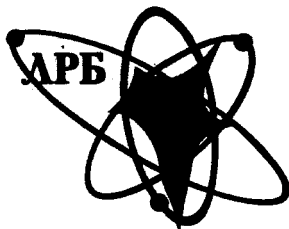


**Российская академия наук
Отделение физиологических наук РАН
Объединенный институт ядерных исследований**



**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
РАДИАЦИОННОЙ БИОЛОГИИ**

*К 60-летию создания Научного совета РАН
по радиобиологии*

Дубна, 25–27 октября 2022 г.

Материалы конференции

Организаторы конференции:
Научный совет РАН по радиобиологии
Радиобиологическое общество РАН
Лаборатория радиационной биологии ОИЯИ

Оргкомитет конференции

Сопредседатели:

Красавин Евгений Александрович, чл.-корр. РАН, ЛРБ ОИЯИ,
председатель Научного совета РАН по радиобиологии

Ушаков Игорь Борисович, академик РАН, ФМБЦ им. А. И. Бурназяна
ФМБА России, президент Радиобиологического общества РАН

Бугай Александр Николаевич, д. ф.-м. н., директор ЛРБ ОИЯИ

Ответственный секретарь:

Найдич Валерия Иосифовна, к. х. н., Научный совет РАН по радиобиологии

Члены оргкомитета:

Андреев Сергей Григорьевич, к. ф.-м. н., ИБХФ РАН

Борейко Алла Владимировна, д. б. н., ЛРБ ОИЯИ

Газиев Ажуб Ибрагимович, д. б. н., ИТЭБ РАН

Гераськин Станислав Алексеевич, д. б. н., ВНИИРАЭ

Гребенюк Александр Николаевич, д. м. н., АО «НИПИГАЗ»

Григорьев Олег Александрович, д. б. н., АНО «НИЦ безопасности новых технологий»

Замулаева Ирина Александровна, д. б. н., МРНИЦ им. А. Ф. Цыба Минздрава РФ

Кошляк Игорь Владимирович, к. б. н., ЛРБ ОИЯИ

Рождественский Лев Михайлович, д. б. н., ФМБЦ им. А. И. Бурназяна
ФМБА России

Рубанович Александр Владимирович, д. б. н., ИОГЕН РАН

Санжарова Наталья Ивановна, чл.-корр. РАН, ВНИИРАЭ

Тимошенко Геннадий Николаевич, д. ф.-м. н., ЛРБ ОИЯИ

Хмельский Евгений Витальевич, д. м. н., НМИЦ радиологии Минздрава РФ

Черняев Александр Петрович, д. ф.-м. н., МГУ им. М. В. Ломоносова

Актуальные проблемы радиационной биологии: Материалы конференции
A43 (Дубна, 25–27 октября 2022 г.). — Дубна: ОИЯИ, 2022. — 91 с.

ISBN 978-5-9530-0582-1

Сборник содержит материалы конференции «Актуальные проблемы радиационной биологии», приуроченной к 60-летию создания Научного совета РАН по радиобиологии (Дубна, 25–27 октября 2022 г.). На конференции представлены сообщения ведущих ученых об актуальных проблемах и задачах в области радиобиологии и радиоэкологии в свете современных тенденций развития науки.

Материалы публикуются в авторской редакции.

© Объединенный институт
ядерных исследований, 2022

ISBN 978-5-9530-0582-1

РАДИОБИОЛОГИЯ НЕИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ ЗА 60 ЛЕТ: ВАЖНЕЙШИЕ ИТОГИ И АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ

О.А. Григорьев

АНО "Национальный исследовательский центр безопасности новых технологий",
Москва, Россия
oa.grigoriev@yandex.ru

RADIOBIOLOGY OF NON-IONIZING RADIATION FOR 60 YEARS: THE MOST IMPORTANT RESULTS AND URGENT TASKS

O.A. Grigoriev

Autonomous non-profit organization "National Research Center for the Safety of New
Technologies", Moscow, Russia
oa.grigoriev@yandex.ru

Исследования медико-биологических эффектов электромагнитного поля в нашей стране непрерывно ведутся почти 130 лет. Справедливо считать, что 60 лет назад исследования базировались на прочном теоретическом и методическом фундаменте. Исследования биоэффектов электромагнетизма стали логическим продолжением исследования роли электричества в организме, его значению в функционировании нервной системы в конце 19 века. Для перехода физиологии от электричества к электромагнетизму первостепенное значение имело последовательное формирование теории электромагнитного поля, развитие технических средств генерации и их внедрение в промышленность, быт и медицину.

Академик А.А. Ухтомский писал в 1933 м году: "Физиология и электрофизиология строились до сих пор ... на таких представлениях, которые звучат архаично... будет делом насущным пересмотреть положения электрофизиологии с точки зрения новой электромагнитной физики и учения о поле. Первоочередной задачей будет пересмотр учения о физиологическом раздражителе с точки зрения теории поля. Одним из первых камней в предстоящую работу положен В.Я. Данилевским его исследованиями над физиологическим действием электрических напряжений на расстоянии". Так задан главный вектор развития плановых научных исследований биоэффектов электромагнетизма, определивший перспективы последующих 30 лет. «Энергетическое» или «тепловое» направление в исследованиях развивалось в неразрывной связи с рассмотрением электромагнитного поля в качестве раздражителя в ходе решения задача построения зависимости «доза-эффект» в диапазоне от недействующих до летальных уровней.

К началу 1960х годов представления о медико-биологических эффектах электромагнетизма кратко характеризуются следующим. При облучении электромагнитным полем во всем диапазоне частот нельзя противопоставлять или взаимно заменять тепловой и нетепловой эффект во всем диапазоне интенсивностей. Энергия поглощается в любом случае во всех тканях, в которые проникает электрический компонент поля, в зависимости от энергетического баланса можно говорить о "тепловом" эффекте. Независимо от энергии, электромагнитное поле (ЭМП) выступает как раздражитель центральной нервной системы (ЦНС), которая ответно реагирует (на раздражитель), причем особенно выражена реакция высших отделов ЦНС, характер реакции зависит от параметров электрических колебаний: направленность реакций организма в эксперименте может быть противоположной в зависимости от способа организации сигнала (непрерывное или импульсно-модулированное). Вывод о роли ЦНС согласовывался с идеями академика И.П.

Павлова о роли нервной системы в анализе и уравнивании всех раздражителей от внешней и внутренней среды организма.

Был определен принцип показателя вредного действия - развитие компенсаторных реакций организма, которые могут перейти в патологический процесс. На этой основе обоснованы первые санитарные нормы для работающих с источниками и военных к 1960му году. Констатировалось, что разделение перехода физиологической компенсации в патологию весьма сложна, что требует исследования интегральных показателей, характеризующих общую реакцию организма на действие ЭМП и функций, чувствительных к его воздействию.

В 1960х годах научная координация исследований в масштабах страны осуществлялась Научным советом АН СССР по кибернетике, а также научным советом по проблемам биосферы и проблемными комиссиями АМН СССР.

Направление фундаментальных исследований преимущественно вели в рамках кибернетического подхода, который заключался в следующем. Реакция ЦНС на изменение параметра внешней среды (по Павлову) рассматривается как восприятие информации. Соответственно, если доказана реакция ЦНС и организма на "нетепловой" уровень, то это можно называть информационным действием электромагнитного поля. Вопрос первичного механизма восприятия был основным предметом исследований и обсуждений в условиях отсутствия данных о специализированных рецепторах и анализаторах для восприятия ЭМП, в том числе в контексте механизмов природной ориентации и регуляции поведения.

В этот период тематика плановых исследований формировалась по направлениям: биофизические механизмы; определение интенсивности, метрология, дозиметрия и организация условий облучения в эксперименте; характеристика теплового действия электромагнитного поля радиочастот, включая сверхвысокочастотные (СВЧ); влияние на сердечно-сосудистую систему, на функцию органов пищеварения, на эндокринную систему и обмен, на иммунную систему, на систему крови, на ЦНС и поведение, на репродуктивную систему. Обобщались вопросы этиологии и патогенеза функциональных и морфологических изменений.

В 1960-х годах интенсивно развивали системы связи, радио- и телевидения, технологического применения электромагнетизма. Это сформировало потребность в регламентации ЭМП для населения и работающих, не связанных с эксплуатацией источников ЭМП, дало развитие исследованиям в интересах коммунальной гигиены, подтверждение надежности предельно-допустимых уровней (ПДУ) для работающих.

Гигиеническая характеристика условий облучения стала основной как для планирования эксперимента, так и клинико-эпидемиологии. Дозиметрия обеспечивалась созданной во ВНИИФТРИ в 1960-69 годах единой системой метрологического сопровождения измерений напряженности электрического и магнитного полей, плотности потока энергии, включая систему производства средств измерения и их метрологического обеспечения, калибровки антенн и поверки средств измерений, первичные и рабочие эталоны. Это позволяет говорить о высокой достоверности данных об условиях облучения.

С 1978 года научная координация фундаментальных вопросов действия электромагнитного фактора на биологические объекты и совершенствование научной основы нормирования воздействия фактора на человека и биобъекты поручена Объединенной секции электромагнитобиологии в рамках Научных советов АН СССР по проблемам биологической физики и радиационной биологии. Координационный план "Физическая среда" стал основой для финансирования большей части исследований.

Нельзя утверждать, что качественно планируемые направления исследований отличалось от прежних. В 1983 году в рамках Объединенной секции были определены очередные задачи исследований - фактически на последний плановый период. В том числе исследование механизмов действия на разных уровнях биологической интеграции; оценка значимости наблюдаемых изменений и отнесение их к реакциям восприятия или адаптивно-компенсаторным и патологическим реакциям с анализом продолжительности сохранения наступивших изменений; поиск общих закономерностей эффекта от физических параметров ЭМП; определение пороговых параметров ЭМП для биологических реакций различной значимости; исследование физических полей биообъектов.

Несмотря на стремление к координации, в 70-80 годах медико-гигиеническое и биологическое направление исследований биоэффектов электромагнетизма развивались не совместно. По распоряжению Совета Министров СССР был разработан и в 1984 году утвержден Совмином на период до 2004 года «План-график научно-исследовательских работ, направленных на разработку гигиенических и технических мероприятий, связанных с размещением передающих радиотелевизионных и радиолокационных станций». Была поставлена задача обеспечить баланс научно обоснованных санитарно-эпидемиологических требований к условиям контакта населения страны с источниками ЭМП и тенденциями промышленно-технологического развития. "Гигиенисты" находились перед необходимостью обоснования конкретных значений ПДУ в условиях ограниченного времени, обусловленного планами развития промышленности и связи. Решающее значение имело математическое и экспериментальное моделирование эксперимента, разработка методов математического прогноза в определении ПДУ на основе ограниченных экспериментальных данных. Нерешенную проблему механизма обошли рассматривая в эксперименте организм как «черный ящик», определяя методологию как кибернетический подход. Исходили из того, что влияние ЭМП проявляется на субклеточном, клеточном уровне, на уровне органов и систем, на уровне организма в целом, при повышении сложности организма возрастает чувствительность к электромагнитной энергии. Академик М.Г. Шандала обосновал понятие об оптимуме ЭМП обстановки - избыточные значения ЭМП и искусственная изоляция от природного комплекса факторов электромагнетизма действуют неблагоприятно на организм. По его мнению, точно определить значение последствий воздействия ЭМП на организм весьма трудно, часто из-за сложностей взаимодействия между электромагнитной энергией и здоровьем человека, недостатка знаний о факторе и механизмах его действия.

На наш взгляд, это очень важный тезис и сегодня: никогда не прекращалась дискуссия о природе электромагнетизма, его физической основе, о существовании "эфира" или эквивалентного физического понятия. Относительность представлений о природе электромагнитного фактора допускает относительность знания о его взаимодействии с живыми объектами, тем более, что знание о живом тоже нельзя считать полным.

Начиная с 1990х годов трудно переоценить значение Научного совета РАН по радиобиологии и непосредственно заместителя Председателя Совета профессора Ю.Г. Григорьева для координации исследований и консолидации ученых. После 1995 года усилиями Совета проведены конференции по радиобиологии и гигиене неионизирующих излучений, в том числе совместно с Всемирной организацией здравоохранения и с Российским национальным комитетом по защите от неионизирующих излучений.

Важным является ряд обобщений, выполненных коллегами в эти годы, в том числе развивающих проблематику "дозного" подхода, являющегося основным в

радиобиологии ионизирующих излучений, но проблемным для радиобиологии неионизирующих излучений.

Данные радиобиологических исследований, в которых использовали сложные режимы облучения, позволяют считать, что ЭМП СВЧ со средними значениями ППЭ ≤ 500 мкВт/см² (в непрерывном режиме или в импульсе) необходимо рассматривать как раздражитель центральной нервной системы. Поэтому справедливо применять законы физиологии о биологической силе, адапционном ответе и путях усиления биологической значимости слабого раздражителя.

Обобщение экспериментальных данных о количественных показателях микроволнового поражения показало особенность реакции ЦНС на импульсное СВЧ-излучение при оценке по порогам равнозначных биологических реакций (н-р, 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. Была 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.

После 2000х сотовая связь стала массовым продуктом и электромагнитный фактор превратился в популяционно значимый. На основе фундаментальных представлений о медико-биологических эффектах электромагнетизма, исходя из принципиальных изменений условий облучения населения и недостаточности научных данных о последствиях облучения головного мозга в неконтролируемых условиях во всех группах населения, включая детей, в период 2000-2008 годов были обоснованы прогнозы возможного роста заболеваемости в связи с облучением ЭМП сотовой связи. Это злокачественные новообразования (в том числе 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.

По современным данным Росстат фиксируют 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). Данные фундаментальных исследований, а также оценка возможного вклада электромагнитного поля сотовой связи в рост заболеваемости, выполненная на основе методологии IARC, показывает, что обусловленность роста заболеваемости 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.

Вопрос обусловленности прироста заболеваемости облучением электромагнитным полем оборудования сотовой связи является ключевым. Одновременное облучение ЭМП разных стандартов связи ведет к разным индивидуальным способам организации облучения, что значимо для биоэффекта и последующей их кумуляции при повторном действии, возможно, это указывает на путь к компенсаторным реакциям и к развитию заболеваний. Для новых условий облучения у нас практически не существует дозиметрии как для ближней, так и дальней зоны. Требуется национальное программное обеспечение расчетного прогнозирования падающей и поглощенной электромагнитной энергии, в том числе необходим национальный цифровой "электромагнитный" фантом (детский и взрослый).

Международное агентство по раку (IARC) присвоило класс 2Б ЭМП радиочастот в 2011 году, а в 2019 году внесло фактор в список наивысших приоритетов. Впервые механизм "окислительного стресса" признан основным для увеличения вероятности новообразований. В нашей стране нет собственных данных по теме "ЭМП радиочастот и новообразования", учитываемых IARC, хотя уже известное количество учтенных опухолей в детском контингенте позволяет провести анализ «случай-контроль».

В связи с развитием стандартов связи 4-6 поколений наиболее важно следующее: оценка действия на поверхностные ткани; возможность локальных повреждений мозга в связи с реализацией механизма поглощения "мощного импульсного микроволнового излучения в микросекундном диапазоне длительности импульса"; влияние импульсных сигналов на рост меланомы.

Число отдельных публикаций по тематике радиобиологии и гигиены неионизирующих излучений на русском языке давно превысило символическую цифру 10000 и сегодня еще большую актуальность приобретают слова Б.И. Давыдова и его коллег (1984): "требуется периодическая систематизация накопленного материала, установление единой терминологии, стандартизации методов исследований и анализа полученных данных».