

Научный обзор

К ОЦЕНКЕ РИСКА НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ НА ЦЕНТРАЛЬНУЮ НЕРВНУЮ СИСТЕМУ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ (ОБЗОР). ЧАСТЬ 2. ПАРАМЕТРЫ КОГНИТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

Н.И. Хорсева¹, П.Е. Григорьев^{2,3}

¹Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля РАН, Российская Федерация, 119334, г. Москва, ул. Косыгина, 4

²Севастопольский государственный университет, Российская Федерация, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

³Академический научно-исследовательский институт физических методов лечения, медицинской климатологии и реабилитации имени И.М. Сеченова, Российская Федерация, 298603, г. Ялта, ул. Мухина, 10/3

Данная публикация является продолжением обзора, где рассмотрены вопросы моделирования электромагнитных полей радиочастот (ЭМП РЧ), результаты изменений параметров электроэнцефалографии, сенсомоторных реакций, утомления, работоспособности, воспроизведения заданного ритма и индивидуальной минуты детей и подростков – пользователей мобильной связью.

Оценка рисков для здоровья всегда базируется на данных лабораторных или эпидемиологических исследований. В данной публикации проведен анализ работ, описывающих эффекты воздействия ЭМП РЧ, включая Wi-Fi, на когнитивные процессы детей и подростков и методические подходы к изучению этого воздействия. Однако таких исследований немного, в частности, результаты воздействия Wi-Fi на когнитивные параметры подростков 14–17 лет были найдены всего в двух публикациях.

Анализ литературы показал, что не всегда полученные результаты имеют однозначный ответ о влиянии ЭМП РЧ. Рассмотрены и причины неоднозначной трактовки полученных результатов: разнообразный арсенал тест-систем, применяемых для изучения параметров когнитивных процессов; одновременный анализ однократных воздействий, в том числе с описанием «эффекта улучшения» параметров; регистрация изменений когнитивных показателей для группы детей и подростков с широким возрастным диапазоном.

Тем не менее большинство результатов указывают на негативные изменения со стороны внимания и памяти у детей и подростков. В связи с этим особую важность приобретает метод лонгитюдных исследований, который позволяет оценить изменения тех или иных показателей в динамике, в том числе и при изменении режима пользования мобильными телефонами. Отмечена актуальность всесторонних исследований последствий влияния на человека ЭМП РЧ, присущих технологиям 5G, с учетом их повсеместного внедрения.

Ключевые слова: электромагнитное поле радиочастотного диапазона, Wi-Fi, центральная нервная система, головной мозг, внимание, память, дети, подростки.

Несмотря на актуальность проблемы, исследований по изучению воздействия электромагнитных полей радиочастот (ЭМП РЧ) на когнитивные процессы детей и подростков не так много. И в рамках данной публикации будут представлены исследования изменений когнитивных процессов у детей и подростков – пользователей мобильной связью в первую очередь при хроническом воздействии ЭМП РЧ.

В настоящее время в обзорах, посвященных анализу проведенных исследований в этой области, авторы подчеркивают неоднозначность и даже противоречивость результатов, полученных при изучении воздействия ЭМП РЧ на параметры когнитивных процессов детей и подростков [1, 2].

Осторожный подход к оценке воздействия ЭМП РЧ, в том числе на когнитивные показатели

© Хорсева Н.И., Григорьев П.Е., 2024

Хорсева Наталья Игоревна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физико-химических проблем радиобиологии и экологии (e-mail: sheridan1957@mail.ru; тел.: 8 (905) 782-87-17; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3444-0050>).

Григорьев Павел Евгеньевич – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры психологии; ведущий научный сотрудник института физических методов лечения, медицинской климатологии и реабилитации (e-mail: mhnty@yandex.ru; тел.: 8 (978) 767-22-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7390-9109>).

детей и подростков, изложен в работах Т. Ishihara et al. [3] и J.-H. Moon [4], опубликованных в 2020 г.

В частности, в публикации Т. Ishihara et al. на основании анализа результатов 12 исследований авторы указывают, что в 86 % случаев не выявлено статистически значимых результатов негативного влияния ЭМП РЧ на когнитивные процессы детей и подростков. Однако для анализа авторы выбрали весьма разнородные исследования как по возрасту респондентов, длительности использования, в том числе мобильных телефонов (МТ), так и по анализируемым параметрам, что, по нашему мнению, и стало причиной столь неоднозначных выводов.

Весьма нетривиальный подход к вопросам воздействия ЭМП РЧ на когнитивные показатели детей и подростков представлен и в публикации С. Sage et al.: анализ эпигенетических исследований [5]. Однако эта работа вызвала критику со стороны D.R. Grimes и D.V.M. Bishop, которые утверждают, что «подавляющее количество научных данных на сегодняшний день свидетельствует о том, что микроволновые и радиочастоты, используемые в современных средствах связи, безопасны...» [6]. Однако на каком основании сами авторы делают столь категорические утверждения, непонятно.

Напротив, в обзоре О.А. Вятлевой показано, что интенсивное использование смартфонов детьми и подростками приводит к снижению как когнитивных показателей, так и темпов созревания корковых зон, отвечающих за речь, внимание, эмоции, подкрепление и исполнительные функции [7]. Эти утверждения подтверждаются результатами исследований, проведенных ранее J. Ferreira et al. и С. Fernández et al. при моделировании воздействия ЭМП РЧ мобильных телефонов и планшетов [8, 9].

На наш взгляд, ситуация «неоднозначности» негативного влияния ЭМП РЧ на когнитивные показатели детей и подростков может быть обусловлена несколькими причинами.

Во-первых, достаточно разнообразным арсеналом тест-систем, которые применяются для изучения изменения параметров когнитивных процессов при воздействии ЭМП РЧ в анализируемых исследованиях.

В частности, в зарубежных исследованиях для оценки уровня когнитивных процессов при воздействии ЭМП РЧ применяются: тест успеваемости Вудкока – Джонсона [10], оценка уровня невнимательности в соответствии с определением компонента дефицита внимания – синдрома дефицита внимания / гиперактивности (СДВГ) [11]; N-back test [12]; обучающие задачи «Иди / Не ходи» и «Лабиринт Гротона» [13]; нейрокогнитивные тесты: «Ханойская башня», тест Струппа (цветовые слова), Digit symbol test (тест на цифровые символы), digit span test (проверка памяти и когнитивных способностей), К.А.S. test, тест Бентона [14]; амстердамские нейропсихологические задачи [15]; визуальное различение и рабочая память Штернберга [16]; большое разнообразие ком-

пьютерных вариантов [17–23]; специализированная программа CogHealth™ [13, 24].

В исследованиях российских ученых используются такие методы, как анкетирование [25], бланковые методы «Расстановка чисел» и «Память на числа» [26], инструментальные – с помощью автоматизированного рабочего места психофизиолога [27], компьютерной программы LUM (локальный универсальный мониторинг) [28].

Тем не менее, несмотря на столь обширный арсенал тест-систем, исследований влияния ЭМП РЧ на когнитивные процессы детей и подростков не так много.

Во-вторых, нередко в материалы обзоров включены результаты исследований однократного воздействия ЭМП РЧ, в том числе с описанием эффекта улучшения когнитивных показателей [19, 29].

Разнонаправленные эффекты были получены и в работе О.А. Вятлевой и А.М. Курганского у школьников 1–3-х классов: наряду с регистрацией негативного влияния обнаружены отрицательные корреляции параметров внимания и памяти со «стажем» пользования МТ. Авторы позиционировали эти эффекты как «стимулирующее влияние», но не связанное с воздействием излучения МТ, а зависящее от навыков пользования МТ [25]. Однако оценка изменений когнитивных показателей в данном исследовании проводилась анкетированием, а не специализированными методами диагностики.

Однако следует отметить, что подобные эффекты «улучшения» психофизиологических показателей были описаны и в наших исследованиях при проведении лонгитудных исследований изменения психофизиологических показателей детей и подростков – пользователей мобильной связью. Мы полагаем, что данный эффект может быть обусловлен адаптационными реакциями на новый вид внешнего воздействия на организм детей и подростков и кратковременностью самого воздействия (в том числе небольшой «стаж» пользования МТ) [27].

Кроме того, нередко в обзорах представлены исследования, которые не выявили никакого эффекта воздействия. Обсуждение столь противоречивых эффектов воздействия ЭМП РЧ на когнитивные функции детей и подростков были рассмотрены ранее в книге [27] и монографии [28].

В-третьих, регистрация изменений когнитивных показателей для группы детей и подростков с широким возрастным диапазоном, при этом практически во всех работах анализ режимов пользования МТ и другими гаджетами представлен для каждой возрастной группы, а характеристики когнитивных показателей – по всему массиву данных без учета возрастных особенностей. Эту группу исследований в свою очередь можно условно разделить на несколько направлений:

1. Изучение изменений показателей когнитивных процессов с одновременной инструментальной оценкой уровня воздействующего ЭМП РЧ. Примером этого подхода могут служить работы О.А. Вят-

левой с соавт. [25] и S.A. Meo et al. [30]. В первом случае был установлен «стимулирующий эффект» воздействия ЭМП РЧ МТ [25], а во втором – более высокий уровень ЭМП РЧ от базовых станций вызывал снижение показателей пространственной рабочей памяти и внимания, уровня мелкой и крупной моторики [30].

2. Изучение комплексного воздействия ЭМП РЧ от различных источников. Так, с помощью трехмерной геопространственной модели M. Guxens et al. провели оценку комплексного воздействия ЭМП РЧ (базовые станции мобильных телефонов, наличие в жилых помещениях источников, использование личных мобильных и беспроводных телефонов) на когнитивные показатели детей в возрасте 5–6 лет. Однако полученные результаты были весьма противоречивы [15]. В отличие от работы M. Guxens et al., A. Cabré-Riera et al. оценка дозы ЭМП РЧ проведена для двух групп подростков в возрасте 9–11 и 17–18 лет в двух популяционных когортах в Нидерландах и Испании не совокупно от всех изучаемых источников, а по отдельности (то есть телефонные звонки, активность перед экраном и дальнее поле). Установлено, что более высокое воздействие на мозг ЭМП РЧ связано с более низким невербальным интеллектом [31].

3. Исследование зависимости параметров когнитивных процессов [11, 17, 18, 21] и успеваемости [32] от режима пользования мобильным телефоном. Хотя в большинстве публикаций авторы регистрируют те или иные негативные изменения со стороны изучаемых параметров, сам подход к таким исследованиям вызывает ряд вопросов. В частности, в работе M.J. Abramson et al. в когорте подростков 11–14 лет было установлено снижение точности рабочей памяти, увеличение времени выполнения задач как для подростков, наиболее часто разговаривающих по МТ, так и для лиц, использующих большое число SMS. На основании этого авторами было сделано предположение, что когнитивные изменения были маловероятными из-за воздействия радиочастоты [17]. По нашему мнению, такое утверждение можно сделать только на основании сравнения когнитивных показателей группы учащихся, которые использовали только SMS, с группой, которые использовали МТ исключительно для разговора. Практически аналогичные результаты были получены S. Thomas et al. (подростки 12–13 лет) [18], но, в отличие от исследований M.J. Abramson et al. [17], была изучена динамика изменений когнитивных показателей через год с учетом изменений в режиме пользования МТ, в том числе с учетом голосовых и SMS-сообщений. Выявлены изменения во времени простой реакции и задаче на рабочую память, но никакой связи между воздействием мобильного телефона и выполнением когнитивного теста обнаружено не было. Однако и в этом исследовании авторы допускают те же методические ошибки, что и при интерпретации результатов M.J. Abramson et al. Увеличение невнимательности

зарегистрировано F. Zheng et al. для когорты учащихся средних школ (возраст 12–20 лет) при использовании игр, установленных на МТ, более 60 мин/день [11]. Мы полагаем, что в данном случае полученные эффекты больше относятся к использованию «экранного времени» гаджета, чем к его электромагнитному излучению. И, наконец, с использованием анкетирования X. Liu et al. была установлена связь между длительностью пользования МТ и успеваемостью учащихся (возраст 12–18 лет): подростки, активно использующие МТ (≥ 2 ч/день в будние дни и ≥ 5 ч/день в выходные), показали существенное снижение успеваемости, по сравнению с теми, кто менее активно использовал МТ [32]. Однако, как именно подростки использовали МТ (для разговоров, для SMS, MMS, просмотр видеоконтента и т.п.), авторы не указывают.

4. Сравнение воздействия МТ и беспроводных телефонов (БТ) на когнитивные процессы учащихся. M. Redmayne et al. для когорты учащихся в возрасте 8–11 лет при использовании МТ и БТ зарегистрировали ухудшение когнитивных функций, однако авторы считают, что полученные результаты не дают однозначного утверждения о негативном воздействии ЭМП РЧ от МТ и БТ [21]. Особое место в данном случае занимают проспективные (лонгитюдные – прим. авторов) исследования [20, 23, 33, 34], в частности, когортные исследования когнитивных функций швейцарских подростков 12–17 лет при одновременной оценке кумулятивной дозы ЭМП РЧ [20, 23, 24, 33]. Однако полученные результаты неоднозначны. Например, A. Schoeni et al. полагают, что воздействие ЭМП РЧ влияет на работу памяти, поскольку снижение показателя производительности образной памяти было более выражено при использовании МТ, а не БТ [20]. Тем не менее тот же коллектив авторов в другом исследовании не выявил негативных изменений со стороны параметров концентрации внимания и поведения у подростков при использовании устройств БТ и МТ [32]. В работе M. Foerster et al. [23] при сравнении показателей когнитивных процессов у подростков 7–9-х классов с кумулятивной индивидуальной дозой микроволнового излучения от средств массовой информации, связанных и не связанных с ЭМП РЧ (в частности, мобильных телефонов), было установлено снижение показателя образной памяти при использовании МТ. Подобные результаты были получены в проспективном исследовании, проведенном в Австралии, для учащихся начальной школы: ухудшение когнитивных показателей зарегистрировано при использовании МТ, а не БТ [24]. Мы полагаем, что столь неоднозначные результаты были получены потому, что в исследованиях анализ показателей проводился по всему массиву данных без учета возрастных особенностей групп.

5. Комплексное исследование психофизиологических показателей, в том числе уровня сформированности когнитивных процессов, у детей и подростков – пользователей мобильной связью. К ним

относятся лонгитюдные исследования для когорты детей и подростков в возрасте 5–16,5 г., которые проводятся в России с 2006 г. по настоящее время [27, 28]. В отличие от большинства исследований, оценка уровня когнитивных показателей проводится отдельно для каждой возрастной группы, а динамика их изменений оценивается с учетом режима пользования МТ. Установлено, что у детей – пользователей мобильной связью показатели смысловой памяти снижены в большей мере, чем параметры произвольного внимания, и многие параметры находятся на нижней границе нормы или уже ниже возрастной нормы. Полученные результаты подтверждают, что хроническое воздействие электромагнитного излучения МТ может существенно отразиться на психических познавательных процессах детей и успешности обучения. Следует отметить, что профилактические меры, которые осуществляются в рамках данного мониторинга по внедрению культуры пользования современными гаджетами (в первую очередь МТ), доказали их эффективность: психофизиологические показатели учащихся, которые использовали безопасный режим пользования, статистически значимо улучшались и находились в границе возрастных норм [28, 35, 36].

Внедрение новых технологий, в частности технологии Wi-Fi, в настоящее время осуществляется достаточно активно и уже применяется повсеместно, в том числе и в образовательных учреждениях. Однако возможность негативного воздействия многими исследователями не рассматривается. Поскольку существует мнение, что значения напряженности электрического поля и плотности мощности были ниже пороговых значений Международной комиссии по защите от неионизирующего излучения (ICNIRP), то и риск воздействия минимален. Но проблема далека от разрешения, и накопленные экспериментальные исследования, представленные в предыдущем обзоре, тому доказательство. Кроме того, многие страны (Франция, Италия, Греция, Германия – Бавария, Бельгия, Великобритания, Таджикистан, Азербайджан, Беларусь, Бангладеш) ввели либо полный запрет, либо существенное ограничение на использование этой технологии в школах в рамках предупредительных мер возможного негативного влияния на организм детей и подростков.

И, как показал анализ литературы, исследования в этой области в части влияния на организм детей и подростков единичны. В частности, это исследования К. Bamdad et al. и М.А. Hosseini et al. В первом случае установлено неблагоприятное воздействие радиочастотных электромагнитных полей 2,4–2,48 ГГц устройств Wi-Fi-маршрутизаторов на уровни разделенного внимания у студентов колледжей (возраст 14–17 лет) [37], а во втором – кратковременное воздействие волн Wi-Fi не влияло на когнитивные функции [38].

Но особое внимание в настоящее время заслуживает ширококомасштабное внедрение технологий

5G. Хотя до сих пор исследований биологических эффектов стандарта 5G проведено не было [39], тем не менее вопросы возможного влияния на здоровье населения остаются наиболее острыми [40].

В связи с этим на фоне общей полемики о биологических эффектах 5G, на наш взгляд, в первую очередь должен быть поставлен вопрос о воздействии данного стандарта на детей и подростков. Эта возрастная группа не просто весьма чувствительна к изменению любых факторов внешней среды, но и имеет больший «потенциал» восприимчивости к ЭМП стандарта 5G. Это связано с тем, что более высокие частоты этого стандарта интенсивно «всасываются» из воздуха в водную составляющую пота человека и клеток дермы, приводя к гораздо более высокому уровню поглощения [41], а большая «обводненность» кожи у детей, чем у взрослых, потенциально увеличивает их радиочувствительность.

Следует констатировать факт, что в настоящее время активное внедрение технологий 5G значительно опережает оценку опасности при пожизненном облучении миллиметровым диапазоном кожи и склеры глаз в первую очередь у детей и подростков [42, 43].

Мы полагаем, что данная проблема требует незамедлительного решения для выявления потенциальных негативных последствий данного воздействия.

Выводы. Как известно, растущий организм является особенно чувствительным к действию внешних факторов электромагнитной природы. В особенности это касается структур центральной нервной системы. С учетом того, что использование гаджетов с активным излучением ЭМП РЧ в настоящее время большинством детей начинается с дошкольного возраста, это требует актуализации подходов к оценке рисков от подобных воздействий: как развития методов моделирования поглощенных доз ЭМП РЧ и соответствующих органов и тканей-мишеней, так и собственно эффектов от текущего и хронического действия ЭМП РЧ устройств мобильной связи, оцениваемого по интенсивности пользования ими.

Большинство исследователей отмечают негативное влияние ЭМП РЧ на функциональные показатели центральной нервной системы, в частности со стороны параметров когнитивных процессов. При этом существуют исследования, где не обнаружено никакого вреда. На наш взгляд, причиной тому различные методические подходы и разнообразие использованных тест-системы для регистрации возможных эффектов.

В настоящее время важно продолжать исследования в области изучения возможного негативного воздействия ЭМП РЧ на центральную нервную систему детей и подростков. Мы полагаем, что можно принять опыт стран, где некоторые из технологий, например Wi-Fi, ограничены к применению в

учебных заведениях. Кроме того, безусловно, важнейшей точкой приложения усилий исследователей следует считать установление всевозможных эффектов от воздействия ЭМП РЧ устройств, использующих технологии 5G.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН (44.1, государственный № темы: 0084-2019-004)

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Controversies on electromagnetic field exposure and the nervous systems of children / A.A. Warille, M.E. Onger, A.P. Turkmen, Ö.G. Deniz, G. Altun, K.K. Yurt, B.Z. Altunkaynak, S. Kaplan // *Histol. Histopathol.* – 2016. – Vol. 31, № 5. – P. 461–468. DOI: 10.14670/HH-11-707
2. Systematic review of the physiological and health-related effects of radiofrequency electromagnetic field exposure from wireless communication devices on children and adolescents in experimental and epidemiological human studies / L. Bodewein, D. Dechent, D. Graefrath, T. Kraus, T. Krause, S. Driessen // *PLoS One.* – 2022. – Vol. 17, № 6. – P. e0268641. DOI: 10.1371/journal.pone.0268641
3. Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Field in the High-Frequency Band and Cognitive Function in Children and Adolescents: A Literature Review / T. Ishihara, K. Yamazaki, A. Araki, Y. Teraoka, N. Tamura, T. Hikage, M. Omiya, M. Mizuta, R. Kishi // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* – 2020. – Vol. 17, № 24. – P. 9179. DOI: 10.3390/ijerph17249179
4. Moon J.-H. Health effects of electromagnetic fields on children // *Clin. Exp. Pediatr.* – 2020. – Vol. 63, № 11. – P. 422–428. DOI: 10.3345/cep.2019.01494
5. Sage C., Burgio E. Electromagnetic Fields, Pulsed Radiofrequency Radiation, and Epigenetics: How Wireless Technologies May Affect Childhood Development // *Child Dev.* – 2018. – Vol. 89, № 1. – P. 129–136. DOI: 10.1111/cdev.12824
6. Grimes D.R., Bishop D.V.M. Distinguishing Polemic From Commentary in Science: Some Guidelines Illustrated With the Case of Sage and Burgio // *Child Dev.* – 2018. – Vol. 89, № 1. – P. 141–147. DOI: 10.1111/cdev.13013
7. Вятлева О.А. Влияние использования смартфонов на самочувствие, когнитивные функции и морфофункциональное состояние центральной нервной системы у детей и подростков (обзор литературы) // *Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья.* – 2020. – № 1. – С. 4–11.
8. Ferreira J.B., Almeida de Salles A.A. Specific Absorption Rate (SAR) in the head of Tablet users // *The 7th IEEE Latin-American Conference On Communications (Latincom 2015).* – 2015. – Vol. 1538. – P. 5–9.
9. Absorption of wireless radiation in the child versus adult brain and eye from cell phone conversation or virtual reality / C. Fernández, A.A. de Salles, M.E. Sears, R.D. Morris, D.L. Davis // *Environ. Res.* – 2018. – Vol. 167. – P. 694–699. DOI: 10.1016/j.envres.2018.05.013
10. Hofferth S.L., Moon U.J. Cell Phone Use and Child and Adolescent Reading Proficiency // *Psychol. Pop. Media Cult.* – 2012. – Vol. 1, № 2. – P. 108–122. DOI: 10.1037/a0027880
11. Association between mobile phone use and inattention in 7102 Chinese adolescents: A population-based cross-sectional study / F. Zheng, P. Gao, M. He, M. Li, C. Wang, Q. Zeng, Z. Zhou, Z. Yu, L. Zhang // *BMC Public Health.* – 2014. – Vol. 14. – P. 1022. DOI: 10.1186/1471-2458-14-1022
12. A meta-analysis for neurobehavioural effects due to electromagnetic field exposure emitted by GSM mobile phones / A. Barth, R. Winker, E. Ponocny-Seliger, W. Mayrhofer, I. Ponocny, C. Sauter, N. Vana // *Occup. Environ. Med.* – 2008. – Vol. 65, № 5. – P. 342–346. DOI: 10.1136/oem.2006.031450
13. Uncertainty Analysis of Mobile Phone Use and Its Effect on Cognitive Function: The Application of Monte Carlo Simulation in a Cohort of Australian Primary School Children / C. Brzozek, K.K. Benke, B.M. Zeleke, R.J. Croft, A. Dalecki, C. Dimitriadis, J. Kaufman, M.R. Sim [et al.] // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* – 2019. – Vol. 16, № 13. – P. 2428. DOI: 10.3390/ijerph16132428
14. Effects of short and long term electromagnetic fields exposure on the human hippocampus / O.G. Deniz, S. Kaplan, M.B. Selçuk, M. Terzi, G. Altun, K.K. Yurt, K. Aslan, D. Davis // *J. Microsc. Ultrastruct.* – 2017. – Vol. 5, № 4. – P. 191–197. DOI: 10.1016/j.jmau.2017.07.001
15. Outdoor and indoor sources of residential radiofrequency electromagnetic fields, personal cell phone and cordless phone use, and cognitive function in 5-6 years old children / M. Guxens, R. Vermeulen, M. van Eijsden, J. Beekhuizen, T.G.M. Vrijkotte, R.T. van Strien, H. Kromhout, A. Huss // *Environ. Res.* – 2016. – Vol. 150. – P. 364–374. DOI: 10.1016/j.envres.2016.06.021
16. Pulse modulated radiofrequency exposure influences cognitive performance / A. Verrender, S.P. Loughran, A. Dalecki, R. McKenzie, R.J. Croft // *Int. J. Radiat. Biol.* – 2016. – Vol. 92, № 10. – P. 603–610. DOI: 10.1080/09553002.2016.1213454
17. Mobile telephone use is associated with changes in cognitive function in young adolescents / M.J. Abramson, G.P. Benke, C. Dimitriadis, I.O. Inyang, M.R. Sim, R.S. Wolfe, R.J. Croft // *Bioelectromagnetics.* – 2009. – Vol. 30, № 8. – P. 678–686. DOI: 10.1002/bem.20534
18. Use of mobile phones and changes in cognitive function in adolescents / S. Thomas, G. Benke, C. Dimitriadis, I. Inyang, M.R. Sim, R. Wolfe, R.J. Croft, M.J. Abramson // *Occup. Environ. Med.* – 2010. – Vol. 67, № 12. – P. 861–866. DOI: 10.1136/oem.2009.054080
19. Does exposure to GSM 900 MHz mobile phone radiation affect short-term memory of elementary school students? / M.M. Movvahedi, A. Tavakkoli-Golpayegani, S.A. Mortazavi, M. Haghani, Z. Razi, M.B. Shojaie-Fard, M. Zare, E. Mina [et al.] // *J. Pediatr. Neurosci.* – 2014. – Vol. 9, № 2. – P. 121–124. DOI: 10.4103/1817-1745.139300
20. Schoeni A., Roser K., Rössli M. Memory performance, wireless communication and exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A prospective cohort study in adolescents // *Environ. Int.* – 2015. – Vol. 85. – P. 343–351. DOI: 10.1016/j.envint.2015.09.025

21. Use of mobile and cordless phones and cognition in Australian primary school children: a prospective cohort study / M. Redmayne, C.L. Smith, G. Benke, R.J. Croft, A. Dalecki, C. Dimitriadis, J. Kaufman, S. Macleod [et al.] // *Environ. Health*. – 2016. – Vol. 15. – P. 26. DOI: 10.1186/s12940-016-0116-1
22. Does exposure to environmental radiofrequency electromagnetic fields cause cognitive and behavioral effects in 10-year-old boys? / I. Calvente, R. Pérez-Lobato, M.-I. Núñez, R. Ramos, M. Guxens, J. Villalba, N. Olea, M.F. Fernández // *Bioelectromagnetics*. – 2016. – Vol. 37, № 1. – P. 25–36. DOI: 10.1002/bem.21951
23. A prospective cohort study of adolescents' memory performance and individual brain dose of microwave radiation from wireless communication / M. Foerster, A. Thielens, W. Joseph, M. Eeftens, M. Röösli // *Environ. Health Perspect.* – 2018. – Vol. 126, № 7. – P. 077007. DOI: 10.1289/EHP2427
24. Use of mobile and cordless phones and change in cognitive function: A prospective cohort analysis of Australian primary school children / C.R. Bhatt, G. Benke, C.L. Smith, M. Redmayne, C. Dimitriadis, A. Dalecki, S. Macleod, M.R. Sim [et al.] // *Environ. Health*. – 2017. – Vol. 16, № 1. – P. 62. DOI: 10.1186/s12940-017-0250-4
25. Вятлева О.А., Курганский А.М. Особенности пользования мобильной связью (интенсивность излучения, временные режимы) и влияние на показатели здоровья у современных младших школьников // *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО*. – 2018. – № 8 (305). – С. 51–54.
26. Ли А.В. Влияние мобильных и мультимедийных устройств на когнитивные функции подростков // *Бюллетень медицинских интернет-конференций*. – 2015. – Т. 5, № 5. – С. 760.
27. Григорьев Ю.Г., Хорсева Н.И. Мобильная связь и здоровье детей. Оценка опасности применения мобильной связи детьми и подростками. Рекомендации детям и родителям. – М.: Экономика, 2014. – 230 с.
28. Grigoriev Yu.G., Khorseva N.I. A Longitudinal Study of Psychophysiological Indicators in Pupils Users of Mobile Communications in Russia (2006–2017) // In book: *Mobile Communications and Public Health* / ed. by M. Markov. – Boca Raton: CRC Press, 2019. – P. 237–253.
29. Neuropsychological sequelae of digital mobile phone exposure in humans / V. Keetley, A.W. Wood, J. Spong, C. Stough // *Neuropsychologia*. – 2006. – Vol. 44, № 10. – P. 1843–1848. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.03.002
30. Mobile Phone Base Station Tower Settings Adjacent to School Buildings: Impact on Students' Cognitive Health / S.A. Meo, M. Almahmoud, Q. Alsultan N. Alotaibi, I. Alnajashi, W.M. Hajjar // *Am. J. Mens Health*. – 2019. – Vol. 13, № 1. – P. 1557988318816914. DOI: 10.1177/1557988318816914
31. Association between estimated whole-brain radiofrequency electromagnetic fields dose and cognitive function in pre-adolescents and adolescents / A. Cabré-Riera, L. van Wel, I. Liorni, A. Thielens, L.E. Birks, L. Pierotti, W. Joseph, L. González-Safont [et al.] // *Int. J. Hyg. Environ. Health*. – 2021. – Vol. 231. – P. 113659. DOI: 10.1016/j.ijheh.2020.113659
32. Prolonged Mobile Phone Use Is Associated with Poor Academic Performance in Adolescents / X. Liu, Y. Luo, Z.-Z. Liu, Y. Yang, J. Liu, C.-X. Jia // *Cyberpsychol. Behav. Soc. Netw.* – 2020. – Vol. 23, № 5. – P. 303–311. DOI: 10.1089/cyber.2019.0591
33. Roser K., Schoeni A., Röösli M. Mobile phone use, behavioural problems and concentration capacity in adolescents: A prospective study // *Int. J. Hyg. Environ. Health*. – 2016. – Vol. 219, № 8. – P. 759–769. DOI: 10.1016/j.ijheh.2016.08.007
34. Use of mobile and cordless phones and change in cognitive function: A prospective cohort analysis of Australian primary school children / C.R. Bhatt, G. Benke, C.L. Smith, M. Redmayne, C. Dimitriadis, A. Dalecki, S. Macleod, M.R. Sim [et al.] // *Environ. Health*. – 2017. – Vol. 16, № 1. – P. 62. DOI: 10.1186/s12940-017-0250-4
35. Хорсева Н.И., Марахова В.А. Современная образовательная среда: формирование культуры пользования мобильными телефонами // *Радиобиология: современные проблемы 2020: материалы международной научной конференции*. – Гомель, 24–25 сентября 2020 г. – С. 142–144.
36. Хорсева Н.И., Марахова В.А. Динамика психофизиологических показателей обучающихся в рамках профилактической деятельности по внедрению культуры пользования мобильными телефонами // *Материалы международной научной конференции*. – Гомель, 26–27 мая 2022 г. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – С. 156–161.
37. Bamdad K., Adel Z., Esmaceli M. Complications of nonionizing radiofrequency on divided attention // *J. Cell. Biochem.* – 2019. – Vol. 120, № 6. – P. 10572–10575. DOI: 10.1002/jcb.28343
38. Evaluating short-term exposure to Wi-Fi signals on students' reaction time, short-term memory and reasoning ability / M.A. Hosseini, A. Hosseini, S. Jarideh, H. Argasi, F. Shekoochi-Shooli, A. Zamani, S. Taeb, M. Haghani // *Radiat. Prot. Dosimetry*. – 2019. – Vol. 187, № 3. – P. 279–285. DOI: 10.1093/rpd/ncz162
39. Григорьев Ю.Г. Мобильная связь и электромагнитная опасность для здоровья населения. Современная оценка риска – от электромагнитного смога до электромагнитного хаоса (обзор литературы) // *Вестник новых медицинских технологий*. – 2019. – Т. 26, № 2. – С. 88–95. DOI: 10.24411/1609-2163-2019-16347
40. Григорьев Ю.Г. Стандарт 5G – технологический скачок вперед в сотовой связи: будет ли проблема со здоровьем у населения? (Погружение в проблему) // *Радиационная биология. Радиоэкология*. – 2020. – Т. 60, № 6. – С. 627–634. DOI: 10.31857/s0869803120060181
41. Betzalel N., Ishai P.B., Feldman Y. The human skin as a sub-THz receiver – Does 5G pose a danger to it or not? // *Environ. Res.* – 2018. – Vol. 163. – P. 208–216. DOI: 10.1016/j.envres.2018.01.032
42. Григорьев Ю.Г. Мобильная связь и электромагнитный хаос в оценке опасности для здоровья населения. Кто несет ответственность? // *Радиационная биология. Радиоэкология*. – 2018. – Т. 58, № 6. – С. 633–645. DOI: 10.1134/S086980311806005X
43. Маслов М.Ю., Сподобаев Ю.М., Сподобаев М.Ю. Электромагнитная безопасность: критические характеристики сетей 5G // *Электросвязь*. – 2019. – № 4. – С. 53–58.

Хорсева Н.И., Григорьев П.Е. К оценке риска негативного воздействия электромагнитных полей сотовой связи на центральную нервную систему детей и подростков (обзор). Часть 2. Параметры когнитивных процессов // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 3. – С. 146–154. DOI: 10.21668/health.risk/2024.3.15



Review

ASSESSING THE RISK OF NEGATIVE EFFECTS PRODUCED BY ELECTROMAGNETIC FIELDS OF CELLULAR COMMUNICATION ON THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM OF CHILDREN AND ADOLESCENTS (REVIEW). PART 2. INDICATORS OF COGNITIVE PROCESSES

N.I. Khorseva¹, P.E. Grigoriev^{2,3}

¹Emanuel Institute of Biochemical Physics of Russian Academy of Sciences, 4 Kosygina St., Moscow, 119334, Russian Federation

²Sevastopol State University, 33 Universitetskaya St., Sevastopol, 299053, Russian Federation

³Academic Research Institute of Physical Methods of Treatment, Medical Climatology and Rehabilitation named after I.M. Sechenov, 10/3 Mukhina St., Yalta, Republic of Crimea, 298603, Russian Federation

This paper continues the authors' review that dwells on modeling radiofrequency electromagnetic fields (RF EMF) and results obtained by measuring electroencephalography indicators, sensorimotor reactions, fatigue, work capacity, duration of an individual minute and the reproduction of a given rhythm in children and adolescents.

Health risk assessment is always based on data obtained by either laboratory tests or epidemiological studies. This paper analyses publications that describe effects of RF EMF exposure, including Wi-Fi, on cognitive processes in children and adolescents as well as methodical approaches to investigating this exposure. However, there are few such studies; in particular, effects produced by Wi-Fi exposure on cognitive indicators of adolescents aged 14–17 years, were found only in two publications.

Literature analysis has established that research findings do not always give an unambiguous estimation of RF EMF effects. The review covers the reasons for ambiguous interpretation of research results: a variable range of test-systems used for investigating indicators of cognitive processes; simultaneous analysis of single exposures including descriptions of 'effect of improvement' in indicators; changes in cognitive indicators registered for a group of children and adolescents in a wide age range.

Nevertheless, most results give evidence of negative changes in attention and memory of children and adolescents. Given that, longitudinal studies are becoming especially relevant since they estimate changes in various indicators in dynamics, including those induced by changes in mobile phone use. The review highlights the relevance of comprehensive investigations with their focus on health outcomes of RF EMF exposure intrinsic to 5G technologies considering their global implementation.

Keywords: radiofrequency electromagnetic field, Wi-Fi, central nervous system, brain, attention, memory, children, adolescents.

References

1. Warille A.A., Onger M.E., Turkmen A.P., Deniz Ö.G., Altun G., Yurt K.K., Altunkaynak B.Z., Kaplan S. Controversies on electromagnetic field exposure and the nervous systems of children. *Histol. Histopathol.*, 2016, vol. 31, no. 5, pp. 461–468. DOI: 10.14670/HH-11-707
2. Bodewein L., Dechent D., Graefrath D., Kraus T., Krause T., Driessen S. Systematic review of the physiological and health-related effects of radiofrequency electromagnetic field exposure from wireless communication devices on children and adolescents in experimental and epidemiological human studies. *PLoS One*, 2022, vol. 17, no. 6, pp. e0268641. DOI: 10.1371/journal.pone.0268641
3. Ishihara T., Yamazaki K., Araki A., Teraoka Y., Tamura N., Hikage T., Omiya M., Mizuta M., Kishi R. Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Field in the High-Frequency Band and Cognitive Function in Children and Adolescents: A Literature Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, vol. 17, no. 24, pp. 9179. DOI: 10.3390/ijerph17249179

© Khorseva N.I., Grigoriev P.E., 2024

Natalia I. Khorseva – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Physical and Chemical Problems of Radiobiology and Ecology (e-mail: sheridan1957@mail.ru; tel.: +7 (905) 782-87-17; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3444-0050>).

Pavel E. Grigoriev – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of Psychological Department; Leading Researcher at the Institute of Physical Methods of Treatment, Medical Climatology and Rehabilitation (e-mail: mhnty@yandex.ru; tel.: +7 (978) 767-22-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7390-9109>).

4. Moon J.-H. Health effects of electromagnetic fields on children. *Clin. Exp. Pediatr.*, 2020, vol. 63, no. 11, pp. 422–428. DOI: 10.3345/cep.2019.01494
5. Sage C., Burgio E. Electromagnetic Fields, Pulsed Radiofrequency Radiation, and Epigenetics: How Wireless Technologies May Affect Childhood Development. *Child Dev.*, 2018, vol. 89, no. 1, pp. 129–136. DOI: 10.1111/cdev.12824
6. Grimes D.R., Bishop D.V.M. Distinguishing Polemic From Commentary in Science: Some Guidelines Illustrated With the Case of Sage and Burgio. *Child Dev.*, 2018, vol. 89, no. 1, pp. 141–147. DOI: 10.1111/cdev.13013
7. Vyatleva O.A. Influence of use of smartphones on well-being, cognitive functions and morphofunctional state of the central nervous system in children and adolescents (review). *Voprosy shkol'noi i universitetskoj meditsiny i zdorov'ya*, 2020, no. 1, pp. 4–11 (in Russian).
8. Ferreira J., Almeida de Salles A.A. Specific Absorption Rate (SAR) in the head of Tablet users. *The 7Th IEEE Latin American Conference on Communications (Latincom 2015)*, 2015, vol. 1538, pp. 5–9.
9. Fernández, C., de Salles A.A., Sears M.E., Morris R.D., Davis D.L. Absorption of wireless radiation in the child versus adult brain and eye from cell phone conversation or virtual reality. *Environ. Res.*, 2018, vol. 167, pp. 694–699. DOI: 10.1016/j.envres.2018.05.013
10. Hofferth S.L., Moon U.J. Cell Phone Use and Child and Adolescent Reading Proficiency. *Psychol. Pop. Media Cult.*, 2012, vol. 1, no. 2, pp. 108–122. DOI: 10.1037/a0027880
11. Zheng F., Gao P., He M., Li M., Wang C., Zeng Q., Zhou Z., Yu Z., Zhang L. Association between mobile phone use and inattention in 7102 Chinese adolescents: A population-based cross-sectional study. *BMC Public Health*, 2014, vol. 14, pp. 1022. DOI: 10.1186/1471-2458-14-1022
12. Barth A., Winker R., Ponocny-Seliger E., Mayrhofer W., Ponocny I., Sauter C., Vana N. A meta-analysis for neuro-behavioural effects due to electromagnetic field exposure emitted by GSM mobile phones. *Occup. Environ. Med.*, 2008, vol. 65, no. 5, pp. 342–346. DOI: 10.1136/oem.2006.031450
13. Brzozek C., Benke K.K., Zeleke B.M., Croft R.J., Dalecki A., Dimitriadis C., Kaufman J., Sim M.R. [et al.]. Uncertainty Analysis of Mobile Phone Use and Its Effect on Cognitive Function: The Application of Monte Carlo Simulation in a Cohort of Australian Primary School Children *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2019, vol. 16, no. 13, pp. 2428. DOI: 10.3390/ijerph16132428
14. Deniz O.G., Kaplan S., Selçuk M.B., Terzi M., Altun G., Yurt K.K., Aslan K., Davis D. Effects of short and long term electromagnetic fields exposure on the human hippocampus. *J. Microsc. Ultrastruct.*, 2017, vol. 5, no. 4, pp. 191–197. DOI: 10.1016/j.jmau.2017.07.001
15. Guxens M., Vermeulen R., van Eijsden M., Beekhuizen J., Vrijkotte T.G.M., van Strien R.T., Kromhout H., Huss A. Outdoor and indoor sources of residential radiofrequency electromagnetic fields, personal cell phone and cordless phone use, and cognitive function in 5–6 years old children. *Environ. Res.*, 2016, vol. 150, pp. 364–374. DOI: 10.1016/j.envres.2016.06.021
16. Verrender A., Loughran S.P., Dalecki A., McKenzie R., Croft R.J. Pulse modulated radiofrequency exposure influences cognitive performance. *Int. J. Radiat. Biol.*, 2016, vol. 92, no. 10, pp. 603–610. DOI: 10.1080/09553002.2016.1213454
17. Abramson M.J., Benke G.P., Dimitriadis C., Inyang I.O., Sim M.R., Wolfe R.S., Croft R.J. Mobile telephone use is associated with changes in cognitive function in young adolescents. *Bioelectromagnetics*, 2009, vol. 30, no. 8, pp. 678–686. DOI: 10.1002/bem.20534
18. Thomas S., Benke G., Dimitriadis C., Inyang I., Sim M.R., Wolfe R., Croft R.J., Abramson M.J. Use of mobile phones and changes in cognitive function in adolescents. *Occup. Environ. Med.*, 2010, vol. 67, no. 12, pp. 861–866. DOI: 10.1136/oem.2009.054080
19. Movvahedi M.M., Tavakkoli-Golpayegani A., Mortazavi S.A., Haghani M., Razi Z., Shojaie-Fard M.B., Zare M., Mina E. [et al.]. Does exposure to GSM 900 MHz mobile phone radiation affect short-term memory of elementary school students? *J. Pediatr. Neurosci.*, 2014, vol. 9, no. 2, pp. 121–124. DOI: 10.4103/1817-1745.139300
20. Schoeni A., Roser K., Rössli M. Memory performance, wireless communication and exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A prospective cohort study in adolescents. *Environ. Int.*, 2015, vol. 85, pp. 343–351. DOI: 10.1016/j.envint.2015.09.025
21. Redmayne M., Smith C.L., Benke G., Croft R.J., Dalecki A., Dimitriadis C., Kaufman J., Macleod S. [et al.]. Use of mobile and cordless phones and cognition in Australian primary school children: a prospective cohort study. *Environ. Health*, 2016, vol. 15, pp. 26. DOI: 10.1186/s12940-016-0116-1
22. Calvente I., Pérez-Lobato R., Núñez M.-I., Ramos R., Guxens M., Villalba J., Olea N., Fernández M.F. Does exposure to environmental radiofrequency electromagnetic fields cause cognitive and behavioral effects in 10-year-old boys? *Bioelectromagnetics*, 2016, vol. 37, no. 1, pp. 25–36. DOI: 10.1002/bem.21951
23. Foerster M., Thielens A., Joseph W., Eeftens M., Rössli M. A prospective cohort study of adolescents' memory performance and individual brain dose of microwave radiation from wireless communication. *Environ. Health Perspect.*, 2018, vol. 126, no. 7, pp. 077007. DOI: 10.1289/EHP2427
24. Bhatt C.R., Benke G., Smith C.L., Redmayne M., Dimitriadis C., Dalecki A., Macleod S., Sim M.R. [et al.]. Use of mobile and cordless phones and change in cognitive function: A prospective cohort analysis of Australian primary school children. *Environ. Health*, 2017, vol. 16, no. 1, pp. 62. DOI: 10.1186/s12940-017-0250-4
25. Vyatleva O.A., Kurgansky A.M. Features of using of mobile communication (intensity of radiation, temporary modes) and their influence on the health of modern younger schoolchildren. *ZNiSO*, 2018, no. 8 (305), pp. 51–54 (in Russian).
26. Lee A.V. Vliyanie mobil'nykh i mul'timediinykh ustroystv na kognitivnye funktsii podrostkov [Influence of mobile and multimedia devices on the cognitive functions of adolescents]. *Bulletin of Medical Internet Conferences*, 2015, vol. 5, no. 5, pp. 760 (in Russian).
27. Grigoriev Yu.G., Khorseva N.I. Mobil'naya svyaz' i zdorov'e detei. Otsenka opasnosti primeneniya mobil'noi svyazi det'mi i podrostkami. Rekomendatsii detyam i roditelyam [Mobile communication and children health. Assessment of the hazard posed by mobile communications for children and teenagers. Recommendations for children and parents]. Moscow, Ekonomika Publ., 2014, 230 p. (in Russian).

28. Grigoriev Yu.G., Khorseva N.I. A Longitudinal Study of Psychophysiological Indicators in Pupils Users of Mobile Communications in Russia (2006–2017). In book: *Mobile Communications and Public Health*. In: M. Markov ed. Boca Raton, CRC Press Publ., 2019, pp. 237–253.
29. Keetley V., Wood A.W., Spong J., Stough C. Neuropsychological sequelae of digital mobile phone exposure in humans. *Neuropsychologia*, 2006, vol. 44, no. 10, pp. 1843–1848. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.03.002
30. Meo S.A., Almahmoud M., Alsultan Q., Alotaibi N., Alnajashi I., Hajjar W.M. Mobile Phone Base Station Tower Settings Adjacent to School Buildings: Impact on Students' Cognitive Health. *Am. J. Mens Health*, 2019, vol. 13, no. 1, pp. 1557988318816914. DOI: 10.1177/1557988318816914
31. Cabré-Riera A., van Wel L., Liomi I., Thielens A., Birks L.E., Pierotti L., Joseph W., González-Safont L. [et al.]. Association between estimated whole-brain radiofrequency electromagnetic fields dose and cognitive function in preadolescents and adolescents. *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 2021, vol. 231, pp. 113659. DOI: 10.1016/j.ijheh.2020.113659
32. Liu X., Luo Y., Liu Z.-Z., Yang Y., Liu J., Jia C.-X. Prolonged Mobile Phone Use Is Associated with Poor Academic Performance in Adolescents. *Cyberpsychol. Behav. Soc. Netw.*, 2020, vol. 23, no. 5, pp. 303–311. DOI: 10.1089/cyber.2019.0591
33. Roser K., Schoeni A., Röösli M. Mobile phone use, behavioural problems and concentration capacity in adolescents: A prospective study. *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 2016, vol. 219, no. 8, pp. 759–769. DOI: 10.1016/j.ijheh.2016.08.007
34. Bhatt C.R., Benke G., Smith C.L., Redmayne M., Dimitriadis C., Dalecki A., Macleod S., Sim M.R. [et al.]. Use of mobile and cordless phones and change in cognitive function: A prospective cohort analysis of Australian primary school children. *Environ. Health*, 2017, vol. 16, no. 1, pp. 62. DOI: 10.1186/s12940-017-0250-4
35. Khorseva N.I., Marakhova V.A. Sovremennaya obrazovatel'naya sreda: formirovanie kul'tury pol'zovaniya mobil'nymi telefonami [Modern educational environment: the formation of a culture of mobile phone use]. *Radiobiologiya: sovremennye problemy 2020: materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*, Gomel, September 24–25, 2020, pp. 142–144 (in Russian).
36. Khorseva N.I., Marakhova V.A. Dinamika psikhofiziologicheskikh pokazatelei obuchayushchikhsya v ramkakh profilakticheskoi deyatel'nosti po vnedreniyu kul'tury pol'zovaniya mobil'nymi telefonami [Dynamics of psychophysiological indicators of students within the framework of preventive activities to introduce a culture of mobile phone use]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*, Gomel, May 26–27, 2022. Minsk, Information Center of the Ministry of Finance Publ., 2022, pp. 156–161 (in Russian).
37. Bamdad K., Adel Z., Esmaceli M. Complications of nonionizing radiofrequency on divided attention. *J. Cell. Biochem.*, 2019, vol. 120, no. 6, pp. 10572–10575. DOI: 10.1002/jcb.28343
38. Hosseini M.A., Hosseini A., Jarideh S., Argasi H., Shekoohi-Shooli F., Zamani A., Taeb S., Haghani M. Evaluating short-term exposure to wi-fi signals on students' reaction time, short-term memory and reasoning ability. *Radiat. Prot. Dosimetry*, 2019, vol. 187, no. 3, pp. 279–285. DOI: 10.1093/rpd/ncz162
39. Grigoriev Yu.G. Cellular communication and electromagnetic health hazards of the population. Modern risk assessment – from electromagnetic smog to electromagnetic chaos. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii*, 2019, vol. 26, no. 2, pp. 88–95. DOI: 10.24411/1609-2163-2019-16347 (in Russian).
40. Grigoriev Yu.G. Standart 5G – tekhnologicheskii skachok vpered v sotovoi svyazi: budet li problema so zdorov'em u naseleniya? (Pogruzhenie v problemu) [The 5G standard is a technological leap forward in cellular communications: will there be a public health problem? (immersing into the problem)]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*, 2020, vol. 60, no. 6, pp. 627–634. DOI: 10.31857/s0869803120060181 (in Russian).
41. Betzalel N., Ishai P.B., Feldman Y. The human skin as a sub-THz receiver – Does 5G pose a danger to it or not? *Environ. Res.*, 2018, vol. 163, pp. 208–216. DOI: 10.1016/j.envres.2018.01.032
42. Grigoriev Yu.G. Mobil'naya svyaz' i elektromagnitnyi khaos v otsenke opasnosti dlya zdorov'ya naseleniya. Kto neset otvetstvennost'? [Mobile communications and electromagnetic chaos in assessing population health hazards. Who is responsible?]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*, 2018, vol. 58, no. 6, pp. 633–645. DOI: 10.1134/S086980311806005X (in Russian).
43. Maslov M.Yu., Spodobaev Yu.M., Spodobaev M.Yu. Electromagnetic safety: critical features of 5G networks. *Elektrosvyaz'*, 2019, no. 4, pp. 53–58 (in Russian).

Khorseva N.I., Grigoriev P.E. Assessing the risk of negative effects produced by electromagnetic fields of cellular communication on the central nervous system of children and adolescents (review). Part 2. Indicators of cognitive processes. *Health Risk Analysis*, 2024, no. 3, pp. 146–154. DOI: 10.21668/health.risk/2024.3.15.eng

Получена: 24.08.2024

Одобрена: 13.09.2024

Принята к публикации: 20.09.2024