



**Столетнему юбилею ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены
и общественного здоровья» посвящается**

**Влияние электромагнитных полей радиочастотного диапазона
на репродуктивную систему женского организма (обзор)**

В.Н. Никитина, Н.И. Калинина, Е.Н. Дубровская, В.П. Плеханов

ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора,
2-я Советская ул., д. 4, г. Санкт-Петербург, 191036, Российская Федерация

Резюме

Введение. Воздействие электромагнитных полей радиочастотного диапазона на репродуктивную систему женского организма глубоко изучалось в комплексных экспериментальных и клинико-гигиенических исследованиях в нашей стране в XX веке. Полученные результаты учитывались при разработке методологии гигиенического нормирования.

Цель исследования: ретроспективный анализ научных данных о влиянии электромагнитных полей радиочастотного диапазона на репродуктивную систему женского организма.

Материалы и методы. Выполнен обзор научных отечественных и зарубежных исследований с использованием библиографических баз данных Scopus, Web of Science, PubMed. Поиск осуществлялся по ключевым словам: электромагнитные поля, репродуктивная система, женский организм. Из 89 научных статей было отобрано 56 публикаций, которые соответствовали цели исследования и подтверждали неблагоприятное влияние электромагнитного фактора на состояние репродуктивной системы женского организма.

Результаты. Выполненные отечественные клинико-гигиенические исследования состояния здоровья женщин, подвергающихся воздействию электромагнитных полей радиочастотного диапазона в производственных условиях, экспериментальные исследования на животных свидетельствуют о негативном влиянии электромагнитных излучений на женскую репродуктивную систему. В настоящее время в основном представлены работы по экспериментальному изучению влияния электромагнитных полей радиочастотного диапазона со сложными характеристиками радиочастотного сигнала на репродуктивную систему самок лабораторных животных. В зарубежных эпидемиологических исследованиях основное внимание уделяется изучению влияния мобильных телефонов. В нормативно-методических документах наблюдается снижение требований к условиям труда женщин в период беременности.

Заключение. Исследование показало, что у женщин, работающих с источниками электромагнитных полей радиочастотного диапазона не тепловой интенсивности, репродуктивные эффекты могут проявляться нарушениями менструального цикла, токсикозами беременности, преждевременными родами и выкидышами. В экспериментальных исследованиях на животных подтверждено влияние электромагнитных полей радиочастотного диапазона нетепловой интенсивности на репродуктивную систему.

Ключевые слова: электромагнитные поля, репродуктивная система, женский организм.

Для цитирования: Никитина В.Н., Калинина Н.И., Дубровская Е.Н., Плеханов В.П. Влияние электромагнитных полей радиочастотного диапазона на репродуктивную систему женского организма (обзор) // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 5. С. 53–65. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-5-53-65

Dedicated to the Centenary of the North-West Public Health Research Center

**Influence of Radiofrequency Electromagnetic Fields
on Female Reproductive Health: A Review**

Valentina N. Nikitina, Nina I. Kalinina, Ekaterina N. Dubrovskaya, Vladimir P. Plekhanov

North-West Public Health Research Center, 4, 2nd Sovetskaya Street, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

Summary

Introduction: Effects of radiofrequency electromagnetic fields on the female reproductive system were the focus of comprehensive experimental, clinical, and epidemiologic studies in Russia in the 20th century. Their findings were taken into account when developing health regulations.

Objective: To analyze research data on the harmful impact of radiofrequency electromagnetic fields on the female reproductive system.

Materials and methods: We reviewed domestic and foreign publications found in Scopus, Web of Science, and PubMed bibliographic databases using the following keywords: electromagnetic fields, reproductive system, and female. Of 89 papers originally selected, 56 proved adverse effects of the electromagnetic factor on the female reproductive system and were eligible for inclusion in the review.

Results: Both Russian clinical and epidemiologic studies of women exposed to radiofrequency electromagnetic fields in the occupational setting and experimental animal studies give evidence of negative effects of electromagnetic radiation on the female reproductive system. At present, experimental studies of reproductive effects of radiofrequency electromagnetic fields with complex characteristics of a radio frequency signal in female laboratory animals are mainly presented. Foreign epidemiologic studies mainly focus on effects of mobile phone usage. Requirements for working conditions of pregnant women have been reduced in guidelines and regulations.

Conclusions: Reproductive effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields in women include menstrual disorders, toxicosis during pregnancy, premature birth, and miscarriages. Animal testing also demonstrated their detrimental impact on reproductive health.

Keywords: electromagnetic fields, female, reproductive system.

Cite as: Nikitina VN, Kalinina NI, Dubrovskaya EN, Plekhanov VP. Influence of radiofrequency electromagnetic fields on female reproductive health: A review. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(5):53–65. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-5-53-65

Введение. Изучение влияния факторов среды обитания на репродуктивную систему женского и мужского организма имеет особое значение, так как функционирование ее связано не только со здоровьем ныне живущих, но и будущих поколений. Недостаточная информированность работников, подвергающихся воздействию электромагнитных полей (далее – ЭМП) в процессе профессиональной деятельности, населения и врачей по вопросам влияния неблагоприятных факторов среды на репродуктивную функцию затрудняет практическое решение демографических проблем и задач по защите организма человека от неблагоприятного воздействия факторов^{1,2}. Электромагнитные поля радиочастотного диапазона (далее – ЭМП РЧ) техногенного происхождения являются наиболее распространенным неблагоприятным фактором среды обитания. В условиях интенсивного развития телекоммуникационных систем и цифровой экономики число беспроводных устройств различного назначения, создающих в окружающем пространстве ЭМП РЧ, лавинообразно нарастает. Воздействию радиочастотных ЭМП человек подвергается в условиях профессиональной деятельности, в быту, на открытой территории и на транспорте. В зонах пребывания людей возрастает интенсивность излучения. Человек может подвергаться одновременному воздействию многочастотных, модулированных и импульсных электромагнитных излучений (далее – ЭМИ), обладающих повышенной биологической активностью [1–4]. Воздействие радиочастотных излучений приобретает все более агрессивный характер и прогнозирование отдаленных последствий, к которым относится влияние ЭМП РЧ на репродуктивную систему, столь масштабного загрязнения среды обитания человека радиочастотными ЭМП, становится одной из актуальнейших проблем современности. Изучение влияния ЭМП РЧ на женскую репродуктивную систему было одним из направлений деятельности Ленинградского научно-исследовательского института гигиены труда и профзаболеваний (с 1997 г. ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены общественного здоровья»). В 2024 г. научному учреждению исполняется 100 лет.

Цель исследования: ретроспективный анализ научных данных о влиянии электромагнитных полей радиочастотного диапазона на репродуктивную систему женского организма.

Материалы и методы. Выполнен обзор данных отечественных научных исследований за период 1963–2023 гг., представленных в научных журналах, монографиях, сборниках научных трудов, базе электронной библиотеки научных публикаций eLibrary.ru, а также данных зарубежных исследований за период 1990–2023 гг. с использованием библиографических баз данных Scopus, Web of

Science, PubMed. Поиск осуществлялся по ключевым словам: электромагнитные поля, радиочастоты, репродуктивная система, женский организм. Из 89 научных статей было отобрано 56 публикаций, которые соответствовали цели исследования. В статье представлен исторический анализ за период 1970–2021 гг. 13 отечественных нормативно-методических документов санитарного законодательства в области защиты женского организма от неблагоприятного воздействия ЭМП радиочастотного диапазона. Документы были утверждены Главными санитарными врачами СССР, Постановлениями Госкомсанэпиднадзора России, Постановлениями Главного государственного санитарного врача Российской Федерации, Минздравом РФ.

Результаты. В период 1960–1990 гг. в СССР научными учреждениями гигиенического профиля при государственном финансировании активно проводились клинико-гигиенические исследования по изучению влияния ЭМП РЧ на организм лиц, подвергающихся воздействию фактора в различных отраслях промышленности. Исследования носили комплексный характер. В процессе клинико-гигиенических исследований детально изучались дозы воздействия ЭМП (интенсивность и время облучения за рабочую смену), режимы воздействия, локализация облучения, сопутствующие факторы рабочей среды. Тщательно выбирались контрольные группы, в том числе по сопоставимым характеристикам условий труда, за исключением электромагнитного фактора. На основании таких исследований в 1955 г. впервые были установлены временные предельно допустимые уровни (далее – ПДУ) ЭМП на рабочих местах при эксплуатации установок высокочастотного нагрева диапазона средних и длинных волн (разработаны Ленинградским НИИ гигиены труда и профзаболеваний Минздрава РФ³). В 1958 г. были утверждены временные ПДУ ЭМП при работе с генераторами сантиметровых волн (разработаны НИИ гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР⁴). Документы были подготовлены на основе клинико-гигиенических наблюдений за состоянием здоровья работающих основной и контрольной групп в динамике профессионального стажа. Такой комплексный подход к проведению исследований позволял изучать причинно-следственные связи между воздействием ЭМП и изменениями состояния здоровья работающих, механизмы действия фактора, в том числе на репродуктивную систему женского организма, разрабатывать предельно допустимые уровни ЭМП РЧ. В дальнейшем (1990–2023 гг.) отечественные клинико-гигиенические и эпидемиологические исследования по изучению влияния ЭМП РЧ на здоровье работающих практически прекратились.

¹ Рябышева Л.В., Макарова О.Н. Влияние репродуктивного здоровья на демографическую ситуацию в стране // Медицина и здравоохранение: материалы II Междунар. науч. конф. (г. Уфа, май 2014 г.). – Уфа: Лето, 2014. С. 3–7.

² Стародубов В.И., Суханова Л.П., Сыченков Ю.Г. Репродуктивные потери как медико-социальная проблема демографического развития России // Электронный научный журнал «Социальные аспекты здоровья населения». 2012. С. 1–26. <http://vestnik.mednet.ru/content/view/367/30/>.

³ Временные санитарные правила для работы с промышленными ламповыми установками высокочастотного нагрева. Утв. гл. Госсанэпидспектором СССР 15.01.1955 № 180-55. 5 с.

⁴ Временные санитарные правила при работе с генераторами сантиметровых волн. Утв. гл. Госсанэпидспектором СССР 26.11.1958 № 273-58. 7 с.

Отечественные исследования по изучению влияния ЭМП РЧ на репродуктивную систему женского организма. Активно исследования по изучению влияния ЭМП РЧ на репродуктивную систему женского организма начали проводиться в 70-е годы прошлого столетия. В этот период времени разрабатывалась методология гигиенического нормирования ЭМП РЧ. Изменения репродуктивной функции при воздействии ЭМП РЧ тепловой и нетепловой интенсивности изучались в экспериментальных исследованиях на животных^{5,6,7}. При клиническом обследовании женщин, подвергающихся в процессе профессиональной деятельности воздействию ЭМП РЧ, авторы обратили внимание на наличие у них жалоб на изменение функции репродуктивной системы. В методических рекомендациях по научному обоснованию предельно допустимых уровней облучения электромагнитными полями радиочастот было указано на необходимость изучения в экспериментах на животных эстрального цикла, микроструктуры яичников, воспроизводительной способности самок⁸. Целью данных рекомендаций было способствовать получению однородных материалов, поддающихся сравнению и обобщению для использования при обосновании ПДУ в условиях работы с электромагнитными волнами диапазона радиочастот (100 кГц – 300 ГГц). В документе давались подробные рекомендации по гигиенической оценке условий труда работающих с источниками ЭМП РЧ, сопоставлению условий труда и состояния здоровья работающих, экспериментальным исследованиям по обоснованию ПДУ ЭМП радиочастот.

В Ленинградском научно-исследовательском институте гигиены труда и профзаболеваний проводились клинко-гигиенические исследования и изучение заболеваемости с временной нетрудоспособностью женщин, подвергающихся в процессе профессиональной деятельности воздействию ЭМП СВЧ и УВЧ диапазонов. При изучении состояния здоровья женщин – испытательниц электронных приборов, источников ЭМП СВЧ диапазона, были обследованы: 101 человек – основная группа и 103 человека – контрольная в возрасте до 40 лет и стаже свыше 5 лет. У женщин основной группы наблюдались статистически значимые по сравнению с контролем расстройства менструального цикла типа гипополименореи. Имели место нарушения

детородной функции в виде токсикоза беременности, самопроизвольных выкидышей, патологии родов. Гигиенические исследования показали, что уровни ЭМП на рабочих местах испытательниц составляли от 2 до 850 мкВт/см² и преимущественно не превышали предельно допустимых значений. Характерной особенностью режима облучения является его прерывистость, с различными соотношениями времени облучения и пауз. Общее время воздействия фактора при различных операциях колебалось в пределах от минут до 3–4 ч за смену. Показатели других факторов на рабочих местах (микроклимат, шум, освещенность) соответствовали гигиеническим нормативам. Исследования показали, что ведущее место в клинической картине воздействия ЭМП СВЧ занимали функциональные нарушения центральной нервной системы (ЦНС) и органов кровообращения. Функциональные нарушения ЦНС не имели специфического характера и протекали по типу вегетативной дисфункции, неврастенического и астенического синдромов, причем последний сочетался с явлениями вегетативной дисфункции. Патология системы кровообращения проявлялась в виде нейроциркуляторной дистонии гипертонического типа. На основании данных исследования были разработаны методические рекомендации по клинике и профилактике патологии, обусловленной воздействием электромагнитных полей СВЧ диапазона малой интенсивности^{9,10,11}.

Изучалось состояние заболеваемости с временной нетрудоспособностью женщин за 4 года, работающих с УВЧ устройствами диэлектрического нагрева (30–40 МГц). Было установлено, что в основной группе по сравнению с контролем наблюдалось увеличение числа болевших лиц и случаев нетрудоспособности в группе «Болезни женской половой сферы». Среди работающих при воздействии УВЧ число лиц, длительное и многократно болевших, было больше, чем в контроле. По числу случаев нетрудоспособности в основной группе второе место занимает гипертоническая болезнь, в контрольной же группе она на седьмом месте. Гигиенические исследования показали, что суммарное время воздействия ЭМП УВЧ при автоматизированной сварке изделий за рабочую смену составляло от 40 до 50 мин. Воздействие носило интермиттирующий характер (имело место

⁵ Березницкая А.Н. Влияние сантиметровых волн малой интенсивности на плодовитость самок мышей // О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот. Труды лаборатории электромагнитных полей радиочастот НИИ гигиены труда и профессиональных заболеваний АМН. Выпуск 2. М.: Академия медицинских наук СССР, 1964. С. 132–141.

⁶ Городецкая С.Ф., Лобова М.А. Некоторые отдаленные результаты биологического действия СВЧ-полей // Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных волн радиочастот. Сборник материалов Третьего Всесоюзного симпозиума 24–28 июня 1968 г. М.: Институт гигиены труда и профессиональных заболеваний АМН СССР, 1968. С. 41–42.

⁷ Березницкая А.Н., Рысина Т.З. Эмбриотропное действие микроволн // О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот. Труды лаборатории электромагнитных полей радиочастот Института гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР. Выпуск 3. М.: Академия медицинских наук СССР 1973. С. 160–164.

⁸ Рекомендации к проведению гигиенических и экспериментальных исследований для научного обоснования предельно допустимых уровней облучения электромагнитными полями радиочастот. Утв. председателем Проблемной комиссии «Научные основы гигиены труда и профпатологии» Н.Ф. Измеровым 23 апреля 1974 г. М., 1974. 40 с.

⁹ Макарова Л.В. Заболеваемость с временной утратой трудоспособности некоторых категорий работающих в условиях воздействия электромагнитных волн радиочастот // Физические факторы производственной среды и их влияние на состояние здоровья работающих: сборник научных трудов. М.: МНИИГ им. Ф.Ф. Эрисмана, 1973. С. 72–77.

¹⁰ Артамонова В.Г., Каляда Т.В., Хаймович М.Л. и др. Клинко-гигиенические аспекты воздействия на работающих СВЧ поля малой интенсивности // Физические факторы производственной среды и их влияние на состояние здоровья работающих: сборник научных трудов. М.: МНИИГ им. Ф.Ф. Эрисмана, 1979. С. 71–77.

¹¹ Методические рекомендации «Клиника и профилактика патологии, обусловленной воздействием электромагнитных полей СВЧ диапазона малой интенсивности». Утв. Зам. Министра здравоохранения РСФСР Н.Н. Трубиным 21 октября 1982 г. Л.: Министерство здравоохранения РСФСР, 1982. 13 с.

различное соотношение периодов облучения и пауз). Интенсивность облучения в области рук составляла 5–50 В/м, общее облучение – 15–20 В/м¹².

Проведенные в институте экспериментальные исследования на животных при воздействии ЭМП СВЧ диапазона подтвердили вероятность развития нарушений в женской репродуктивной системе. Эксперименты на самках крыс показывают, что механизм нарушений менструального цикла связан с усилением процессов атрезии в яичниках, кистозным перерождением фолликулов и угнетением гонадотропной функции гипофиза, преимущественно лютеинизирующего гормона¹³. Изучалось влияние ЭМП СВЧ диапазона на половую систему животных в возрастном аспекте. У молодых 3-месячных половозрелых крыс-самок исследовалось состояние гипофизарно-гонадного звена нейроэндокринной системы при облучении в течение 4 недель ЭМП частотой 460 и 2750 МГц, ППЭ 100 мкВт/см² в дальней зоне облучения. Первая группа животных была с нормальным половым созреванием, вторая группа – с запоздалым половым созреванием. Исследования показали, что у крыс самок с запоздалым половым созреванием облучение вызывало изменения, несколько отличающиеся от наблюдавшихся у крыс с нормальным половым созреванием. Это свидетельствует о том, что разный исходный эндокринный статус организма обуславливает различную адаптационную перестройку функциональных систем¹⁴.

Проводились исследования по изучению окислительно-восстановительных процессов в организме экспериментальных животных при воздействии высокочастотных электромагнитных полей¹⁵. В эксперименте использовались биохимические тесты, характеризующие состояние некоторых звеньев антиоксидантной системы (АОС) организма. У животных оценивалось состояние тиол-дисульфидной системы, определялась концентрация аскорбиновой кислоты. В эритроцитах определялась активность антиперикисных ферментов, оценивалась проницаемость мембран эритроцитов. Две группы животных в течение месяца подвергались воздействию непрерывных и прерывистых ЭМП частотой 13 МГц напряженностью 500 В/м. Динамика исследованных показателей в крови экспериментальных животных указывает на наличие биоэффектов ЭМП. Мобилизация АОС свидетельствует об изменении неспецифической

резистентности организма при воздействии ЭМП прерывистого и непрерывного режимов генерации. Ответная реакция организма на воздействие прерывистых ЭМП проявилась раньше и носила более выраженный фазный характер. Данные о влиянии ЭМП РЧ на репродуктивную функцию женского организма приводятся в работах других авторов¹⁶.

При воздействии на беременных крыс (с 1-го по 19-й день беременности) ЭМИ 10-см диапазона интенсивностью 1500 мкВт/см² выявлены достоверные изменения генеративной функции. Воздействие ЭМИ приводило к снижению плодовитости самок, что свидетельствует о повреждающем действии во внутриутробном периоде. Вследствие высокой предимплантационной гибели зародышей существенно выше, чем в контроле, была общая эмбриональная смертность. Была снижена масса тела плодов. Полученные данные свидетельствуют об эмбриотропном действии СВЧ. Наиболее чувствительным периодом эмбрионального развития является первый день беременности¹⁷.

Проводились исследования по моделированию в биологическом эксперименте воздействия на лабораторных животных импульсно-прерывистого электромагнитного поля 857 МГц и изучению состояния физиологических, гематологических, иммунологических, биохимических и репродуктивных показателей функционального статуса организма белых крыс. Общая продолжительность облучения составила 4 месяца при плотности потока энергии 20, 100 и 500 мкВт/см², продолжительность облучения 16 ч/сутки. Исследование показало, что уровень фактора 20 мкВт/см² является недействующим. ППЭ ЭМП 100 и 500 мкВт/см² вызывают однонаправленные по характеру сдвиги в функциональном состоянии организма животных, которые достаточно длительное время сохраняются в процессе воздействия. Результаты изучения генеративной функции самок свидетельствуют о снижении у крыс способности к зачатию при спаривании с интактными самцами, выраженной тенденции к увеличению общей эмбриональной смертности с возрастанием интенсивности воздействия. Данные свидетельствуют о снижении плодовитости животных¹⁸.

В экспериментальном исследовании на самках мышей линии SHK изучалось воздействие ЭМП частотой 24 МГц напряженностью 500 В/м, продолжительность ежедневных сеансов облучения

¹² Каляда Т.В., Никитина В.Н., Кунина В.В. Состояние заболеваемости с временной нетрудоспособностью женщин, работающих с источниками радиоволн // Физические факторы производственной среды и их влияние на состояние здоровья работающих. Сборник научных трудов под редакцией Т.В. Каляды. М.: МНИИГ им. Ф.Ф. Эрисмана, 1980. С. 27–34.

¹³ Чернова С.А. Некоторые эндокринно-биохимические аспекты при воздействии ЭМП СВЧ диапазона на молодых и стареющих крыс // Биологическое действие электромагнитных полей: Тезисы докладов Всесоюзного симпозиума, Пущино, 1982 г. М.: Академия наук СССР, 1982. С. 30–32.

¹⁴ Чернова С.А. Влияние ЭМП СВЧ диапазона на гонады самок крыс с разным гормональным статусом // Эндокринная система организма и вредные факторы внешней среды: Тезисы докладов II Всесоюзной конференции 21–23 сентября 1983 г. М.: Академия наук СССР, 1983. С. 215.

¹⁵ Мастерова И.Ю., Макарова И.Н., Родионова Л.П. Состояние окислительно-восстановительных процессов в организме экспериментальных животных при воздействии высокочастотных электромагнитных полей // Гигиенические аспекты и биологическое действие модулированных электромагнитных диапазонов радиочастот: сборник научных трудов / под ред. профессора Т.В. Каляды. М.: МНИИГ им. Ф.Ф. Эрисмана, 1990. С. 52–55.

¹⁶ Лысина Г.Г., Никонова К.В. Профессиональная патология при воздействии электромагнитной энергии сверхвысокой частоты. Киев: Здоровье, 1986. 92 с.

¹⁷ Руднев М.И., Леонская Г.И., Шеметун А.М. Влияние микроволн на эмбриональное развитие крыс // Гигиена населенных мест: Республиканский межведомственный сборник. Выпуск 26. Киев, 1987. С. 33–37.

¹⁸ Солдатченков В.Н., Думашевский Ю.Д., Томашевская Л.А. и др. Результаты изучения биологического действия импульсно-прерывистого магнитного поля 857 МГц // Матер. 5-го Советско-Американского раб. совещ. по проблеме «Изучение биологического действия физических факторов окружающей среды». Ялта, 1985. С. 41–53.

0,25; 1 и 4 ч, 5 дней в неделю. Авторы считают, что 0,25-часовые экспозиции ЭМП напряженностью 500 В/м следует рассматривать как своего рода критические (пороговые) воздействия: активация функции репродуктивных органов сопровождалась рассогласованием метаболических процессов в них. Воздействие ЭМП с большей длительностью ежедневного сеанса (1 и 4 ч) приводило к угнетению метаболизма и развитию деструктивных изменений во всех тканях яичника, и в первую очередь в фолликулярном эпителии, что может послужить причиной нарушения течения эстрального цикла, процессов овуляции, снижения длительности репродуктивного периода, преждевременного старения организма¹⁹.

Из работ экспериментального плана последних лет можно отметить исследование, выполненное в Южно-Уральском государственном гуманитарно-педагогическом университете. Исследование проводили с использованием мышей инбредной линии СВА: половозрелые самцы и самки ($n = 30$), беременные самки и их потомство ($n = 182$). В качестве источника электромагнитного воздействия использовали лабораторную исследовательскую СВЧ-установку, предназначенную для изучения влияния модулированного ЭМП РЧ диапазона на биологические системы. Животных опытных групп подвергали воздействию ЭМИ РЧ диапазона (частота 925 ± 3 МГц, длительность импульса СВЧ 570 ± 10 мкс, длительность экспозиции 10 мин) в течение 5 суток. Воздействию ЭМП РЧ подвергались беременные самки мышей 10–11-недельного возраста, разделенные на контрольную и опытную группы. ЭМП РЧ воздействует на репродуктивную способность самцов и самок мышей СВА, что проявляется снижением численности и сохранности потомства при двух моделях их спаривания, однако степень выраженности эффектов на репродуктивную функцию самок выше, чем у самцов. Более выраженные цитогенетические эффекты (частота встречаемости полихроматофильных и нормохроматофильных эритроцитов с микроядрами) выявлены у облученных самок по сравнению с самцами и у потомства облученных животных по сравнению с контролем²⁰.

В другой работе половозрелых самок крыс Вистар (возраст 3,5 месяца, масса тела 230 ± 10 г) после верификации у них беременности подвергали воздействию хронического облучения в безэховой камере в условиях климатического комфорта в зоне сформированной волны источника электромагнитного излучения. При этом использовали два режима СВЧ-облучения, отличающихся частотным диапазоном, которые создавались блоком из 10 генераторов, а именно: 1–2 ГГц с шагом несущей

частоты 0,1 ГГц (режим 1) или 2–4 ГГц с шагом 0,2 ГГц (режим 2). Длительность импульса составила 25 мс с суммарной пиковой мощностью до 1000 мкВт/см² при равном вкладе несущих. Частота следования импульсов была в пределах ведущих частот электроэнцефалограммы (≤ 6 Гц), что обеспечивало значение средней плотности потока энергии не выше 100 мкВт/см². Облучение или ложное облучение проводили ежедневно по 2 ч в течение всего периода беременности (20 дней). Эффекты многократного действия ЭМП тестировали по критериям внутриутробной гибели плода, динамики массы тела и жизнеспособности крысят в раннем пострадиационном онтогенезе и по другим показателям. Несмотря на разнонаправленность изменений, выявленных в физическом состоянии в пострадиационном онтогенезе, следует отметить сам факт их наличия в отдаленные сроки после низкоэнергетического СВЧ-воздействия [5].

В эксперименте опытную группу самцов и самок мышей линии СВА подвергали воздействию ЭМП СВЧ диапазона интенсивностью 1,2 мВт/см² по 10 мин в течение 5 дней. По окончании облучения проводили спаривание животных двух экспериментальных групп. В ходе анализа результатов исследования было выявлено снижение количества родивших самок, наличие выкидышей и мертворождения. Воздействие ЭМП РЧ диапазона оказывает негативное влияние на течение беременности самок мышей, проявившееся в снижении количества нормальных родов на 20 % и сокращении общей численности потомства на 18 % по отношению к контрольной группе животных. Коэффициент сохранности потомства к 30-суточному возрасту составил в контрольной группе 72,6 % и в экспериментальной группе – 56,5 % ($p \leq 0,05$) соответственно. Эффект воздействия ЭМИ РЧ на морфометрические показатели потомства 1-го поколения от облученных самцов и самок экспериментальных животных не проявился²¹. Обращает на себя внимание, что во всех вышеизложенных работах отсутствует указание, в какой зоне излучения находились животные – сформированной или несформированной волны.

Проводились экспериментальные исследования, в ходе которых 15 самцов и 32 самки крыс Вистар подвергали немодулированному непрерывному ЭМИ (несущая частота диапазона мобильной связи 1800 МГц, плотность потока энергии 85 мкВт/см², зона сформированной волны на расстоянии 130 см от источника). Животных облучали в решетчатых контейнерах на 16 особей в безэховой камере по 1 ч в день, 5 дней в неделю в течение 4 недель. Использовали генератор сигналов серии PSG: E82257D (США). Самцы и самки из

¹⁹ Мурашова Е.В., Манохина М.С., Соколова И.П. Гистологические и гистознзимологические характеристики состояния яичников мышей при систематическом воздействии ЭМП частотой 24 МГц // Биологическое действие и гигиеническое нормирование ЭМИ КВ диапазона: сборник научных трудов под ред. Б.М. Савина. Выпуск 36. М.: Институт гигиены труда и профессиональных заболеваний АМН СССР, 1988. С. 106–117.

²⁰ Шибкова Д.З., Шилкова Т.В., Ефимова Н.В. Адаптивные ответы биологических систем на воздействие электромагнитного излучения радиочастотного диапазона // Актуальные проблемы естественных наук: Материалы IX международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора Н.П. Белецкой. Сургут – Петропавловск. Сургут: Сургутский государственный педагогический университет, 2021. С. 111–114.

²¹ Овчинникова А.В., Шилкова Т.В., Шибкова Д.З. Воздействие электромагнитного излучения на репродуктивную функцию экспериментальных животных и их потомство // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник научных трудов конференции 10–12 апреля 2014 г., Москва. М.: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2014. С. 352–355.

контрольной группы подвергались ложному облучению в безэховой камере в таких же решетчатых контейнерах при выключенном источнике. Через 2 недели после последнего сеанса облучения животных из подопытной группы спарили между собой из расчета один самец на две самки. Аналогичным образом поступили и с контрольными животными. Негативных последствий хронического воздействия электромагнитного излучения диапазона мобильной связи на течение и исход беременности облученных самок крыс, а также на раннее постнатальное развитие их потомства в ходе исследования выявлено не было [6]. Положительным в отечественных экспериментальных работах является детальное описание стендовой базы и модели эксперимента. Проблема воздействия ЭМП на женскую репродуктивную систему рассматривается в работах других авторов [7, 8].

Зарубежные исследования по изучению влияния ЭМП РЧ на репродуктивную систему женского организма. В доступных нам зарубежных публикациях имеются данные о влиянии ЭМП микроволнового диапазона на течение и исходы беременности у врачей физиотерапевтов. В работе показано, что работающие с источниками излучения в период зачатия и ранних сроков беременности подвержены более высокому риску спонтанных аборт, составляющему 1,3 по сравнению с контролем. В группе же с более продолжительной экспозицией (более 20 сеансов в месяц) было отмечено 1,6-кратное возрастание вероятности выкидышей [9]. В Израиле проводились эпидемиологические исследования о возможной связи между использованием коротковолновой диатермии беременными физиотерапевтами и неблагоприятным исходом беременности. Путем анкетирования и телефонных интервью были собраны индивидуальные данные о воздействии коротких волн, ультразвука и подъеме тяжестей. Из 434 обследованных женщин было 930 беременностей: 175 закончились самопроизвольными абортами, 45 имели пороки развития плода, 47 родились преждевременно, 33 ребенка имели низкую массу тела при рождении. Остальные 630 нормальных беременностей составили контрольную группу. Однофакторный анализ показал, что воздействие коротких волн ассоциировалось со значительным повышением шансов (ОР) для врожденных пороков развития (ОР-2,24, доверительный интервал 1,27–4,83, $p = 0,006$) и низкой массы тела при рождении (ОР-2,99, доверительный интервал 1,32–6,79, $p = 0,006$). Этот эффект усиливался в зависимости от дозы [10].

Целью исследования случай – контроль было выяснить, связано ли профессиональное воздействие ультразвука, коротких волн и физических нагрузок на физиотерапевтов со спонтанным аборт или врожденным пороком развития у потомства. Информация об исходах беременности основывалась на данных медицинских регистров. В исследование были включены все зарегистрированные физиотерапевты в Финляндии, которые забеременели в течение периода исследования 1972–1983 гг. Окончательная популяция исследования составила 204 случая и 483 человека контрольной группы

в исследовании спонтанного аборта; 46 случаев и 187 человек в контрольной группе в исследовании врожденных пороков развития. Информация о воздействии факторов была собрана с помощью анкет 1329 женщин, отправленных по почте. Частота ответов составила 92 % в исследовании спонтанного аборта и 89 % в исследовании врожденных пороков развития. Полученные данные позволили авторам высказать гипотезу о потенциальном вредном влиянии коротких волн и ультразвука на беременность, в то же время справедливо отмечается, что на основании только этих результатов нельзя сделать однозначный вывод [11].

Надо отметить, что абсолютное большинство работ посвящено попыткам авторов изучить влияние мобильных телефонов (МТ) на женскую репродуктивную систему. В качестве иллюстрации приведем некоторые из них. Так, целью данного исследования была оценка связи между использованием мобильных телефонов беременными женщинами и развитием плода во время беременности. Для анализа было изучено 1378 медицинских карт, из которых 1368 матерей (99,3 %) использовали мобильные телефоны во время беременности. Среднее время разговора по телефону составляло 29,8 мин (диапазон от 0,0–240,0 мин) в день. Результаты показали, что более частое использование мобильных телефонов беременными женщинами (≥ 30 мин в день) было связано, по мнению авторов, с более высокой частотой задержки роста детей при рождении. Эта связь имела пограничную значимость для телефонного времени от 15 до 30 мин в день ($p = 0,0508$), становясь значимой для телефонного времени не менее 30 мин в день ($p = 0,0374$). Авторы указывают, что для подтверждения результатов необходимо провести проспективное исследование с использованием данных мобильного приложения или телефонных операторов, чтобы получить достоверные данные об использовании телефона [12].

В другой работе авторы, используя данные о 55 507 беременных женщинах и их детях из Дании (1996–2002 гг.), Нидерландов (2003–2004 гг.), Испании (2003–2008 гг.) и Южной Кореи (2006–2011 гг.), исследовали связь использования матерью сотового телефона с продолжительностью беременности и ростом плода. На основе самооценки количества звонков по сотовым телефонам в день воздействие ЭМП было классифицировано как нулевое, низкое, среднее или высокое. Изучались продолжительность беременности (гестационный возраст при рождении, преждевременные/переносные роды), рост плода (соотношение массы тела при рождении, маленький/большой размер для гестационного возраста) и переменные массы тела при рождении (масса тела при рождении, низкая/высокая масса тела при рождении), а также проанализированы оценки для конкретных когорт. Группа промежуточного облучения имела более высокий риск родов в более низком гестационном возрасте (отношение рисков = 1,04, 95 % доверительный интервал: 1,01; 1,07), и были обнаружены взаимосвязи между экспозицией и более короткой продолжительностью беременности ($p < 0,001$) и преждевременными родами

($p = 0,003$). По мнению авторов, использование матерью сотового телефона во время беременности может быть связано с более короткой продолжительностью беременности и повышенным риском преждевременных родов, но эти результаты следует интерпретировать с осторожностью, поскольку они могут отражать стресс во время беременности, а не прямой эффект воздействия сотового телефона [13].

Исследовалась связь между воздействием электромагнитного поля и выкидышем у женщин. В лонгитюдном исследовании приняли участие 462 беременные женщины с гестационным возрастом менее 12 недель из семи основных районов Тегерана со схожим социальным и культурным статусом. Для сбора данных женщины были опрошены лично (очное собеседование). Репродуктивная информация была собрана с использованием медицинской карты, зарегистрированной в тех больницах, в которых у испытуемых были роды. Специально подготовленные акушерки провели личные собеседования для сбора демографических данных, выявленных факторов риска выкидыша, истории репродуктивных и медицинских проблем, а также подробной информации о беременности в каждом из триместров. Измерителем Narda проводились измерения уровней ЭМП, создаваемых передатчиками радиовещания, телевидения, базовой станцией мобильной связью стандартов GSM, UMTS, W-LAN/WiFi у входной двери домов проживания женщин. Плотность мощности ЭМП возле входной двери дома составила 16 мкВт/см². Исследование не позволило авторам получить убедительные доказательства того, что воздействие электромагнитного поля вызывает выкидыши, поскольку значительным было влияние некоторых других факторов (возраст матери, семейный брак и межличностные конфликты). Авторы указывают на необходимость проведения исследований по изучению профессионального воздействия ЭМП и исходом родов, предлагаются другие исследования, связанные с беспроводными устройствами. Можно согласиться с авторами, что более четкие результаты могут быть получены при изучении воздействия ЭМП РЧ в условиях профессионального воздействия фактора [14].

В когортном исследовании оценивалась связь между пренатальным использованием МТ и воздействия свинца на нервно-психическое состояние ребенка. В Корее была обследована группа женщин и детей в утробе матери, а также в возрасте 6, 12, 24 и 36 месяцев. Индивидуальным дозиметром в жилых помещениях выполнялись измерения ЭМП РЧ. Дозиметр регистрировал 10 различных частот от 88 МГц до 2,17 ГГц, таких как FM, TV7, TETRA, TV47, восходящая и нисходящая линии связи CDMA, восходящая и нисходящая линии связи IMT-2000 с напряженностью электрического поля в диапазоне от 0,05 до 5,0 В/м. Уровень воздействия записывался каждые 15 с в течение 24 ч (всего 5760 измерений). Для каждого человека рассчитывалось среднее арифметическое значение по каждой полосе частот. Общий индекс воздействия каждого испытуемого был определен как сумма квадратов

среднего арифметического значения для каждой полосы частот, деленная на безопасный уровень, рекомендуемый Министерством науки Кореи. Среднее количество звонков в день и среднее время разговора во время беременности определялось путем анкетирования. В результате исследования авторы делают вывод, что состояние психомоторного и умственного развития детей в возрасте 6, 12, 24 и 36 месяцев не было значимо связано с использованием матерью мобильного телефона во время беременности. Однако существовал риск снижения умственного развития в возрасте до 36 месяцев в связи с увеличением среднего времени звонков или количества звонков во время беременности. Среди детей, подвергшихся в утробе матери воздействию высокого уровня свинца в материнской крови, наблюдался также значительно повышенный риск более низкого психомоторного развития в возрасте до 36 месяцев по сравнению с увеличением среднего времени вызова мобильного телефона. Таким образом, на связь между использованием мобильного телефона во время беременности и риском снижения умственного развития ребенка значительно влияет содержание уровня свинца в крови матери. Использование индивидуальной дозиметрии выделяет данное исследование среди других [15].

Целью другого исследования было определение связи частого использования мобильных телефонов с состоянием здоровья младенцев. Данные были получены в ходе исследования окружающей среды и здоровья детей (JECS) в Кумамото (Япония). В работе анализировалась выборка из 461 пары матери и ребенка. Опрос включал данные по характеристике здоровья матери и информацию об использовании МТ во время беременности. У ребенка при рождении исследовались масса тела, рост окружность головы, окружность грудной клетки. Учитывались также экстренная транспортировка ребенка и преждевременные роды. По результатам исследования авторы сделали вывод, что в Японии беременные женщины, как правило, чрезмерно пользуются МТ. Сделан вывод о том, что частое использование мобильного телефона во время беременности может быть фактором риска снижения массы тела при рождении и высокой частоты экстренной транспортировки младенцев [16].

Проспективное исследование исходов беременности после воздействия электромагнитных излучений сотового телефона на родителей выполнено в Норвегии. В исследовании участвовали беременные женщины на 15-й неделе беременности перед проведением ультразвукового исследования. Они отвечали на вопросы анкеты, затем повторно примерно на 30-й неделе беременности. Будущему отцу также было предложено ответить на вопросы анкеты. Анкеты содержали вопросы, касающиеся использования сотовых телефонов. Данные об исходах беременности были получены из Медицинского регистра родов Норвегии. Авторы не смогли выявить какую-либо связь между использованием сотового телефона матерью во время беременности, а также между использованием сотового телефона отцом до

зачатия и каким-либо исходом беременности [17]. Изучалось влияние ЭМП на беременность и риск выкидышей. Результаты исследования показали, что беременные женщины, подвергшиеся воздействию высоких уровней ЭМП, имели повышенный риск выкидыша [18].

Если говорить об экспериментальных исследованиях на животных по изучению влияния ЭМП РЧ на репродуктивную систему, то анализ имеющихся в нашем распоряжении 88 литературных источников за хронологический период 2015–2024 гг. показал, что абсолютное большинство работ посвящено изучению влияния мобильных телефонов и преимущественно на мужскую репродуктивную систему. Исследования на самцах носят многоплановый характер. Изучалось влияние ЭМП РЧ на различных видах биологических объектов, модулированных и немодулированных излучений различных частотных характеристик *in vivo* и *in vitro*. Идет поиск фармакологических препаратов, снижающих негативное воздействие ЭМП РЧ на сперматогенез [19–35]. Исследованию влияния радиочастотных ЭМП на репродуктивную систему самок посвящено ограниченное число работ. Так, изучалось влияние модулированного ЭМП частотой 900 МГц на количество примордиальных фолликулов в яичниках. Тип модуляции: импульсная, частота следования импульсов 217 Гц. Продолжительность облучения – 15 дней в течение 15 мин ежедневно в экранированной камере. Удельный коэффициент поглощения энергии (SAR) варьировал от 0,018 до 4 Вт/кг для всего тела. Для облучения животных использовалось экспериментальное устройство, воспроизводящее ЭМП РЧ мобильного телефона, работающего на постоянной частоте. В эксперименте облучалась непосредственно брюшная полости крысы. Сравнение средних значений количества фолликулов в правом и левом яичниках и средних значений общего количества фолликулов в яичниках между основной и контрольной группами показало, что в основной группе было значительно меньше фолликулов ($p < 0,001$, $p = 0,011$ и $p = 0,002$ соответственно). Это исследование выявило значительное уменьшение количества фолликулов яичников у крыс, подвергшихся воздействию ЭМП. Авторы подчеркивают, что необходимы дальнейшие клинические исследования, чтобы выявить влияние ЭМП на овариальный резерв и бесплодие [36].

В другой работе гистологическими и биохимическими методами изучалось влияние на самок крыс в среднем и позднем подростковом возрасте электромагнитного поля частотой 900 МГц. Двадцать четыре 34-дневные самки крыс Спраг-Дуули были распределены поровну в контрольную, фиктивную и ЭМП-группы. Во время воздействия ЭМП крысам разрешалось свободно перемещаться внутри. Это было сделано для устранения потенциального стресса из-за иммобилизации. Крыс также подвергали 1-часовому непрерывному воздействию ЭМП. Средняя напряженность электрического поля, измеренная в девяти отдельных точках на

внутреннем дне клетки, составила $8,64 \pm 1,13$ В/м, средняя напряженность электрического поля под полом клетки составляла $7,36 \pm 0,53$ В/м. Суммарное воздействие ЭМП частотой 900 МГц, применяемое в среднем и позднем подростковом возрасте, может вызвать изменения в морфологии и биохимии яичников крыс. Гистопатологическое исследование ткани яичников группы, подвергавшейся ЭМП, выявило истончение гранулезной зоны и слоев теки, сокращение клеток гранулезной оболочки, снижение митотической активности и лейкоцитарную инфильтрацию фолликулов и стромы. Количество вторичных фолликулов в группе было значительно ниже, чем в других группах. Значения общего окислительного статуса и индекса окислительного стресса в группе ЭДС были значительно выше по сравнению с фиктивной и контрольной группами [37].

Исследовалось влияние радиочастотного излучения GSM-модуляцией 1800 МГц (RFR) на овариальные резервы самок крыс, а также оценить влияние на уровень антимюллерова гормона (АМН). Группу, подвергшуюся воздействию RFR, держали на расстоянии десяти см от рупорной антенны (условия ближнего поля). Контрольную группу содержали в тех же условиях без какого-либо радиочастотного воздействия. Период воздействия составлял 20 минут в течение пяти дней в неделю в течение одного месяца. Уровни электромагнитного поля, полученные для частоты 1800 МГц, составили $4,54 \pm 0,41$ В/м. Результаты этого исследования показали, что радиочастотное излучение 1800 МГц не оказало существенного влияния на соотношение атретических фолликулов в тканях яичников крыс по сравнению с контрольной группой ($p > 0,05$). Однако были обнаружены статистически значимо более высокие уровни АМГ в группах, подвергшихся воздействию ЭМП РЧ ($p < 0,005$) [38]. Имеются другие экспериментальные исследования, в которых изучалось влияние ЭМП на репродуктивную систему самок животных [39–42].

Анализ нормативно-методических документов санитарного законодательства по защите репродуктивного здоровья женщин от неблагоприятного воздействия ЭМП РЧ. В разделе рассмотрена динамика изменения документов в период 1970–2021 гг. Обязательные требования к условиям труда женщин представлены в санитарных правилах и нормах. Согласно СанПиН № 848–70²², женщины в период беременности и кормления должны переводиться на другую работу, не связанную с воздействием ЭМП радиочастотного диапазона. Включение в санитарные нормы и правила в области электромагнитных полей РЧ специальных требований к условиям труда беременных женщин было обосновано клинико-гигиеническими исследованиями женщин, работающих с источниками ЭМП РЧ и экспериментальными исследованиями на самках крыс, в которых моделировались реальные условия облучения, существующие в производственных условиях. Принимались также во внимание данные зарубежных исследований.

²² СанПиН № 848–70 «Санитарные нормы и правила при работе с источниками электромагнитных полей высоких, ультравысоких и сверхвысоких частот» (утв. Главным Санитарным врачом СССР 30 марта 1970 г. № 848–70).

В СанПиН 2.2.4/2.1.8.055–96²³ указано, что женщины в состоянии беременности допускаются к работе на установках, являющихся источниками ЭМИ РЧ, только в случаях, когда интенсивность ЭМИ РЧ на рабочих местах не превышает предельно допустимые уровни, установленные для населения. Согласно СанПиН 2.2.0.555–96²⁴, при оценке параметров производственной среды на рабочих местах беременных следует руководствоваться гигиеническими показателями оптимальных условий производственной среды. При этом представленные в документе гигиенические критерии оптимальных условий производственной среды по электромагнитному фактору вызывают недоумение, поскольку такие показатели никогда научно не были обоснованы. В СанПиН 2.2.4.1191–03²⁵ в разделе «Лечебно-профилактические мероприятия» указано, что женщины в состоянии беременности допускаются к работе в условиях воздействия ЭМП на рабочих местах только в случаях, когда интенсивность ЭМП на рабочих местах не превышает ПДУ, установленные для населения. В СанПиН 2.2.4.3359–16²⁶ представлены только ПДУ физических факторов и требования к проведению контроля. Мероприятия по профилактике воздействия неблагоприятного воздействия физических факторов на организм работающих отсутствуют. Все вышеперечисленные документы отменены. В настоящее время в действующем документе СП 2.2.3670–20²⁷ указано, что условия труда женщин в период беременности и кормления ребенка должны соответствовать допустимым условиям труда, которые не превышают установленных гигиенических нормативов для рабочих мест. Дифференцированные по времени ПДУ ЭМП РЧ устанавливает СанПиН 1.2.3685–21²⁸. Анализ динамики изменения положений санитарных норм и правил, касающихся трудоустройства беременных женщин, подвергающихся воздействию ЭМП РЧ, показывает, что обязательные к их выполнению требования постепенно снижались.

Рекомендации к трудоустройству беременных женщин были представлены в методических документах. В развитие СанПиН № 848-70 были разработаны методические рекомендации МР № 2049-79²⁹, в которых внесено уточнение положения санитарных правил и норм. В МР сказано, что запрещается работа, связанная с воздействием

электромагнитных полей сверхвысоких частот СВЧ (миллиметровые, сантиметровые, дециметровые волны), ультравысоких частот (УВЧ), высоких частот (ВЧ), низких частот (НЧ), сверхнизких частот (СНЧ), статических электрических и магнитных полей с момента установления беременности. Следует подчеркнуть важность исключения воздействия ЭМП именно на раннем этапе, с момента установления беременности. Начальные этапы репродуктивного процесса, с одной стороны, являются ключевыми, во многом определяющими судьбу потомства, а с другой – самыми критическими, т. е. наиболее чувствительными к воздействию вредных агентов, МР № 18-8/182-09³⁰.

В настоящее время действуют методические рекомендации Минздрава РФ от 23.12.1993³¹. В рекомендациях говорится, что беременные женщины не допускаются к работе на установках и сооружениях, являющихся источниками электромагнитных излучений, параметры которых выходят за пределы оптимальных значений, установленных для жилых помещений. В то же время ПДУ для жилых помещений не разрабатывались (разработаны ПДУ для населения). Приведенные в рекомендациях ПДУ ЭМП не соответствуют гигиеническим нормативам, установленным для населения, документ устарел. К действующим документам относятся МР № 11-8/240-09³², были разработаны в развитие СанПиН 2.2.0.555–96. В документе обосновываются порядок установления связи выявленных нарушений репродуктивного здоровья с воздействием на организм определенных вредных производственных факторов и получения таких доказательств, а также анализа другой информации, относящейся к оценке репродуктивного здоровья населения при осуществлении социально-гигиенического мониторинга, что позволяет определять степень репродуктивной опасности предприятия или экологически неблагоприятной территории в целом. В МР № 11-8/240-09 представлен перечень вредных производственных факторов, опасных для репродуктивного здоровья человека, электромагнитные поля в перечне отсутствуют. Документ требует пересмотра.

Обсуждение. В своей работе мы попытались обобщить отечественные и зарубежные данные клинико-гигиенических, эпидемиологических и экспериментальных исследований влияния

²³ СанПиН 2.2.4/2.1.8.055–96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона» (утв. Постановлением Государственного комитета санитарно-эпидемиологического надзора Российской Федерации от 8 мая 1996 г. № 9).

²⁴ СанПиН 2.2.0.555–96 «Гигиенические требования к условиям труда женщин» (утв. и введены в действие Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 28 октября 1996 года № 32).

²⁵ СанПиН 2.2.4.1191–03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» (утратили силу с 1 января 2017 г. в связи с утверждением новых СанПиН 2.2.4.3359–16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах»).

²⁶ СанПиН 2.2.4.3359–16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» (утратили силу с 1 марта 2021 года на основании постановления Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 2).

²⁷ СП 2.2.3670–20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда» (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 2 декабря 2020 г. №40).

²⁸ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. 668 с.

²⁹ МР № 2049-79 «Гигиенические рекомендации к рациональному трудоустройству беременных женщин» от 29.08.1979.

³⁰ МР № 18-8/182-09 «Методы оценки нарушений репродуктивного здоровья населения в связи с факторами среды обитания, оказывающими вредное воздействие на человека» от 31.05.2001.

³¹ МР «Гигиенические рекомендации по рациональному трудоустройству беременных женщин» от 23.12.1993.

³² МР № 11-8/240-09 «Гигиеническая оценка вредных производственных факторов и производственных процессов, опасных для репродуктивного здоровья человека» от 12.07.2002.

электромагнитных полей радиочастотного диапазона на репродуктивную систему женского организма. Актуальность данной проблемы очевидна. Многочисленный контингент женщин подвергается воздействию ЭМП РЧ в условиях производства, в медицинских учреждениях, в офисах, где на рабочих местах с персональными компьютерами источниками ЭМП РЧ микроволнового диапазона являются беспроводной интернет, средства корпоративной связи и активной защиты информации, беспроводная мышь и клавиатура. Это список может быть продолжен. Из всего спектра нормируемых ЭМП воздействие электромагнитных радиочастотного диапазона на женскую репродуктивную систему наиболее изучено. В нашей стране в 70–80-е годы исследования по данному научному направлению выполнялись институтами гигиенического профиля с привлечением научных учреждений Академии наук. В результате клинико-гигиенических исследований и изучения состояния заболеваемости женщин, подвергающихся воздействию ЭМП РЧ в производственных условиях, а также экспериментальных исследований на животных при воздействии фактора нетепловой интенсивности было установлено негативное влияние электромагнитных излучений нетепловой интенсивности на женскую репродуктивную систему. Было показано, что репродуктивные эффекты проявляются в виде нарушения менструального цикла, токсикозов беременности, преждевременных родов и выкидышей. В исследованиях экспериментального и клинического плана одновременно изучались многие системы организма, что позволило проследить механизмы действия ЭМП РЧ малой интенсивности. Комплексные исследования показали, что нарушения женской репродуктивной системы связаны прежде всего с изменением регуляции ее со стороны нейроэндокринной системы. Свою роль играют и изменения антиоксидантной системы организма. Проведенные исследования позволили разработать научно обоснованные рекомендации по условиям труда беременных женщин, подвергающихся воздействию ЭМП РЧ. В последующие годы клинико-гигиенические исследования по влиянию ЭМП РЧ на женскую репродуктивную систему не проводились. Анализ результатов экспериментов по изучению влияния ЭМП РЧ на репродуктивную систему самок показывает, что в работах исследовалось влияние ЭМП СВЧ диапазона различной продолжительности, нетепловой интенсивности со сложными характеристиками радиочастотного сигнала. Результаты исследований зависели от параметров воздействующего фактора. К сожалению, в работах не указаны области применения используемых в экспериментах источников ЭМП, то есть отсутствует связь с практикой применения излучающей техники в реальных условиях. (В настоящее время исследования выполняются зачастую

на базе учебных заведений и научных учреждений негигиенического профиля.)

Зарубежные исследования влияния ЭМП РЧ на женскую репродуктивную систему человека носят разноплановый характер. Это когортные исследования, случай – контроль, анкетные опросы, анализ медицинских карт и экспериментальные исследования. Имеющиеся в доступной нам литературе данные по влиянию ЭМП РЧ на репродуктивную систему женского организма в условиях профессиональной деятельности касались только физиотерапевтов и подтвердили изменения в репродуктивной системе женского организма, установленные в отечественных клинико-гигиенических исследованиях. В большинстве работ эпидемиологического плана авторы пытались оценить влияние мобильных телефонов на репродуктивную систему. При этом при характеристике воздействия МТ ориентировались на количество звонков и их продолжительность. В анкетных опросах учитывается наличие других источников ЭМП. По нашему мнению, при проведении эпидемиологических исследований невозможно вычленить влияние ЭМП МТ от воздействия ЭМП, создаваемых другими многочисленными источниками в среде обитания человека, установить дозу ЭМП РЧ различного назначения, учесть характеристики радиочастотных сигналов и сформировать контрольную группу из лиц, не подвергающихся воздействию ЭМП РЧ. Поэтому неслучайно авторы в своих заключениях по результатам эпидемиологических исследований используют сочетания слов: «вероятно связано», «требуются дополнительные исследования», «результаты следует интерпретировать с осторожностью» и т. д. В экспериментах при изучении воздействия ЭМП РЧ нетепловой интенсивности зарубежные авторы констатировали нарушения в репродуктивной системе самок животных. Нельзя не отметить, что число работ по изучению влияния ЭМП РЧ нетепловой интенсивности на репродуктивную систему самок весьма ограничено. Авторы проявляют большую заинтересованность к изучению влияния фактора на репродуктивную систему мужского организма.

Исторический анализ положений нормативно-методических документов, направленных на предупреждение неблагоприятного воздействия ЭМП РЧ на беременных женщин, свидетельствует о снижении требований к трудоустройству беременных женщин, подвергающихся в процессе профессиональной деятельности воздействию электромагнитных полей радиочастотного диапазона. В своей работе мы не ставили задачу рассмотреть проблему «Электромагнитные поля и репродуктивное здоровье женщин» в целом, а ограничились лишь анализом влияния на организм электромагнитных полей радиочастотного диапазона. Однако нельзя не отметить, что имеются данные о влиянии и других

³³ Иванов А.В. Кожухин А.А. Репродуктивная функция женщин, работающих в условиях комбинированного действия магнитных полей // Медицина труда и промышленная экология. 1999. № 3. С. 26–29.

³⁴ Мизюк М.И. Магнитное поле промышленной частоты и его влияние на организм // Гигиена населенных мест. Выпуск 34. Киев. 1999. С. 33–37.

³⁵ Портнов А.С., Израилет А.И., Бриедис Ю.Э., Попов В.В., Непомнящий П.И., Каминский Ю.М. Особенности структуры заболеваемости у лиц, работающих в сфере действия статических электрических полей // Гигиена и биологическое действие электромагнитных волн радиочастотного диапазона: сборник материалов 3-го Всесоюзного симпозиума, Москва, 24–28 июня 1968 г. М., 1968. С. 128–129.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-5-53-65>
Review Article

электромагнитных полей на репродуктивную систему женского организма, и это также необходимо принимать во внимание^{33,34,35}.

Закключение. Исследованиями установлено, что у женщин, подвергающихся воздействию ЭМП РЧ, репродуктивные эффекты проявляются в виде нарушения менструального цикла, токсикозов беременности, преждевременных родов и выкидышей. Таким образом, необходимо усилить контроль за условиями труда беременных женщин, подвергающихся в условиях профессиональной деятельности воздействию ЭМП, проводить санитарно-просветительную работу о возможном отрицательном влиянии воздействия электромагнитных полей на репродуктивную систему женского организма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Jalilian H, Eeftens M, Ziaei M, Rösli M. Public exposure to radiofrequency electromagnetic fields in everyday microenvironments: An updated systematic review for Europe. *Environ Res*. 2019;176:108517. doi: 10.1016/j.envres.2019.05.048
- McCredden JE, Cook N, Weller S, Leach V. Wireless technology is an environmental stressor requiring new understanding and approaches in health care. *Front Public Health*. 2022;10:986315. doi: 10.3389/fpubh.2022.986315
- Koppel T, Ahonen M, Carlberg M, Hardell L. Very high radiofrequency radiation at Skeppsbron in Stockholm, Sweden from mobile phone base station antennas positioned close to pedestrians' heads. *Environ Res*. 2022;208:112627. doi: 10.1016/j.envres.2021.112627
- Koppel T, Hardell L. Measurements of radiofrequency electromagnetic fields, including 5G, in the city of Columbia, SC, USA. *World Acad Sci J*. 2022;4(3):22. doi: 10.3892/wasj.2022.157
- Измestьева О.С., Павлова Л.Н., Жаворонков Л.П. Экспериментальная оценка последствий хронического воздействия электромагнитного излучения диапазона мобильной связи в антеннатальном периоде развития крыс // Радиационная биология. Радиозкология. 2020. Т. 60. № 1. С. 63–70. doi:10.31857/S0869803120010099 Izmetieva OS, Pavlova LN, Zhavoronkov LP. Experimental evaluation of the consequences of the chronic influence of electromagnetic radiation of the mobile communication range in antenatal rat development period. *Radiatsionnaya Biologiya. Radioekologiya*. 2020;60(1):63–70. (In Russ.) doi: 10.31857/S0869803120010099
- Панфилова В.В., Колганова О.И., Чибисова О.Ф. Влияние хронического электромагнитного облучения на эмбриогенез и раннее постнатальное развитие потомства облученных животных // Радиация и риск. Бюллетень национального радиационно-эпидемиологического регистра. 2021. Т. 30. № 4. С. 61–68. doi:10.21870/0131-3878-2021-30-4-61-68 Panfilova VV, Kolganova OI, Chibisova OF. Effect of chronic electromagnetic radiation on embryogenesis and early postnatal development of the offspring of irradiated animals. *Radiatsiya i Risk. Byulleten' Natsional'nogo Radiatsionno-Epidemiologicheskogo Registra*. 2021;30(4):61–68. (In Russ.) doi: 10.21870/0131-3878-2021-30-4-61-68
- Бабанов С.А., Стрижаков Л.А., Агаркова И.А. и др. Производственные факторы и репродуктивное здоровье: каузация и оценка профессиональных рисков // Гинекология. 2019. № 21 (4). С. 33–43. doi: 10.26442/20795696.2019.1.190227 Babanov SA, Strizhakov LA, Agarkova IA, Tezikov YuV, Lipatov IS. Workplace factors and reproductive health: Causation and occupational risk assessment. *Ginekologiya*. 2019;21(4):33–43. (In Russ.) doi: 10.26442/20795696.2019.1.190227
- Наумов А.Д. Влияние электромагнитных излучений на репродуктивную функцию // Охрана материнства и детства. 2019. № 2 (34). С. 58–61. Navumau AD. Effect of electromagnetic radiation on reproductive functions. *Okhrana Materinstva i Detstva*. 2019;(2(34)):58–61. (In Russ.)
- Ouellet-Hellstrom R, Stewart WF. Miscarriages among female physical therapists who report using radio- and microwave-frequency electromagnetic radiation. *Am J Epidemiol*. 1993;138(10):775–786. doi: 10.1093/oxford-journals.aje.a116781
- Gubéran E, Campana A, Faval P, et al. Gender ratio of offspring and exposure to shortwave radiation among female physiotherapists. *Scand J Work Environ Health*. 1994;20(5):345–348. doi: 10.5271/sjweh.1387
- Taskinen H, Kyyrönen P, Hemminki K. Effects of ultrasound, shortwaves, and physical exertion on pregnancy outcome in physiotherapists. *J Epidemiol Community Health*. 1990;44(3):196–201. doi: 10.1136/jech.44.3.196
- Boileau N, Marguerite F, Gauthier T, et al. Mobile phone use during pregnancy: Which association with fetal growth? *J Gynecol Obstet Hum Reprod*. 2020;49(8):101852. doi: 10.1016/j.jogoh.2020.101852
- Tsarna E, Reedijk M, Birks LE, et al. Associations of maternal cell-phone use during pregnancy with pregnancy duration and fetal growth in 4 birth cohorts. *Am J Epidemiol*. 2019;188(7):1270–1280. doi: 10.1093/aje/kwz092
- Abad M, Malekafzali H, Simbar M, Seyed Mosaavi H, Merghati Khoei E. Association between electromagnetic field exposure and abortion in pregnant women living in Tehran. *Int J Reprod Biomed*. 2016;14(5):347–354.
- Choi KH, Ha M, Ha EH, et al. Neurodevelopment for the first three years following prenatal mobile phone use, radio frequency radiation and lead exposure. *Environ Res*. 2017;156:810–817. doi: 10.1016/j.envres.2017.04.029
- Lu X, Oda M, Ohba T, Mitsubuchi H, Masuda S, Katoh T. Association of excessive mobile phone use during pregnancy with birth weight: An adjunct study in Kumamoto of Japan Environment and Children's Study. *Environ Health Prev Med*. 2017;22(1):52. doi: 10.1186/s12199-017-0656-1
- Baste V, Oftedal G, Møllerlækken OJ, Mild KH, Moen BE. Prospective study of pregnancy outcomes after parental cell phone exposure: The Norwegian Mother and Child Cohort Study. *Epidemiology*. 2015;26(4):613–621. doi: 10.1097/EDE.0000000000000293
- Irani M, Aradmehr M, Ghorbani M, Baghani R. Electromagnetic field exposure and abortion in pregnant women: A systematic review and meta-analysis. *Malays J Med Sci*. 2023;30(5):70–80. doi: 10.21315/mjms2023.30.5.6
- Gautam R, Pardhiya S, Nirala JP, Sarsaiya P, Rajamani P. Effects of 4G mobile phone radiation exposure on reproductive, hepatic, renal, and hematological parameters of male Wistar rat. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2024;31(3):4384–4399. doi: 10.1007/s11356-023-31367-x
- Demirbağ B, Aktaş S, Çömelekoğlu Ü, Kara İ, Yildirim M, Yildirim DD. Protective effect of paricalcitol in rat testicular damage induced by subchronic 1800 MHz radiofrequency radiation. *Biochem Biophys Res Commun*. 2023;680:42–50. doi: 10.1016/j.bbrc.2023.09.024
- Özgen M, Take G, Kaplanoğlu İ, Erdoğan D, Seymen CM. Therapeutic effects of melatonin in long-term exposure to 2100MHz radiofrequency radiation on rat sperm

- characteristics. *Rev Int Androl.* 2023;21(4):100371. doi: 10.1016/j.androl.2023.100371
22. Chu KY, Khodamoradi K, Blachman-Braun R, et al. Effect of radiofrequency electromagnetic radiation emitted by modern cellphones on sperm motility and viability: An in vitro study. *Eur Urol Focus.* 2023;9(1):69-74. doi: 10.1016/j.euf.2022.11.004
 23. Yan S, Ju Y, Dong J, et al. Paternal radiofrequency electromagnetic radiation exposure causes sex-specific differences in body weight trajectory and glucose metabolism in offspring mice. *Front Public Health.* 2022;10:872198. doi: 10.3389/fpubh.2022.872198
 24. Dong VNK, Tantisuwat L, Setthawong P, Tharasanit T, Sutayatram S, Kijtaowornrat A. The preliminary chronic effects of electromagnetic radiation from mobile phones on heart rate variability, cardiac function, blood profiles, and semen quality in healthy dogs. *Vet Sci.* 2022;9(5):201. doi: 10.3390/vetsci9050201
 25. Gur FM, İkinci Keles A, Erol HS, et al. The effect of 900-MHz radiofrequency electromagnetic fields during the adolescence on the histological structure of rat testis and its androgen and estrogen receptors localization. *Int J Radiat Res.* 2021;19(1):135-144. doi: 10.29252/ijrr.19.1.135
 26. Hasan I, Amin T, Alam MR, Islam MR. Hematobiochemical and histopathological alterations of kidney and testis due to exposure of 4G cell phone radiation in mice. *Saudi J Biol Sci.* 2021;28(5):2933-2942. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.02.028
 27. Alkis ME, Akdag MZ, Dasdag S, Yegin K, Akpolat V. Single-strand DNA breaks and oxidative changes in rat testes exposed to radiofrequency radiation emitted from cellular phones. *Biotechnol Biotechnol Equip.* 2019;33(1):1733-1740. doi: 10.1080/13102818.2019.1696702
 28. Houston BJ, Nixon B, McEwan KE, et al. Whole-body exposures to radiofrequency-electromagnetic energy can cause DNA damage in mouse spermatozoa via an oxidative mechanism. *Sci Rep.* 2019;9(1):17478. doi: 10.1038/s41598-019-53983-9
 29. Gautam R, Singh KV, Nirala J, Murmu NN, Meena R, Rajamani P. Oxidative stress-mediated alterations on sperm parameters in male Wistar rats exposed to 3G mobile phone radiation. *Andrologia.* 2019;51(3):e13201. doi: 10.1111/and.13201
 30. Fatehi D, Anjomshoa M, Mohammadi M, Seify M, Rostamzadeh A. Biological effects of cell-phone radiofrequency waves exposure on fertilization in mice; an in vivo and in vitro study. *Middle East Fertil Soc J.* 2018;23(2):148-153. doi: 10.1016/j.mefs.2017.10.002
 31. Hanci H, Kerimoğlu G, Mercantepe T, Odaci E. Changes in testicular morphology and oxidative stress biomarkers in 60-day-old Sprague Dawley rats following exposure to continuous 900-MHz electromagnetic field for 1 h a day throughout adolescence. *Reprod Toxicol.* 2018;81:71-78. doi: 10.1016/j.reprotox.2018.07.002
 32. Oh JJ, Byun SS, Lee SE, Choe G, Hong SK. Effect of electromagnetic waves from mobile phones on spermatogenesis in the era of 4G-LTE. *Biomed Res Int.* 2018;2018:1801798. doi: 10.1155/2018/1801798
 33. Jamaludin N, Razak SSA, Jaffar FHF, Osman K, Ibrahim SF. The effect of smartphone's radiation frequency and exposure duration on NADPH oxidase 5 (NOX5) level in sperm parameters. *Sains Malays.* 2017;46(9):1597-1602. doi: 10.17576/jsm-2017-4609-31
 34. Parsanezhad ME, Mortazavi SMJ, Doohandeh T, et al. Exposure to radiofrequency radiation emitted from mobile phone jammers adversely affects the quality of human sperm. *Int J Radiat Res.* 2017;15(1):63-70. doi: 10.18869/acadpub.ijrr.15.1.63
 35. Kamali K, Atarod M, Sarhadi S, et al. Effects of electromagnetic waves emitted from 3G+wi-fi modems on human semen analysis. *Urologia.* 2017;84(4):209-214. doi: 10.5301/uj.5000269
 36. Bakacak M, Bostanci MS, Attar R, et al. The effects of electromagnetic fields on the number of ovarian primordial follicles: An experimental study. *Kaohsiung J Med Sci.* 2015;31(6):287-292. doi: 10.1016/j.kjms.2015.03.004
 37. Okatan DÖ, Kaya H, Aliyazicioğlu Y, Demir S, Çolakoğlu S, Odaci E. Continuous 900-megahertz electromagnetic field applied in middle and late-adolescence causes qualitative and quantitative changes in the ovarian morphology, tissue and blood biochemistry of the rat. *Int J Radiat Biol.* 2018;94(2):186-198. doi: 10.1080/09553002.2018.1420924
 38. Yuvaci HU, Uysal S, Haltaş H, et al. The effect of non-ionizing radiation on the ovarian reserves of female rats. *Clin Exp Obstet Gynecol.* 2017;44(4):605-610. doi: 10.12891/ceog3594.2017
 39. Calis P, Seymen M, Soykan Y, et al. Does exposure of smart phones during pregnancy affect the offspring's ovarian reserve? A rat model study. *Fetal Pediatr Pathol.* 2021;40(2):142-152. doi: 10.1080/15513815.2019.1692112
 40. Shahin S, Singh SP, Chaturvedi CM. Mobile phone (1800MHz) radiation impairs female reproduction in mice, *Mus musculus*, through stress induced inhibition of ovarian and uterine activity. *Reprod Toxicol.* 2017;73:41-60. doi: 10.1016/j.reprotox.2017.08.001
 41. Suzuki S, Okutsu M, Suganuma R, et al. Influence of radiofrequency-electromagnetic waves from 3rd-generation cellular phones on fertilization and embryo development in mice. *Bioelectromagnetics.* 2017;38(6):466-473. doi: 10.1002/bem.22063
 42. Türedi S, Hanci H, Çolakoğlu S, Kaya H, Odaci E. Disruption of the ovarian follicle reservoir of prepubertal rats following prenatal exposure to a continuous 900-MHz electromagnetic field. *Int J Radiat Biol.* 2016;92(6):329-337. doi: 10.3109/09553002.2016.1152415

Сведения об авторах:

✉ **Никитина** Валентина Николаевна – д.м.н., старший научный сотрудник, заведующая отделением изучения электромагнитных излучений; e-mail: v.nikitina@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8314-2044>.

Калинина Нина Ивановна – к.м.н., старший научный сотрудник отделения изучения электромагнитных излучений; e-mail: n.kalinina@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9475-0176>.

Дубровская Екатерина Николаевна – научный сотрудник отделения изучения электромагнитных излучений; e-mail: nikanorushka@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-378X>.

Плеханов Владимир Павлович – научный сотрудник отделения изучения электромагнитных излучений; e-mail: v.plehanov@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8141-7179>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Никитина В.Н.*; сбор данных: *Калинина Н.И., Дубровская Е.Н.*; анализ и интерпретация результатов: *Никитина В.Н.*; литературный обзор: *Плеханов В.П.*; подготовка рукописи: *Никитина В.Н., Калинина Н.И., Дубровская Е.Н.* Все авторы ознакомлены с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных разрешающих документов.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 08.04.24 / Принята к публикации: 08.05.24 / Опубликовано: 31.05.24

Author information:

✉ Valentina N. **Nikitina**, Dr. Sci. (Med.), Senior Researcher, Head of the Department of Electromagnetic Radiation Research; e-mail: v.nikitina@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8314-2044>.

Nina I. **Kalinina**, Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher, Department of Electromagnetic Radiation Research; e-mail: n.kalinina@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9475-0176>.

Ekaterina N. **Dubrovskaya**, Researcher, Department of Electromagnetic Radiation Research; e-mail: nikanorushka@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-378X>.

Vladimir P. **Plekhanov**, Researcher, Department of Electromagnetic Radiation Research; e-mail: v.plehanov@s-znc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8141-7179>.

Author contributions: study conception and design: *Nikitina V.N.*; data collection: *Kalinina N.I., Dubrovskaya E.N.*; analysis and interpretation of results: *Nikitina V.N.*; bibliography compilation and referencing: *Plekhanov V.P.*; draft manuscript preparation: *Nikitina V.N., Kalinina N.I., Dubrovskaya E.N.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: April 8, 2024 / Accepted: May 8, 2024 / Published: May 31, 2024