

Определение подходов к нормированию воздействия антропогенного электромагнитного поля на природные экосистемы

О.А. Григорьев ¹, Е.П. Бичелдей ¹, А.В. Меркулов ¹, Степанов В.С.², Б.Е. Шенфельд ³

1 Центр Электромагнитной Безопасности, г. Москва

2 ГНЦ Институт биофизики Минздрава России, г. Москва

3 ФГУ "УралНИИ Экология" МПР России, г. Пермь

Интенсивное использование электромагнитной и электрической энергии в современном информационном обществе привело к тому, что в последней трети XX века возник и сформировался новый значимый фактор загрязнения окружающей среды - электромагнитный. К его появлению привело развитие современных технологий передачи информации и энергии, дистанционного контроля и наблюдения, некоторых видов транспорта, а также развитие ряда технологических процессов. В настоящее время мировой общественностью признано, что электромагнитное поле (ЭМП) искусственного происхождения является важным значимым экологическим фактором с высокой биологической активностью.

Анализ планов отраслей связи, передачи и обработки информации, транспорта и ряда современных технологий показывает, что в ближайшем будущем будет нарастать использование технических средств, генерирующих электромагнитную энергию в окружающей среде.

С начала 90-х годов произошли изменения в структуре источников ЭМП, связанные с возникновением их новых видов (сотовой и других видов персональной и мобильной коммуникации), освоением новых частотных диапазонов теле- и радиовещания, развитием средств дистанционного наблюдения и контроля и т.д. Особенностью этих источников является создание равномерной зоны "радиопокрытия", что является ничем иным, как увеличением электромагнитного фона в окружающей среде.

Термин "глобальное электромагнитное загрязнение окружающей среды" официально введен в 1995 году Всемирной Организацией Здравоохранения (ВОЗ), включившей эту проблему в перечень приоритетных для человечества. В числе немногих всемирных проектов ВОЗ реализует Международный электромагнитный проект (WHO International EMF Project), что подчеркивает актуальность и значение, придаваемое международной общественностью этой теме. В свою очередь практически все технически и культурно развитые страны реализуют свои национальные программы исследования биологического действия ЭМП и обеспечения безопасности человека и экосистем в условиях нового глобального фактора загрязнения окружающей среды.

Живые организмы в процессе эволюции приспособились к определенному уровню ЭМП, однако, резкое значительное повышение (в историческом аспекте) уровня ЭМП вызывает напряжение адаптационно-компенсаторных возможностей организма, долговременное действие этого фактора может привести к их истощению, что повлечет необратимые последствия на системном уровне.

1. Характеристика антропогенных источников ЭМП

Все существующие источники ЭМП можно разделить на следующие группы:

- *системы производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии постоянного и переменного тока (0-3 кГц):* электростанции, линии электропередачи (ВЛ), трансформаторные подстанции, системы электроснабжения и т. д.
- *транспорт на электроприводе (0-3 кГц) :* железнодорожный транспорт и его инфраструктура, городской транспорт - метрополитен, троллейбусы, трамваи и т. п.
- *функциональные передатчики:* радиовещательные станции НЧ (30 - 300 кГц), СЧ (0,3 - 3 МГц), ВЧ (3 - 30 МГц) и СВЧ (30 - 300 МГц) диапазонов; телевизионные передатчики; базовые станции (БС) систем подвижной (в т. ч. сотовой) радиосвязи; наземные станции космической связи; радиорелейные станции; радиолокационные станции (РЛС) и т. п. Источники ЭМП, как правило, являются источником комплексного электромагнитного излучения, которое оказывает воздействие на дикие и культурные растения, животных, насекомых и почвенную флору в зоне влияния

ЭМП. Кроме того, они занимают большие по площади территории (например, протяженность воздушных линий электропередачи напряжением 6 - 1150 кВ в нашей стране в настоящее время составляет более 4,5 млн. км) и часто нарушают целостность ареала распространения, пути миграций многих животных. Уровни ЭМП, создаваемые этими источниками в некоторых случаях превышают максимальный зафиксированный природный электромагнитный фон в 200 - 30000 раз.

2. Биологические эффекты действия ЭМП антропогенного происхождения на живые организмы и экосистемы

Проведенный анализ литературы показал, что до настоящего времени в РФ не проводилось комплексных и методически грамотных исследований воздействия ЭМП различных источников на окружающую среду. Как правило, в работах изучается реакция отдельных особей или различных видов живых организмов на воздействие ЭМП. Есть материалы единичных разрозненных исследований, посвященных изучению влияния ЭМП на природные биологические системы организменного и надорганизменного уровня (популяции, сообщества, экосистемы), но нет работ по изучению состояния и функционирования экосистем в целом в условиях действия ЭМП, влиянию ЭМП на различные виды экосистем. При этом следует ожидать, что биологическая активность ЭМП будет различной в отношении экосистем, обладающих различной устойчивостью (толерантностью) к действию этого фактора. Известно, что существуют природные экосистемы с очень хрупкой организацией, когда малейшее вмешательство человека вызывает серьезные нарушения в функционировании сообщества, и на восстановление гомеостаза требуется длительное время. (Г.В. Шляхтин, В.В. Аникин, Е.В. Завьялов и др., 2000). В этом случае техногенные ЭМП могут оказаться лимитирующим для экосистемы фактором и сильно изменить ее свойства.

Известно, что некоторые живые организмы обладают большей чувствительностью к ЭМП по сравнению с человеком (Н.А. Темурьянц, Б.М. Владимирский и др., 1992). В этом случае обоснованность принятия в качестве предельно допустимых уровней, установленных для человека является спорным. О высокой чувствительности многих животных к ЭМП свидетельствует наличие геомагнитного тропизма, т.е. использование геомагнитного поля Земли в качестве ориентира. Такая способность обнаружена у многих живых организмов: простейших (планарии, волвоксы, парамеции, улитки и др.), насекомых (майские жуки, мухи, термиты, пчелы, бабочки) ракообразных, амфибий и рептилий (тритоны, пещерные саламандры, крокодилы, черепахи), рыб (угри, лещи и др.), птиц (F . Schneider , 1963; G . Becker , 1965; Л.А. Шидлаускайте, 1973; А.Г. Поддубный, 1971; А.С. Васильев и др., 1973, F . A . Braun , 1965; J . В . Phillips , K . Adler , 1978). Повышенной чувствительностью к ЭМП обладают мигрирующие на дальние расстояния животные – птицы, рыбы, насекомые и т.д. (Т . Р . Quinn , 1982; У.Ф. Тоун, Дж. Л. Гоулд, 1989; А.С. Пресман, 1997; Д.Е. Прести, 1989). Кроме того, многие животные используют ЭМП для осуществления дистантных взаимосвязей, обеспечивающих согласованное выполнение двигательных маневров в стаях рыб и птиц, в стадах млекопитающих; в скоплениях насекомых и одноклеточных организмов (А.С. Пресман, 1997). Проявления геомагнитного тропизма экспериментально обнаружены и у растений – семена, высаженные параллельно силовым линиям геомагнитного поля прорастают быстрее, чем при перпендикулярном или беспорядочном расположении, такая ориентация семян усиливает не только их рост, но и интенсивность различных физиологических процессов, что приводит к повышению урожайности.

Сильные отклонения ЭМП от естественного уровня в большую или меньшую стороны, выходят за границы оптимума жизнедеятельности живых организмов и являются стрессорным фактором. Об этом свидетельствуют проведенные экспериментальные работы, так при полном экранировании ГМП изменяется скорость размножения некоторых микроорганизмов, наблюдаются нарушения процессов жизнедеятельности, такие как атипичный рост клеток и тканей, изменений морфологии и функций органов животных (Ю.А. Холодов, 1975, В.Г. Подковкин, 1994). В условиях повышенного уровня ЭМП отмечалось нарушение ориентации и увеличение двигательной активности различных насекомых (В.Б. Чернышев, 1966-1971; Becker , 1966; Дж. Киршвинк, 1989). Приведенные данные свидетельствуют об использовании восприятия ЭМП организмами в процессе

жизнедеятельности. Электромагнитное загрязнение может оказать непоправимый ущерб окружающей среде. Экспериментальные данные как отечественных, так и зарубежных исследователей свидетельствуют о высокой биологической активности ЭМП во всех частотных диапазонах.

Можно выделить два основных вида источников ЭМП в окружающей среде: источники низкочастотного (0-3 кГц) и радиочастотного (3кГц –300 ГГц) ЭМП.

2.1. Влияние источников низкочастотного ЭМП на компоненты экосистем

Влияние ЭМП воздушных линий электропередачи (ВЛ) на растения.

Теоретически уровни электрического поля регистрируемые вблизи ВЛ достаточны для повреждения листьев растений (Johnson et al , 1979). Проведенные наблюдения и эксперименты по влиянию ЭМП ВЛ на растения показали, что наблюдается уменьшение сухого веса надземной массы растений овса, подсолнечника растущих под ВЛ, по сравнению с контролем. Отмечено отрицательное действие ЭМП на величину потенциальной нитрогеназной активности почвенной ризосферной популяции, длину проростков растений (А.В. Тугарова, М.В. Смиян, 2000). В некоторых исследованиях, например А. Г. Карташева, Г. Ф. Плеханова (1982) отмечается стимуляция роста и прорастания сухих семян креписа при воздействии ПеЭМП 40 кВ/м.

Влияние ЭМП ВЛ на насекомых.

Наиболее распространенными реакциями насекомых (таких как стрекоз, бабочек, майских жуков, шмелей) на ПеЭП ВЛ являются избегание полета на близкое расстояние к низко расположенным проводам линии электропередачи, временная потеря ориентации и координации в пространстве вплоть до падения (G . Becker , 1977). При облучении ПеЭП ВЛ сверхвысокого напряжения (40 кВ/м; 50 Гц) гусениц китайского дубового шелкопряда было зарегистрировано замедление темпов роста и развития у гусениц младшего возраста, которое компенсировалось уже у гусениц третьего возраста (А. Г. Карташев, Г. Ф. Плеханов, 1982 г.). Увеличение в 2-6 раз численности особей некоторых насекомых (жука-кузьки, шпанской мушки, тли, имаго) под проводами ВЛ было зарегистрировано В.В. Аникиным, Г.В. Шляхтиным (2000), что может быть объяснено уменьшением под ВЛ численности естественных врагов и более богатым запасом пищевых ресурсов. Очень чувствительными к действию ЭМП являются пчелы. В исследовании влияния ЭМП от ВЛ-765 (60 МГц, 7 кВ/м) на пчел были обнаружены следующие эффекты: увеличение двигательной активности, аномальное отложение прополиса у входа в улей, снижение пищедобывательной мотивации, повышенный уровень смертности маток улья (Sheppard A . R ., 2000)

Влияние ЭМП ВЛ на птиц и млекопитающих .

Лабораторные исследования А. Г. Карташева, Г. Ф. Плеханова по выяснению биотропности ПеЭП ВЛ сверхвысокого напряжения (40 кВ/м; 50 Гц) показали, что у белых мышей (экспозиция 5, 10 и 20 сут) наблюдалось развитие анемии (30 %) на 10-е сут, которая компенсировалась развивающимся ретикулоцитозом к 20-м сут. Биотропность поля существенно зависела от стадии онтогенеза, уровня организации и экологических особенностей биообъектов, что необходимо учитывать при экологическом нормировании ПеЭП.

Анализ результатов эксперимента по изучению влияния на животных (крысы-самцы) ЭП (50 Гц) напряженностью от 100 до 5000 В/м при круглосуточном воздействии фактора позволил установить, что наблюдаются изменения общего состояния организма животных, нарушения метаболизма (белкового, углеродного и энергетического обменов и их регуляция) и процессов нейро-гуморальной регуляции (М.Г. Шандала, Ю.Д. Думанский, 1982), кроме того при длительном непрерывном воздействии ЭП (напряженность 1-5 кВ/м) возникают изменения генеративной функции подопытных животных и их потомства (нарушения внутриутробного и постнатального его развития). При влиянии длительного прерывистого ЭП также установлены нарушения генеративной функции (напряженности поля 10-15 кВ/м), выразившиеся в снижении плодовитости подопытных самок и изменениях внутриутробного развития потомства (М.Г. Шандала, Ю.Д. Думанский, 1982). Эти данные подтверждаются результатами В.Д. Дышловой, С.М. Пилявской и др. (1982), которые обнаружили после 3-4

месячного облучения мышей линии Вистар ЭМП ПЧ 15-25 кВ/м в семенниках животных морфологические и биохимические изменения интерстициальной ткани, характер которых зависел от напряженности ЭМП ПЧ. Самцы, подвергавшиеся ежедневному 5-часовому воздействию ЭМП ПЧ напряженностью 15 кВ/м, оказались бесплодными, несмотря на высокую сексуальную активность. При воздействии ЭМП напряженностью 10 кВ/м самцы потомство дали, но оно развивалось хуже, чем в контроле (повышение частоты врожденных аномалий и постэмбриональной гибели, снижение интенсивности роста тела). В потомстве от самок, подвергавшихся воздействию ЭМП ПЧ напряженностью 10 и 15 кВ/м, наряду с указанными выше нарушениями, отмечено ухудшение развития шерстяного покрова. На основании полученных данных о влиянии ЭМП ВЛ на репродуктивную систему животных, можно ожидать в природных экосистемах нарушение количественного соотношения особей некоторых видов, что нарушает устойчивость экосистемы.

Результаты нескольких исследований сельскохозяйственных животных (овцы, ягнята), постоянно подвергающихся облучению ЭМП ВЛ показали, что существенных отличий по сравнению с контролем не наблюдалось в следующих показателях: продуктивности, уровнях заболеваемости и смертности. Но были обнаружены статистически достоверное снижение иммунной активности (интерлейкин-1) при продолжительном облучении (Lee et al ., 1993; 1995; 1997)

В лабораторных исследованиях Hjeresen et al (1982) обнаружено, что облучение (60 Гц, 30 кВ/м) свиней в период сна вызывало у них беспокойство и дискомфорт, в то время как в период активности таких реакций не возникало. В исследованиях Mercer (1985) по изучению влияния ЭМП ВЛ-345, 500, 760 (напряженность 2-15 кВ/м) на коров, было зарегистрировано увеличение случаев рождения телят с аномалиями и среднего процента смертности телят с 3,4% до 5,85%. В то же время у взрослых коров не было зарегистрировано изменений в продуктивности и биохимическом составе молока.

Проведенное Г.И. Евтушенко (1982) исследование влияния МП ПЧ на нервную, сердечно-сосудистую, гемато-иммунологическую, эндокринную системы животных показало, что прерывистые и непрерывные МП 7500 А/м являются биологически активными, поскольку вызвали достоверные изменения во всех показателях. Биоэффекты действия МП напряженностью 750 А/м и 75 А/м характеризовались меньшими изменениями и восстанавливались в период последействия. Результаты эксперимента Б.М. Савина с сотр. (1987) подтвердили высокую чувствительность иммунной системы к действию ЭП 50 Гц напряженностью 1000-50 В/м при различных режимах облучения.

Влияние ВЛ на экосистемы многосторонне: во-первых, строительство ВЛ нарушает места обитания одних видов животных и создает благоприятные условия для других; во-вторых, это механическое воздействие – например, столкновение летящих птиц с опорами и проводами ВЛ; в-третьих, непосредственное токовое воздействие при контакте; в-четвертых, влияние ЭМП на различные этапы онтогенеза животных. В работе О.Г. Нехорошева (1996) изучалось влияние ВЛ –500 кВ на жизнедеятельность птиц. Средняя напряженность ПеЭП на уровне скворечников составляла 10-15кВ/м. В результате установлено, что смертность птиц на изучаемых участках ВЛ от столкновения с проводами составляет в среднем 1,5 особи на 1 км ВЛ в год. Отмечено, что совокупность условий под ВЛ 500 кВ влияет на пути метаболизма аминокислот в организме самок скворца, что затем отражается на потомстве – увеличивается продолжительность "бесперьевого" периода развития птенцов и повышается их смертность.

Влияние ЭМП ВЛ на водные экосистемы.

Исследования воздействия ЭМП на гидрофауну и флору очень малочисленны. Проведенные модельные эксперименты В.Г. Дувинг, Ю.А. Малининой (2000) о влиянии ПеЭП 50 Гц напряжением до 500 кВ на гидробионтов *Daphnia magna* и *Scenedesmus quadricauda* показали их высокую чувствительность и возможность их использования в качестве тест-систем.

2.2. Влияние источников радиочастотного диапазона ЭМП на компоненты экосистем

Источниками радиочастотного диапазона (РЧ) (3 кГц-300 ГГц) ЭМП в окружающей среде

являются различные радио- передающие и принимающие устройства радары, радиолокационные станции и т.д.

Влияние РЧ ЭМП на экосистемы .

Широкое распространение источников РЧ излучений, ставит задачу оценки экологической защищенности различных экосистем в целом и их компонентов. Одна из таких работ была проведена в 1993-1995 гг. в рамках экологических программ Министерства обороны РФ, когда проводилась оценка влияния ЭМП (источник радар) на здоровье среды (В.М. Захаров, А.Т. Чубинишвили и др., 2000). Регистрировалось состояние отдельных компонентов экосистемы (почвенные беспозвоночные, растения, млекопитающие), подвергавшихся облучению электромагнитных волн радиодиапазона. Анализ состояния компонентов экосистемы проводился по морфогенетическим и физиологическим показателям. В структуре сообществ почвенной фауны (микроартоподы-сапрофаги и гамазовые клещи) и их распределении по почвенным горизонтам не было выявлено существенных изменений под действием ЭМП. Обнаружено изменение общего состояния березы повислой, как по показателям стабильности развития, так и по показателям эффективности фотосинтеза. Изменение фотосинтетической активности является физиологической реакцией, которая может исчезать с течением времени, изменение же морфологии листа, происходящее в период его формирования, сохраняется в течение всего вегетационного периода. Серьезные изменения в иммунологических и морфологических показателях состояния организма были выявлены у всех исследованных видов млекопитающих (рыжей и серой полевок, полевой и лесной мышей, обыкновенной бурозубки). Причем физиологические реакции имели обратимый характер и исчезали через несколько дней после завершения облучения, в то время как морфологические изменения были необратимыми.

В работе Воронковой Е.В., Григорьева Ю.Г. (1996) изучалось влияние ЭМП с несущей частотой 400 МГц, ППЭ 260 и 130 мВт/см², экспозиция 30 суток, в натуральных условиях при импульсном режиме работы РЛС специального назначения на семена сельскохозяйственных культур (ячменя, гречихи и картофеля). Цитогенетические исследования (выход хромосомных aberrаций) показали достоверное увеличение клеток с нарушениями в экспериментальной группе по сравнению с контролем. Увеличение хромосомных aberrаций было также обнаружено при облучении ЭМП воздушно-сухих семян и проростков салата (несущая частота 1,2 ГГц, частота модуляции 0,12 Гц, длительность импульса 16 мс, ППЭ – 0,5; 5,0; 25 мВт/см², облучение проводили повторно в течение 4 сут. по 30 мин.) (Ю.Г. Григорьев, Л.В. Невзгодина и др., 1996)

Обширное исследование было проведено в Латвии в районе расположения РЛС (г. Скруда), которая функционировала в течение 28 лет. РЛС имела следующие параметры: 154–162 МГц, импульсная мощность каждого из четырех передатчиков 1,25 МВт, длительность импульса 0,8 мс при скважности 50, горизонтальная поляризация и является аналогичной РЛС Габала. При дендроэкологическом анализе рассматривали срезы сосен в возрасте 60–100 лет. Оказалось, что толщина прироста деревьев значительно уменьшалась в годы электромагнитного воздействия (уменьшение стало статистически достоверным на 3-5 год работы РЛС) (V. Balodis et al., 1996). Наблюдения за гнездовьями птиц, показали, что заселенность птицами территории, прилегающей к РЛС достоверно ниже по сравнению с контрольной территорией. Цитогенетический анализ клеток крови коров с фермы расположенной вблизи РЛС, показал повышенное количество генетических повреждений и случаев аномального гематопоза (V. Balodis et al., 2000)

Г.В. Козьмина, А.Г. Ипатова и др. (1999) проводили исследование влияния радиолокационных станций на фитоценозы, зооценозы, микробиоценозы. Эксперименты по облучению насекомых проводили в поле СВЧ-излучения с $r = 3$ см и ППЭ = 150-200 мВт/см² и экспозиции от 1 до 25 минут. В двухлетнем полевом эксперименте проводилось облучение вегетирующих растений в течение световых дней двух летних месяцев (июнь-июль) с помощью СВЧ-установок с длиной волны 3 и 10 см и различными уровнями ППЭ от 0,15 до 1,3 мВт/см² при $r = 3$ см и от 4,8 до 12,8 мВт/см² $r = 10$ см. ППЭ в зависимости от расстояния от источника излучения, составляла: на длине волны 3 см – 0,15-1,3 мВт/см², а на длине волны 10 см – 4,8-12,8 мВт/см². Оказалось, что используемые в эксперименте мощности СВЧ-излучения достаточны, чтобы вызвать летальный исход у всех исследованных насекомых под лучом. Облучение сельскохозяйственных растений

(картофель, пшеница) с аналогичными энергетическими характеристиками не вызывало их поражения и потерь урожая. Следовательно, отдельные виды насекомых оказываются значительно менее резистентны к тепловому СВЧ-воздействию по сравнению с сельскохозяйственными растениями.

Исследования проведенные Ч. Асабаевым, Т.Ю. Бончковской (1973) позволили им сделать вывод о высокой чувствительности птиц (попугаев) к СВЧ полю – порог чувствительности птиц располагался ниже 2 мВт/см^2 . При воздействии поля микроволнового СВЧ поля, также отмечали нарушение поведения муравьев, которые теряли способность "информировать" собратьев об источнике пищи.

Важнейшей составной частью агроценозов является биосистема свободно живущих в почве микроорганизмов, деятельность которых определяет плодородие почв и доступность растениям питательных веществ. Комплекс почвенных микроорганизмов – это сложнейшая биосистема, обладающая рядом особенностей, которые позволяют ее отнести к довольно устойчивым системам. Однако воздействие какого-либо сильного внешнего фактора может значительно изменить соотношение определенных групп почвенных микроорганизмов или их физиологическую активность, что может привести к нарушению внутреннего равновесия системы (гомеостаза), вплоть до необратимых изменений, а в конечном итоге потере урожайности. Полученные данные позволяют предположить, что хроническое СВЧ-облучение почвы ведет к частично стерилизующему эффекту, который выражается в снижении уровня азотфиксации. Четкой дозовой зависимости не обнаружено. Снижение уровня азотфиксации может происходить за счет снижения активности фермента нитрогеназы, ответственного за фиксацию атмосферного азота, либо за счет уменьшения числа азотфиксирующих микроорганизмов.

В результате исследования, проведенного В.И. Рыбниковой (1982) о влиянии СВЧ электромагнитных волн интенсивностью $20\text{-}40 \text{ мВт/см}^2$ на некоторые биологические объекты микроорганизмов (сальмонелл, золотистого стафилококка), установлено, что у облученных микроорганизмов изменяются морфологические признаки, которые передаются по наследству, биохимические свойства. Следовательно, микроволны могут действовать подобно мутагенному фактору.

Таким образом, хроническое СВЧ-излучение при определенных параметрах оказывает как стимулирующее, так и угнетающее действие на структурные компоненты экосистем (животных, растений, насекомых, почвенные микроорганизмы). Последствиями таких воздействий для экосистем может быть: подавление или стимуляция роста растений, усиление или ингибирование размножения насекомых, в том числе вредителей, изменение активности почвенных микроорганизмов и поражаемости растений грибными заболеваниями, снижение репродуктивности животных.

Выводы

Приведенные выше данные свидетельствуют о влиянии ЭМП широкого диапазона частот и разной интенсивности на состояние и функционирование компонентов экосистем. Воздействие Э мп даже нетеплового уровня, отличающегося от параметров естественного фона, вызывают обратимые изменения регуляции физиологических процессов: у животных – изменение интенсивности обменных процессов, иммунной активности и т.п.; у растений – изменения процессов роста, газообмена, поглощения минеральных веществ и т.п. Под влиянием ЭМП изменяется и поведение животных – их двигательная активность, ориентация в пространстве, способность к выработке условных рефлексов.

Кроме того, имеются виды и сообщества живых организмов, отличающихся повышенной чувствительностью к действию ЭМП, которые при проведении мониторинга могут служить биоиндикаторами электромагнитного загрязнения среды.

3 Определение подходов к нормированию ЭМП для окружающей среды

3.1 Зарубежный и российский опыт нормирования ЭМП

Проблема биологического действия ЭМП, оценки опасности для человека и окружающей среды занимает важное место, как в деятельности важнейших международных организаций,

так и в работе соответствующих государственных органов промышленно развитых стран. На международном уровне основным органом комплексной координации проблемы обеспечения безопасности биосистем в условиях воздействия ЭМП является Всемирная организация здравоохранения. С 1995 года в ВОЗ действует долгосрочная программа WHO EMF Project , основная задача которой является координация соответствующих исследований и обобщение их результатов с целью выработки глобальных оценок и рекомендаций по проблеме биологического действия ЭМП. Начиная с 1998 года программа ВОЗ включает в сферу своих интересов проблему воздействия ЭМП на окружающую среду и элементы экосистем (ICNIRP , 2000).

Важным органом практической реализации обеспечения электромагнитной безопасности играет Международная Комиссия по защите от неионизирующих излучений (ICNIRP). Но до настоящего времени ее деятельность направлена, прежде всего, на обеспечение электромагнитной безопасности человека.

По отдельным направлениям проблемы ВОЗ сотрудничает с другими международными организациями – Международным агентством по изучению рака, Международной электротехнической комиссией, Международным радиотехническим союзом и другими. Вопросы регулирования загрязнения окружающей среды электромагнитным полем и контролем источников обычно решают профильные государственные учреждения, ведающие связью, телекоммуникациями, энергетикой и природоохранные организации. Так в США это Агентство по охране окружающей среды (US Environment Protection Agency), в Германии – Министерство по охране окружающей среды и ядерной безопасности (Bundesministerium für Umwelt , Naturschutz und Reaktorsicherheit , www.bmu.de), в Нидерландах Министерство строительства, территориального планирования и охраны окружающей среды (Department of Housing , Spatial Planning and the Environment) и др.

Отдельными вопросами регулирования уровня ЭМП в окружающей среде занимаются органы по ионизирующим излучениям (специальный департамент в системе Агентства по охране окружающей среды США (US Environment Protection Agency), Национальный совет по радиационной защите Великобритании (National Radiological Protection Board), Департамент по радиационной защите Швеции (Swedish Radiation Protection Authority), Федеральное агентство по радиационной защите Германии (German Federal Office for Radiation Protection , www.bfs.de)

Во многих странах имеются долгосрочные международные и национальные программы по оценке опасности ЭМП для населения. Например, Международный проект ВОЗ "ЭМП и здоровье", программа ЕС COST , Национальная программа исследований США электрических и магнитных полей и распространения общественной информации (EMF RAPID). Свои программы также имеют: Швеция, Финляндия, Франция, Великобритания, Австралия, Япония, Германия, Дания, Канада.

Однако необходимо подчеркнуть, что основной целью большинства проводимых научно-исследовательских программ является оценка последствий и опасности влияния ЭМП разных источников применительно к человеку. Исследования по оценке влияния ЭМП на окружающую среду если и проводились, то прежде всего, с целью экологической легализации различных устройств-источников ЭМП. Например, Программа экологического мониторинга США 1982-1993 (Ecological Monitoring program) которая проводилась Военно-морским флотом США, где изучалось влияние телекоммуникационной системы, работающей в КНЧ диапазоне на биоту и экологические взаимоотношения видов. Изучались физиологические, экологические параметры наземных, водных экосистем. В рамках программы исследований High frequency Active Auroral research program (HAARP) изучалась экологическая опасность системы наблюдения за атмосферными и космическими процессами; Программа Ground Based Radar program проводилась с целью изучения биологической активности сети радаров военного назначения (ICNIRP , 2000). Широкомасштабные исследования были проведены в США для изучения влияния на экосистемы различных радиопередающих установок, таких как: The Next Generation Weather Radar system (NEXRAD) включающей 175 высокоэнергетических радаров; Ground Wave Emergency Network (GWEN) system аварийной системы коммуникации ВВС США; Electromagnetic pulse radiation environment simulator for ships (EMPRESS II) – системы, предназначенной для усиления электромагнитного импульса при внеатмосферном ядерном

взрыве. Все эти исследования проводились на стадии экологической оценки проектов и установок с целью подготовки экологического паспорта.

Результаты всех этих исследований не были использованы для разработки нормативов по ЭМП для окружающей среды. Этот вопрос в международном научном сообществе стал подниматься сравнительно недавно. В настоящее время идет накопление, обобщение и критическая оценка теоретического и экспериментального материала, формирование подходов и разработка критериев экологического нормирования.

В Российской Федерации (и бывшем СССР) в качестве основного критерия санитарно-эпидемиологического нормирования воздействия ЭМП в принято положение, в соответствии с которым безопасным для человека считается ЭМП такой интенсивности, нахождение в котором не приводит к даже временному нарушению гомеостаза (включая репродуктивную функцию), а также к напряжению защитных и адаптационно-компенсаторных механизмов ни в ближайшем, ни в отдаленном периоде времени.

Первые нормативы были разработаны с целью регламентации ЭМП в условиях профессионального воздействия. В связи с резко возросшим темпом распространения источников ЭМП, их приближением к местам постоянного пребывания человека и общим увеличением электромагнитного загрязнения возникла необходимость разработки нормативов для условий непрофессионального воздействия, в т. ч. для населения. На основании анализа результатов многочисленных исследований, в т. ч. экспериментов с хроническим воздействием в период с 1950 по 1990 г. в СССР были определены предельно допустимые значения для условий профессионального и непрофессионального воздействия постоянного электрического и магнитного полей, электромагнитного поля промышленной частоты (50 Гц) и радиочастотного диапазона (10 кГц - 300 ГГц). В качестве базовой величины принята величина энергетической экспозиции (энергетической нагрузки) в падающем ЭМП. При определении ПДУ интенсивности ЭМП, прежде всего, рассматривалось т. н. нетепловое (низкоуровневое), или информационное действие ЭМП, т. е. влияние ЭМП на процессы обмена информацией между различными органами и тканями, вызывающее нарушение гомеостаза.

Вместе с тем, существующая система санитарно-эпидемиологического нормирования ЭМП в Российской Федерации имеет существенные недостатки. Так, например, отсутствуют ПДУ, регламентирующие воздействие магнитной составляющей ЭМП во всем рассматриваемом частотном диапазоне (0 - 300 ГГц) для условий непрофессионального воздействия, прежде всего магнитного поля промышленной частоты 50 Гц. Необходимо создание ПДУ для квазистатического и низкочастотного (до 30 Гц) ЭМП, создаваемого транспортом на электротяге, медицинским оборудованием и т. п., а также для ЭМП в диапазоне частот 50 Гц - 10 кГц. Кроме того, в имеющихся на сегодняшний день нормативах не рассматривается модифицирующее влияние модуляции ЭМП, в том числе импульсного воздействия, а также других факторов окружающей среды (физических и химических).

При этом полное или частичное заимствование ПДУ (менее жестких по сравнению с российскими), содержащихся в стандартах по электромагнитной безопасности зарубежных стран и международных организаций, например, Международной комиссии по защите от неионизирующего излучения (ICNIRP), в настоящее время не представляется возможным из-за принципиальных отличий в философии санитарно-эпидемиологического нормирования в России и за рубежом.

В настоящее время из-за увеличения электромагнитного загрязнения, появления новых видов источников ЭМП и их широкого распространения возникла необходимость регламентации воздействия ЭМП на окружающую среду.

В РФ национальным научно-координационным органом в области электромагнитной безопасности является Российский национальный комитет по защите от неионизирующих излучений (<http://www.pole.com.ru> , RNK@pole.com.ru), который проводит оценку состояния знаний о влиянии неионизирующего излучения на здоровье и благополучие человека, составляет научно-обоснованные рекомендации по снижению облучения ЭМП. РНКЗНИ проведены Международные конференции ? Проблемы электромагнитной безопасности человека. Фундаментальные и прикладные исследования. Нормирование ЭМП: философия, критерии и гармонизация" (1999, 2002 г.). Кроме этого, в рамках

конференции в Санкт-Петербурге проведен круглый стол (23 сентября 2002 г.), где обсуждались результаты широкомасштабных исследований хронического облучения ЭМП, проведенных в бывшем СССР. На основании, которых, были разработаны гигиенические нормативы по ЭМП. В свете международной гармонизации стандартов по ЭМП эти материалы представляют собой большую ценность и актуальность, а также вызывают большой интерес со стороны зарубежных ученых.

Члены РНКЗНИ постоянно следят за научными публикациями и периодически выпускают справочно-аналитические обзоры научной литературы, посвященные физическим характеристикам ЭМП, источникам и возможным негативным биологическим эффектам. При составлении аналитического обзора РНКЗНИ оценивает научную достоверность, своевременность и надежность каждого доклада. РНКЗНИ также проводит пропаганду предупредительного принципа в отношении ЭМП, делая заявления, составляя практические рекомендации и публикуя труды научных симпозиумов.

Членами РНКЗНИ проводятся работы по обобщению информации по санитарно-гигиеническим документам, требующих совершенствования и доработки, в условиях быстрого развития новых технологических установок и устройств, излучающих ЭМП, определены приоритеты

РНКЗНИ проводит работу совместно с ICNIRP , а также с международной программой ВОЗ "Электромагнитные поля и здоровье человека".

3.2. Критерии экологического нормирования

В соответствии со статьей 25 Федерального закона "Об охране окружающей природной среды" от 19 декабря 1991 г. № 2060-1 нормирование качества окружающей среды проводится с целью установления предельно допустимых значений факторов воздействия на окружающую среду, гарантирующих экологическую безопасность населения, сохранения генетического фонда, обеспечивающих рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов в условиях устойчивого развития хозяйственной деятельности. Основным критерием экологического нормирования ЭМП может служить положение, в соответствие с которым безопасным для экосистемы считается ЭМП такой интенсивности, при которой возможна потеря отдельной особи при обязательном условии сохранения стабильности экосистемы. При экологическом нормировании ПДУ ЭМП имеет смысл верхнего предела устойчивости организма, при превышении которого ЭМП становится лимитирующим фактором окружающей среды (см. рис. 1).

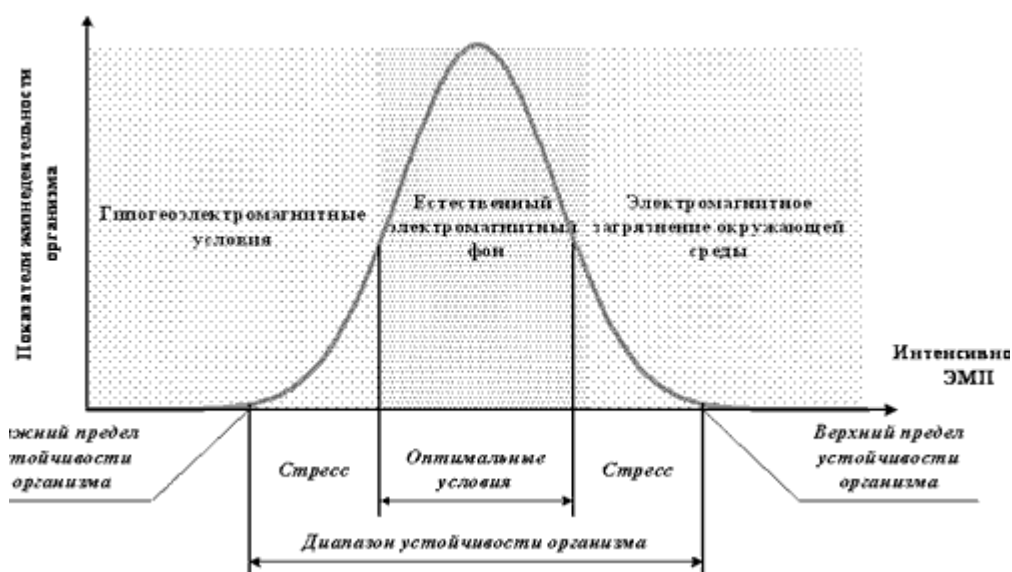


Рисунок 1 - Условная кривая изменений показателей жизнедеятельности организма от интенсивности воздействующего ЭМП

Безопасность экосистемы определяется близостью ее состояния к границам устойчивости. Ключевым требованием является: сохранение размера и биомассы экосистемы, постоянство видового состава, численных соотношений между видами и функциональными группами организмов. От этого зависит стабильность трофических связей, внутренних взаимодействий между структурными компонентами экосистемы и ее продуктивность.

3.3 Концепция экологического нормирования ЭМП

До настоящего времени ПДУ для оценки воздействия ЭМП на окружающую среду в целом не разработаны ни в одной стране мира. Имеются лишь разрозненные результаты отдельных исследований воздействия ЭМП на компоненты экосистем. Единственным объектом живой природы, для которого разработаны и внедрены соответствующие ПДУ как в Российской Федерации, так и во многих государствах за рубежом, является человек.

К вопросу нормирования ЭМП для окружающей среды возможны несколько подходов:

- За ПДУ принимается *интенсивность ЭМП естественного происхождения*. При таком походе разработка нормативов является простой задачей и сводится к обобщению имеющихся данных по интенсивности естественного электромагнитного фона в интересующем диапазоне частот (0–300 ГГц). Данный подход не оправдан ни с экономической, ни с экологической точки зрения, т. к. его реализация потребует почти полного прекращения функционирования объектов-источников ЭМП, а также проведения чрезвычайно дорогостоящих защитных мероприятий.
- За ПДУ принимается *технически минимально достижимая интенсивность ЭМП*, которая обеспечивает бесперебойную работу технических устройств. Подход является техническим, и вопрос нормирования рассматривается в отрыве от воздействия ЭМП на живые организмы. Установленные при таком подходе ПДУ могут быть в несколько раз выше пороговых значений, обоснованных биологическими исследованиями.
- За ПДУ принимаются *ПДУ, разработанные для человека*. Перенесение требований нормативных документов, разработанных для человека, на экосистемы в целом представляется чрезмерно грубым приближением, даже при условии введения соответствующих поправочных коэффициентов, т. к. характер воздействия ЭМП определенного типа на представителей флоры и фауны может радикально отличаться от характера его воздействия человека. Особенно это различие может наблюдаться у организмов, так или иначе использующих ЭМП естественного происхождения для обеспечения своего процесса жизнедеятельности.
- За ПДУ принимаются *биологически обоснованные уровни*, установленные в результате физических, физиологических, клинических, биохимических и других исследований на биологических объектах.

Этот подход является наиболее правильным, так как ПДУ определяется на основе комплексных исследований с оценкой последствий влияния ЭМП на жизнедеятельность видов и сообществ различной организации.

3.4 Методология оценки действия ЭМП на окружающую среду

Экологическим последствиям возрастающего уровня ЭМП в биосфере еще не дана соответствующая оценка. Следует отметить, что оценка последствий воздействия ЭМП на биосферу в целом является чрезвычайно сложной задачей, решение которой возможно лишь с позиций системной методологии. Этот подход заключается в конкретном учете всеобщности связей в природе, знании общесистемных законов и динамических свойств экосистем, таких как инертность, устойчивость, равномерность. Методология оценки действия ЭМП различных диапазонов должна включать изучение чувствительности основных элементов экосистем (животных, растений, насекомых, почвенного микробоценоза) к воздействию ЭМП с целью установления экологически значимых тест-объектов – биоиндикаторов – по показателям продуктивности и выживаемости, а также определение наиболее чувствительных тест-систем. Это позволит минимизировать материально-технические затраты на дальнейшие исследования при сохранении их достаточной объективности.

Биоиндикатор, это организм, вид или сообщество по наличию, состоянию, поведению которых судят об изменениях в среде, в том числе о присутствии загрязнителей и степени загрязненности окружающей среды.

Например, среди растений наиболее изученным видом-биоиндикатором является сосна, которая высоко чувствительна к загрязнению среды и практически не встречается в сильно загрязненных районах (В.Н. Карнаухов, 2001). В ряде случаев в весенне-летний период для биомониторинга могут быть использованы клетки листьев липы, березы и других лиственных деревьев и кустарников.

Следует также обращать особое внимание на представителей экосистем, использующих ЭМП для обеспечения своего процесса жизнедеятельности. Для большинства типов экосистем из различных климатических зон тест-объекты из растительного и животного сообществ могут варьировать.

Для определения пороговых величин интенсивности ЭМП различных частотных поддиапазонов необходимо проведение следующих перспективных исследований на выбранных биоиндикаторах и тест-системах:

- экспериментально определить ряды чувствительности биологических компонентов экосистем к воздействию ЭМП разных частотных поддиапазонов и выбрать соответствующие биоиндикаторы;
- для выбранных биоиндикаторов определить пороговые значения интенсивности ЭМП в каждом из частотных поддиапазонов при определенных режимах облучения на основе морфофизиологических, цитогенетических, электрофизиологических и биофизических показателей;
- разработать методы мониторинга состояния экосистем в условиях электромагнитного воздействия.

В реальной обстановке природные экосистемы одновременно подвергаются воздействию нескольких (многих) факторов среды. Оценку экологических последствий для компонентов природных экосистем следует проводить с учетом всего комплекса техногенных факторов. С этой целью потребуются построение иерархической структуры экологических факторов по степени их биологической и экологической значимости, а также исследования комплексного влияния факторов на биоиндикаторы с выявлением лимитирующего фактора. При этом следует уделять внимание экосистемам, расположенным на особо охраняемых территориях – заповедниках, заказниках, национальных парках и т. п., а также в зонах с повышенной антропогенной нагрузкой.

В случае, если в результате анализа проведенных по вышеуказанной схеме исследований выяснится, что ПДУ ЭМП для выбранных тест-объектов и тест-систем окажутся выше, чем для человека, то на основании статьи 28 "Об охране окружающей природной среды" в качестве нормативов для оценки электромагнитного загрязнения окружающей среды принимаются санитарно-эпидемиологические правила и нормы, действующие в системе Минздрава России.

Заключение

Термин "электромагнитное загрязнение окружающей среды" объективно отражает новые экологические условия, сложившиеся на Земле в условиях воздействия электромагнитного поля (ЭМП) на человека и все элементы биосферы.

В настоящее время проблема электромагнитной безопасности и защиты окружающей природной среды от воздействия ЭМП приобрела большую актуальность и социальную значимость, в том числе на международном уровне.

Технологическое развитие информационного общества привело к тому, что в условиях постоянного воздействия ЭМП находится значительная часть экосистем, особенно в условиях городов, на прилегающих к городам территориях, а также локально в практически незаселенных условиях. Анализ опубликованных данных, собственный опыт наблюдения и измерений ЭМП в условиях различных местностей показывает наличие высоких уровней ЭМП, в том числе тепловых значений, в местах недоступных для человека, но заселенных представителями флоры и фауны. Однако нормирование ЭМП как физического фактора внешней среды проводится только с целью его санитарно-гигиенической оценки для

человека, а экологические нормативы для источников ЭМП в нашей стране отсутствуют. Проведенный анализ экспериментальных работ показывают, что ЭМП является весьма чувствительным фактором для всех элементов биоэкосистем от человека до простейших. Так действие ЭМП на насекомых свидетельствует о том, что этот фактор может вызывать изменения в поведении, действуя на уровне информационных отношений между особями, может оказывать чисто физическое действие в силу особенностей строения тела и жизнедеятельности насекомых; может также оказывать на некоторые физиологические характеристики (обмен веществ, рост и развитие). Возможно также некоторое действие ЭМП на генетическом уровне.

Как слабые, так и сильные ЭМП оказывают достаточно выраженное влияние на морфологические, физиологические, биохимические и биофизические характеристики многих растений. Влияют на рост, развитие и размножение растительных объектов. Что касается истинно генетических последствий, то однозначного ответа на этот вопрос пока нет. Подавляющее большинство исследований обнаруживает высокую чувствительность различных микроорганизмов к достаточно слабым полям. Однако нет систематических и крайне мало достоверных данных о наличии эффектов, направлению реакций и последующих изменений в связи с параметрами действующих ЭМП.

Необходимо подчеркнуть, что значительная часть представителей фауны, в отличие от человека, обладает прямыми рецепторами ЭМП и использует естественные ЭМП для поддержания нормальной жизнедеятельности. По мнению авторов, такие виды являются наиболее уязвимыми в ситуации электромагнитного загрязнения.

Для регулирования воздействия ЭМП антропогенного происхождения на окружающую среду с целью предотвращения деградации основных компонентов природных экосистем, включая сокращение биоразнообразия, связанное с этим снижением способности природы к саморегуляции, в рамках реализации Экологической доктрины Российской Федерации, необходимо осуществление следующих мероприятий:

- разработка и утверждение критериев и предельно допустимых уровней воздействия ЭМП на окружающую среду;
- разработка и утверждение критериев оценки степени экологической опасности источников ЭМП конкретных типов, т. к. в зависимости от источника характер воздействия может иметь различный характер;
- внесение соответствующих изменений в методику проведения ОВОС, на объектах содержащих источники ЭМП;
- разработка методики инструментального контроля интенсивности ЭМП в целях экологической оценки;
- подготовка федерального и региональных реестров источников ЭМП;
- разработка методологии исчисления и введение платежей или экологического налога за ущерб, наносимый ЭМП окружающей среде, необходимость введения которых обсуждалась на различных уровнях (см. письмо Минэкономики России от 28 мая 1999 г. № 2296-П, решения Комитета по экологии Государственной Думы от 15 апреля 1999 г. № 98-5, от 21 мая 1998 г. № 70-2, от 19 ноября 1998 г. № 81-2, приказ Министра МПР России № 361 "О расширении системы платежей за негативное воздействие на окружающую среду");
- разработка порядка расчета экономических оценок вредных нагрузок от загрязнения окружающей среды ЭМП для использования указанных оценок при разработке планов специализированных мероприятий по защите (реконструкция, вывод за пределы населенных мест, использование технических защитных мероприятий и т.п.).

Учитывая, что существует определенный положительный опыт международных организаций и национальных программ в других странах по решению проблемы электромагнитного загрязнения окружающей среды, считаем необходимым изучение этого опыта, установление соответствующих межгосударственных контактов.

Начиная с 1995 года проблема электромагнитной безопасности в окружающей среде практически ежегодно обсуждается Комитетом экологии Государственной Думы Российской Федерации, находит поддержку в поручениях аппарата Правительства (ответственный – Минздрав России), однако практического решения не имеет.

Решение проблемы электромагнитного загрязнения окружающей среды является комплексной задачей, затрагивающей социальные и экономические интересы различных отраслей и ведомств, требующей междисциплинарных подходов и привлечения специалистов разного профиля. Особенностью проблемы является то, что основными источниками электромагнитного загрязнения окружающей среды являются наиболее динамично развивающиеся отрасли (связь, энергетика) со значительными привлеченными капиталами и инвестициями, как в техническую инфраструктуру, так и в целом в экономику отраслей. В связи с этим, для реального решения проблемы крайне необходимо иметь полномочный орган государственной координации работ.

Существующая тенденция увеличения использования электромагнитной энергии в хозяйственной деятельности человека и современное состояние обеспечения проблемы электромагнитной безопасности на государственном уровне позволяет прогнозировать дальнейшее увеличение электромагнитного загрязнения окружающей среды. Поэтому разработка и введение в практику нормативно-правовых и экономических регуляторов электромагнитного загрязнения, безусловно, позволит создать коренной позитивный поворот в ситуации, предотвратить деградацию среды обитания и сокращение видового биоразнообразия, внесет важный вклад в обеспечение устойчивого развития страны.

Список литературы

1. Аникин В.В., Шляхтин Г.В. и др. Обследование состояния энтомофауны в зоне влияния ЛЭП-500. // В кн. Мат-лы науч.-практич. конф. «Электромагнитная безопасность. Проблемы и пути решения». г. Саратов 28-30 августа 2000. Изд-во СГУ, 2000. стр.3-6
2. Асабаев Ч., Бончковская Т.Ю.. Физиологическая характеристика реакции ЦНС животных к малоинтенсивным непрерывным ЭМП СВЧ диапазона. // В кн. Тезисы докладов симпозиума «Принципы и критерии оценки биологического действия радиоволн» Ленинград, 24-25 мая 1973 г . с. 29-31
3. Биогенный магнетит и магнитотрещепция. Новое о биомагнетизме: В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ./ Под ред. Дж. Киршвинка, Д. Джонса, Б. Мак-Фаддена. – М.: Мир, 1989. -353с.
4. Биогенный магнетит и магнитотрещепция. Новое о биомагнетизме: В 2-х т. Т. 2: Пер. с англ./Под ред. Дж. Киршвинка, Д. Джонса, Б. Мак-Фаддена. – М. Мир, 1989. –525 с.
5. Васильев А.С. и др., Магнитотрещепторные реакции у стекловидного угря. // Биофизика, 1973.
6. Воронкова Е.В., Григорьев Ю.Г., Калашникова Н.В., Шеин В.И. Цитогенетические исследования влияния ЭМП на растительных объектах в природных условиях.// В кн. Мат. 1-ой рос. конф. «Проблемы электромагнитной безопасности человека. Фундаментальные и прикладные исследования», Москва, 28-29 ноября 1996 г . С 110.
7. Григорьев О.А., Меркулов А.В. Проблема экологических нормативов в условиях электромагнитного загрязнения окружающей среды. // Материалы 3-й междунар. конф. "Электромагнитные поля и здоровье человека. Фундаментальные и прикладные исследования", 17-24 сент. 2002 г ., Москва - С.Петербург. - М., 2002. - С.25-27.
8. Григорьев Ю. Г., Степанов В. С., Григорьев О. А., Меркулов А. В. Электромагнитная безопасность человека. Справочно-информационное издание. Российский национальный комитет по защите от неионизирующего излучения, 1999
9. Григорьев Ю.Г., Невзгодина Л.В. и др. Влияние электромагнитного излучения сложного режима на высшие растения с различной метаболической активностью. // В кн. Мат. 1-ой рос. конф. «Проблемы электромагнитной безопасности человека. Фундаментальные и прикладные исследования», Москва, 28-29 ноября 1996 г . стр. 101-102.
10. Дувинг В.Г., Малинина Ю.А., Воеводин В.И. Моделирование воздействия электромагнитного поля высоковольтных линий электропередач на гидробиологические объекты. //В кн.Мат-лы науч.-практич. конф «Электромагнитная безопасность. Проблемы и пути решения». г. Саратов, 2000. Изд-во СГУ, 2000 стр. 17
11. Дышловой В.Д., Пилявской С.М. и др. Влияние ЭМП ПЧ на генеративную функцию млекопитающих // В кн. Тезисы докладов Всесоюз. симпозиума «Биологическое действие ЭМП» Пущино, 1982. стр. 98-99.
12. Евтушенко Г.И. Влияние магнитного поля промышленной частоты на организм

- животных (50 Гц). Материалы 3-го советско-американского рабочего совещания по проблеме: «Изучение биологического действия физических факторов окружающей среды» Киев, 11-15 мая 1981 г. – Киев "Здоровья", 1982. стр. 160-178.
13. Захаров В. М., Чубинишвили А. Т., Дмитриев С. Г. и др. Здоровье среды: практика оценки. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 320 с.
 14. Карташев А. Г., Плеханов Г. Ф. Экологическая оценка ПеЭП ЛЭП. // В кн. Тезисы докладов Всесоюз. симпозиума «Биологическое действие ЭМП» Пущино, 1982. стр. 99-101.
 15. Козьмин Г.В., Ипатова А.Г. и др. Влияние хронического СВЧ облучения на компоненты агроэкосистем. // В кн. Материалы Международного совещания «Электромагнитные поля. Биологическое действие и гигиеническое нормирование» Москва, Россия, 18-22 мая 1998 г. Под ред. М. Х. Репачоли, Н. Б. Рубцовой, А. М. Муц. Geneva, 1999. стр. 207.
 16. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды. Под ред. Исаева Л. К. СПб, Эколого-аналитический информационный центр «Союз», 1998 – 896 с.
 17. Материалы 5-го советско-американского рабочего совещания по проблеме: «Изучение биологического действия физических факторов окружающей среды». Ялта, 22-26 апреля 1985 г. – Киев «Здоровья», 1987
 18. Материалы Международного совещания «Электромагнитные поля. Биологическое действие и гигиеническое нормирование» Москва, Россия, 18-22 мая 1998 г. Под ред. М. Х. Репачоли, Н. Б. Рубцова, А. М. Муц. – Женева, 1999
 19. Нехорошев О.Г. Линии электропередачи и экология птиц. // В кн. Мат. 1-ой рос. конф. «Проблемы электромагнитной безопасности человека. Фундаментальные и прикладные исследования», Москва, 28-29 ноября 1996 г. стр. 109.
 20. Павлович С. А. Магнитная восприимчивость организмов. – М.: Наука и техника, 1985. – 110 с.
 21. Плеханов Г.Ф. Основные закономерности низкочастотной электромагнитобиологии. - Томск: Изд-во Томского университета, 1990. - 188 с.
 22. Поддубный А.Г. Экологическая топография популяций рыб в водохранилищах. Л. Наука, 1971
 23. Подковкин В. Г. Особенности гормонально-медиаторной регуляции организма в условиях изолированного и комбинированного действия различных неионизирующих факторов окружающей среды (геомагнитное поле, постоянное магнитное поле, электромагнитное излучение). Автореферат диссертации на соис. уч.ст. д.б.н. Москва, 1994, 39 стр.
 24. Пресман А. С. Организация биосферы и ее космические связи. (кибернетические основы планетно-космической жизни). ГЕО – СИНТЕГ
 25. Прести Д.Е. Навигация птиц, чувствительность к геомагнитному полю и биогенный магнетит. В кн.: Биогенный магнетит и магниторецепция. Новое о биомагнетизме. Изд-во:МИР, 1989. Т.2. стр. 233-265.
 26. Рыбникова В.И. Биологическое действие микроволн на некоторые микроорганизмы. // В кн. Тезисы докладов Всесоюз. симпозиума «Биологическое действие ЭМП» Пущино, 1982. стр. 27
 27. Савин Б.М., Косова И.П., Шитникова О.Ю. Материалы 5-го советско-американского рабочего совещания по проблеме: «Изучение биологического действия физических факторов окружающей среды». Ялта, 22-26 апреля 1985 г. – Киев «Здоровья», 1987 с.171
 28. Темуриянц Н. А., Владимирский Б. М., Тишкин О. Г. Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире. – Киев: Наук. думка, 1992. 188 с.
 29. Тоун У.Ф., Гоулд Дж. Л. Чувствительность медоносных пчел к магнитному полю. В кн.: Биогенный магнетит и магниторецепция. Новое о биомагнетизме. Изд-во:МИР, 1989. стр. 147-173.
 30. Тугарова А.В., Смиян М.В., Шигаев А.В., Панасенко В.И., Чумаков М.И. Численность и активность ризосферной микрофлоры овса и подсолнечника под высоковольтными линиями электропередач. // В кн. Мат-лы науч.-практич. конф «Электромагнитная безопасность. Проблемы и пути решения». г. Саратов, 2000. Изд-во СГУ, 2000.
 31. Холодов Ю. А. Мозг в электромагнитных полях. М.: Наука, 1982. –123 с.

- 32.Холодов Ю. А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, 1975
- 33.Чернышев В.Б. Влияние возмущений земного магнитного поля на активность насекомых. // В сб. Мат-ля совещания по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. М., 1966, с.80
- 34.Чернышев В.Б. Влияние электромагнитных полей на поведение насекомых // В сб. Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу. М. Наука, 1971. с. 231.
- 35.Шандала М.Г., Думанский Ю.Д. и др. Биологическое действие электрического поля низкой частоты (50 Гц). Материалы 3-го советско-американского рабочего совещания по проблеме: «Изучение биологического действия физических факторов окружающей среды» Киев, 11-15 мая 1981 г. – Киев "Здоровья", 1982. С . 141–159.
- 36.Шидлаускайте Л.А. Реакции водных животных в электромагнитных полях. // Тр. АН Лит. ССР, сер. В, Т.2, 1973, С . 127.
- 37.Шляхтин Г.В., Аникин В.В., Завьялов Е.В. и др. Влияние ЭМП на структуру и динамику биологических систем надорганизменного уровня.// В кн. Мат-лы науч.-практич. конф «Электромагнитная безопасность. Проблемы и пути решения». г. Саратов, 2000. Изд-во СГУ, 2000 стр. 34–35
- 38.Balodis V. et al. Does the Skruda Location station diminish the radial growth of pine trees? The Science of the Total environment 180 (1):87-93. 1996
- 39.Balodis V., A. Kolodynski et al. The effects of electromagnetic radiation from the Skruda RLS on organisms. Proceedings Int. Seminar on effects of EMF on the living Environment. Ismaning , Germany , October 4–5, 1999. ICNIRP, 2000
- 40.Becker G. Elektrische Kommunikation bei termiten// Z. f. Angew. Entomol.1977, p. 82;
- 41.Becker G. On the orientation of diptera according to the geomagnetic field. III Intern. Biomagn. Sympos. Chicago , 1966, p.9
- 42.Braun F.A. A compass directional phenomenon in mud snails and its relations to magnetism. // Biol. Bull., 1965, 51. p. 135
- 43.ICNIRP. Effects of Electromagnetic Fields on the Living Environment. Proceedings. International Seminar on Effects of Electromagnetic Fields on the Living Environment, Ismaning, Germany, October 4 and 5, 1999. ICNIRP 10/2000 - 280 p.
- 44.Hjeresen DL, Miller MC, Kaune WT, Phillips RD (1982). A behavioral response of swine to a 60-hz electric field. Bioelectromagnetics 3(4):443-452.
- 45.Johnson JG, Poznaniak DT, McKee GW (1979). Prediction of damage severity on plants due to 60-hz high-intensity electric fields. NTIS Document No CONF-781016:172-183, Hanford Life Sciences Symposium 18th Annual Meeting October 1978 Richland WA .
- 46.Lee JM Jr, Stormshak F, Thompson J, Hess DL, Hefeneider S (1997). Studies of melatonin, cortisol, progesterone, and interleukin- 1 in sheep exposed to EMF from a 500-kv transmission line. In: R. G. Stevens, B. W. Wilson, L. E. Anderson, (eds.). The Melatonin Hypothesis: Breast Cancer and the Use of Electric Power. Columbus , Ohio : Battelle Press, P. 391–427.
- 47.Lee JM Jr, Stormshak F, Thompson JM, Thinesen P, Painter LJ, Olenchek EG, Hess DL, Forbes R, Foster DL (1993). Melatonin secretion and puberty in female lambs exposed to environmental electric and magnetic fields. Biol Reprod 49(4):857–864.
- 48.Lee JM. Jr, Stormshak F, Thompson JM, Hess DL, Foster D.L (1995). Melatonin and puberty in female lambs exposed to EMF: a replicate study. Bioelectromagnetics 16(2): 119-123 1995
- 49.Mercer H. D. (1985). Biological effects of electric fields on agricultural animals. Vet Hum Toxicol 27(5):422–426 1985.
- 50.Phillips J.B., Adler K., Directional and discriminatory responses of salamanders to weak magnetic fields. In: Animal Migration Navigation and homing. Springer-Verlag , Berlin , 1978. pp. 325–333.
- 51.Quinn T.P. A model for salmon navigation on the high seas. In: Proceedings of the Salmon and Trout Migratory Behavior symposium. 1982. pp. 229–237.
- 52.Sheppard A.R. "Biological Effects of High Voltage Direct Current Transmission Lines," Report to the Montana Department of Natural Resources and Conservation, Helena . NTIS publication, PB 83 207258, April, 1983.
- 53.Плеханов Г.Ф. Основные закономерности низкочастотной электромагнитобиологии. Изд-во Томского университета, г. Томск, 1990