
КОНЦЕПЦИИ ПРИОРИТЕТНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК

ПРОБЛЕМЫ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Действие электромагнитной энергии беспроводной связи на человека: прогнозы роста обусловленной заболеваемости, их реализация и проблемы оценки

Председатель Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений, член Научного совета РАН по радиобиологии, член научно-консультативного комитета международного проекта по неионизирующим излучениям ВОЗ, член рабочей группы перспективного планирования (20-24) Международного агентства по исследованию рака, АНО НИЦ безопасности новой техники R&D директор, доктор биологических наук О.А. Григорьев

Советник генерального директора ЗАО МНИТИ, заведующий кафедрой МТУСИ, член Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор Ю. Б. Зубарев

Аннотация. Проанализирована сбываемость радиобиологических прогнозов о возможном росте заболеваемости, обусловленной воздействием электромагнитного поля оборудования сотовой связи. Прогнозы были даны на основе фундаментальных исследований медико-биологических эффектов электромагнетизма, основываясь на принципиальном изменении условий облучения населения и недостаточности научных данных о последствиях облучения головного мозга в неконтролируемых условиях во всех группах населения, включая детей. Показано, что Росстат фиксирует рост заболеваемости за 25 лет по прогнозным группам болезней в популяции подростков 15-17 лет (злокачественные опухоли, болезни нервной системы, нарушение иммунного статуса, болезни органа слуха и зрения). Оценка вклада сотовой связи в рост заболеваемости, выполненная на основе методологии IARC, показывает, что обусловленность роста заболеваемости вредным влиянием электромагнитного поля скорее достоверно существует, чем является случайным совпадением. Однако непосредственное определение риска затруднено в связи с неопределенностью данных дозиметрии, отсутствием современных групп сравнения и неразработанностью концепции приемлемого риска для массовой технологии сотовой связи.

Ключевые слова: электромагнитное поле, здоровье, влияние, беспроводная сотовая связь, заболеваемость, прогноз, новообразования, дозиметрия, риск, дети.

DOI: 10.34705/KO.2022.68.54.001

The effects of wireless communication electromagnetic energy influence on persons: predictions of the growth for conditioned morbidity, their implementation and problems of evaluation

Grigoriev O. A., Zubarev Y.B.

Abstract. We analyzed the feasibility of radiobiological predictions about a possible increase in the morbidity, which is due to the influence of the electromagnetic field of wireless cellular communication. These predictions were made before 2008 and based on fundamental data research on the biomedical effects of electromagnetism. The principal reasons for the predictions were changes in the conditions of exposure of the general population, insufficient scientific data on the EMF exposure of brain for the general population, including children. 25 years Rosstat's health data has shown an increase of diseases that were in the predictions for aged 15-17 years (malignant tumors, diseases of the nervous system, impaired immune status, diseases of the organ of hearing and vision). We adopted and used the IARC methodology for performed an assessment of the contribution of wireless cellular communication to the morbidity. This assessment showed that the conditionality of the increase in the incidence of the harmful effects of the electromagnetic field rather exists reliably than is a coincidence. However, the direct determination of risk is difficult due to the uncertainty of dosimetry data, the lack of modern comparison groups and the undeveloped concept of acceptable risk for mass cellular communication technology.

Keywords: electromagnetic field, health, wireless cellular communication, morbidity, cancer, prediction, dosimetry, risk, children.

До начала развития сотовой связи в нашей стране (1993 год) исследования биоэффектов электромагнетизма в России непрерывно продолжались около 100 лет [1]. К началу 1990-х была сформирована система санитарно-эпидемиологических правил для электромагнитного поля (ЭМП), основанная на результатах плановых фундаментальных исследований механизма биологического действия ЭМП, эпидемиологических и клинико-физиологических исследований. При разработке концептуальных положений охраны здоровья населения исходили из необходимости исключить возможность заболеваемости, соответственно это нивелировало понятие риска. В методологических основах гигиенического нормирования физических факторов, заложенных в 1980-е, считалось, что теория пороговости противостоит концепции допустимого риска, утверждая, что последняя отрицает как приспособляемость и изменчивость видов, так и приоритет медицинских показаний в гигиеническом нормировании [2,3].

Основным документом, регламентирующим электромагнитное поле радиочастот (ЭМП РЧ) для населения в нашей стране с 1984 г. были «Временные санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электромагнитных полей, создаваемых радиотехническими объектами» ВСН №2963–84 [4]. Их разработали под научным руководством академика М.Г. Шандалы на основе результатов комплексных исследований биоэффектов ЭМП РЧ. Процесс обоснования ПДУ был максимально формализован, для этого разработали основы вероятностной оценки

надежности недействующего (НДУ) или предельно допустимого уровня (ПДУ) электромагнитного поля радиочастот, учитывающей перенос данных экспериментов, полученных на лабораторных животных, на человека. Доказательно определили критические системы организма к ЭМП нетеплового уровня (прежде всего это нервная, эндокринная и иммунная системы, система крови), механизмы поражения при действии ЭМП теплового уровня, а также сформулировали клиническую схему развития заболеваний, обусловленных воздействием электромагнетизма, что позволило систематически контролировать состояние здоровья работающих с источниками ЭМП и накапливать соответствующие данные.

Разработка санитарных норм и их принятие координировалась с Министерством связи СССР (заместитель Министра Зубарев Ю.Б.), что позволило заранее планировать технические требования к передающим радиотехническим объектам, обеспечивающие соблюдение ограничений к электромагнитному полю на прилегающих селитебных территориях.

Исследованиями радиобиологии и гигиены неионизирующих излучений были охвачены все диапазоны частот от 0 Гц до 100 ГГц, учтены большинство видов модуляции, использовавшихся в гражданской и военной технике. Теле- и радиостанции, радио-локационные станции, системы связи, в том числе космической и специальной, находились под государственным санитарным надзором, который исключал условия неконтролируемого контакта населения с источниками ЭМП радиочастот [5,6]. Предельно-допустимые уровни ЭМП для работающих были заведомо

выше, чем для населения, так как контролировались условия воздействия, и система периодического медицинского обследования работающих с источниками ЭМП предупреждала развитие заболеваемости. Учитывая задачи, стоявшие перед гигиеной 1970-х годов, делались прогнозы о сближении условий облучения в быту и на производстве, за счет улучшения производственных условий [7,8].

Развитие беспроводной сотовой связи принципиально изменило условия контакта населения с источниками ЭМП радиочастот. Планирование радиотехнических объектов - базовых станций - вышло из-под контроля Минсвязи и стало осуществляться различными операторами связи исходя из соображений экономической целесообразности. Размещение базовых станций сотовой связи в массовом порядке на селитебной территории впервые максимально приблизило радиопередающие объекты к жилым и общественным зданиям, изменив общий электромагнитный фон в диапазоне от 300 МГц до 3 ГГц [9]. Если только 1% населения подвергался облучению ЭМП с величиной в 1 мкВт/см² в промышленных странах 40 лет назад (IEEE), то в настоящее время медиана значений интенсивности ЭМП в диапазоне от 300 МГц до 3 ГГц в мегаполисах около 2 мкВт/см². Базовые станции сотовой связи являются основным источником, создающим значительные области неоднородности ЭМП на относительно коротких участках (десятки - сотни метров от антенны). На основании данных анализа 40 тысяч точек измерения, диапазон значений ЭМП в местах возможного доступа людей составляет от 0,2 до 471 мкВт/см² [5,10].

Абонентский терминал (сотовый телефон, смартфон) впервые в истории человечества стал источником ЭМП, максимально приближенным к головному мозгу, при этом голова пользователя размещается в ближней зоне антенны, что соответственно стало причиной формирования электродинамической системы «антенна-голова», что, по сути, эквивалентно участию головы в антенной системе, обеспечивающей связь абонентского терминала с базовой станцией. После 2000-х сотовая связь в короткое время стала доступна всем слоям населения, что резко увеличило экспозицию пользователей и впервые привело к включению детей в контингент бесконтрольно контактирующих с источником ЭМП, к облучению их головного мозга.

Так прогнозы 1970-х о сближении производственных и бытовых (коммунальных) условий облучения ЭМП исполнились в начале 2000-х, но не из-за улучшения условий труда, а за счет резкого роста интенсивности облучения основного населения и расширения контингента облучаемых до масштабов всего населения.

Коррекция санитарных норм применительно к беспроводной связи была проведена в 1994 г.

Ожидалось, что основное население будет защищено от воздействия электромагнитного поля базовых станций соблюдением предельно допустимого уровня (ПДУ) для радиотехнических объектов, действовавшего с 1984 г. (10 мкВт/см²). ПДУ для абонентских терминалов определено расчетно (100 мкВт/см²). Взрослые пользователи абонентских терминалов должны быть защищены экспозицией и ограничением плотности потока энергии (ППЭ) сотового телефона, что должно контролироваться системой гигиенической сертификации. Дети, как пользователи беспроводной сотовой связи, не рассматривались [5,11].

Ожидалось, что только при превышении экспозиции (энергетической нагрузки) организм пользователя может реагировать по сценарию так называемой «радиоволновой болезни»: постепенное развитие астенического, астено-вегетативного и вегетативного синдромов, а впоследствии – заболевания сердечно-сосудистой и центральной нервной системы (ЦНС).

Однако только два полноценных медико-биологических экспериментальных исследования, непосредственно посвященных биологическому эффекту новых условий облучения с начала развития сотовой связи и до сегодняшнего дня было проведено в нашей стране. Оба они проведены в период между утверждением ГН 2.1-8./2.2.4.019-94 «Временные допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений (ЭМИ), создаваемых системами сотовой радиосвязи» (1994 г.) и утверждением базового СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи» (2003 г.), принципиальные положения которого действуют и сейчас [12].

Экспериментальное исследование на добровольцах, проведенное ГНЦ РФ Институтом биофизики Минздрава России и Центром электромагнитной безопасности в 1997–1998 годах показало, что электромагнитное поле абонентского терминала действует как неспецифический раздражитель нервной системы средней силы. Это соответствует фундаментальным представлениям о характере реакции на воздействие ЭМП нетепловой интенсивности. Использовались абонентские терминалы аналоговых и цифровых стандартов, получена разница в ответе организма от способа модуляции. Исследование считают уникальным, так как физиологические показатели добровольцев записывались при помощи безартефактной системы электродов непосредственно в ходе облучения [13]. Воспроизведение исследования невозможно в обозримом будущем, так как единственный в стране специализированный лабораторный физиологический стенд, включая систему безэховых экранированных камер, уничтожен в период 2009–2010 гг. в ходе реконструкции здания.

Второе исследование с целью уточнения гигиенических нормативов для подвижной радиосвязи проведено в 1998–2000 годах в НИИ медицины труда РАМН, подробно изложено в [5].

Результаты исследований обсуждались на заседаниях Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений (РНКЗНИ) в 2000–2022 гг., взявшего на себя межведомственную экспертно-консультативную функцию по поручению Минздрава России. Имеющиеся в тот момент данные позволили обосновать только временный допустимый уровень (ВДУ) ЭМП абонентского терминала подвижной радиосвязи, не внеся принципиально новых гигиенических критериев. Таким образом, принципиальные ПДУ ЭМП беспроводной сотовой связи сохраняются в неизменности уже почти 30 лет, а достоверных данных медико-биологической проверки надежности этих ПДУ катастрофически недостаточно.

После 2010 года ЭМП абонентских терминалов для подвижной сотовой связи регламентируются документом «Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору» ЕвразЭС. Раздел 5.19 этого документа «Требования к уровням электромагнитных полей, создаваемых мобильными средствами связи» ввел более жесткие требования, чем СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190–03, а также указал, что «представленные нормативы рассчитаны на период работы средства связи на передачу не более 30 минут в сутки и не распространяются на лиц, моложе 18 лет, женщин в период беременности и лиц с имплантированным водителем сердечного ритма» [14].

Дети и подростки выделяются как особая группа облучаемых ЭМП беспроводной сотовой связи. Основания для этого следующие. При использовании абонентских терминалов дети получают заведомо большую энергетическую нагрузку по сравнению со взрослыми при прочих равных условиях. Причина в значительной гидратации тканей головного мозга детей; меньшие линейные размеры головы, следовательно большее количество структур мозга могут подвергаться воздействию ЭМП РЧ; большая совокупная «доза» за счет раннего начала облучения и продолжительный «стаж» эксплуатации абонентских терминалов. Следует учитывать, что физиология раннего онтогенеза отличается от взрослого, воздействию подвергается растущий головной мозг, его облучение происходит в период формирования высшей нервной деятельности; действие ЭМП на развивающийся мозг, формирующуюся нервную систему изменяет скорость и направление развития. Это в полной мере соответствует данным экспериментальных и эпидемиологических исследований в «домобильную» эпоху [5,7]. Дети являются особой социальной группой, поскольку состояние

их здоровья и качество интеллектуального развития определяют перспективы развития общества на поколения вперед.

Отсутствие гарантий надежности допустимых уровней, обозначенных в санитарных правилах как «временные», недостаточность достоверных научных данных о последствиях облучения головного мозга электромагнитным полем ближней зоны антенны в неконтролируемых условиях во всех группах населения, включая детей, стала одним из мотивов формирования прогнозов о возможных последствиях облучения населения ЭМП сотовой связи.

Международный электромагнитный проект ВОЗ (с 1996 г.) исходно формулировал прогнозы о возможном влиянии ЭМП беспроводной сотовой связи на здоровье, в том числе стимулирование злокачественных опухолей, что привело к включению термина «онкология» в список прогнозов последствий вредного действия электромагнитного поля сотовой связи [15,16,17]. По итогам конференций ВОЗ в Москве (1998, 1999 гг.) формируется уточненный прогноз: ЭМП сотовой связи - это промултер заболеваний неврологического характера, включая неврастению; психопатию; психостению; неврозы, клиника которых характеризуется астеническими, навязчивыми, истерическими расстройствами, а также снижением умственной и физической работоспособности, памяти, расстройствами сна; эпилепсию и эпилептический синдром, эпилептическую предрасположенность; дети отнесены к группе повышенного риска [18].

Особенность электромагнитного поля беспроводной связи подчеркнута в итоговых документах международной конференции «Сотовая связь и здоровье», проведенной ВОЗ и РНКЗНИ в Москве в 2004 году [19]. Констатируется, что впервые за весь период эволюции человека, как биологического вида, возник фактор хронического облучения электромагнитным полем ближней зоны головного мозга человека. Ситуация локального облучения головного мозга принципиально была отделена от тотального хронического облучения (базовые станции и другие источники беспроводной передачи данных) или воздействия других неблагоприятных факторов внешней среды (ионизирующего излучения, инфразвука, химических веществ и др.).

В 2008 году на сессии Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений, коллегиально, были сформированы следующие прогнозы возможного влияния ЭМП сотовой связи на здоровье [20]:

- для стажированных пользователей детско-подросткового возраста следует ожидать ослабление памяти, снижение внимания, снижение умственных и познавательных способностей, раздражительность, нарушение сна, склонность к

стрессорным реакциям, повышение эпилептической готовности;

- возможные отдаленные последствия у взрослых: опухоли мозга, слухового и вестибулярных нервов (в возрасте 25–30 лет), болезнь Альцгеймера, «приобретенное слабоумие», депрессивный синдром и другие проявления дегенерации нервных структур головного мозга (в возрасте 50–60 лет).

Именно эти группы заболеваний вошли в дальнейшем в программу Международного электромагнитного проекта ВОЗ в 2010 году [21].

Таким образом, основные классы болезней, консенсусно обоснованные в прогнозах до 2008 года в связи с облучением электромагнитным полем сотовой связи, это злокачественные новообразования (опухоли в головном мозге, в том числе в слуховом нерве), болезни и функциональные расстройства нервной системы, включая провокацию эпилептической готовности, заболевания, связанные с нарушением иммунного статуса.

Дискуссионным оставался вопрос о влиянии ЭМП сотовой связи на орган зрения. Электромагнитная катаракта является одним из наиболее достоверных и ясных экспериментальных результатов, однако механизм развития катаракты остается не вполне ясным при нетепловой интенсивности ЭМП, нет однозначных результатов эпидемиологии.

Учитывая, что в ранее исследованных профессиональных условиях воздействия при интенсивностях до 50 мкВт/см² требовалось несколько лет для формирования клинически значимых изменений в состоянии здоровья [22], более 20 лет массового использования сотовой связи в России вполне достаточный срок для формирования трендов в развитии заболеваемости, если влияние электромагнитного поля сотовой связи действительно сказывается на здоровье.

Конечной целью анализа риска влияния вредных факторов для здоровья является разработка управленческих решений. При этом многолетние статистические данные о состоянии здоровья населения страны являются основным источником информации о здоровье для принятия управленческих решений и оценки последствий распространения новых факторов воздействия. Поэтому для проверки сбываемости прогноза нами собраны и проанализированы многолетние данные Росстата о заболеваемости подростков 15–17 лет по группам болезней, включающим указанные в консенсусно обоснованных прогнозах до 2008 года. Контингент подростков 15–17 лет выбран как группа-индикатор, поскольку они являются активными пользователями беспроводных информационно-коммуникационных технологий и, как правило, это уже стажированные пользователи.

Временные интервалы для отбора данных по статистике заболеваемости Росстата определили прежде всего этапы качественного изменения

стандартов связи, что влекло изменение условий облучения (локализация места облучения, способ организации сигнала, способ размещения источников относительно пользователя, изменения общего электромагнитного фона).

Для гигиенической оценки и радиобиологических исследований имеет значение, что в нашей стране одновременно работают сети начиная со второго поколения до четвертого. Новое поколение сетей подвижной сотовой связи вводилось в коммерческую эксплуатацию в мире примерно раз в 8–10 лет. В нашей стране введение новых поколений связи происходит быстрее и эксплуатируется дольше. Первые поколения сетей подвижной связи (1-2G) проектировались преимущественно для голосовой связи и текстовых сообщений (стандарты AMPS/DAMPS, TACS, NMT, TDMA, CDMA, GSM). С внедрением стандартов связи GPRS, EDGE пользователям стал доступен мобильный интернет. Мультимедийная пакетная передача данных в стандартах WCDMA, CDMA2000, UMTS обеспечила полноценное использование интернета в 3-м поколении сетей. В настоящее время операторы связи акцентированы на широкое внедрение сетей 4-го поколения (стандарты LTE, WiMAX, IMT-2020), обеспечивающих высокоскоростной доступ в интернет и потоковое скоростное видео. Очерченные перспективы развития сетей подвижной связи предполагают построение полноценного взаимодействия между реальным миром и дополненной реальностью в стандарте 5G, последующий переход к «новому типу человекоцентрических услуг» (6G). Апогеем развития сетей подвижной связи отраслевые ученые считают создание «надинтеллекта» [23].

Были выбраны следующие временные точки для получения данных о заболеваемости.

1995 год: сотовая связь в начальной стадии развития, дети фактически не используют сотовую связь, используются голосовые стандарты связи.

2000 год: начало массового проникновения сотовой связи, дети - целевая маркетинговая группа для операторов связи, используются голосовые стандарты связи; ЭМ облучение - голова локально, ближняя зона антенны.

2010 год: начало распространения абонентских терминалов (смартфонов, планшетов), предназначенных для использования в сетях с беспроводным высокоскоростным доступом в интернет и мультимедийного контента; дети - целевая маркетинговая группа для операторов связи и владельцев ресурсов сети интернет; ЭМ облучение: локально – ближняя зона антенны голова, кисти рук, область живота; тотально – дальняя зона антенны - от базовых станций сетей беспроводного доступа и от системы базовых станций сотовой связи: рост общего ЭМ фона, резкая неоднородность распределения величин ЭМП в городских условиях.

2019 год: кумуляция эффектов действия факторов после качественного перехода к высокоскоростному беспроводному доступу; данные Росстата приведены без влияния пандемии.

Данные отчетов Росстата за 1995–2019 годы по состоянию заболеваемости подростков в возрасте 15–17 лет по прогнозным группам болезней сведены в таблице 1, они дополнены данными Минцифры о количестве абонентов сотовой связи в соответствующем году [24,25,26,27].

Таблица 1. Заболеваемость подростков в возрасте 15–17 лет по прогнозным группам (зарегистрировано больных с диагнозом, установленным впервые в жизни на 100 тыс., детей соответствующего возраста)

Группы	1995	2000	2010	2019
абоненты, млн человек	0,1	3	237	260,7
число детей в популяции, тыс. человек	6668	7570	4580	4433
новообразования	130,0	225,9	385,8	547,6
болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	284,3	483	833,3	823,9
болезни нервной системы	5254,32*	2048,1	3832,1	3807,5
эпилепсия, эпилептический статус	29,6	52,1	71,2	79,8
болезни глаза и его придаточного аппарата	—	3669,7	5722,7	6155,2
численность пациентов, которым оказывается консультат.-лечебная помощь в связи с психическими расстройствами и расстройствами поведения	885,1	1338,4	2435,0	2579,3

*) В 1995 году в болезни нервной системы включались болезни глаза и его придаточного аппарата и болезни уха и сосцевидного отростка

Из данных табл. 1 следует, что этап массового распространения сотовой связи (до 2010 г.) привел к резкому росту во всех группах прогнозных заболеваний. Качественный переход к высокоскоростному беспроводному доступу и распространению смартфонов после 2010 г., приведший к изменению условий облучения, к 2019 г. сопровождается стабилизацией числа болезней нервной системы и группы «болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм». Все годы имеется стабильный рост численности пациентов, которым оказывается консультативно-лечебная помощь в связи с психическими расстройствами, и данных по эпилепсии. Остальные учитываемые нами показатели «прогнозной» заболеваемости также растут. При этом численность контингента в группе сократилась в 1,7 раза к 2019 г. по сравнению с началом массового распространения сотовой связи.

В совокупности данные Росстата говорят о планомерном ухудшении состояния здоровья в наблюдаемой возрастной группе за период разви-

тия сотовой связи и информационно-компьютерных технологий, использующих беспроводные системы доступа. Это подтверждает ранее выделенный сотрудниками Института медико-биологических проблем РАН (ИМБП РАН) тренд: каждое последующее поколение россиян обладает меньшим потенциалом здоровья, чем предыдущее. Предложенная в 2009 г. ИМБП РАН модель анализа влияния факторов, значимых в популяционном масштабе, учитывает ЭМП как один из ведущих неблагоприятных факторов, который способствует патологическим процессам, ведущим к ускоренному старению, опережая известную ранее норму возрастных изменений на 4–10 лет [28].

Считая очевидным сам факт роста в данных Росстата ранее прогнозируемых заболеваний, обусловленных влиянием электромагнитных факторов подвижной связи и информационно-коммуникационных технологий в целом, кратко остановимся на наиболее дискуссионных вопросах оценки роста новообразований и болезней глаз, поскольку доказанное влияние ЭМП радиочастот

на нервную и иммунную системы многократно обсуждалось коллегами и нами [5,29,30,31].

Согласно данным Росстата (см. табл. 1), если рассматривать контингент «домобильного» 1995 г. как контрольную группу, то к 2019 г. относительное число новообразований в группе 15–17 летних выросло в 4,2 раза.

По отчетным данным Минздрава России, у детей преимущественной локализацией опухолей являются злокачественные новообразования головного мозга и других отделов нервной системы, удельный вес которых составил 15,5% в 2019 г. (494 случая) всех новообразований и 28,4% солидных опухолей [32]. Если применить процентное соотношение Минздрава к данным Росстата, в группе 15–17 лет частота возникновения злокачественных новообразований головного мозга и других отделов нервной системы составляет 84,9 на 100 тыс. и контингент заболевших должен составлять в 2019 г. 3763 подростков этого возраста. Количество учтенных опухолей в детском контингенте вполне позволяет провести полноценный анализ «случай-контроль», который до настоящего времени не был сделан в нашей стране.

В целом по населению специалисты Минздрава отмечают устойчивый рост частоты диагностируемых опухолей головного мозга, в том числе вторичных (метастазов). В возрастных группах до 40 лет в структуре смертности от злокачественных новообразований на втором месте находится смертность от новообразований головного мозга. Это именно те возрастные группы, которые были подростками в период взрывного роста абонентов сотовой связи в начале 2000-х, в период распространения «голосовых» абонентских терминалов и локализации облучения головы. По-видимому, как ранее заключили сотрудники ИМБП РАН, здоровье детей на протяжении жизни не компенсируется и с годами не восстанавливается, а продолжает ухудшаться [28].

Статистика по новообразованиям, локализованным в головном мозге, соответствует тренду стран, развивающих беспроводную связь как массовую услугу населению с начала 1990-х и, по мнению ряда ведущих экспертов, что может быть вызвано высокой распространенностью использования беспроводных телефонов среди детей и в подростковом возрасте, поскольку латентный период развития опухоли оценивается в 10 лет экспозиции ЭМП [33].

Новообразования в головном мозге (глиома, глиобластома) являются основой для первичной классификации ЭМП беспроводной связи как канцерогена Международным агентством по исследованию рака (IARC) в 2011 г. В марте 2019 г. рабочая группа перспективного планирования IARC, с участием автора настоящей статьи, проанализировав данные по 170 различным канцер-агентам,

пришла к выводу, что достаточно данных для пересмотра существующей карцер-классификации 2В электромагнитного поля сотовой связи, и включила ЭМП радиочастот в группу наивысших приоритетов. Согласно отчету IARC, результаты исследований после 2011 г. дают ясность в механизме возникновения злокачественных опухолей при воздействии ЭМП сотовой связи, однако вероятность развития злокачественных новообразований и условия их возникновения не ясны [34,35]. IARC констатирует рост учтенных глиом в странах, развивающих ИКТ, но вопрос причины роста является одним из наиболее дискуссионных, поскольку злокачественные опухоли головного мозга относятся к стохастическим эффектам, для которых не выражена морфологическая и клиническая специфичность при воздействии ЭМП. Отсутствие специфики и этиологическая многофакторность возникновения новообразований требует обязательно учитывать помимо ЭМП и другие потенциальные значимые факторы, что усложняет эпидемиологическую задачу [36].

В целом по населению, согласно отчету МНИОИ имени П. А. Герцена, рост злокачественных новообразований головного мозга с 2009 по 2019 гг. составил 27% из расчета на 100 тысяч человек [32]. В публикациях сотрудников этого института указано, что наиболее распространенная первичная опухоль головного мозга — глиома — возникает с частотой в 10–13 случаев на 100 тыс. населения в год [26]. В 2015 г. было учтено 4,8 случая на 100 тысяч населения и 4,2 случая в 2010 г., это более чем двукратный рост за 10 лет, что соответствует данным Росстата о скорости прироста опухолей для контингента 15-17 лет (табл. 1) и укладывается в представление о наличии латентного периода около 10 лет [37].

Относительное количество заболеваний глаз увеличилось в 1,7 раза за период с 2000 г. по 2019 г. Согласно исследованиям гигиены детей и подростков, болезни глаза, в основном миопия, стали занимать одно из лидирующих мест в структуре подростковой заболеваемости: за одиннадцатилетний период обучения в школе частота встречаемости функциональных нарушений зрения у школьников увеличилась вдвое, а хронических болезней — в 16 раз. Более 62,0% выпускников школы имели нарушения зрения [38]. Наибольшее внимание традиционно уделяется зрительной напряженности при использовании экранов, действию на орган зрения видимого света и ультрафиолета. Однако отделить ЭМ фактор от прочих вредных факторов при использовании ИКТ невозможно, а при комбинированном действии факторов возможен синергетический эффект. В радиобиологии сложилось устойчивое представление, что в случае синергетического взаимодействия повреждений, вызываемых различными физическими агентами, результирующий биологический эффект больше ожидаемой суммы эффектов

от каждого фактора в отдельности при их независимом действии.

Имеется ряд исследований, которые необходимо принимать во внимание при анализе роста заболеваемости органа зрения. Ранее проводившееся экспериментальное моделирование облучения в ближней зоне антенны на частотах диапазона сотовой связи показало неравномерность поглощения ЭМ энергии по объему головы с пиком в области глазниц, при этом на усредненной детской в 1,52 раза больше, чем для взрослого [39]. Важные, но не цитируемые в настоящее время исследования по влиянию ЭМП на орган зрения были проведены в свое время в лабораториях академиков П.П. Лазарева и Л.А. Орбели [40,41]. На добровольцах и в эксперименте с животными показано, что облучение головного мозга в области мозжечка ЭМП с частотами, близкими к полосе сотовой связи, приводит к стойкому снижению световой чувствительности глаза. Классик офтальмологии профессор С.В. Кравков заключал, что на световой чувствительности глаза скажется ряд «раздражителей, действующих на наш организм, не вызывая заметных субъективных ощущений», имея в виду в качестве раздражителей прежде всего ЭМП УВЧ и СВЧ диапазонов [42]. По нашему мнению, совокупность данных дает достаточные основания для экспериментальной проверки с целью получения данных о возможном механизме прямого и/или синергетического эффекта ЭМП ближней зоны устройств ИКТ и остальных неблагоприятных факторов действия экрана на глаза.

Вопрос обусловленности прироста заболеваемости облучением электромагнитным полем оборудования сотовой связи является ключевым. Очевидно, что для решения этого вопроса необходимо провести оценку фактической экспозиции, что является важнейшим классическим этапом оценки причинно-следственной связи. Величина экспозиции определяется как измеренное или рассчитанное количество воздействующего электромагнитного фактора, падающего или поглощаемого телом человека в целом или его критическими органами за точно установленный период времени. Это качественная и количественная характеристика интенсивности, частоты и ритмичности повторяемости, продолжительности и путей воздействия электромагнитного фактора. Учет реальных условий облучения абонента сотовой связи представляет очевидную сложность, особенно в связи с современным характером использования абонентского терминала, когда голосо-

вой разговор дополняется передачей данных, текстингом и так далее, что не предполагает расположение антенн возле головы, но сохраняет облучение ЭМП ближней зоны для других участков тела.

При анализе конкретных случаев заболеваемости требуется провести ретроспективный анализ индивидуальных условий облучения за несколько лет, что, очевидно, невозможно. Усредненные показатели суточного голосового трафика всех абонентов сотовой связи нашей страны составляют приблизительно 11 минут [43], однако, как было показано ранее нами и нашими коллегами, существуют группы абонентов, имеющих голосовой трафик до нескольких часов в день, что позволяет говорить о существовании различных когорт по критерию продолжительности использования [5]. Тем не менее, нет однозначной корреляции между временем использования и условной дозой энергетической нагрузки. В реальных условиях ЭМП ИКТ характеризуются меняющейся по времени амплитудой, многочастотным составом, интермиттирующим импульсным облучением. На рисунках 1–3 показаны типичные примеры записи ЭМП – запись плотности потока энергии (ППЭ), характеризующей величину ЭМП, а также частотный состав ЭМП.

Различие стандартов связи и одновременное облучение ЭМП разных стандартов связи ведет к разным индивидуальным способам организации облучения: это значимо для биоэффекта и последующей их кумуляции при повторном действии, что указывает на путь к компенсаторным реакциям и к развитию заболеваний. Исследования «домобильной» эры показали, что для формирования общей реакции организма основное значение имеет реакция центральной нервной системы. ЭМП нетепловой интенсивности необходимо рассматривать как слабый, подпороговый раздражитель для ЦНС, к которому применимы законы физиологии о биологической силе, адаптационных реакциях и путях модификации биологического эффекта. При этом непосредственно биологический эффект ЭМ облучения определяется параметрами облучения (частота, интенсивность, модуляция, повторяемость, поляризация, градиент плотности потока энергии, зона антенны и т.д.), локализацией облучения и свойствами облучаемой ткани, геометрическими параметрами объекта облучения, функциональным состоянием и исходным фоном ЦНС, в том числе типом центральной нервной системы [5,13,29,31].

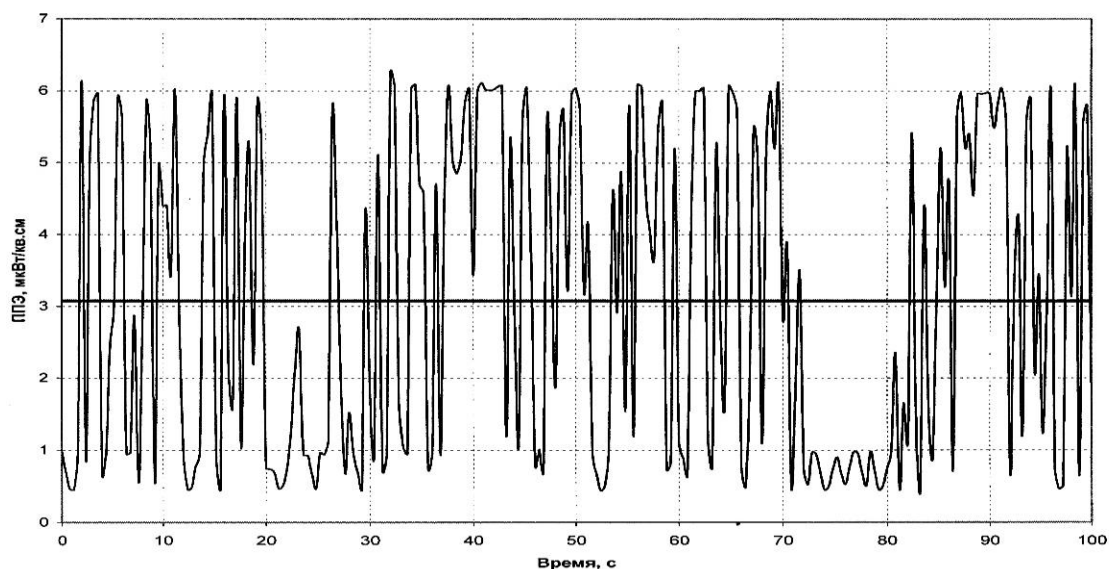


Рис. 1. Непосредственная запись изменения среднеквадратического значения ППЭ сотового телефона стандарта GSM (лабораторный стенд, собственные данные)

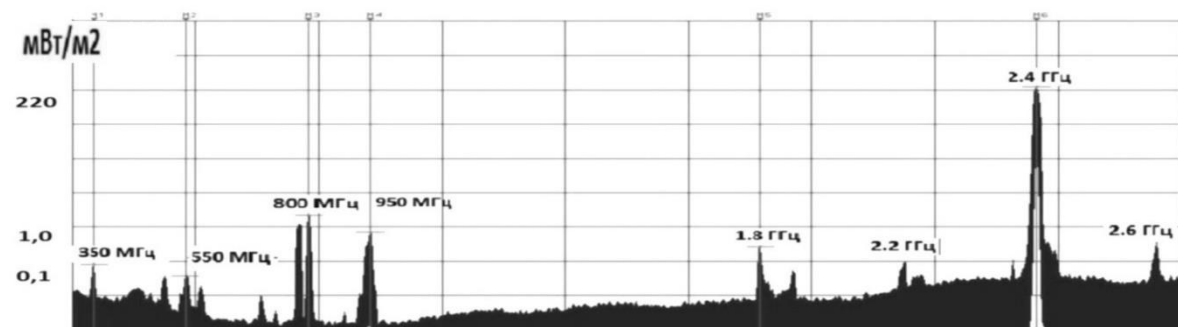


Рис. 2. Состав ЭМП в диапазоне систем беспроводной связи на типичном рабочем месте ИКТ [44]

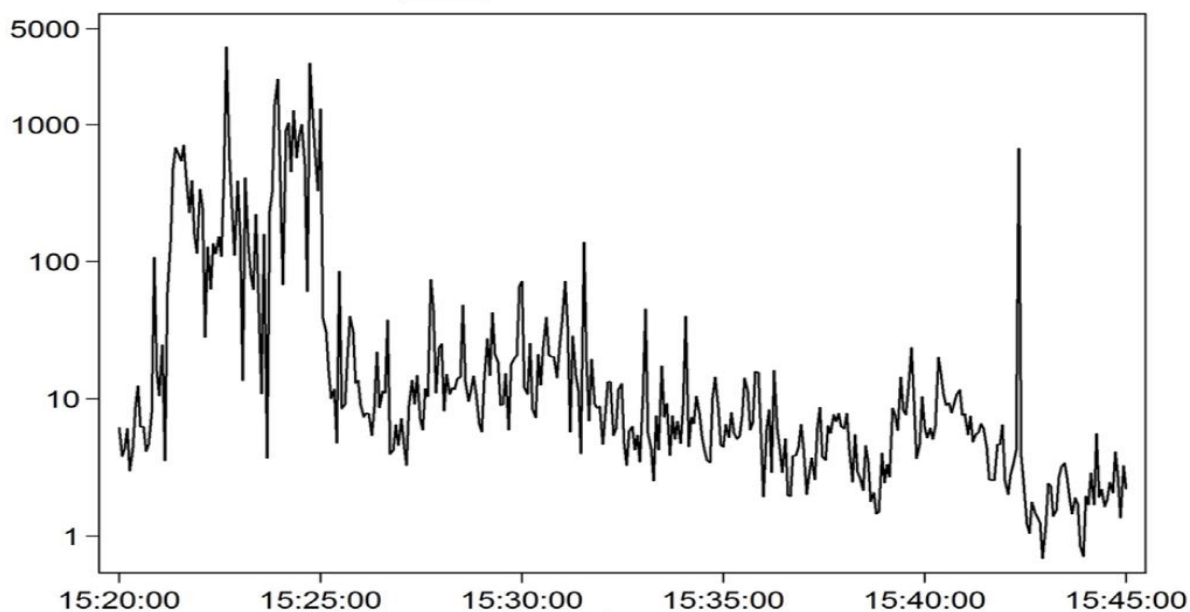


Рис. 3. Запись значений ППЭ на рабочем месте учителя при просмотре в классе потокового видео через WiFi [45]

Современное обобщение экспериментальных данных о количественных показателях микроволнового поражения показало особенность реакции ЦНС на импульсное СВЧ-излучение при оценке по порогам равнозначных биологических реакций (например, скорость угасания условных рефлексов, скорость формирования реакции избегания и т.д.): импульсное облучение биологически в 25-100 раз более эффективно по сравнению с непрерывным облучением по оценке средней мощности в импульсе [46].

Доказана экспериментально и по эпидемиологическим данным и обратная зависимость: при равной суммарной мощности облучения воздействие импульсом приводит к более тяжелым биологическим и клиническим последствиям по сравнению с непрерывным облучением.

В базах данных имеются работы по медико-биологическим эффектам сложноорганизованных условий облучения. Выраженность биологических последствий воздействия модулированных многочастотных ЭМП зависит не только от энергетических параметров излучения, но и от их спектральных характеристик. Биологическое действие модулированных многочастотных электромагнитных излучений низкой интенсивности имеет особенности по сравнению с облучением ЭМП на отдельных частотах, входящих в многочастотное облучение. Отмечается выраженное и длительное изменение высшей нервной деятельности животных. Хроническое воздействие модулированных многочастотных ЭМИ приводит к ускоренному формированию «астено-невротического синдрома», ранее описанного Садчиковой и Готовой как этап развития клинически значимой реакции на хроническое облучение нетепловой интенсивности [22,31]. У облучаемых повышается психоэмоциональная напряженность, ухудшается зрительная память, переключаемость и концентрация внимания, определяется повышение частоты сердечных сокращений и диастолического артериального давления, снижается толерантность к физической нагрузке [47].

Сложность характеристики индивидуальной «дозы» электромагнитного облучения систем беспроводной связи и информационно-компьютерных технологий накладывает ограничения на установление точной причинно-следственной связи облучения и заболеваемости, что является предметом многолетней дискуссии в ВОЗ и IARC.

Тем не менее, IARC обосновал схему классификации для канцерогенной оценки факторов в

условиях неполных данных о реальных дозах воздействия, поскольку проблема «дозы» актуальна для подавляющего большинства факторов. Этот подход был ранее использован нами в составе международной группы перспективного планирования IARC для предварительной оценки канцерогенности ЭМП радиочастот [35]. Схема включает данные о свидетельстве заболеваний у человека, наличие доказанных биоэффектов у экспериментальных животных, знание механизма развития биологического эффекта/заболевания при действии фактора [48]. В зависимости от достаточности данных, по «поточковой» системе рассмотрения, выносятся экспертные заключения о связи фактора с заболеванием. Поскольку IARC использует универсальный научный метод, то его справедливо распространить для экспертной оценки связи фактора с заболеваниями в общем случае, в том числе применительно к рассмотрению прогнозных заболеваний. Для этого нами на основе руководства IARC (IARC Monographs Preamble, таблица 4, раздел 5) использована схема оценки применительно к группам болезней, прогнозирувшимся в связи с действием ЭМП беспроводной связи, результаты изложены в таблице 2. Строка «новообразования» заполнена в соответствии с заключением группы перспективного планирования IARC [35], однако классификация требует уточнения: из решения группы перспективного планирования следует безусловное существование связи, однако, следует дожидаться выхода новой монографии IARC по канцер-классификации электромагнитного поля радиочастот беспроводной связи (после 2024 г.). Строки по остальным группам заболеваний заполнены в соответствии с имеющимися в нашем распоряжении результатами исследований, опубликованных в монографиях и рецензированных статьях, часть из которых приведена в списке литературы настоящей статьи [5,7,13,22,30,31,39,46].

Из оценки реализации прогноза вклада электромагнитного поля сотовой связи в рост заболеваемости, выполненной на основе методологии IARC, следует, что обусловленность роста заболеваемости вредным влиянием электромагнитного поля технологий беспроводной связи в контингенте 15–17 лет скорее достоверно существует, чем является случайным совпадением на протяжении двадцати лет внедрения сотовой связи и информационно-компьютерных технологий с беспроводной передачей данных.

Таблица 2. Реализация прогноза заболеваемости в связи с воздействием ЭМП беспроводной связи по группам статистического учета болезней, обоснованных до 2008 г.

	Свидетельство заболеваний/биоэффектов у человека	Свидетельство биоэффектов у экспериментальных животных	Знание механизма биоэффекта	Классификация связи ЭМ фактора с заболеванием
новообразования	Достаточно	Достаточно	Достаточно	Связь безусловно (вероятно?) существует
болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	Меньше, чем достаточно	Достаточно	Достаточно	Связь, вероятно, существует
болезни нервной системы	Достаточно	Достаточно	Достаточно	Связь безусловно существует
эпилепсия, эпилептический статус	Ограничено или недостаточно	Достаточно	Меньше, чем достаточно	Связь, возможно, существует
болезни глаза и его придаточного аппарата	Достаточно	Достаточно	Меньше, чем достаточно	Связь, вероятно, существует

При изучении влияния факторов среды на здоровье степень вреда в количественных показателях характеризует риск развития неблагоприятных последствий. В общем виде величина риска включает вероятность события, ущерб, выраженный в числе заболеваний в результате облучения, а также неопределенности в оценке соответствующих вероятности и ущербу. По существу, оценка риска — это разновидность экспертных заключений, направленных на определение числа людей, способных проявить негативные реакции на воздействие конкретного неблагоприятного фактора, действующего с определенной интенсивностью в течение определенного промежутка времени [49]. Методологически необходимо выделять группы наблюдения, подвергавшихся воздействию разных уровней облучения в разных режимах, и сравнивать частоту заболеваний с группами контроля, не подвергавшихся облучению. Группы наблюдения и контроля должны подбираться по единому протоколу, то есть находиться в приблизительно одинаковых экологических и социальных условиях, очевидно, что, учитывая полный охват популяции источниками ЭМП, контроль может быть только ретроспективный. Расчет риска действия факторов излучения требует знания индивидуальной дозы облученных в исследуемой когорте или средней дозы для популяции как по методологии НКДАР ООН, так и согласно отечественным публикациям [49,50]. Теоретически, при оценке

риска действия ЭМП беспроводной связи можно было бы рассматривать относительный риск, отношение показателей заболеваемости в исследуемой и контрольной группах $RR = O / E$, где O - число критериальных событий, наблюдаемых в популяции, E - число событий, ожидаемых в популяции при отсутствии воздействия (число спонтанных проявлений). При этом надо принять в качестве контроля группу 1995 года, когда заведомо ЭМ фактор подвижной связи не был значим для популяции. Число критериальных событий необходимо определять с учетом накопленных заболеваний в исследуемой группе, а не только по данным Росстата по впервые поставленным в отчетном году диагнозам, что заведомо увеличит количество болезней.

Таким образом, вопрос учета индивидуальной «дозы» является ключевым в оценке риска, так же как в понимании обусловленности заболеваемости, а формальная оценка риска может быть выполнена на основе ретроспективных данных о состоянии здоровья при определенных допущениях, что требует дополнительного исследования отчетных данных и методической проработки.

Поскольку беспроводная связь является заметной в структуре экономики, в последние годы применительно к действию электромагнитного поля предлагается применять концепцию приемлемого риска. Уровень приемлемого риска отве-

чает условию равновесия между риском негативных последствий и пользой от конкретного вида деятельности с учетом появления дополнительных источников риска для отдельных членов и общества в целом. Проблема оценки приемлемого риска имеет социальные, экономические и психологические аспекты [49]. Социальные аспекты проявляются в том, что преимущества от осуществления деятельности, несущей риск, могут использоваться одними членами общества (точнее, крупным бизнесом), тогда как риски неблагоприятных последствий, связанных с её недостатками, приходится на других. Психологические проблемы связаны прежде всего с жизненным опытом индивидуума, нормами и ценностями общества, влиянием медиа и социальных сетей. Экономические аспекты проявляются как затраты, направленные для снижения риска до заданного уровня и потери из-за недостаточного низкого уровня риска, а решение о затратах на обеспечение здоровья зависит от принятого обществом уровня приемлемых последствий от дополнительных источников риска.

Очевидно, что дополнительный риск не должен превышать существующие техногенные риски для населения (риск от радиационного загрязнения, шума и т.п.). Существующие принципы обоснования ПДУ для населения исходят из принципа гарантии сохранения здоровья настоящему и будущим поколениям [51]. С другой стороны, эти гарантии заведомо невозможно обеспечить, хотя бы на основе того, что в санитарных нормах ЕвразЭС к абонентским терминалам и персональным устройствам подвижной связи указана их неприменимость к продукции для несовершеннолетних.

В связи с попыткой внедрения сетей 5G, ведущими зарубежными исследователями опубликован ряд прогнозов по возможному влиянию электромагнитного поля этих сетей на здоровье. 5G вносит принципиальные изменения в способах генерации и распределения ЭМ энергии, в том числе использование активной фазированной ре-

шетки для формирования «луча», расширение полосы частот до 100 ГГц, использование многочастотного импульсного режима облучения и свипирования. Следует обратить внимание, что часть прогнозов публикуется по итогам исследований, финансировавшихся Агентством перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США (DARPA) [52].

Наиболее важно в новых прогнозах, по нашему мнению, следующее:

- поверхностные ткани являются органами-мишенями, в том числе роговица глаза и «богатая нервами кожа человека, самый большой защитный орган тела»;

- возможны локальные повреждения мозга в связи с реализацией механизма поглощения «мощного импульсного микроволнового излучения в микросекундном диапазоне длительности импульса» - по типу механизма возникновения «микроволнового слухового эффекта»;

- вероятно влияние сигналов 5G на рост меланомы;

- предполагается реализация механизма «окислительного стресса», который не будет компенсирован «системами обратной связи и контроля организма» и увеличит вероятность возникновения неблагоприятных последствий для здоровья.

В то же время, Джеймс Лин, главный редактор журнала «Биоэлектромагнетикс», обобщил, что в англоязычной литературе по состоянию на январь 2022 г. имеется около 100 лабораторных исследований всех типов, которые могут быть соотнесены с условиями воздействия 5G [53]. Сообщения о биологических реакциях противоречивы. Типы лабораторных исследований, о которых сообщается, ограниченные и разнообразны, учитывая широкий частотный диапазон 5G в миллиметровом диапазоне. Отсутствуют постоянные контролируемые лабораторные исследования, которые поддерживают методы, процедуры и протоколы, поддающиеся независимому воспроизведению, включая дозиметрию и контроль температуры.

Заключение

В Российской Федерации законным критерием безопасности воздействия электромагнитного поля на население является соответствие условий облучения обязательным гигиеническим нормативам. Четверть века развития беспроводной связи в России используются гигиенические нормативы ЭМП, принятые в 1994 г. Однако экспериментальные исследования по научному обоснованию предельно допустимых уровней ЭМП базовых станций сотовой связи (дальняя зона излучения) и абонентских терминалов (ближняя зона) в нашей стране проводилось в крайне ограниченных масштабах, не позволяющих надежно обосновать критерии безопасности.

Достаточно определенно можно говорить, что радиобиологические прогнозы о возможном росте

заболеваемости, обусловленной ЭМП беспроводной связи широких слоев населения, прежде всего детей, и данные государственной статистики заболеваемости с 1995 по 2019 г. совпадают в группе детей 15–17 лет (злокачественные опухоли, болезни нервной системы, нарушение иммунного статуса, болезни органа слуха и зрения).

Данные фундаментальных исследований радиобиологии и гигиены неионизирующих излучений, а также оценка возможного вклада электромагнитного поля сотовой связи в рост заболеваемости, выполненная на основе методологии IARC, показывает, что обусловленность роста заболеваемости вредным влиянием электромагнитного

поля скорее достоверно существует, чем является случайным совпадением.

Непосредственное определение риска согласно классической методологии затруднено в связи с неопределенностью данных дозиметрии, отсутствием современных групп сравнения и неразработанностью концепции приемлемого риска для массовой технологии сотовой связи.

Рассмотренные нами данные требуют ответа на вопрос этического плана - могут ли вредные факторы технологии беспроводной связи, воздействию которых подвергаются дети и подростки, быть оценены с позиции «приемлемого риска»?

Очевидно, что необходимо исследовать обусловленность роста заболеваемости именно экспозицией ЭМП оборудования сотовой связи. Требуется провести оценку фактической экспозиции, решить проблему кейс-контроля в случаях развития злокачественных новообразований головного мозга.

В связи с развитием стандартов связи 4, 5, 6G поколения необходимо в программах замещения импорта предусмотреть выпуск отечественных селективных средств измерения ЭМП радиочастот, без которых невозможно идентифицировать

источник излучения в условиях сложной электромагнитной обстановки, а также отечественные средства измерения величин ЭМП в ближней зоне излучения абонентских терминалов. Требуется национальное программное обеспечение расчетного прогнозирования нисходящих сигналов от антенн MiMO. Ранее разработанные временные допустимые уровни ЭМП, создаваемые АТ у головы пользователя, устарели и требуют корректировки ввиду изменения самих устройств и характеристик радиочастотного сигнала.

Известны исторические примеры, когда игнорировались ранние научные предупреждения о рисках здоровью, что привело к потере времени на профилактику заболеваемости и разработку защитных мероприятий: сажа (200 лет), табакокурение (190 лет), асбест (78 лет), ДДТ, ионизирующая радиация и так далее. Нельзя исключать, что эффект вредного действия электромагнитного поля радиочастот, используемых беспроводной связью, стоит в этом же ряду длительного процесса рассмотрения научной доказательной базы, и, если тренд на рост заболеваемости сохранится, то цена вопроса в конечном итоге может оказаться непосильной для общества и государства.

Литература

1. Алексеева В.А. С.И. Костин и становление исследований биологических эффектов электромагнитного поля в Российской империи // Вопросы истории естествознания и техники. 2019. С. 681–683.
2. Измеров Н.Ф., Каспаров А.А., Мойкин Ю.В., и др. Гигиеническое нормирование факторов производственной среды и трудового процесса / Под ред. Н.Ф. Измерова, А.А. Каспарова, АМН СССР. М.: Медицина, 1986. 239 с.
3. Шандала М.Г. Методологические вопросы гигиенического нормирования неионизирующих электромагнитных излучений для населения. В сб. научных трудов «Биологические эффекты электромагнитных полей. Вопросы их использования и нормирования. Пущино, 1986, С. 135-150.
4. ГН 2.1.8./2.2.4.019-94 «Временные допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи». М.: ГСЭН России, 1995.
5. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А. Сотовая связь и здоровье: электромагнитная обстановка, радиобиологические и гигиенические проблемы, прогноз опасности. М.: Экономика; 2016. 574 с.
6. Радиационная медицина. Т.4. Гигиенические проблемы неионизирующих излучений (биологическое действие, принципы защиты и гигиеническая регламентация) / Под ред. Григорьева Ю.Г., Степанова В.С. М.: Изд.АТ. 1999. 304 с.
7. Сердюк А.М. Взаимодействие организма с электромагнитными полями как с фактором окружающей среды. К., "Наукова думка", 1977, 228 с.
8. Шандала М.Г. Задачи гигиенических исследований по изучению физических факторов окружающей среды в свете решений XXVI съезда КПСС. Гигиена и санитария, №8, 1981, С. 4-7.
9. Григорьев О.А., Меркулов А.В., Григорьев К.А. Электромагнитные поля базовых станций подвижной радиосвязи и экология. Характеристика и оценка электромагнитной обстановки вокруг базовых станций подвижной радиосвязи. Радиационная биология. Радиоэкология. - 2005. - Т.45, вып. 6. - С.722-725.
10. Григорьев О.А., Зубарев Ю.Б. Управление электромагнитной обстановкой: баланс между здоровьем и технологиями // Вестник связи, №12, 2020 С. 20 - 27.
11. Бузов А.Л., Кольчугин Ю.И., Никонова К.В. и др. Предельно допустимые уровни электромагнитного излучения радиосредств сотовых систем подвижной связи // Электросвязь. 1997. № 10. С. 24–25.
12. Сотовая связь как гигиенически значимый источник электромагнитного поля: Учебно-методическое пособие/ О.А. Григорьев, А.В. Меркулов / Под. ред. А.Ю. Бушманова. - М.: ФГБУ ФМБЦ им. Бурназяна, 2012. - 92 с.

13. Григорьев Ю.Г., Лукьянова С.Н., Григорьев О.А., Рынсков В.В. и др. Реакции человека на электромагнитное излучение сотового телефона. Материалы международного совещания "Электромагнитные поля. Биологическое действие и гигиеническое нормирование (под редакцией М.Х. Репачоли, Н.Б. Рубцовой, А.М. Муц). Женева, ВОЗ, 1999, С. 525– 541.
14. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). - 2-е изд., испр. - М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. - 707 с.
15. Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, Noonan D, Finnie J and Harris AW: Lymphomas in E mu-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat Res* 147: 631-640, 1997.
16. WHO Agenda for EMF Research, Report WHO/EMG/98.13. World Health Organization, Geneva, 1998.
17. WHO Research Agenda for Radio Frequency Fields. World Health Organization, Geneva, 2006.
18. Ежегодник Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений за 2002 год // Сборник трудов. - М.: Изд-во РУДН, 2003. С. 190–191.
19. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А. Основные научные итоги международной конференции "Сотовая связь и здоровье: медико-биологические и социальные аспекты". в сб. "Ежегодник Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений за 2004-2005" // Сборник трудов. – М.: Изд-во АЛАНА, 2006. – С. 66-69.
20. Ежегодник Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений за 2008 год // Сборник трудов. - М.: Изд-во АЛАНА, 2008.- С. 117-118.
21. WHO EMF research agenda, World Health Organization, Geneva, 2010
22. Садчикова М.Н., Глотова К.В. Клиника, патогенез, лечение и исход радиоволновой болезни. В кн. О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот. М. 1973. С. 43–51.
23. Девяткин Е.Е. и др. Система показателей и индикаторов стадий жизненного цикла развития поколений сетей подвижной связи. Труды НИИР/ Сборник научных статей. №1, 2021. с. 16-24.
24. Дети в России. 2009: Стат. сб./ЮНИСЕФ, Росстат. М.: ИИЦ «Статистика России», 2009. – 121 с.
25. Россия в цифрах. 2019: Крат. стат. сб./Росстат- М., Р76 2019–549 с.
26. Российский статистический ежегодник. 2020: Стат. сб./Росстат. - М., 2020–700 с.
27. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, <https://digital.gov.ru/ru/activity/statistic/statistika-otrasli>, дата обращения 14 августа 2022.
28. Экология, социальный стресс, здоровье населения и демографические проблемы России: монография / [А.В. Шафиркин и др.]; Государственный научный центр Институт медико-биологических проблем РАН, Воронежская государственная медицинская академия им. Н.Н. Бурденко. - Воронеж: Научная книга. 2009. - 435 с.
29. Григорьев О.А., Никитина В.Н., Носов В.Н., Пекин А.В., Алексеева В.А., Дубровская Е.Н. Электромагнитная безопасность населения. Национальные и международные нормативы электромагнитных полей радиочастотного диапазона // Здоровье населения и среда обитания. 2020. No 10 (331). С. 28–33. DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-331-10-28-33>.
30. Grigoriev Y., Grigoriev O, Ivanov A, Lyaginskaya A, Merkulov A, Shagina N, Maltsev N, Lévéque Ph, Ulanova A., Osipov V , Shafirkin. A confirmation studies of soviet research on immunological effects of microves: russian immunology results J. *Bioelectromagnetics*. 2010, Vol. 31, N8, p. 589-602.
31. Лукьянова С.Н. Электромагнитное поле СВЧ диапазона нетепловой интенсивности как раздражитель для центральной нервной системы. Москва: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2015. 200 с.
32. Злокачественные новообразования в России в 2019 году (заболеваемость и смертность) Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, – 2020. – илл. – 252 с. ISBN 978-5-85502-260-5.
33. Hardell L., Carlberg M. Lost opportunities for cancer prevention: historical evidence on early warnings with emphasis on radiofrequency radiation. *Rev Environ Health* 2021; <https://doi.org/10.1515/reveh-2020-0168>. published online February 15, 2021.
34. Advisory Group recommendations on priorities for the IARC Monographs. *The Lancet Oncology*. April 2019. Published online April 17, 2019 [http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045\(19\)30246-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045(19)30246-3).
35. IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. Report of the Advisory Group to Recommend Priorities for the IARC Monographs during 2020–2024. IARC 2019. p.316.
36. Wild CP, Weiderpass E, Stewart BW, editors (2020). *World Cancer Report: Cancer Research for Cancer Prevention*. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer. Available from: <http://publications.iarc.fr/586>. Licence: CC BY-NC-ND 3.0 IGO.
37. Carlberg M. and Hardell L. Review Article Evaluation of Mobile Phone and Cordless Phone Use and Glioma Risk Using the Bradford Hill Viewpoints from 1965 on Association or Causation. *Hindawi BioMed Research International* Volume 2017, Article ID 9218486, 17 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2017/9218486>

38. Степанова М.И. Гигиеническая безопасность цифровой образовательной среды для детей и подростков. Педагогика 2018; 12: 38–46.
39. Биологическое действие, нормирование и защита от электромагнитных излучений / Б.И. Давыдов, В.С. Тихончук, В.В. Антипов. Под ред. Ю.Г. Григорьева. - М. Энергоатомиздат, 1984. -176 с.
40. Лившиц Н.Н. Темновая адаптация глаз при воздействии поля УВЧ на затылочную область. Тр. Физиол. инст. им. Павлова, Изд. АН СССР, М.—Л., 1947, 2: 51—63.
41. Шейвехман С.Е. Влияние воздействия полем УВЧ на слуховую чувствительность при приложении электродов в области проекции слуховой зоны коры. Проблемы физиол. акустики. Изд. АН СССР, М.—Л., 1949.: 122—127.4к5.
42. Кравков С. В.. Взаимодействие органов чувств. Изд. АН СССР, М.—Л., 1948.
43. Ициксон А.И. Рациональное пространственное распределение информационного голосового трафика в России. Экономика, предпринимательство и право. Том 10, номер 4, апрель 2020. с. 1181–1194.
44. Комаров Д.Б., Прокофьева А.С., Григорьев О. А. Электромагнитная безопасность на рабочем месте в цифровой образовательной среде - гигиеническая характеристика типичных условий. Актуальные вопросы радиобиологии и гигиены неионизирующих излучений: сборник докладов всероссийской научной конференции, Москва, 12–13 ноября 2019 г. – Москва: Российский национальный комитет по защите от неионизирующих излучений, 2019. – 184 с.
45. Hedendahl LK, Carlberg M, Koppel T and Hardell L (2017) Measurements of Radiofrequency Radiation with a Body-Borne Exposimeter in Swedish Schools with Wi-Fi. Front. Public Health 5:279. doi: 10.3389/fpubh.2017.00279
46. Жаворонков Л.П., Петин В.Г. Количественные критерии микроволнового поражения. - М.: ГЕОС, 2018. 232 с.
47. Могила А.И. Сравнительная оценка неблагоприятных эффектов воздействия на организм модулированных многочастотных и одночастотных электромагнитных излучений (клинико-экспериментальное исследование). Дисс. к.м.н. ВМА им. Кирова, СПб, 2003.
48. International Agency for Research on Cancer. Preamble to the IARC Monographs. 2019. <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2019/01/Preamble-2019.pdf>.
49. Техногенное облучение и безопасность человека. Монография под редакцией академика РАМН Л.А. Ильина. М.: ИздАТ, 2006. 304 с.
50. Демин В.Ф., Захарченко И.Е. Риск воздействия ионизирующего излучения и других вредных факторов на здоровье человека: методы оценки и практическое применение. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2012, том 52, №1, С. 77–89.
51. Прогнозирование предельно допустимых уровней при гигиенической регламентации ЭМП СВЧ. Думанский Ю.Д., Иванов Д.С., Евреинов К.Г. и др. Гигиена и санитария, 1987, №12. С. 40-42.
52. F. Barnes, B. Greenebaum. Setting Guidelines for Electromagnetic Exposures and Research Needs. 2020 Bioelectromagnetics. DOI:10.1002/bem.22267.
53. James C. Lin. Health Safety Guidelines and 5G Wireless Radiation. IEEE Microwave Magazine. Jan 2022. P. 10-13, 17. DOI10.1109/MMM.2021.3117307.