

Литература:

1. Аликина М. А., Махин С. А., Павленко В. Б. Амплитудно-частотные, топографические, возрастные особенности и функциональное значение сенсомоторного ритма ЭЭГ// Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология и химия. 2016. Т. 2. № 2. С. 3-24.
2. Махин С. А. Система "зеркальных нейронов": актуальные достижения и перспективы ЭЭГ исследований// Ученые записки Таврического нац. университета им. В. И. Вернадского. Биология и химия. 2012. Т.25 (64). №1. С. 142-146.
3. Риццолатти Дж., Синигалья К. Зеркала в мозге: О механизмах совместного действия и сопереживания. М.: Языки славянских культур, 2012. 208 с.
4. Hull R. Clearing the cobwebs from the study of the bilingual brain: Converging evidence from laterality and electrophysiological research / R. Hull, J. Vaid // Handbook of bilingualism: psycholinguistic approaches. Oxford: New York. 2005. P. 480-496.
5. Skoyles J., John R., Gesture Language Origins and Right Handedness// Psychology. 2000. Vol. 11. P. 24 -29.

References:

1. Alikina M. A., Mahin S. A., Pavlenko V. B. Amplitude-frequency, topographic, age - related features and functional significance of the sensorimotor rhythm of the EEG// Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology and chemistry. 2016. Vol. 2. No. 2. P. 3-24.
2. Makhin S. A. the system of "mirror neurons": current achievements and prospects of EEG research// Scientific notes of the Tauride national University. V. I. Vernadsky University. Biology and chemistry. 2012. Vol. 25 (64). No. 1. Pp. 142-146.
3. Rizzolatti J., Sinigaglia K. Mirrors in the brain: On the mechanisms of joint action and empathy. M.: Languages of Slavic cultures, 2012. 208 p.
4. Hull R. Clearing the cobwebs from the study of the bilingual brain: Converging evidence from laterality and electrophysiological research / R. Hull, J. Vaid // Handbook of bilingualism: psycholinguistic approaches. Oxford: New York. 2005. P. 480-496.
5. Skoyles J., John R., Gesture Language Origins and Right Handedness// Psychology. 2000. Vol. 11. P. 24 -29.

*Статья поступила в редакцию 08.08.2020*

*Статья принята к публикации 01.10.2020*

УДК 612.014.423 DOI 10.34985/g5654-1892-1819-1

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СПЕКТРА МОЩНОСТИ ЭЭГ  
В ПОДРОСТКОВОМ И ЮНОШЕСКОМ ВОЗРАСТЕ  
НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ИЗУЧЕНИЯ ХИМИИ**

*<sup>1</sup>Волкова Е. В., <sup>2</sup>Докучаев Д. А.*

*Российская Федерация, Москва*

*Институт психологии РАН*

*<sup>1</sup>volkovaev@ipran.ru <sup>2</sup>dokuchaevda@ipran.ru*

**Аннотация.** Любая деятельность человека, в том числе и образовательная, может быть успешной только тогда, когда она отвечает объективным законам природы. Психическое развитие студентов и школьников не совпадает с ходом образовательного процесса и имеет свою внутреннюю логику, поэтому особо остро возникает вопрос о разработке методов и дизайнов исследования, позволяющих изучать, как в голове студентов и школьников совершаются процессы развития, вызываемые к жизни ходом обучения.

Целью исследования стало изучение внутренних процессов развития респондентов (в терминах показателей спектра мощности ЭЭГ) на разных этапах освоения химии. В эксперименте приняли участие 50 подростков в возрасте 13-15 лет и 15 студентов биохимического факультета Башкирского государственного университета в возрасте 18-27 лет. Для сопоставления показателей биоэлектрической активности мозга во время

осуществления когнитивной деятельности компьютеризированный портативный электроэнцефалограф-регистратор "Энцефалан-ЭЭГР19/26" в модификация "Элит" был синхронизирован с диагностическим программным комплексом "ChemicalDifferentiation". Регистрация показателей спектра мощности ЭЭГ проводилась до (фоновая запись) и во время когнитивного эксперимента.

Показано, что по мере возрастного развития и освоения химии происходит уменьшение показателей спектра мощности ЭЭГ за счёт созревания мозговых структур и формирования концепта *Вещество* (основы химических способностей). Получен парадоксальный результат, требующей дальнейшего исследования. С одной стороны, по мере возрастного развития и освоения химии с увеличением когнитивной сложности наблюдается уменьшение числа отведений, в которых регистрируются статистически значимые различия. С другой стороны, по мере возрастного развития и освоения химии отмечается увеличение числа отведений, в которых обнаруживаются достоверные межуровневые различия (глобальный vs базовый vs детализированный).

**Ключевые слова:** гипотеза нейроэффективности, когнитивная сложность, концепт *Вещество*, уровень организации концепта, время реакции, динамика показателей спектра мощности, подростковый возраст, юношеский возраст

### COMPARATIVE ANALYSIS OF EEG POWER SPECTRUM INDICATORS IN ADOLESCENCE AND YOUTH WITH DIFFERENT LEVELS OF CHEMISTRY MASTERY

*Volkova E. V., Dokuchaev D. A.  
Russian Federation, Moscow  
Institute of Psychology of RAS*

**Abstract.** Any human activity, including education, can be successful only when it follows the objective laws of nature. The mental development of students doesn't coincide with the course of the educational process and has its own internal logic. Therefore, the question of the development of research methods and designs that makes it possible to study how the developmental processes that are brought to life by the course of learning are carried out in the mind of students arises especially acutely.

The goal is to study the internal developmental processes of students (in terms of the EEG power spectrum indicators) at different stages of mastering chemistry. The experiment involved 50 adolescents aged 13-15 years and 15 students of the Faculty of Biochemistry at the age of 18-27 years.. To compare the indicators of bioelectric activity of the brain during cognitive activity, the computerized portable electroencephalograph-recorder "Encephalan-EEGR19 / 26" in the modification "Elite" was synchronized with the diagnostic software package "ChemicalDifferentiation". Check indicators of the power spectrum of EEG was performed before (background) and during a cognitive experiment.

It is shown that with age development and mastery of chemistry, the indicators of the EEG power spectrum decrease due to the maturation of brain structures and the formation of the Substance concept (the basis of chemical competence). A paradoxical result has been obtained that requires further research. On the one hand, with age development and mastery of chemistry with an increase in cognitive complexity, there is a decrease in the number of leads in which statistically significant differences are recorded. On the other hand, with age-related development and mastery of chemistry, an increase in the number of leads is noted, in which significant interlevel differences are found (global vs basic vs detailed).

**Key words:** hypothesis of neuroefficiency, cognitive complexity, concept Substance, level of organization of the concept, reaction time, dynamics of power spectrum indicators, adolescence, youth

**Введение.** Современное образование подошло к такому пределу своего развития, когда эффективное усвоение профессиональных знаний, умений и навыков становится принципиально невозможным без опоры на объективные законы психического развития. Особую остроту данная проблема приобретает в связи с ускоренной цифровизацией жизнедеятельности человека, спровоцированной пандемией COVID, и необходимостью разработки новейших интеллектуальных технологий. Внедрение данных технологий в образование может быть успешно только тогда, когда они будут соответствовать законам психического развития, состоящих в том, что всякое развитие, где бы оно ни происходило, реализуется в направлении от форм, состояний глобальных и недифференцированным, к формам, состояниям всё более дифференцированным и иерархически упорядоченным. Неуклонно возрастающий объём информации, подлежащей переработке и усвоению, принципиально изменяет цели образования - от усвоения знаний, умений и навыков (компетенций) к развитию способностей, и, в первую очередь, системного, профессионального мышления. Чтобы овладеть профессиональным языком, сформировать профессиональное мышление, человек должен выработать, сформировать свои собственные психологические структуры, отражающие ту или иную область предметной реальности, именно в этом вся суть развития общих и специальных способностей в образовательном процессе. С. Л. Рубинштейн отмечал, что когда человек приступает к определённому виду конкретной профессиональной деятельности или готовится к ней, происходят отбор и стереотипизация тех психических процессов, которых объективно требует данный вид деятельности, возникает новая "природная" способность в виде "стереотипизированной системы рефлекторных связей" [8]. Развитие студентов и школьников не совпадает с ходом самого образовательного процесса и имеет свою внутреннюю логику. Поэтому первостепенная задача психологии состоит в разработке методов, аналогичных лучам Рентгена, которые помогли бы осветить, как в голове студентов и школьников совершаются процессы развития, вызываемые к жизни ходом обучения [5].

**Цель** настоящего исследования состоит в изучении внутренних процессов развития респондентов (в терминах возрастных особенностей показателей спектра мощности ЭЭГ) на разных этапах возрастного развития при освоения химии.

**Задачи:**

1. Изучить возрастные различия времени реакции сложного выбора и количества правильных ответов при когнитивной нагрузке разного уровня сложности.
2. Описать возрастные различия показателей спектра мощности ЭЭГ ( $mV^2$ ) при выполнении дифференцировок химических стимул-объектов разного уровня когнитивной сложности.
3. Сопоставить межуровневые различия показателей спектра мощности ЭЭГ ( $mV^2$ ) при выполнении дифференцировок химических стимул-объектов на разных этапах освоения химии.

**Выборка исследования**

В экспериментальном исследовании приняли участие подростки седьмого (13 лет) и восьмого (14-15 лет) классов "Лицея № 42" города Уфа Республики Башкортостан, а также студенты Башкирского государственного университета, профиля биохимия, в возрасте от 18 до 27 лет (2 курс специалитета). Более детальная информация о составе выборки представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Половозрастной состав участников исследования

Всего респондентов - 65							
Юношей - 30				Девушек - 35			
13 лет	14 лет	15 лет	18-27 лет	13 лет	14 лет	15 лет	18-27 лет
8	10	5	7	8	14	5	8

Использованные методики и аппаратура:

1. Компьютеризированный портативный электроэнцефалограф-регистратор "Энцефа-лан-ЭЭГР-19/26", модификации "Элит", фирмы "Медиком-МТД" (Европейский сертификат CE 538571 Британского института стандартов, BSI).

2. Компьютерный диагностический комплекс ChemicalDifferentiation (Волкова, Нилопец, № 2016661340 от 06.10.2016).

Для анализа изменения спектра мощности ЭЭГ в зависимости от уровня сложности дифференцировок химических стимул-объектов электроэнцефалограф-регистратор был синхронизирован с компьютерным диагностическим комплексом ChemicalDifferentiation.

Регистрация проводилась в телеметрическом режиме (30 отведений: O2-A2, O1-A1, P4-A2, P3-A1, C4-A2, C3-A1, F4-A2, F3-A1, Fp2-A2, Fp1-A1, T6-A2, T5-A1, T4-A2, T3-A1, F8-A2, F7-A1, Oz-A2, Pz-A1, Cz-A2, Fz-A1, Fpz-A2, FC3-A1, Fcz-A1, FC4-A2, FT8-A2, TP7-A1, CP3-A1, CPz-A1, CP4-A2, TP8-A2) по схеме 10-20, монополярно, в полосе пропускания 0.5-50 Гц, со скоростью развертки 30 мм/сек. Запись ЭЭГ была просканирована на наличие артефактов, которые устранялись вручную. Эпохи для анализа выбирались после удаления артефактов. Длина одной эпохи - 10 секунд, количество эпох для анализа одной пробы - 6. Такое количество было выбрано по минимальной продолжительности фоновой пробы ЭЭГ. Запись ЭЭГ шла постоянно - как во время фоновой пробы, так и во время дифференцирования формул химических соединений разного уровня сложности: глобальный, базовый, детализированный. На каждом уровне сложности дифференцировок химических стимул-объектов из всей базы стимулов на экране компьютера случайным образом предъявлялось поочередно 42 формулы химических соединений. Задача респондентов состояла в том, чтобы как можно быстрее и безошибочно распределить формулы химических соединений на группы, в соответствии с инструкцией:

- глобальный уровень - на две группы (простые и сложные вещества);
- базовый уровень - на четыре группы (оксиды, кислоты, основания, соли);
- детализированный уровень - на четырнадцать групп (кислотные оксиды, амфотер-ные оксиды, основные оксиды; средние соли, основные соли, кислотные соли, двойные соли, смешанные соли и т. д.).

Регистрировалось время реакции сложного выбора и количество правильных ответов. Более детальное описание компьютерной методики ChemicalDifferentiation и особенностей мыслительных процессов при дифференциации химических соединений по формулам представлены в работах Е. В. Волковой [2].

При цифровой обработке ЭЭГ-сигналов в исследовании использовался спектр мощности (квадрат значения амплитудного спектра,  $mV^2$ ). Возведение амплитуды в квадрат приводит к возрастанию наиболее сильных различий и нивелированию более слабых различий, что обеспечивает повышение устойчивости полученных данных. При количественном анализе под амплитудным спектром подразумевается амплитуда от пика до нуля калибровочного сигнала. Спектральная амплитуда представляет собой усредненное значение на рассматриваемом временном интервале, в отличие от визуального анализа, где выборочно выбираются участки ЭЭГ с наиболее выраженным ритмом. Математической основой спектрального анализа является преобразование Фурье исходных ЭЭГ-данных, которые рассматриваются как случайный процесс. На практике в большинстве случаев применяется метод Кули и Тьюки - расчёт спектра прямым дискретным преобразованием Фурье с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье. В данном исследовании преобразование Фурье выполнялось автоматически программным обеспечением Медиком-МТД [6].

Статистическая обработка данных осуществлялась на базе IBM SPSS Statistics 24: дескриптивный анализ (средняя, стандартное отклонение, медиана, асимметрия и эксцесс),

сравнительный анализ К-связанных выборок (критерий Фридмана) и сравнительный анализ независимых выборок (Н-критерий Краскела-Уоллиса и U-критерий Манна-Уитни).

### Результаты

1. *Возрастные различия времени реакции сложного выбора и количества правильных ответов при когнитивной нагрузке разного уровня сложности*

Для выявления возрастных различий времени реакции сложного выбора и точности выполнения мыслительных операций классификации химических стимул-объектов разного уровня сложности у школьников 7 класса (нет базовых знаний химии), 8 класса (начальный уровень освоения химии) и студентов профиля биохимии, у которых химия является профильным предметом, рассмотрим данные, представленные в таблице 2.

Таблица 2 - Средние показатели времени реакции сложного выбора и количества правильных ответов в зависимости от уровня сложности дифференцировок химических соединений у школьников и студентов на разных стадиях освоения химии

Показатели	Средние значения показателей			Критерий Фридмана	Значимость различий
	Глобальный уровень	Базовый уровень	Детализированный		
<i>7 класс - до изучения химии</i>					
Время реакции сложного выбора, с	3.05±1.26	2.78±1.10	3.23±2.52	2.375	0.305
Количество правильных ответов	27.62±6.04	10.12±4.5	3.81±3.31	32.000	0.000
<i>8 класс - начало изучения химии</i>					
Время реакции сложного выбора, с	4.61±2.82	5.39±4.37	6.14±4.56	14.176	0.001
Количество правильных ответов	32.88±4.81	13.32±7.2	4.64±2.9	66.059	0.000
<i>Студенты профиля - биохимия</i>					
Время реакции сложного выбора, с	2.014±1182	4.008±2.23	3.917±2.23	22.533	0.000
Количество правильных ответов	37.33±4,38	36.40±6,76	23.40±6,51	17.729	0.000

Анализ представленных в таблице 2 данных показывает, что на всех стадиях возрастного развития и освоения химии с возрастанием сложности классификации химических стимул-объектов (когнитивной сложности) возрастает количество ошибочных ответов, т. е. чем сложнее дифференцировка химических соединений, тем меньше правильных ответов. Что касается времени реакции сложного выбора, то аналогична закономерность, а именно: чем сложнее дифференцировка химических соединений, тем больше время реакции сложного выбора, - наблюдается только у студентов и восьмиклассников. У семиклассников, не имеющих даже начального представления о химических соединениях, время, затраченное на базовый уровень сложности дифференцировок химических стимул-объектов, меньше, чем при меньшей когнитивной сложности (глобальный уровень) и большей когнитивной сложности (детализированный уровень) дифференцировок химических стимул-объектов. Следует отметить, что среднее значения показателя *Количество правильных ответов* во всех выборках на всех уровнях когнитивной сложности меньше 95%, что свидетельствует о несформированности концепта *Вещество* не только у школьников, не приступивших ещё к изучению химии, но и у студентов биохимического факультета. Данный факт свидетельствует о том, что образовательный процесс ориентирован только на усвоение знаний, но не на развитие химического мышления как основы химических способностей, обуславливающих снижение учебной перегрузки и высокую продуктивность в профессиональной деятельности химика.

Анализ индивидуальных результатов респондентов показал, что среди семиклассников не нашлось ни одного респондента, у которого был бы сформирован хотя бы один уровень концепта *Вещество*, что вполне ожидаемо; среди восьмиклассников у пяти человек был сформирован глобальный уровень концепта *Вещество*; среди студентов-биохимиков только у семи человек концепт сформирован на глобальном уровне, из них у пяти студентов был сформирован базовый уровень концепта. Следует отметить, что среди участников исследования не нашлось ни одного респондента, у которого был бы сформирован детализированный уровень концепта (количество правильных ответов на этом уровне у всех респондентов существенно ниже 95%) - маркера сформированности химических способностей.

2. *Возрастные различия показателей спектра мощности ЭЭГ (мВ<sup>2</sup>) при выполнении дифференцировок химических стимул-объектов разного уровня когнитивной сложности*

Рассмотрим возрастные различия показателей спектра мощности ЭЭГ (мВ<sup>2</sup>), представленные в таблице 3.

Таблица 3 - Средние значения (медиана) показателей спектра мощности ЭЭГ на разных этапах возрастного развития при дифференцировке химических стимул-объектов разного уровня когнитивной сложности

Отведение	Среднее значение (медиана) показателей спектра мощности ЭЭГ в разных возрастных группах, мВ <sup>2</sup>				Н-критерий Краскела-Уоллиса	Значимость различий
	13-летние, 16 чел.	14-летние, 22 чел.	15-летние, 12 чел.	18-27-летние, 15 чел.		
<i>Глобальный уровень</i>						
O2_A2	8.04 (7.43)	5.12 (4.79)	9.51 (7.81)	2.76 (2.48)	33.132	0.000
O1_A1	10.34 (9.27)	5.91 (5.47)	7.51 (6.21)	2.38 (2.43)	28.432	0.000
P4_A2	6.46 (5.69)	4.73 (4.38)	5.63 (5.48)	2.72 (2.59)	25.579	0.000
P3_A1	5.97 (6.36)	4.96 (3.65)	4.88 (4.23)	2.92 (2.88)	16.433	0.001
T1C3_A1	4.66 (4.39)	4.31 (3.92)	4.99 (4.39)	3.34 (3.54)	9.56	0.023
T6_A2	3.94 (3.75)	2.82 (3.03)	9.51 (7.81)	2.06 (1.71)	16.621	0.001
T5_A1	4.45 (4.05)	3.78 (3.82)	7.51 (6.21)	2.47 (2.22)	7.922	0.048
F7_A1	5.58 (4.76)	3.95 (4.17)	6.09 (4.82)	3.44 (3.73)	11.284	0.01
Oz_A2	7.40 (5.10)	5.48 (4.34)	8.63 (6.55)	3.81 (3.95)	8.113	0.044
Pz_A1	5.85 (5.35)	4.52 (4.32)	7.29 (6.02)	3.44 (3.16)	17.243	0.001
Fz_A1	5.99 (5.89)	5.90 (4.68)	5.66 (6.00)	4.01 (3.99)	8.557	0.036
FC3_A1	4.80 (4.31)	4.71 (3.76)	7.27 (3.91)	3.16 (2.93)	7.567	0.056
Fcz_A1	6.23 (5.90)	5.27 (4.92)	4.97 (5.12)	3.49 (3.49)	8.338	0.04
FC4_A2	5.88 (5.61)	4.18 (4.23)	4.58 (4.97)	4.14 (3.79)	8.035	0.045
FT8_A2	4.05 (3.87)	4.29 (3.61)	4.74 (3.94)	2.63 (2.78)	13.514	0.004
CP3_A1	5.29 (5.24)	4.43 (4.62)	5.28 (5.23)	2.81 (2.88)	12.441	0.006
CPz_A1	6.56 (6.24)	4.85 (4.52)	5.85 (3.96)	3.02 (3.12)	13.819	0.003
CP4_A2	5.31 (5.05)	3.84 (3.32)	4.18 (4.26)	3.70 (3.78)	8.191	0.042
TP8_A2	4.69 (4.33)	3.63 (2.91)	4.64 (4.33)	3.30 (3.20)	10.773	0.013
<i>Базовый уровень</i>						
O2_A2	7.16 (6.29)	4.50 (4.32)	5.35 (4.22)	2.16 (2.11)	14.146	0.003
O1_A1	7.99 (4.59)	5.28 (2.96)	3.27 (3.40)	1.81 (1.65)	15.884	0.001
P4_A2	5.72 (4.56)	4.25 (3.83)	3.75 (3.52)	2.65 (2.46)	15.949	0.001
P3_A1	4.89 (4.08)	3.63 (3.71)	3.60 (4.02)	2.73 (2.92)	17.888	0.000

C3_A1	4.91 (4.39)	3.93 (3.78)	3.93 (3.90)	3.20 (3.18)	11.485	0.009
T6_A2	5.58 (4.99)	3.14 (2.97)	4.13 (4.01)	1.84 (1.45)	27.112	0.000
Oz_A2	8.54 (7.54)	5.77 (5.20)	7.88 (7.37)	2.73 (2.65)	27.527	0.000
Pz_A1	6.00 (5.25)	4.76 (4.67)	4.90 (4.53)	3.23 (3.45)	20.514	0.000
FC4_A2	4.87 (4.46)	4.28 (4.42)	4.08 (4.32)	3.54 (4.15)	10.516	0.015
FT8_A2	4.03 (3.81)	4.06 (3.44)	3.48 (3.24)	2.63 (2.94)	9.598	0.022
CP3_A1	3.97 (3.59)	3.46 (3.41)	3.35 (3.37)	2.56 (2.40)	11.645	0.009
Срз_A1	4.41 (4.03)	4.18 (3.60)	2.60 (2.72)	2.88 (3.06)	11.603	0.009
TP8_A2	4.69 (4.29)	3.72 (3.20)	3.37 (3.20)	3.03 (2.79)	7.201	0.066

Продолжение таблицы 3						
<i>Детализированный уровень</i>						
O2_A2	8.93 (8.20)	5.93 (5.17)	9.93 (8.54)	2.63 (2.57)	28.845	0.000
O1_A1	9.85 (5.63)	5.42 (4.34)	4.99 (4.26)	2.39 (2.57)	23.001	0.000
P4_A2	5.73 (5.17)	4.49 (4.09)	4.87 (5.09)	3.11 (2.24)	12.929	0.005
P3_A1	4.54 (3.98)	3.89 (3.87)	3.19 (3.40)	3.15 (3.24)	11.191	0.011
C4_A2	3.21 (3.93)	4.23 (3.86)	1.96 (2.93)	4.39 (3.75)	2.713	0.438
T6_A2	4.27 (4.01)	3.18 (3.15)	3.71 (3.96)	2.20 (1.88)	14.484	0.002
Oz_A2	10.14 (9.16)	6.59 (5.27)	11.02 (9.45)	3.47 (3.77)	21.503	0.000
Pz_A1	5.69 (5.19)	4.89 (5.07)	5.18 (5.09)	3.86 (3.79)	8.765	0.033
FT8_A2	4.68 (4.19)	4.14 (4.15)	4.33 (4.17)	3.08 (2.77)	10.475	0.015

Анализ данных позволяет выявить достоверные возрастные различия показателя спектра мощности ЭЭГ при выполнении дифференцировок разного уровня сложности в отведениях O2, O1, P4, P3, T6, Oz, TP8. В отведениях C3, Pz, Срз значимые возрастные различия обнаружены только при выполнении глобального и базового уровня когнитивной сложности дифференцировок химических стимулов объектов. Следует отметить, что значимых возрастных различий при выполнении простых дифференцировок больше, чем при выполнении сложных и сложнейших дифференцировок (19 vs 13 vs 9), то есть чем выше уровень когнитивной сложности, тем меньше отведений, в которых регистрируются достоверные возрастные различия показателей спектра мощности ЭЭГ. Возрастные различия показателей спектра мощности ЭЭГ свидетельствуют о значимом изменении механизмов мозгового обеспечения мыслительных операций (в данном случае операции классификации), причём в случае простых классификаций это различие выражено в большей мере, по сравнению с более сложными классификациями.

*3. Межуровневые различия показателей спектра мощности ЭЭГ ( $mV^2$ ) при выполнении дифференцировок химических стимулов-объектов на разных этапах освоения химии*

Рассмотрим межуровневые (глобальный vs базовый vs детализированный уровень концепта *Вещество*) различия показателей спектра мощности ЭЭГ ( $mV^2$ ) на разных стадиях возрастного развития и освоения химии, представленные в таблице 4.

Сопоставление средних показателей спектра мощности ЭЭГ ( $mV^2$ ) при выполнении дифференцировок химических стимулов-объектов разного уровня сложности у подростков до освоения химии позволило выявить значимые различия только в отведении F4-A2, в то время как у подростков на начальном этапе освоения химии достоверные различия обнаружены в отведениях O2-A2, F4-A2, Fpz-A2, T3-A1, Oz-A2 (затылочная, правая лобная и височно-теменная области коры головного мозга). Данные изменения могут быть обусловлены как фактом возрастающей сложности классификации формул химических соединений, результатом освоения химии, так и половозрастными различиями, связанными с

особенностями созревания коры головного мозга у подростков в 13 и 14 лет, о чем свидетельствует визуальный анализа участков спектрограммы ЭЭГ с наиболее выраженным ритмом (рисунок 1 и 2).

На рисунке 1 представлена электроэнцефалограмма тринадцатилетнего подростка в пассивном бодрствовании (сидя, глаза закрыты, тело расслабленно). На данной записи присутствует невыраженный альфа-ритм в затылочных и центрально-теменных отведениях. Основные характеристики этого ритма (градиент и модуляция) выражены слабо. На рисунке 2 представлена электроэнцефалограмма четырнадцатилетнего подростка в пассивном бодрствовании (сидя, глаза закрыты, тело расслабленно). В данном случае отмечается выраженный альфа-ритм в затылочных и центрально-теменных отведениях и элементы гиперсинхронизации. Основные характеристики альфа-ритма (теменно-затылочный градиент и модуляция) хорошо выражены.

Таблица 4 - Средние значения (медиана) показателей спектра мощности ЭЭГ ( $mV^2$ ) при выполнении дифференцировок химических соединений возрастающей когнитивной сложности на разных этапах освоения химии

Отведения	Средние значения (медиана) показателей спектра мощности ЭЭГ, $mV^2$			Критерий Фридмана	Значимость различий
	Глобальный уровень	Базовый уровень	Детализированный уровень		
<i>7 класс - до изучения химии</i>					
F4-A2	4.59 (4.47)	6.07 (5.58)	6.41 (5.71)	6.500	0.039
<i>8 класс - начало изучения химии</i>					
O2_A2	6.41 (4.79)	4.75 (4.32)	7.10 (5.17)	12.882	0.002
F4-A2	4.23 (3.19)	4.75 (4.34)	5.47 (5.27)	8.176	0.017
T3-A1	3.86 (3.45)	3.07 (2.16)	3.55 (2.26)	9.176	0.001
Oz-A2	6.41 (4.34)	6.39 (5.19)	7.89 (5.28)	7.824	0.020
Fpz-A2	6.33 (5.49)	5.98 (4.82)	7.62 (5.79)	6.059	0.048
<i>Студенты профиля биохимия</i>					
O2_A2	2.76 (2.48)	2.16 (2.11)	2.63 (2.57)	10.133	0.006
O1_A1	2.38 (2.43)	1.81 (1.65)	2.39 (2.57)	9.733	0.008
C4_A2	3.43 (3.13)	3.53 (3.49)	4.39 (3.75)	12.400	0.002
C3_A1	3.34 (3.54)	3.20 (3.18)	3.81 (3.87)	7.600	0.022
F4_A2	3.48 (3.43)	4.12 (3.98)	4.87 (5.07)	9.733	0.008
Fp2_A2	5.88 (6.35)	8.80 (9.64)	9.65 (11.47)	9.733	0.008
Fp1_A1	4.78 (5.13)	5.87 (6.27)	7.32 (7.93)	9.733	0.008
T6_A2	2.06 (1.71)	1.84 (1.45)	2.20 (1.88)	8.133	0.017
T3_A1	2.99 (2.95)	2.88 (2.95)	3.39 (3.47)	8.933	0.011
F8_A2	4.69 (5.02)	5.30 (5.48)	6.22 (6.43)	9.733	0.008
F7_A1	3.44 (3.73)	3.59 (3.66)	4.12 (4.27)	8.400	0.015
Oz_A2	3.81 (3.95)	2.73 (2.65)	3.47 (3.77)	12.133	0.002
Pz_A1	3.44 (3.16)	3.23 (3.45)	3.86 (3.79)	16.533	0.000
Cz_A2	3.81 (3.64)	4.07 (4.24)	4.90 (5.08)	13.000	0.002
Fz_A1	4.01 (3.98)	4.16 (4.29)	4.92 (5.02)	8.400	0.015
FC3_A1	3.16 (2.93)	3.18 (2.32)	3.76 (2.96)	8.933	0.011
Fcz_A1	3.49 (3.49)	3.54 (4.14)	4.11 (4.66)	9.000	0.011
FC4_A2	4.14 (3.79)	3.51 (4.03)	4.30 (4.34)	12.400	0.002
TP7_A1	3.40 (3.14)	3.08 (2.96)	4.14 (3.82)	14.800	0.001
CP4_A2	3.70 (3.77)	3.28 (3.59)	3.87 (4.24)	14.533	0.001
CP3_A1	2.81 (2.88)	2.55 (2.40)	2.93 (2.91)	11.200	0.004
Cpz_A1	3.02 (3.12)	2.88 (3.06)	3.28 (3.62)	9.733	0.008
CP4_A2	3.70 (3.77)	3.28 (3.59)	3.87 (4.24)	14.533	0.001

TP8_A2	3.30 (3.20)	3.03 (2.79)	4.21 (3.22)	8.400	0.015
--------	-------------	-------------	-------------	-------	-------

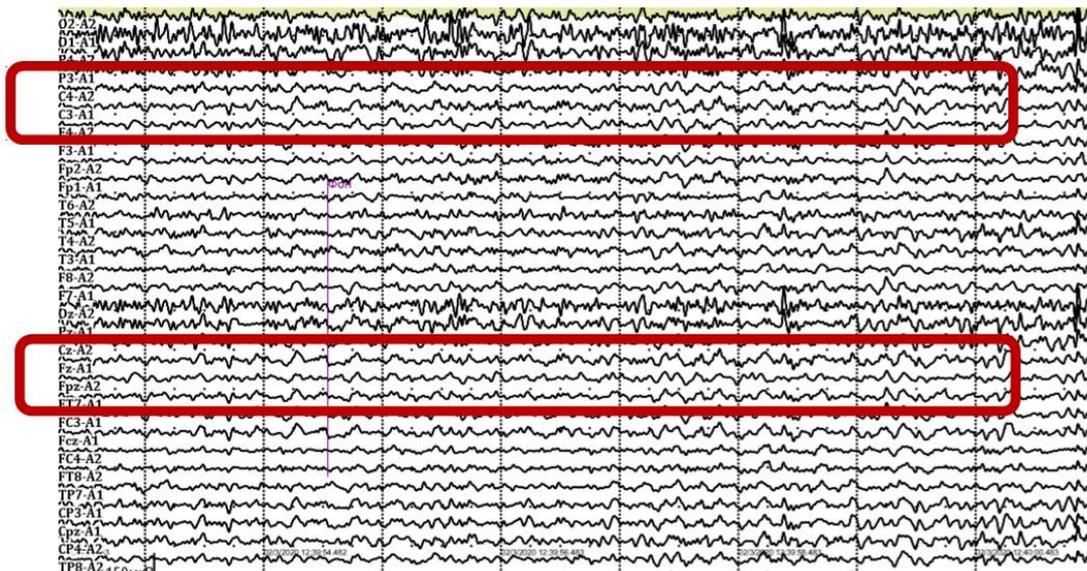


Рисунок 1 - Фрагмент фоновой записи энцефалограммы тринадцатилетнего учащегося. Процесс "созревания" альфа-ритма

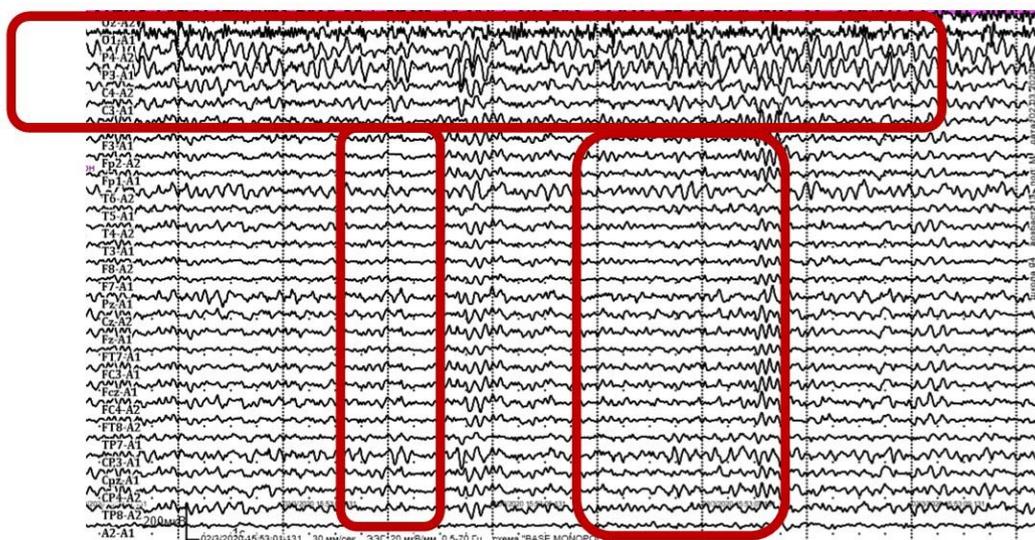


Рисунок 2 - Фрагмент фоновой записи энцефалограммы четырнадцатилетнего учащегося. Более "зрелый" альфа-ритм

У студентов второго курса специалитета по профилю биохимия статистически значимые межуровневые изменения показателей спектра мощности ЭЭГ наблюдаются в 24 отведениях, охватывающих все основные области коры головного мозга в правом и левом полушариях, что может быть связано с окончательным созреванием коры больших полушарий. Сопоставление данных представленных в таблице 4 позволяет прийти к заключению о возрастании межуровневых значимых различий по мере возрастного развития и освоения химии.

#### Обсуждение результатов

Сопоставление возрастных различий показателей спектра мощности ЭЭГ при выполнении дифференцировок химических стимул-объектов разного уровня когнитивной сложности (таблица 3) и межуровневых различий показателей спектра мощности ЭЭГ при выполнении дифференцировок химических стимул-объектов на разных этапах освоения химии (таблица 4) привело к парадоксальному результату. С одной стороны, по мере возрастного развития и освоения химии с увеличением когнитивной сложности отмечается уменьшение числа отведений, в которых регистрируются статистически значимые различия. С другой стороны, по мере возрастного развития и освоения химии отмечается увеличение числа отведений, в которых обнаруживаются достоверные межуровневые (глобальный vs базовый vs детализированный) различия [4]. Данный парадоксальный результат может быть объяснён в рамках теоретических подходов Д. А. Фарбер [12; 13] и Н. И. Чуприковой [10; 11]. Биологические, биохимические и физиологические процессы созревания коры больших полушарий мозга активно происходят в 13-14 лет и заканчиваются к 18-21 году, что обуславливает большую нейроэффективность деятельности мозга в терминах уменьшения показателей спектра мощности ЭЭГ. Однако чем выше когнитивная сложность познавательной деятельности, тем требуется большая дискриминативная способность мозга к концентрации и разграничению очагов и потоков нервных возбуждений в соответствующих нервных структурах [2; 11], что в случае несформированного концепта проявляется в возрастании межуровневых различий спектра мощности ЭЭГ [3].

В связи с тем, что кора головного мозга у студентов сформирована, и выше уровень знаний по химии, спектрально-мощностные характеристики у них ниже, чем у школьников, что согласуется с данными Е. В. Волковой [2] о более высокой нейроэффективности [14] более успешных химиков, по сравнению с менее успешными. У восьмиклассников (начальный этап освоения химии) мощностные характеристики ЭЭГ сигнала выше, чем у семиклассников, не приступивших ещё к изучению химии. Основные зоны коры, в которых наблюдаются статистически значимые различия, это затылочная, височные, теменные (как правые, так и левые) и правая лобная. С увеличением уровня сложности дифференцировок отмечается увеличение активности в затылочной области и уменьшение - в лобной (затылочно-лобный градиент). Это может быть связано как с ростом утомляемости [7; 9], так и отражать специфику химического мышления, но проверка этого предположение требует дополнительных исследований.

#### Выводы:

1. Чем выше уровень когнитивной сложности операций классификации химических соединений, тем больше затрачивается времени на выполнение заданий, и меньше количество правильных ответов.
2. Чем выше уровень когнитивной сложности, тем меньше отведений, в которых регистрируются достоверные возрастные различия показателей спектра мощности ЭЭГ.
3. По мере возрастного развития и освоения химии возрастают межуровневые различия показателей спектра мощности ЭЭГ.
4. С увеличением уровня сложности дифференцировок отмечается увеличение активности в затылочной области и уменьшение - в лобной (затылочно-лобный градиент).

#### Литература:

1. Бойко Е. И. Механизмы умственной деятельности. Избр. психол. труды / под ред. А. В. Брушлинского и Т. Н. Ушаковой. М. Московский психолого-социальный инст., Воронеж: НПО "МОДЭК", 2002.
2. Волкова Е. В. Общий универсальный закон развития, развитие когнитивных структур химического знания и химические способности. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2008.
3. Волкова Е. В., Талантов Д. А. Динамика показателей спектра мощности ЭЭГ при формировании концепта Вещество // Вестник психофизиологии. 2019. № 3. С. 23-37.
4. Волкова Е. В., Докучаев Д. А. Изменение спектра мощности ЭЭГ в зависимости от уровня сложности дифференцировок химических соединений у школьников на разных стадиях освоения химии /

- Способности и ментальные ресурсы человека в мире глобальных перемен. М.: Изд-во "Институт психологии РАН", 2020. С. 1817-1827.
5. Выготский Л. С. Педагогическая психология. М.: Педагогика-Пресс, 1996.
  6. Кулаичев А. П. Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2007. С.178-230.
  7. Привес М. Г., Лысенков Н. К., Бушкович В. И. Анатомия человека. 11-е изд., перераб. и доп.. СПб.: Изд-во "Гиппократ", 2001. С. 704.
  8. Рубинштейн С. Л. Бытие и сознание. Человек и мир. СПб.: Питер, 2003.
  9. Синельников Р. Д., Синельников Я. Р., Синельников А. Я. Атлас анатомии человека : учебное пособие: В 4 т. Т.4. 7-е изд., перераб.. М.: Изд-во "Новая Волна", 2010.
  10. Чуприкова Н. И. Время реакции человека: Физиологические механизмы, вербально-смысловая регуляция, связь с интеллектом и свойствами нервной системы. М.: Изд. Дом ЯСК, 2019.
  11. Чуприкова Н. И. Психика - предмет психологии в свете достижений современной нейронауки // Вопросы психологии. 2004. № 2. С. 104-118.
  12. Фарбер Д. А. Функциональное созревание мозга в раннем онтогенезе. М.: Просвещение, 1969.
  13. Фарбер Д. А., Семёнова Л. К., Алфёрова В. В. Структурно-функциональное созревание развивающегося мозга. Л.: Наука, 1990.
  14. Neubauer A. C., Fink A. Intelligence and neural efficiency: Measures of brain activation versus measures of functional connectivity in the brain // Intelligence. 37(2). 2009. P. 223-229.

**References:**

1. Boyko E.I. Mechanisms of mental activity. Fav. Psychol works / Edited by A.V. Brushlinsky and T.N. Ushakova. M. Moscow psychological and social inst., Voronezh: NPO MODEK, 2002.
2. Volkova E.V. General universal law of development, development of cognitive structures of chemical knowledge and chemical abilities. Ekaterinburg: Publishing house of the Ural University, 2008.
3. Volkova E.V., Talantov D.A. Dynamics of EEG power spectrum indicators in the concept "substance" formation // Bulletin of psychophysiology, 2019. No. 3. P. 23-37.
4. Volkova E.V., Dokuchaev D.A. Dynamics of EEG power spectrum depending on the complexity of recognition of chemical compounds in adolescence / Human abilities and mental resources in the world of global changes. M. : Publishing house "Institute of Psychology RAS", 2020.P. 1817-1827.
5. Vygotsky L.S. Pedagogical psychology. M. : Pedagogika-Press, 1996.
6. Kulaichev A.P. Computer electrophysiology and functional diagnostics. Ed. 4th, rev. and add. M. : INFRA-M, 2007.S. 178-230.
7. Prives M.G., Lysenkov N.K., Bushkovich V.I. Human anatomy. 11th ed., Rev. and additional ..SPb .. Publishing house "Hippocrates", 2001. P. 704.
8. Rubinstein S.L. Being and consciousness. Man and the world. SPb. : Peter, 2003.
9. Sinelnikov R.D., SinelnikovYa.R., SinelnikovA.Ya. Atlas of Human Anatomy: Textbook. manual: In 4 volumes. V.4. 7th ed., Revised.M. : Publishing house "New Wave", 2010.
10. Chuprikova N.I. Human reaction time: Physiological mechanisms, verbal-semantic regulation, connection with intelligence and properties of the nervous system. M. : Publishing House L.S.C., 2019.
11. Chuprikova N.I. Psyche - the subject of psychology in the light of the achievements of modern neuroscience // Questions of psychology. 2004. No. 2. P. 104-118.
12. Farber D.A. Functional brain maturation in early ontogenesis. M. : Education, 1969.
13. Farber D.A., Semyonova L.K., Alferova V.V. Structural and functional maturation of the developing brain. L. : Nauka, 1990.
14. Neubauer A.C., Fink A. Intelligence and neural efficiency: Measures of brain activation versus measures of functional connectivity in the brain // Intelligence 37(2). 2009. P. 223-229.

*Статья поступила в редакцию 14.09.2020*

*Статья принята к публикации 15.10.2020*

**УДК 612.821+159.91**

**ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЛИЧНОСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ  
ЮНОШЕЙ И ДЕВУШЕК СТУДЕНЧЕСКОГО ВОЗРАСТА**

*<sup>1</sup>Климов В. М., <sup>2</sup>Лебедев А.В., <sup>2</sup>Айзман Р. И.*

*Российская Федерация, Новосибирск*

*<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет*

*<sup>2</sup>Новосибирский государственный педагогический университет*

*klvl77@yandex.ru*