

## Оглавление

Предисловие.....	6
Введение .....	11
Принятые сокращения .....	13
Глава 1. Электромагнитные параметры биосферы.....	15
1.1. Естественные электромагнитные параметры воздушной среды .....	15
1.2. Изменение электромагнитных параметров биосферы в результате деятельности человека.....	19
1.3. Воздействие строения земной поверхности (коры) на электромагнитные параметры биосферы.....	22
1.4. Изменение электромагнитных параметров биосферы в результате природных катализмов .....	26
1.5. Влияние космических лучей на биосферу.....	26
Глава 2. Факторы, влияющие на формирование электромагнитной среды в окружающем пространстве .....	28
2.1. Природные источники ЭМП .....	28
2.1.1. Естественные электрические поля .....	28
2.1.2. Естественные переменные электрические поля .....	29
2.1.3. Естественные постоянные электрические поля.....	33
2.1.4. Естественные магнитные поля .....	38
2.1.5. Естественные электромагнитные поля .....	41
2.1.6. Космические лучи и их влияние на биосферу .....	43
2.2. Искусственные источники ЭМП .....	45
2.2.1. Виды источников ЭМП искусственного происхождения .....	45
2.2.2. Электромагнитное загрязнение в биосфере .....	46
2.3. Средства стационарной радиосвязи .....	76
2.4. Мобильная связь.....	81
2.5. Физические явления, вызывающие широкополосные радиопомехи.....	84
2.6. Автотранспорт .....	87
2.7. Электромагнитное загрязнение в производственных помещениях .....	92
2.7.1. Источники статического электричества .....	92
2.7.2. Источники постоянных МП.....	93
2.8. Источники ЭМП промышленной частоты и радиочастот .....	94

2.9. Электромагнитное загрязнение в экранированных помещениях .....	96
2.10. Электромагнитное загрязнение в жилых помещениях .....	97
2.10.1. Основные источники ЭМП в жилых помещениях .....	97
2.10.2. Электропроводка.....	102
2.10.3. Видеотерминалы .....	103
2.11. Электромагнитное загрязнение в воздушной среде крупных городов .....	107
Глава 3. Классификация электромагнитной обстановки в техносфере.....	109
3.1. Характеристики электромагнитной обстановки в техносфере .....	109
3.2. Воспроизведение электромагнитных помех при испытаниях автоматических и автоматизированных систем технологического управления электротехническими объектами .....	110
3.3. Испытания автоматических и автоматизированных систем .....	114
Глава 4. Техническое регулирование в области электромагнитной совместимости .....	141
4.1. Содержание технического регулирования в области электромагнитной совместимости .....	141
4.2. Термины и определения технического регулирования в области ЭМС .....	142
4.3. Установление обязательных требований к техническим средствам по обеспечению ЭМС .....	145
4.3.1. Общие сведения о международных и европейских стандартах ЭМС .....	145
4.3.2. Категории стандартов ЭМС .....	148
4.3.3. Национальные стандарты ЭМС.....	150
4.3.4. Требования, устанавливаемые национальными стандартами ЭМС .....	150
4.4. Управление процессами обеспечения ЭМС на промышленном предприятии.....	154
4.4.1. Осведомлённость персонала в области ЭМС .....	154
4.4.2. Стоимость разработки и затраты времени .....	155
4.4.3. Определение на предприятии процессов обеспечения ЭМС и управления этими процессами .....	156
4.4.4. План обеспечения ЭМС.....	158

Глава 5. Основы правового и нормативного обеспечения электромагнитной безопасности.....	159
5.1. Проблемы в сфере нормативно-технического регулирования.....	159
5.2. Новые подходы к стандартам по безопасности сложных технических средств .....	167
5.3. Требования по электромагнитной безопасности технических средств на объектах электроэнергетики и промышленности.....	172
5.4. Международные нормы и стандарты.....	177
5.4.1. Стандарты Международной электротехнической комиссии .....	178
5.4.2. Стандарты Международного специального комитета по радиопомехам (СИСПР).....	183
5.4.3. Европейские стандарты (СЕНЕДЕК – ЕН) по ЭМС .....	186
5.5. Стандарты ЭМС, гармонизированные с международными стандартами .....	188
5.6. Стандарты ЭМС, принятые до 1999 г. не гармонизированные с международными стандартами .....	196
5.7. Процедура сертификации продукции в Европейском союзе .....	198
Библиографический список.....	208
Приложение .....	213

## Предисловие

Современная электроэнергетическая система (ЭЭС), в том числе и та, которая обслуживает электрифицированный железнодорожный транспорт, представляет собой многоуровневую структуру, включающую мощные источники и приемники (рецепторы) электрической энергии (ЭЭ); распределительные устройства с разветвленными линиями передачи или кабельными трассами; защитную и коммутирующую аппаратуру; системы управления и коммутации. Развитие таких сложных ЭЭС связано с автоматизацией, следовательно, с увеличением доли высокочувствительных элементов автоматики и полупроводниковой техники. Усложнение системы, в свою очередь, приводит к увеличению числа сбоев и отказов элементов, к снижению надежности и эффективности ЭЭС в целом. При проектировании сложных ЭЭС и систем управления проблема надежности их функционирования выдвигается на первое место.

Повышение надежности отдельных элементов или подсистем ЭЭС, введение структурной и временной избыточности, использование взаимозаменяемости и восстанавливаемости элементов, а также иных методов надежности сложной системы позволяют гарантировать отказоустойчивость системы, т. е. способность правильно функционировать при отказах или сбоях элементов. Для обеспечения гарантуемой отказоустойчивости ЭЭС в последнее время все чаще начинают учитывать изменения ее параметров и функций из-за взаимовлияния отдельных элементов в рамках проблемы электромагнитной безопасности (ЭМБ). Понятие ЭМБ вытесняет ранее используемое понятие «электромагнитная совместимость» (ЭМС) и представляется более ёмким.

ЭМБ можно рассматривать как способность устройства, использующего электромагнитные явления, удовлетворительно функционировать в данном электромагнитном окружении, не создавая недопустимых помех этому окружению, а также стойкость к мощным электромагнитным излучениям (ЭМИ) от молний, ядерных взрывов и мощных внутрисистемных разрядных процессов.

Состояние безопасности, как следует из этого определения, может быть достигнуто при помощи правильного конструирования, размещения, надлежащего управления, а также с учетом воздействий внешней среды.

В настоящее время все большее число высокочувствительных электромагнитных элементов для своего надежного функционирования требуют решения тех или иных задач ЭМБ. При увеличении доли высокочувствительных элементов автоматики, измерительных и контролирующих комплексов, информационных линий и тому подобного в ЭЭС область ЭМБ существенно расширяется. В большем объеме используются полупроводниковые преобразователи, микросхемы, микропроцессоры, на которые воздействуют электромагнитные помехи. Кроме того, из-за наличия источников мощных электромагнитных полей (ЭМП) даже традиционные элементы установки, такие как коммутирующая аппаратура, устройства контроля и защиты, автоматические пульты и др., допускают сбои, ложные срабатывания, выходят из строя. Так, мощные импульсные ЭМП вызывают перенапряжения в электрических цепях системы, приводят к повреждениям полупроводниковых элементов, к коротким замыканиям (КЗ).

Помехи, распространяющиеся по цепи и вызванные переходными процессами при переключениях в сетях питания, воздействуют на цифровые системы, на информационные линии. Наличие низкочастотных электромагнитных процессов в общих сетях (гармонических составляющих питающего напряжения, перерывов питания и т. д.), а также нелинейных нагрузок, существенно расширяет проблематику ЭМБ, вовлекая в нее все виды источников и приемников ЭЭ. Уменьшается надежность, живучесть и безопасность ЭЭС в целом.

Обеспечение совместной работы различных видов элементов электрооборудования (ЭО) в ограниченных по объему помещениях в настоящее время приобретает первостепенное значение.

Вопросы ЭМБ в их современном понимании до последнего времени ставились и решались как второстепенные в рамках проблемы помехоустойчивости. Лишь в последние десятилетия им стали уделять значительное внимание, когда возросла потребность в снижении ЭМП низких частот.

Эта потребность вызвана двумя причинами: обнаружением значительного рассеяния ЭЭ линиями электропередачи (ЛЭП), как воздушными, так и кабельными, во время коммутации при наличии значительного состава гармоник и тому подобного и созданием высокочувствительных приборов и применением маломощных устройств, работающих при низких напряжениях (интегральных схем, магнитометров, приемников инфракрасного излучения).

Многочисленные излучатели создают в ограниченных по объему помещениях поля сложной структуры как по поляризационным, так и по амплитудно-фазовым характеристикам.

Задачи ЭМБ приходится решать комплексно применительно к сложной системе, характерными признаками которой являются:

- наличие большого числа взаимно связанных и взаимодействующих между собой элементов;
- сложность функций, выполняемых системой и направленной на достижение заданной цели функционирования;
- возможность разбиения системы на подсистемы, функционирование которых подчинено общей задаче;
- наличие управления, разветвленной информационной сети и интенсивных потоков информации;
- взаимодействие с внешней средой и функционирование в условиях воздействия случайных процессов.

Задачи ЭМБ включают несколько групп вопросов.

1. Обеспечение совместной работы двух источников, для которых определено наличие взаимных или односторонних помех.

2. Изучение взаимодействия оборудования в ограниченной по пространству системе.

3. Оценка работы оборудования в условиях ЭМП помех, созданных ЭО других комплексов.

Кроме того, решаются задачи анализа и обеспечения минимальных ЭМ помех в случаях, когда в качестве источников ЭМП и приемников выступают различные сочетания технических средств (ТС). Решать перечисленные задачи

необходимо при разработке технических требований к ТС при проектировании, изготовлении, приемосдаточных испытаниях, установке и эксплуатации.

Важнейшими задачами обеспечения ЭМБ являются следующие.

1. Прогнозирование уровня ЭМ помех в помещениях с ТС.

2. Разработка теории расчета ЭМ помех близко расположенных ТС.

3. Оценка эффективности защитных мероприятий по защите экранирования устройств от воздействия на них как стационарных, так и импульсных ЭМП.

Перечисленные задачи, часть из которых будет рассмотрена ниже, не охватывают всю проблему ЭМБ, но служат хорошей иллюстрацией ее сложности и многогранности. Можно ожидать, что все пути обеспечения ЭМБ ТС, рассмотренные здесь, найдут свое применение, в том числе активное и пассивное экранирование, рациональное размещение источников ЭМП и др.

На наш взгляд, в ближайшие годы найдет широкое распространение снижение полей помех за счет использования проектирования с учетом минимизации физических полей (например, магнитно-акустическое проектирование), специального размещения источников ЭМ помех и т. д., а также использования специальных помехоподавляющих устройств.

Реализация задач, стоящих перед электроэнергетиками: введение автоматизированных комплексов для управления производством и транспортными средствами, создание гибких автоматизированных приводов и роботов для обеспечения непрерывных технологических операций, поднимет проблему ЭМБ разнородного оборудования на качественно новую ступень. Это потребует совершенствования как известных методов обеспечения ЭМБ, так и разработки принципиально новых, экономически целесообразных, обладающих необходимой надежностью и достаточной живучестью.

Многие годы единственным подходом к обеспечению ЭМБ было фиксирование напряженностей электромагнитных помех и соответствующее изменение характеристик эксплуатируемых электротехнических элементов. Однако в связи с увеличением насыщенности энергетического помещения разнообразными типами оборудования стало очевидным, что такой подход неэкономичен и связан со значительным ухудшением эффективности ЭЭС.

Другой подход к решению проблемы ЭМБ заключается в строгом нормировании и стандартизации параметров аппаратуры и систем в процессе проектирования и конструирования. Такие требования, с одной стороны, должны обеспечить совместимость разнородных ТС, а с другой – должны быть практически достижимыми.

Следует отметить, что характеристики внешней среды могут осуществлять:

– прямое воздействие на ЭМБ: ионизирующие излучения; ЭМ излучения; ЭМП от собственных мощных источников; ЭМП, возникающие при аварийных ситуациях (КЗ, отключение отдельных подсистем и т. д.);

– косвенное действие на ЭМБ: давление, динамические усилия, влажность, температура, концентрация газовых компонент в воздушной среде.

Проблема ЭМБ в ЭЭС, особенно в автономных, при значительной схожести с проблемой ЭМБ в радиотехнических комплексах имеет и существенное

отличие. Здесь исследованию подлежат ЭМП с более широким частотным диапазоном ( $f \in [0 \div 10^8]$ , Гц), включающим низкочастотные электромагнитные помехи; более широкий набор рецепторов: от электронной управляющей, регулирующей и контролирующей аппаратуры до мощных преобразователей – трансформаторов, выпрямителей, инверторов и т. д.; набор режимов работы от холостого хода (ХХ) до КЗ. В связи с отмеченным ЭМБ в автономных ЭЭС представляется более объемной и требует комплексного подхода к решению.

При решении задач ЭМБ каждое из устройств ЭЭС следует рассматривать как элемент некоторой подсистемы, в которой проявляются негативные связи (электрические и магнитные) этого элемента с другими. Такой подход позволяет рассматривать проблему ЭМБ в ЭЭС как общую проблему при исследовании источников и рецепторов ЭМП, выделяя в них соответствующие признаки, которым ранее не придавалось значения.

ЭМБ относится к области науки и техники, тесно связанной с электротехникой и электроникой.

Миниатюризация оборудования, а также увеличивающаяся её сложность, интеграция и взаимодействие элементов приводят к тому, что электронные установки и компоненты становятся более уязвимыми к внешним воздействиям ЭМ природы. Повышение энерговооруженности технологических процессов, более высокие токи, напряжения и мощности оборудования увеличивают уровень ЭМ помех, а интегрирование и взаимопроникновение силовых и информационных компонентов внутрь оборудования приближает источники помех к приборам и устройствам, которые могут быть чувствительны к ним. Поэтому возникает задача обеспечения безопасности, надежности и качества функционирования всех типов оборудования и систем там, где они используются. Если эта задача выполнена, то говорят, что обеспечена ЭМБ ТС с внешней средой, в которой они размещены. Таким образом, ЭМБ касается всех нас. Это относится как к электронным системам управления движением самолетов, поездов, морских судов, промышленных установок, так и к функционированию бытовой техники, различных устройств в магазинах, кинотеатрах, концертных залах, стадионах и т. п.

Обеспечение ЭМБ требует рассматривать два аспекта проблемы: влияние электротехнического и электронного оборудования на системы электропитания, сети электроснабжения и влияние электромагнитных помех различного происхождения на функционирование электронных компонентов систем управления, связи и обработки информации.

Проблема ЭМБ имеет не только теоретическое, но и экономическое значение. Например, качественное функционирование многочисленных промышленных предприятий и сетей электроснабжения целых областей (регионов) зависит от информационно-управляющих систем, поэтому безотказность электронных систем является также экономическим фактором первостепенной важности. Это объясняет, почему стандарты и требования, относящиеся к ЭМБ, признанные во всем мире или согласованные на региональном уровне, приветствуются изготавителями и пользователями электрического и электронного оборудования.

Стандарты ЭМБ являются предпосылкой к обеспечению того, что многочисленные виды электронного оборудования не окажут недопустимого влияния друг на друга или, что еще хуже, не вызовут катастрофических нарушений функционирования оборудования. Они устанавливают требования для оборудования как в отношении максимально допустимой эмиссии паразитных излучаемых и кондуктивных ЭМ помех, так и работоспособности оборудования в условиях влияния этих помех.

Стандарты – только один аспект проблем, связанных с обеспечением ЭМБ. Они устанавливают общие требования к качеству функционирования в условиях помех, которым должны соответствовать ТС, но обеспечение выполнения их требований остается за изготовителями. Однако требования стандартов могут выполняться только в том случае, если существуют необходимые технические знания, навыки и решения, касающиеся проблемы ЭМБ.

## Введение

В настоящее время в электроэнергетике и электротехнике большое внимание уделяется согласованию условий нормальной безаварийной и эффективной работы ТС, производящего, передающего, преобразующего и потребляющего ЭЭ при ее надлежащем качестве. В процессе работы ТС подвергаются многочисленным внешним и внутренним электромагнитным воздействиям, а также сами аналогичным образом действуют на окружающие объекты и среду. При этом часто нарушаются условия нормальной работы и функционирования как ТС, так и окружающей среды, т. е. нарушаются условия ЭМБ (ранее использовался термин «электромагнитная совместимость» (ЭМС)).

По мере расширения применения разнообразных электро- и радиоприборов, возрастания их мощности окружающие ЭП, МП и ЭМП становятся все более интенсивными и разнообразными по своим характеристикам.

Актуальными были и продолжают оставаться проблемы борьбы с радиопомехами, защиты изоляции ТС от грозовых и коммутационных перенапряжений, повышения качества ЭЭ, т. е. обеспечения ЭМБ системы электроснабжения и ЭО от кондуктивных и индуктивных помех, действующих на электрическую сеть.

В настоящее время все большее значение приобретают и другие аспекты обеспечения ЭМБ, такие как ослабление ЭМП, т. е. снижение ЭМ помех; затруднение проникновения помех в прибор через сеть питания, корпус, систему заземления, сигнальные вводы; рациональное построение схем и конструкций приборов и функциональных связей между ними; сохранение помехоустойчивости и т. д.

В последнее десятилетие в электроэнергетике непрерывно расширяется использование микропроцессорной, вычислительной техники, компьютеров и т. д., происходит их миниатюризация при понижении уровней рабочих напряжений, полезных сигналов. Все активнее используется электронная аппаратура в системах релейной защиты, режимной и противоаварийной автоматике ЭО высокого напряжения. При этом электронная аппаратура, как правило, весьма чувствительна к помехам, появляющимся во вторичных цепях подстанций, источниками которых являются коммутации выключателей и разъединителей высокого напряжения, удары молний, а также большие токи замыкания на землю. В связи с указанными обстоятельствами появилась необходимость решения сложной задачи электромагнитного существования электронных и электротехнических систем.

Таким образом, возникло новое актуальное научно-техническое направление – обеспечение ЭМБ ЭО и автоматизированных систем на электростанциях и подстанциях. Актуальность проблемы ЭМБ непрерывно возрастает в связи с развитием новых технологий, приведших к широкому распространению полупроводниковых, микроэлектронных и микропроцессорных систем автоматического управления во всех сферах человеческой деятельности, включая электроэнергетику.

При проектировании и эксплуатации необходимо обеспечение ЭМБ, которое достигается использованием комплекса специальных средств и мероприятий, в основном определяемых директивными материалами – государственными стандартами России, руководящими указаниями и документами, правилами технической эксплуатации ЭО, экологической и биологической безопасности, а также международными нормативными документами. Они ориентированы на объекты электротехнических комплексов, включая технические средства автоматического управления и измерения, применяемых на электростанциях и подстанциях электрических сетей, систем электроснабжения, и распространяются на любые промышленные, коммунальные, бытовые и лабораторные электроустановки, в том числе и на объекты обеспечения жизнедеятельности и беспарбийности электроснабжения.

В учебном пособии «Электромагнитная безопасность на электрифицированной железной дороге. Общие проблемы электромагнитной безопасности в техносфере» в пяти главах рассмотрены: электромагнитные параметры воздушной среды (гл. 1); факторы, влияющие на формирование электромагнитной среды в окружающем пространстве (гл. 2); классификация электромагнитной обстановки в техносфере (гл. 3); техническое регулирование в области электромагнитной совместимости (гл. 4); основы правового и нормативного обеспечения электромагнитной безопасности (гл. 5).

## Принятые сокращения

ВОЗ	—	Всемирная организация здравоохранения
ВН	—	высокое напряжение
ВЧ	—	высокие частоты
ГМП	—	геомагнитное поле
ДПР	—	линия электропередачи «два провода – рельс»
КЗ	—	короткое замыкание
КЛ	—	космические лучи
КТП	—	комплектная трансформаторная подстанция
ЛПЭ	—	линия продольного электроснабжения
ЛЭП	—	линия электропередачи
МДС	—	магнитодвижущая сила
МП	—	магнитное поле
МС	—	мобильная связь
МСП	—	магнитостатическое поле
МУРЗ	—	микропроцессорные устройства релейной защиты
НН	—	низкое напряжение
НЧ	—	низкие частоты
ПДУ	—	предельно допустимый уровень
ПМП	—	постоянное магнитное поле
ПеМП	—	переменное магнитное поле
ППЭ	—	плотность потока энергии
ПТО	—	передающий технический объект
РЗА	—	релейная защита и автоматика
РЛС	—	радиолокационная станция
РТС	—	радиотрансляционная станция
РЭС	—	радиоэлектронная система
СВН	—	сверхвысокое напряжение
СВЧ	—	сверхвысокие частоты
СС	—	сотовая связь
СТЭ	—	система тягового электроснабжения
СЧ	—	средние частоты

СЭ	—	статическое электричество
ТС	—	техническое средство
ТТ	—	тяговый трансформатор
УВН	—	ультравысокое напряжение
ФБ	—	функциональная безопасность
ЭДС	—	электродвижущая сила
ЭМБ	—	электромагнитная безопасность
ЭМВ	—	электромагнитные волны
ЭМИ	—	электромагнитное излучение
ЭМО	—	электромагнитная обстановка
ЭМП	—	электромагнитное поле
ЭМС	—	электромагнитная совместимость
ЭМЭ	—	электромагнитная экология
ЭМэ	—	электромагнитная энергия
ЭО	—	электрооборудование
ЭП	—	электрическое поле
ЭПС	—	электроподвижной состав
ЭСП	—	электростатическое поле
ЭЭ	—	энергетическая экспозиция

# Глава 1. Электромагнитные параметры биосферы

## 1.1. Естественные электромагнитные параметры воздушной среды

Распределение электромагнитных полей (ЭМП) в воздушной среде зависит не только от инфраструктуры окружающего пространства, но и в первую очередь от её электромагнитных параметров: электрической проводимости  $\gamma_B$ , магнитной  $\mu_B$  и диэлектрической  $\epsilon_B$  проницаемостей.

Рассмотрим влияние этих параметров на ЭМ процессы в зависимости от метеорологических условий и практической деятельности человека.

**Электрическая проводимость воздуха.** Известно [1.1], что воздух, как, впрочем, и другие газы, является лучшим изолятором электричества при обычных условиях давления и температуры. Однако работы Эльстера, Гейтеля и Вильсона показали, что и атмосфера обладает несомненной проводимостью, а опыты Эберта (Ebert) и Эмдена (Emden) выявили тот факт, что с высотой электропроводимость воздуха быстро возрастает, колеблясь в зависимости от метеорологических и других условий. Тогда перед физиками возникла проблема – установить природу этой проводимости.

Работами многих учёных (Дж. Томсона и его учеников в лаборатории Кавендиша (Cavendish) в Кембридже в период 1897–1903 гг.) установлено, что весьма слабая электропроводимость, какая наблюдается во всяком газе и в атмосфере в их нормальном состоянии, обусловлена их ионизацией. Став на такую точку зрения, нетрудно было объяснить самый факт рассеяния электричества в атмосфере, а равно и его зависимость от различных метеорологических и прочих условий.

Еще Эльстер и Гейтель выдвинули гипотезу об участии в ионизации ряда причин, и прежде всего причины космической – действия солнечных лучей. Опыты Ленарда (Lenard) над крайними ультрафиолетовыми лучами, испускаемыми раскаленными парами алюминия, цинка и других металлов, обнаружили сильнейшую поглощаемость этих лучей атмосферой и чрезвычайно сильную степень ионизации ее в результате этого поглощения.

Ионизация воздуха ультрафиолетовыми лучами происходит следующим образом: вследствие поглощения лучистой энергии молекулой воздуха из последней выходит отрицательный электрон и остаток превращается в положительный ион. Отрицательный электрон, соединяясь с нейтральной молекулой воздуха, образует отрицательный ион. Ввиду того, что солнечная фотосфера содержит в себе раскаленные пары указанных выше металлов, а кроме того, водород, испускающий при искровом разряде самые крайние ультрафиолетовые лучи, предположение Эльстера и Гейтеля об участии Солнца в ионизации воздуха делается чрезвычайно правдоподобным. Это предположение объясняет целый ряд важнейших явлений в атмосфере, связанных с наблюдениями за ее ионизацией. Например, большую степень ионизации летом, чем зимой, в солнечные дни, чем в пасмурные, и т. д.

Однако если мы примем во внимание необычайно сильную поглощаемость крайних ультрафиолетовых лучей атмосферой, то необходимо будет заключить, что в действительности непосредственная ионизация ее ультрафиолетовыми лучами Солнца имеет место только в самых верхних слоях. Те же верхние слои воздуха ионизируются рядом других воздействий космического характера, а именно бомбардировкой космической пылью, солнечными электронными радиации и т. д. В нижние слои атмосферы ионы могут проникать лишь вследствие диффузии или увлекаться постоянными восходящими и нисходящими потоками воздуха. Но для объяснения ионизации нижних слоев воздуха и этот вывод встречает затруднения в факте быстрого исчезновения ионизации по прекращении действия ее источника. Вследствие медленного движения нисходящих потоков воздух, ионизированный вверху, будет, по-видимому, достигать поверхности Земли лишь через такое время, когда вся его ионизация давно исчезла. Поэтому необходимо для объяснения ионизации нижних слоев атмосферы обратиться к рассмотрению другого ее источника – радиоактивности атмосферного воздуха, состоящей в известной связи с солнечным лучеиспусканием и, следовательно, зависящей от периода образования солнечных пятен.

Дальнейшие наблюдения, выполненные Эльстером и Гейтелем, выявили наличие в воздухе радиоактивных элементов, тория и актиния, а также зависимость их количеств от метеорологических и геофизических факторов. Ими же был констатирован факт, что воздух подвалов, пещер и подземелей ионизирован в гораздо большей степени, чем воздух над поверхностью Земли. Особенно сильно ионизированным оказался воздух, извлеченный из почвы каким-либо искусственным образом. Поэтому естественно было сделать предположение, не обусловливается ли радиоактивность атмосферного воздуха примесями к нему радиоактивных веществ и их эманаций, поступающих в него из почвы? А так как эта радиоактивность, в свою очередь, обусловливает ионизацию воздуха, то необходимо прийти к заключению, что одним из источников ионизации нижних слоев атмосферного воздуха и являются именно радиоактивные начала, находящиеся в почве. Впрочем, имеются основания полагать, что радиоактивность воздуха обусловлена рядом сложных и разнообразных процессов, происходящих в природе вообще, а следовательно, является одной из форм энергии.

Несмотря на всю сложность данного вопроса и трудность разграничения роли радиоактивности почвы и солнечного лучеиспускания в ионизации атмосферного воздуха, все же суточные и годовые вариации в степени ионизации воздуха могут быть отнесены за счет лучей Солнца. Большая ионизация воздуха летом сравнительно с зимой и в хорошую погоду сравнительно с пасмурной может быть объяснена вполне удовлетворительно, если мы примем во внимание более сильную инсоляцию почвы летом и в ясную погоду. Этими факторами обусловливается более интенсивное и свободное общение почвенного воздуха и атмосферного. Быть может, теми же причинами необходимо объяснить и суточные колебания ионизации воздуха, которые согласны с колебаниями некоторых метеорологических элементов.

Необходимо отметить, что число положительных и отрицательных ионов, заключающихся в атмосферном воздухе при обычных условиях, очень мало по

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)