени, совпадающий с позитивным/негативным компонентом, является маркером такой системной организации субэтапов поведенческого акта у данного субъекта, при которой обучение происходит с большей/меньшей вероятностью. Анализ взаимосвязи амплитуд выделенных компонентов с результативностью позволяет поделить выделенные компоненты на три условные группы: Компоненты «+» — отражающие протекание системных процессов, которые способствуют эффективности обучения; Компоненты «-» — отражающие протекание системных процессов, которые не способствуют эффективному обучению; Компоненты «0» — выраженность которых не связана с обучением.

К компонентам группы «+» относятся позитивные компоненты 1–2 (со средним латентным периодом -99 мс) и 5–6 (со средним латентным периодом 154 мс). Графическое отображение взаимосвязей у отдельных участников исследования см в рисунок 5. Участники исследования из групп научившихся характеризуются переходом от отсутствующей (компонент 1–2) или обратной (компонент 5–6) к прямой взаимосвязи между амплитудами и результативностью в процессе обучения; при этом максимальные значения наблюдаются либо в процессе обучения, либо после прохождения точки неслучайного решения. Участники исследования из групп не научившихся и не усовершенствовавших характеризуются либо обратной, либо отсутствующей взаимосвязью на всём протяжении эксперимента. Другими словами, при увеличении результативности амплитуды этих компонентов начинают уменьшаться (отмечается тенденция к редуцированию компонента). Относительно компонента 1–2 также необходимо отметить, что группа усовершенствовавших на всех трёх эпохах имеет большие значения ковариаций, нежели все эпохи всех прочих групп. Иллюстрацию динамик амплитуд и результативности в группе научившихся

см. на рисунке 6, на которой видно максимальную синхронность в увеличении результативности и амплитудах компонентов в период научения.

Рисунок 5

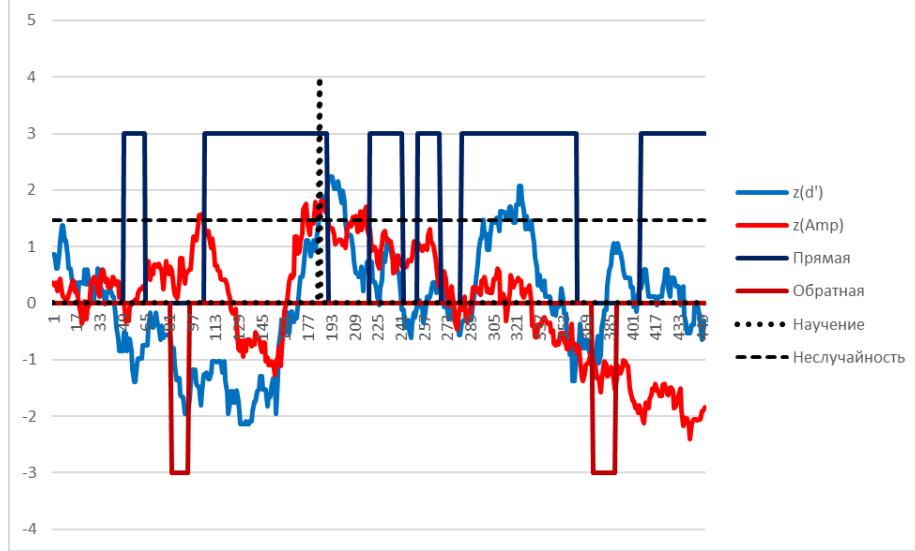
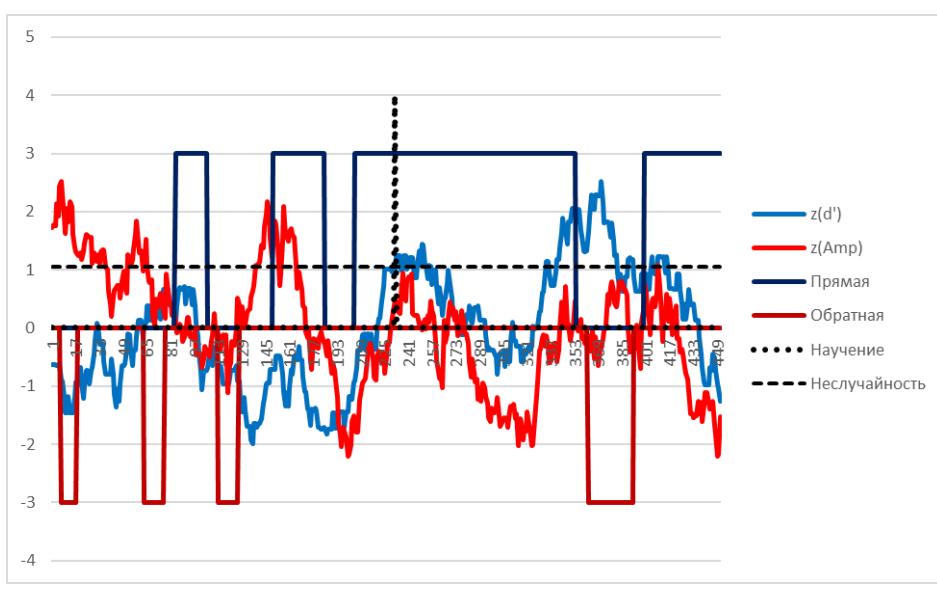
Динамика ковариаций между амплитудами компонентов группы «+» и результативностью



Примечание: приведены данные отдельных участников исследования из 4 групп (НН — не научившиеся; Н — научившиеся; НУ — не усовершенствовавшие; У — усовершенствовавшие). Сплошной линией отмечено среднее значение ковариаций в эпохе, пунктиром — стандартная ошибка среднего. По ординате значения приведены в мкВ.

Рисунок 6

Динамика взаимосвязи амплитуд компонентов 1–2 и 5–6 с результативностью.

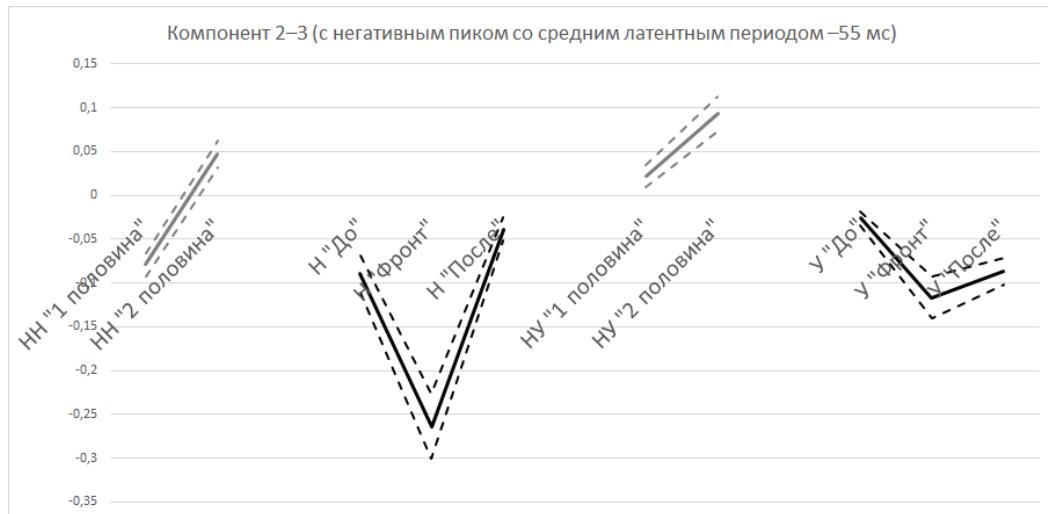


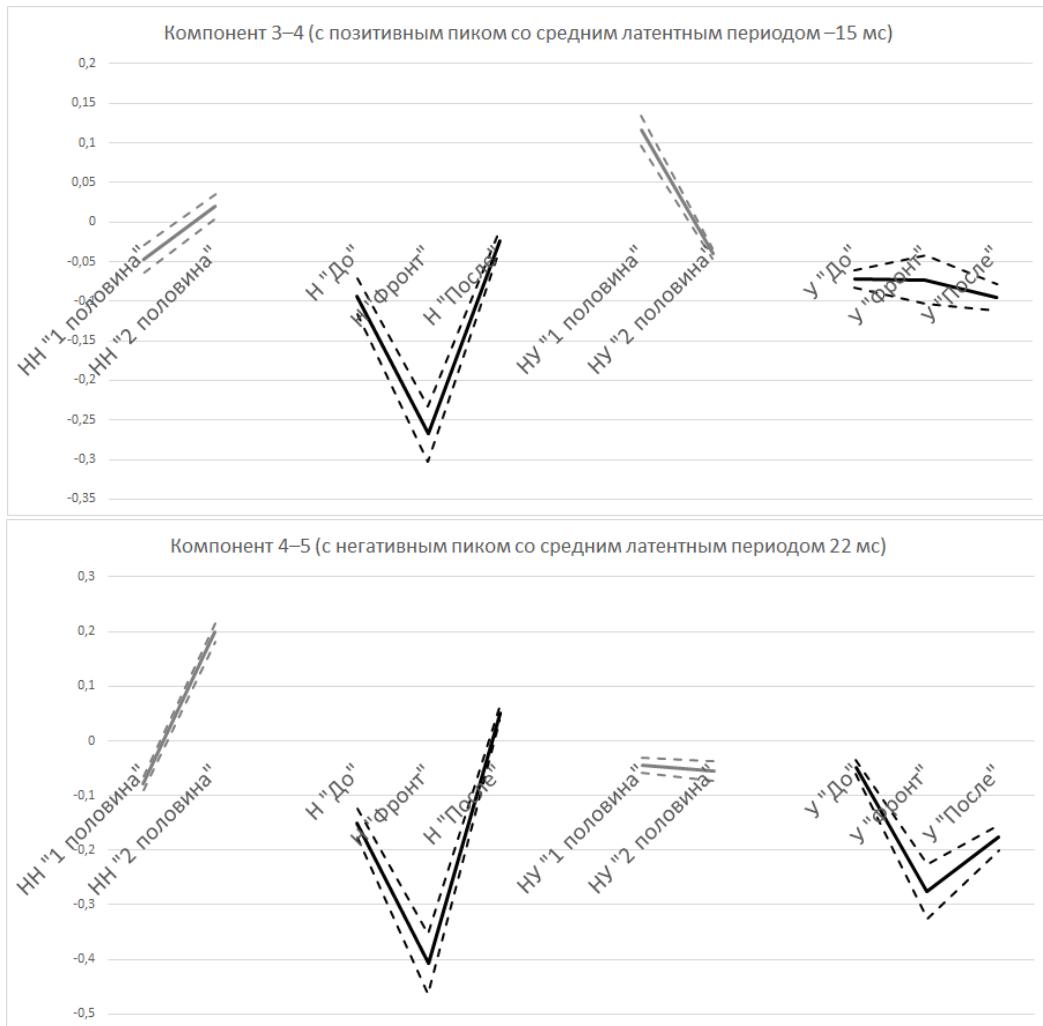
Примечание: Синим цветом помечена динамика результативности, красным — динамика амплитуд. Значения переведены в z-координаты для возможности их прямого сопоставления. Вертикальная линия указывает на момент преодоления точки неслучайного решения. Прямоугольные распределения маркируют достоверные прямые (синий цвет) или обратные (красный цвет) взаимосвязи. Приведены данные отдельных участников исследования из группы научившихся.

К компонентам группы «-» относятся более низкоамплитудные компоненты: 2–3 (негативный, со средним латентным периодом -55 мс), 3–4 (позитивный, со средним латентным периодом -15 мс); 4–5 (негативный, со средним латентным периодом 22 мс). Графическое отображение взаимосвязей у отдельных участников исследования см в рисунке 7. Было показано, что группа научившихся характеризуется обратной взаимосвязью, которая в эпоху «После обучения» стремится к отсутствующей. Наиболее сильная обратная взаимосвязь наблюдается в этой группе в эпоху «Фронт обучения», т.е. во время активной фазы увеличения результативности данные компоненты редуцируются. Группы не научившихся характеризуются прямой взаимосвязью во второй половине эксперимента (негативные компоненты 2–3 и 4–5), а не усовершенствовавших – прямой взаимосвязью в первой половине эксперимента (позитивный компонент 3–4) и в целом более высокими ковариациями во всех эпохах по сравнению с группой научившихся. Относительно компонента 4–5 также нужно отметить, что при сравнении групп имеется тенденция к более высоким ковариациям в группе не научившихся и не усовершенствовавших относительно группы научившихся. Таким образом, можно говорить о том, что рост амплитуд в связи с локальным ростом результативности приводит к тому, что по итогам эксперимента участники исследования из этих групп не демонстрируют достоверную динамику (научение/совершенствование).

Рисунок 7

Динамика ковариаций между амплитудами компонентов группы «-» и результативностью.





Примечание: приведены данные отдельных участников исследования из 4 групп (НН — не научившиеся; Н — научившиеся; Ну — не усовершенствовавшие; У — усовершенствовавшие). Сплошной линией отмечено среднее значение ковариаций в эпохе, пунктиром — стандартная ошибка среднего. По осям значения приведены в мкВ.

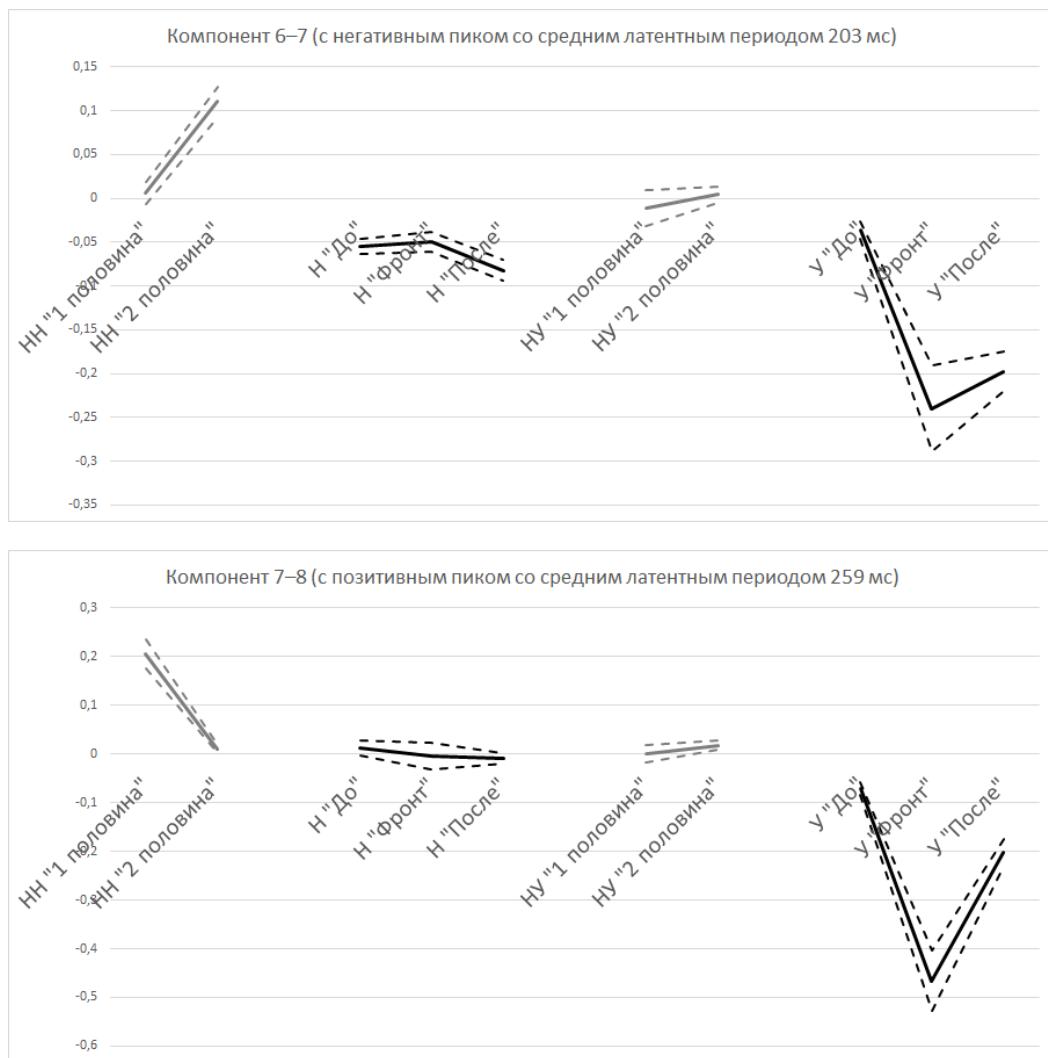
К компонентам группы «0» относятся следующие компоненты: 6–7 (негативный, со средним латентным периодом 203 мс), 7–8 (позитивный, со средним латентным периодом 259 мс), а также более поздний негативный компонент 8–9 (со средним латентным периодом 313 мс). Графическое отображение взаимосвязей у отдельных участников исследования см. в рисунке 8. Компоненты 6–7 и 7–8 являются наиболее стабильными и высокоамплитудными, что можно увидеть на рисунке 9.

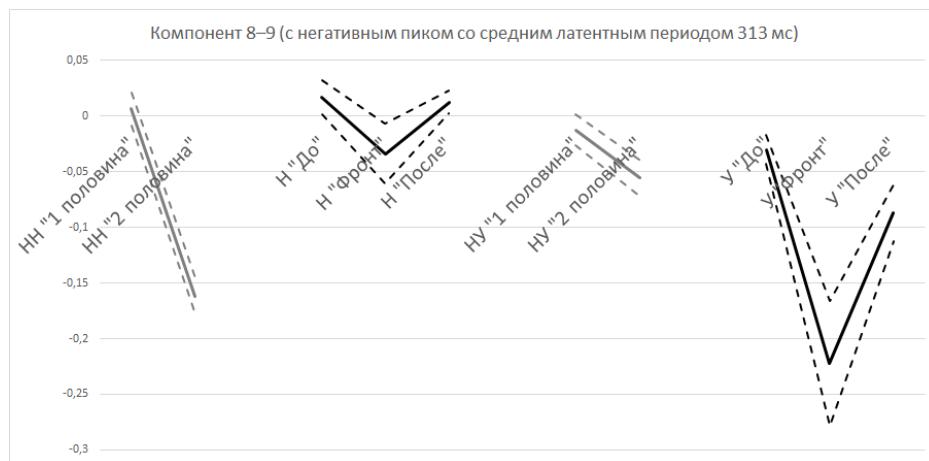
Было показано, что группа не научившихся характеризуется прямыми взаимосвязями между амплитудой компонента 6–7 и результативностью во

второй половине эксперимента и так же прямой взаимосвязью между амплитудой компонента 7–8 и результативностью в первой половине эксперимента. Группа не научившихся имеет наиболее выраженные ковариации, группа усовершенствовавших — минимальные. Группа научившихся не имеет взаимосвязи между амплитудами данных компонентов и результативностью, что позволяет говорить о том, что вне зависимости от результативности данные компоненты выражены, а наличие взаимосвязей является маркером такой системной организации, которая не способствует обучению.

Рисунок 8

Динамика ковариаций между амплитудами компонентов группы «0» и результативностью

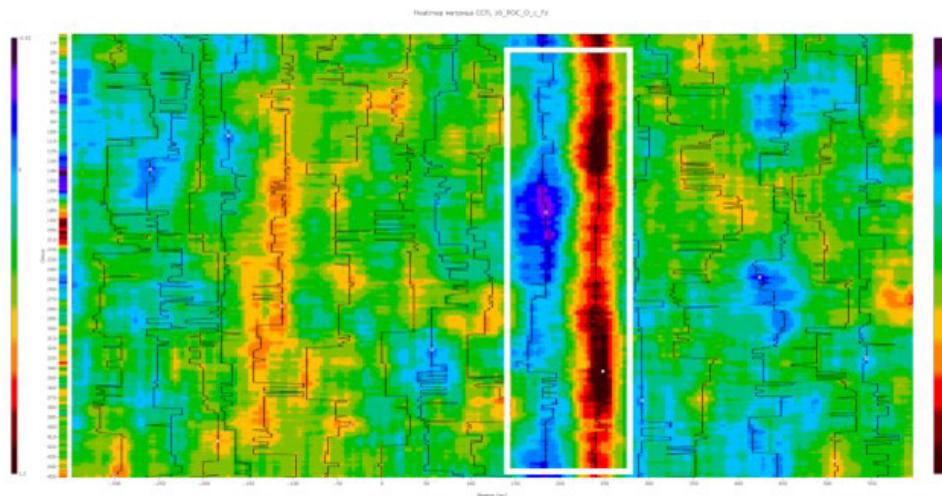




Примечание: приведены данные отдельных участников исследования из 4 групп (НН — не научившиеся; Н — научившиеся; НУ — не усовершенствовавшие; У — усовершенствовавшие). Сплошной линией отмечено среднее значение ковариаций в эпохе, пунктиром — стандартная ошибка среднего. По ординате значения приведены в мкВ.

Рисунок 9

Тепловая карта, иллюстрирующая выраженность компонентов 6–7 и 7–8 (выделены белой рамкой).

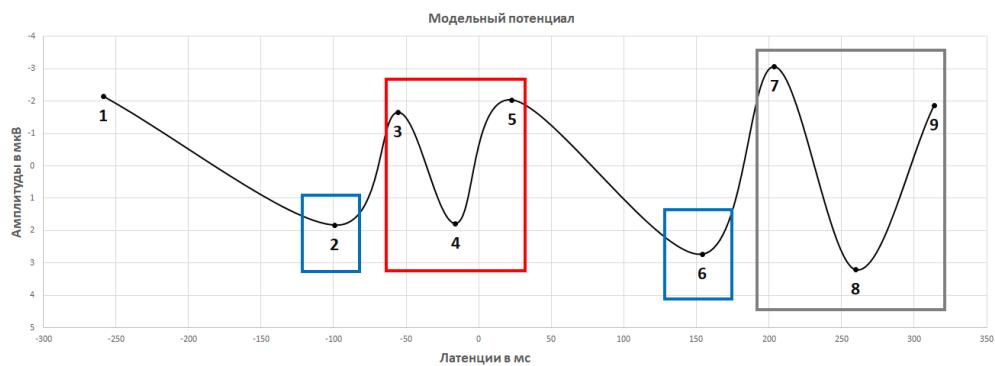


Примечание: По абсциссе отмечено время (за 0 принимается момент начала предъявления оцениваемого сигнала), по ординате сверху вниз: номер окна усреднения от 1 до 451. Синим цветом маркированы негативные колебания, красным — позитивные. Большая интенсивность цвета говорит о высокой амплитуде компонента.

Негативный компонент 8–9 в группе научившихся также характеризуется отсутствием взаимосвязи между его амплитудой и результативностью, однако в группах не научившихся и не усовершенствовавших наблюдается зеркальный относительно предыдущих двух компонентов феномен. Во второй половине эксперимента взаимосвязи становятся обратными. Т.е. при локальном росте результативности данный компонент начинает редуцироваться. В группе научившихся выраженность данного компонента не зависит от результативности, и он проявляется на всём протяжении эксперимента. При сравнении групп можно сказать следующее: группа не научившихся в эпоху «Первая половина» имеет более высокие ковариации, нежели группа научившихся. При этом группа не научившихся в эпоху «Вторая половина» имеет уже менее выраженные ковариации, нежели группа научившихся. Таким образом, можно говорить об обратном соотношении значения ковариаций между группами не научившихся и научившихся. Аналогичный феномен наблюдается при сопоставлении групп не научившихся и не усовершенствовавших с группой усовершенствовавших. В группе усовершенствовавших более высокие ковариации наблюдаются по сравнению с вышеупомянутыми группами в эпоху «После усовершенствования».

Таким образом, было показано, что характеристики компонентов, выделяемых в разные промежутки времени, по-разному связаны с процессом обучения. Обобщение полученных результатов см. в рисунке 10.

Рисунок 10
Модельный потенциал с маркировкой компонентов



Примечание: Синим выделены компоненты, группы «+», красным — компоненты группы «-», серым — компоненты группы «0».

Обсуждение результатов

Было показано, что взаимосвязи между результативностью и амплитудными характеристиками выделенных компонентов различны для разных компонентов. В соответствии с тем, что компоненты ССП могут отражать степень актуализации систем (количество одновременно актуализированных систем опыта) опыта, связанного с разным поведением (Гаврилов, 1987), полученные различия можно интерпретировать следующим образом: реализуемое поведение, связанное с взаимодействием с задачей, различается у участников исследования из разных групп. Учитывая, что компоненты характеризуются разной взаимосвязью между их амплитудой и результативностью, можно говорить о том, что актуализация систем опыта в разные моменты времени может либо «способствовать» процессу обучения/совершенствования, либо же, наоборот, «затруднять» его.

Компонент 1–2 (с позитивным пиком со средним латентным периодом -99 мс), как было показано, относится к группе компонентов «+» (отражающие протекание системных процессов, которые способствуют эффективности обучения). В соответствии с литературой можно было бы ожидать перед началом оцениваемого сигнала появления негативной волны CNV, которая также сопоставляется с оценкой времени (Macar & Vidal, 2004; Kononowicz & Van Rijn, 2011), однако в нашем исследовании наблюдается позитивный пик. С позиций системно-эволюционного подхода данный компонент можно интерпретировать как актуализацию систем опыта, позволяющих реализовывать поведение наблюдения начала предъявляемого сигнала. Можно говорить о том, что актуализация систем опыта перед началом оцениваемого сигнала, является более продуктивным способом реализации поведенческого акта и о том, что с большей вероятностью у индивида произойдут процессы обучения/совершенствования навыка.

У участников исследования из групп не научившихся и не усовершенствовавших этот компонент при увеличении результативности редуцируется, но в большей степени проявляются следующие три малоамплитудных компонента со средними латентными периодами -55 мс, -15 мс и 22 мс. Данные тенденции, по-видимому, говорят о том, что актуализация систем опыта и реализация соответствующего поведения в период начала предъявления оцениваемого сигнала, препятствует улучшению результативности.

Компонент 5–6 (с позитивным пиком со средним латентным периодом 154 мс), характеризуется тем, что при его анализе установление прямой взаимосвязи можно обнаружить после преодоления точки неслучайного решения. Можно предположить, что после приобретения нового навыка формируются системы, актуализирующиеся в данный момент времени предъявления оцениваемого сигнала. Сопоставляя данный компонент с описанными в литературе, по своему латентному периоду он может рассматриваться либо как поздний P100 (Odom et al., 2004), либо как ранний P300 (Polich, 2007). Предполагая, что участнику

исследования необходимо было отслеживать начало предъявления сигнала для оценки длительности его предъявления, можно, в терминах имеющейся литературы, интерпретировать данные и как перестройки активности, связанные со сменой физических параметров среды (Odom et al., 2004) и как «когнитивный» процесс начала оценивания длительности сигнала (Polich, 2007).

Если рассматривать данный компонент как ранний позитивный, связываемый с изменением физических параметров среды (Odom et al., 2004), можно говорить о том, что большее количество систем, связанных с изменением физических параметров среды, может являться предиктором обучения.

Следующие два компонента: идущие друг за другом негативный (со средним латентным периодом 203 мс) и позитивный (со средним латентным периодом 259 мс) имеют наибольшую выраженность, однако в группе научившихся взаимосвязей найдено не было. Устанавливающиеся же прямые взаимосвязи в группах не научившихся и не усовершенствовавших, по-видимому, говорят о том, что наличие вариативности данного компонента является не способствующим эффективному обучению, в отличие от его стабильного проявления в группе научившихся.

Интерпретируя данные компоненты, можно говорить о том, что в данный момент происходит смена этапа (субэтапа) поведенческого акта (Максимова, Александров, 1987). Можно выдвинуть несколько предположений, раскрывающих содержательный аспект данной смены систем поведенческого акта: данная смена набора систем может быть связана с максимальной длительностью одного этапа (субэтапа) поведенческого акта (Безденежных, 1988), либо же маркировать субъективную «середину» длительности предъявления сигнала, что позволяет точнее оценить длительность сигнала в целом (Юдаков и др., 2023).

Компонент 8–9 (с негативным пиком со средним латентным периодом 313 мс) говорит о том, что ко второй половине эксперимента более высокие значения ковариаций наблюдаются в группах научившихся и усовершенствовавших по сравнению с группами не научившихся и не усовершенствовавших. Интерпретируя негативную волну как ожидание смены соотношения со средой (Kononowicz & Van Rijn, 2011), можно говорить о том, что в группах научившихся и усовершенствовавших улучшение результативности связывается с более выраженным ожиданием окончания сигнала и более четкой оценкой временного интервала.

В литературе представлены противоречивые данные относительно того, как изменяются амплитуды выделяемых компонентов в процессе обучения. Имеются работы, где делается утверждение о возрастании компонентов — в первую очередь негативной волны (Poon, 1974; Stuss & Picton, 1978), об уменьшении амплитуд разных компонентов (Peters et al., 1977), о последовательном возрастании амплитуд P300 с последующим уменьшением (McAdam, 1966; Macar & Vitton, 2004) и о последовательном уменьшении амплитуд с последующим ростом (Keceli et al., 2006). Нами было показано, что в процессе обучения амплитуды изменяются в

соответствии с выделением этапов (субэтапов) поведенческого акта. Исходя из этого, можно предположить, что полученные различные результаты по взаимосвязям амплитуд компонентов ССП с результативностью связаны с тем, что в упомянутых исследованиях авторы не разграничивают процессы обучения и совершенствования навыка. Также не учитывается, что в упомянутых исследованиях не учитывается сложность и специфика задач.

Заключение

Подводя итоги анализа описанных компонентов, можно говорить о том, что выделяемые компоненты, их латентные периоды и амплитуды существенно зависят от специфики предлагаемой задачи. На основании анализа литературы и сопоставления её результатов с полученными нами данными можно делать вывод о том, что универсальные закономерности о увеличении/уменьшении амплитуд отсутствуют и могут проявляться только при использовании стандартизованных методик (например, задача простого выбора). Амплитуды возрастают или уменьшаются в процессе обучения в зависимости от того, с каким этапом (субэтапом) поведенческого акта связаны функциональные системы, актуализирующиеся в тот или иной момент времени, что проявляется как негативные или позитивные колебания ЭЭГ.

Нами было показано, что позитивные компоненты со средними латентными периодами -99 мс и 154 мс относятся к группе компонентов «+», отражающих протекание системных процессов, которые способствуют эффективности обучения; негативные и позитивные колебания со средними латентными периодами -55 мс, -15 мс и 22 мс относятся к группе компонентов «-», отражающих протекание системных процессов, которые не способствуют эффективному обучению; а колебания с латентными периодами 203 мс, 259 мс и 313 мс относятся к группе компонентов «0», выраженность которых не связана с обучением, что можно трактовать как необходимость их проявления вне зависимости от динамики результативности.

Литература

- Александров, И. О. (2006). *Формирование структуры индивидуального знания*. Москва: Институт психологии РАН.
- Александров, Ю. И., и др. (2014). Нейронное обеспечение обучения и памяти. В Б. М. Величковский, В. В. Рубцов, & Д. В. Ушаков (ред.), *Когнитивные исследования: сборник научных трудов* (Вып. 6, с. 130–169). Изд-во ГБОУ ВПО МГППУ.
- Апанович, В. В., Арамян, Э. А., Гладилин, Д. Л., Юдаков, К. С., Карпов, С. А., Горкин, А. Г., & Александров, Ю. И. (2022). Разработка и апробация психофизической методики исследования приобретения и совершенствования навыка. *Экспериментальная психология*, 15(3), 222–238.
- Апанович, В. В., Юдаков, К. С., & Егорова, П. И. (2024). Разработка принципа анализа динамики психофизического показателя d' с применением метода «скользящего окна». *Психологический журнал*, 45(5), 65–76.

- Безденежных, Б. Н. (1988). ЭЭГ-корреляты межсистемных отношений в задаче на внимание. В *Психофизиология познавательных процессов: сб. материалов III Советско-финского симпозиума по психофизиологии* (с. 216). АН СССР.
- Гаврилов, В. В. (1987). Соотношение ЭЭГ и импульсной активности нейронов в поведении у кролика. В *ЭЭГ и нейрональная активность в психофизиологических исследованиях* (с. 33–44). Наука.
- Гладилин Д.Л., Апанович В.В., Арамян Э.А., Юдаков К.С., Александров Ю.И. Общемозговой характер процесса различения коротких интервалов времени и его региональная специфичность // Журнал Высшей нервной деятельности. 2025. Т. 75. № 4. С. 450–461.
- Горкин, А. Г. (2021). Фиксация индивидуального опыта поведения в нейронной активности (Дисс. ... д.б.н.). Москва.
- Гусев, А. Н., Измайлова, Ч. А., & Михалевская, М. Б. (1998). *Измерение в психологии: общий психологический практикум* (2-е изд.). Москва: Смысл.
- Забродин, Ю. М., Пахомов, А. П., & Шаповалов, В. И. (1984). Взаимосвязь эффективности обнаружения сигнала. В Ю. М. Забродин (ред.), *Психофизика сенсорных и сенсомоторных процессов*. Наука.
- Лисенкова, Н., & Шпагонова, Н. (2021). Индивидуальные и возрастные особенности восприятия времени взрослыми людьми. *Психологический журнал*, 42(5), 5–16.
- Максимова, Н. Е., & Александров, И. О. (1987). Типология медленных потенциалов мозга, нейрональная активность и динамика системной организации поведения. В *ЭЭГ и нейрональная активность в психофизиологических исследованиях* (с. 44–72). Москва: Наука.
- Скотникова, И. Г. (2003). Психология сенсорных процессов. Психофизика. В В. Н. Дружинин (ред.), *Психология XXI века: учебник для вузов* (гл. 3.1, с. 117–168). ПЕР СЭ.
- Швырков, В. Б. (1995). *Введение в объективную психологию*. Институт психологии РАН.
- Юдаков, К. С., Апанович, В. В., Арамян, Э. А., Гладилин, Д. Л., & Александров, Ю. И. (2023). Отражение формирования навыка различения коротких интервалов времени в параметрах ССП. *Психологический журнал*, 44(6), 48–60.
- Юдаков К.С., Гладилин Д.Л., Апанович В.В., Арамян Э.А., Александров Ю.И. (2025). Описание типичных компонентов ССП, возникающих при решении задачи различения коротких интервалов времени. *Экспериментальная психология*, 18(2), 50–71.
- Donald, M. W. (1980). Memory, learning and event-related potentials. *Progress in Brain Research*, 54, 615–627.
- Jongsma, M. L. A., et al. (2006). Tracking pattern learning with single-trial event-related potentials. *Clinical Neurophysiology*, 117(9), 1957–1973.
- Kececi, H., Degirmenci, Y., & Atakay, S. (2006). Habituation and dishabituation of P300. *Cognitive and Behavioral Neurology*, 19(3), 130–134.
- Kononowicz, T. W., & Van Rijn, H. (2011). Slow potentials in time estimation: The role of temporal accumulation and habituation. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 5, 48.
- Macar, F., & Vidal, F. (2004). Event-related potentials as indices of time processing: A review. *Journal of Psychophysiology*, 18(2–3), 89–104.
- McAdam, D. W. (1966). Slow potential changes recorded from human brain during learning of a temporal interval. *Psychonomic Science*, 6(9), 435–436.
- Odom, J. V., et al. (2004). Visual evoked potentials standard. *Documenta Ophthalmologica*, 108, 115–123.
- Peters, J. F., Billinger, T. W., & Knott, J. R. (1977). Event-related potentials of brain (CNV and P300) in a paired associate learning paradigm. *Psychophysiology*, 14(6), 579–585.
- Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 118, 2128–2148.

- Rösler, F. (1981). Event-related brain potentials in a stimulus-discrimination learning paradigm. *Psychophysiology*, 18(4), 447–455.
- Poon, L. W., et al. (1974). Changes of antero-posterior distribution of CNV and late positive component as a function of information processing demands. *Psychophysiology*, 11(6), 660–673.
- Rüsseler, J., et al. (2003). Differences in incidental and intentional learning of sensorimotor sequences as revealed by event-related brain potentials. *Cognitive Brain Research*, 15(2), 116–126.
- Stuss, D. T., & Picton, T. W. (1978). Neurophysiological correlates of human concept formation. *Behavioral Biology*, 23(2), 135–162.
- Taylor, M. J. (1978). Bereitschaftspotential during the acquisition of a skilled motor task. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 45(5), 568–576.
- Verleger, R., Gasser, T., & Möcks, J. (1985). Short term changes of event related potentials during concept learning. *Biological Psychology*, 20(1), 1–16.

Поступила в редакцию: 04.08.2025

Поступила после рецензирования: 03.09.2025

Принята к публикации: 01.10.2025

Заявленный вклад авторов

Эрик Арамович Арамян — проведение экспериментов, преобразовка и обработка полученных данных.

Дмитрий Леонидович Гладилин — проведение экспериментов, преобразовка полученных данных.

Константин Сергеевич Юдаков — проведение экспериментов, преобразовка полученных данных.

Владимир Викторович Гаврилов — анализ и интерпретация полученных данных.

Виктор Владимирович Знаков — интерпретация полученных данных.

Владимир Викторович Апанович — разработка программы исследования, планирование исследования.

Юрий Иосифович Александров — работа с источниками, критический пересмотр содержания.

Информация об авторах

Эрик Арамович Арамян — младший научный сотрудник лаборатории психофизиологии им. В.Б. Швыркова Института психологии РАН (ИПРАН), Москва, Россия; Researcher ID: ABF-7548-2021, Scopus ID: 58306499700, Author ID: 1055435, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3562-8378>; e-mail: aramyan.eric@gmail.com

Дмитрий Леонидович Гладилин — младший научный сотрудник лаборатории психофизиологии им. В.Б. Швыркова Института психологии РАН; лаборант-исследователь Института экспериментальной психологии МГППУ, Москва, Россия; Researcher ID: NRX-8346-2025, Scopus ID: 58306708900, Author ID: 1130441, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5352-4866>; e-mail: dima.gladilin.psy@gmail.com

Константин Сергеевич Юдаков — младший научный сотрудник лаборатории психофизиологии им. В.Б. Швыркова Института психологии РАН (ИПРАН); преподаватель кафедры экспериментальной психологии и психодиагностики Факультета психологии ГАУГН, Москва, Россия; Researcher ID: GZH-0804-2022, Scopus ID: 58306709000, Author ID: 1169272, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5132-4054>; e-mail: kost05062000@mail.ru

Владимир Викторович Гаврилов — кандидат психологических наук, старший научный сотрудник лаборатории психофизиологии им. В.Б. Швыркова Института психологии РАН (ИПРАН), Москва, Россия; Researcher ID: Q-7775-2016, Scopus ID: 7102623171, Author ID: 89146, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0061-1835>; e-mail: nvvgav@mail.ru

Виктор Владимирович Знаков — доктор психологических наук, главный научный сотрудник лаборатории психологии развития в нормальных и посттравматических состояниях, Москва, Россия; Researcher ID: Q-9382-2016, Scopus ID: 23394398300, Author ID: 75209, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4594-051X>; e-mail: znakov50@yandex.ru

Владимир Викторович Апанович — кандидат психологических наук, научный сотрудник лаборатории психофизиологии им. В.Б. Швыркова Института психологии РАН (ИПРАН); доцент кафедры экспериментальной психологии и психодиагностики Факультета психологии ГАУГН, Москва, Россия; Researcher ID: L-6037-2017, Scopus ID: 57196412588, Author ID: 830296, ORCID ID: <https://orcid.org/0003-3407-6049>; e-mail: apanovitschvv@yandex.ru

Юрий Иосифович Александров — академик РАО, доктор психологических наук, профессор, зав. лаборатории психофизиологии им. В.Б. Швыркова Института психологии РАН (ИПРАН); зав. каф. психофизиологии факультета психологии ГАУГН, Москва, Россия; Researcher ID: O-6826-2015, Scopus ID: 7005342266, Author ID: 74403, ORCID ID: <https://orcid.org/0002-2644-3016>; e-mail: yuraalexandrov@yandex.ru

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.