

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Геолого-географический факультет

АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Учебно-методическое пособие

Томск
2014

УДК 551.501.8
ББК 26.231.6
A925

A925 Атмосферное электричество : учебно-методическое пособие / сост. В.П. Горбатенко. – Томск : Издательский Дом ТГУ, 2014. – 40 с.

В учебно-методическом пособии приведены основы теоретических знаний, практические задания и рекомендации для выполнения самостоятельной работы в рамках курса «Атмосферное электричество».

Учебно-методическое пособие соответствует программе курса «Атмосферное электричество», который является компонентом вариативной части профессионального цикла М2 учебного плана подготовки магистра по направлению подготовки 020600.68.05 – «Гидрометеорология», специализация «Метеорология».

Составитель: ***В.П. Горбатенко***, доктор географических наук, профессор кафедры метеорологии и климатологии

Рецензент: ***Ж.В. Рыбакова***, кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и климатологии

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
Краткое содержание разделов дисциплины «Атмосферное электричество»	5
Перечень тем для самостоятельной работы и ее виды	6
Примерная тематика семинаров	7
Практическая работа № 1. Ионизаторы атмосферы	7
Практическая работа № 2. Ионная проводимость атмосферы	12
Практическая работа № 3. Электрическое поле атмосферы	15
Практическая работа № 4. Электрические токи в атмосфере Земли	19
Практическая работа № 5. Понятие силы тока в канале молнии	25
Практическая работа № 6. Составление аннотации и тезисов научной работы	28
Практическая работа № 7. Составление конспекта научной статьи	29
Литература, рекомендованная для выполнения самостоятельной работы и подготовки к семинарам	32
Тесты для самоконтроля успешности освоения дисциплины	33

ПРЕДИСЛОВИЕ

Атмосферное электричество – это совокупность электрических явлений и процессов, происходящих в атмосфере Земли. К электрическим явлениям в атмосфере относятся: ионизация воздуха, электрическое поле атмосферы, электрические заряды облаков и осадков, электрические токи и разряды в атмосфере и т.д.

Программой «Атмосферное электричество» предусмотрены лекционный курс (8 ч), практические работы (16 ч) и семинары (10 ч). Данное пособие может быть использовано как для обеспечения самостоятельной работы студентов (72 ч), так и при выполнении практических работ и подготовки к семинарам.

Целью создания данного пособия является расширение учебно-методической базы для обеспечения учебного процесса магистратуры по специальности «Метеорология», а также необходимость сформировать понимание атмосферного электричества как важного фактора окружающей среды, тесно взаимосвязанного с другими составляющими природного комплекса планеты и воздействующего на жизнедеятельность человека.

Задачи учебно-методического пособия: получение прочных знаний о влиянии атмосферного электричества на производственную деятельность (выведение из строя систем электронного обеспечения, воздействие на авиацию, пожароопасность), формирование представления о совершенствовании методов контроля этого влияния; понимание роли глобальной электрической цепи в системе солнечно-земных связей и климатической системе Земли.

Учебно-методическое пособие содержит теоретический и практический материал, блок вопросов для самоконтроля, список рекомендованной литературы.

Краткое содержание разделов дисциплины «Атмосферное электричество»

Введение. Определение дисциплины, предмет и задачи. Атмосферные ионы и аэрозоли. Глобальная электрическая цепь и ее роль в системе солнечно-земных связей и климатической системе Земли. Влияние метеорологических факторов на электрические свойства атмосферы (температуры воздуха, давления, осадков). Механизмы формирования электрического поля Земли и его роль в динамике атмосферы и ионосферы Земли. Электричество хорошей погоды. Глобальная электрическая цепь. Унитарные вариации напряженности электрического поля Земли.

Влияние метеорологических факторов на электрические свойства атмосферы. Влияние метеорологических факторов на электрические свойства атмосферы (температуры воздуха, давления, осадков). Связь электрических характеристик атмосферы с загрязненностью воздуха аэрозолями. Экологические аспекты атмосферного электричества. Образование и электризация облаков. Автоматизированные системы контроля электрического состояния атмосферы. Ракетные исследования зарядов гидрометеоров. Влияние динамики заряженных аэрозолей на интенсивность осадков и радиационный баланс атмосферы. Механизмы влияния атмосферного электричества на характеристики тропосферы Земли.

Молнии в атмосфере Земли. Конвекция в атмосфере и образование облаков. Разделение зарядов в облаке. Механизмы развития молнии. Виды молний, полярность разрядов. Высотные разряды в атмосфере. Виды молний, полярность разрядов облако–земля. Высотные разряды в атмосфере. Искусственная инициация молний (триггерная молния). Влияние молниевых разрядов на химический состав атмосферы. Атмосферика и исследование грозовой деятельности. Необходимость учета электродинамических явлений в моделях климата в связи с действием грозовых разрядов как источника оксидов азота в атмосфере. Биологическое действие атмосферного электричества.

Воздействие атмосферного электричества на живые организмы на технические объекты. Воздействие ряда характеристик атмосферного электричества на технические объекты и на производственную деятельность (выведение из строя систем электронного обеспечения, воздействие на авиацию, пожароопасность). Принципы выбора молниезащиты технических объектов. Безопасность жизнедеятельности при грозе. Проблемы адаптации живых организмов (теории В.И. Вернадского, А.Л. Чижевского).

Перечень тем для самостоятельной работы и ее виды

Темы самостоятельной работы

1. Влияние конвекции на глобальную электрическую цепь.
2. Сезонные вариации параметров атмосферного электричества.
3. Влияние радиоактивности на электрическую структуру приземного слоя.
4. Методы регистрации молниевых разрядов.
5. Пространственная изменчивость молниевой активности в атмосфере Земли.
6. Временная изменчивость молниевой активности в атмосфере Земли.
7. Влияние атмосферного электричества на здоровье человека.
8. Безопасность жизнедеятельности при грозе.
9. Биологическое действие атмосферного электричества.
10. Влияние выбросов ТЭЦ на электрическое состояние атмосферы.
11. Шаровая молния.
12. Радиоизлучение молниевых разрядов.
13. Инструментальные методы наблюдения гроз.
14. Взаимосвязь электрического поля Земли и сейсмической активности.
15. Влияние космических лучей на глобальную электрическую цепь.

Кроме того, магистрант может сам сформулировать тему для самостоятельной работы и согласовать её с преподавателем.

Виды самостоятельной работы

Написание реферативной работы, представление тем реферативных работ в виде презентации.

Примерная тематика семинаров

- Влияние атмосферного электричества на характеристики тропосферы Земли.
- Глобальная электрическая цепь и ее роль в системе солнечно-земных связей и климатической системе Земли.
- Конвективные системы, как источник грозовой активности.
- Электричество средней и верхней атмосферы.
- Атмосферное электричество, как новый источник альтернативной энергии.
- Влияние атмосферного электричества на здоровье и жизнедеятельность человека.
- Влияние динамики заряженных аэрозолей на интенсивность осадков и радиационный баланс атмосферы.
- Экологические аспекты атмосферного электричества.
- Инструментальные исследования грозовой деятельности.
- Молниезащита зданий, сооружений, технических объектов. Безопасность жизнедеятельности при грозе.
- Влияние молнии на химический состав атмосферы и осадков.

Практическая работа № 1

Ионизаторы атмосферы

Основными ионизаторами приземного слоя воздуха являются излучение радиоактивных веществ, содержащихся в атмосфере и земной коре, и космические лучи. Важную роль играет также ионизация при разрядах молний и возникновении «токов с

острый», хотя эти процессы кратковременны и происходят в ограниченных участках атмосферы. В верхней тропосфере и стратосфере космические лучи становятся практически единственным источником ионизации, а в ионосфере ведущая роль в ионизации переходит к ультрафиолетовому, рентгеновскому и корпускулярному излучениям Солнца.

Энергия, необходимая для ионизации (работа ионизации) U , измеряется в электронвольтах (эВ) и определяется по формуле

$$U = eV, \quad (1.1)$$

где V – потенциал ионизации, e – заряд электрона.

При ионизации за счет фотоэлектрического эффекта (фотоионизация)

$$hv \geq U, \text{ т. е. } hv \geq eV, \quad (1.2)$$

где h – постоянная Планка.

При ионизации за счет кинетической энергии быстро летящей частицы (ударная ионизация)

$$\frac{mv^2}{2} = eV, \quad (1.3)$$

где m и v – масса и скорость частицы, совершающей работу ионизации.

Ионизирующая способность частицы или кванта энергии (фотона) – число пар ионов, создаваемых на 1 см пробега.

Ионизационные потери – средняя энергия, расходуемая ионизатором на образование одной пары ионов.

Постоянная радиоактивного распада λ^* связана с периодом полураспада $T_{1/2}$ соотношением

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda^*}. \quad (1.4)$$

Длина пробега α -частицы в воздухе R_α при нормальных метеорологических условиях рассчитывается по формуле

$$R_{\alpha} = 0,32 \cdot T^{\frac{3}{2}}, \quad (1.5)$$

где T – кинетическая энергия в МэВ.

Частицы космических лучей и β -частицы радиоактивного распада, обладая очень высокими энергиями, движутся со скоростями, приближающимися к скорости света. Поэтому правильно оценить их характеристики (массу, время жизни, путь в атмосфере) можно только с учетом теории относительности, основные формулы которой приводятся ниже.

Зависимость массы движущегося тела m от кинетической энергии T , которой оно обладает, и от массы покоя этого тела m_0 выражается в следующем виде:

$$m = m_0 + \frac{T}{c_0^2}, \quad (1.6)$$

где T – кинетическая энергия в Дж ($1\text{МэВ} = 1,6 \cdot 10^{-13}\text{Дж}$); c_0 – скорость электромагнитных волн в вакууме.

Зависимость массы движущегося тела m от скорости движения v описывается формулой

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \quad (1.7)$$

Решить задачи:

1. Вычислить скорость движения и ионизирующую способность α -частицы, вылетающей при распаде атомов радия, а также общее число пар ионов, создаваемых ею на всем пути пробега, если при нормальных условиях у поверхности Земли длина ее пробега в воздухе равна 3,26 см, кинетическая энергия 5,0 МэВ, ионизационные потери 36,6 эВ, масса α -частицы $6,653 \cdot 10^{-24}$ г.

Рекомендуемая схема решения задачи:

Так как для общего числа пар ионов, ионизационных потерь и ионизирующей способности отсутствуют общепринятые символы, то обозначим их соответственно как N , P , I . Исходные данные для решения задачи запишем в виде:

Дано:

$$R_\alpha = 3,26 \text{ см};$$

$$T = 5,0 \text{ МэВ};$$

$$P = 36,6 \text{ эВ};$$

$$m_0 = 6,653 \cdot 10^{-24} \text{ г}.$$

Найти: N , I , v_α .

Поскольку общее число пар ионов, образованных вследствие ударной ионизации, равно отношению кинетической энергии к ионизационным потерям, то рассчитываем N по формуле

$$N = \frac{T}{P}.$$

Так как, ионизирующая способность (I) – число пар ионов, создаваемых на 1 см пробега, то рассчитаем их по формуле

$$I = \frac{N}{R_\alpha}.$$

Скорость α -частицы выражаем из формулы для расчёта кинетической энергии

$$T = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v_\alpha = \sqrt{\frac{2 \cdot T}{m_0}}.$$

2. Решить задачу № 1 для α -частиц, образующихся при радиоактивном распаде ядер атомов тория С. Эти α -частицы характеризуются максимальной кинетической энергией, достигающей 8,95 МэВ. Путь пробега их в воздухе при нормальных метеорологических условиях составляет 8,7 см, а ионизационные потери – 34,6 эВ.

Дано:

$$R_\alpha = 8,7 \text{ см};$$

$$T = 8,95 \text{ МэВ};$$

$$P = 34,6 \text{ эВ};$$

$$m_0 = 6,653 \cdot 10^{-24} \text{ г}.$$

Найти: N , I , v_α .

3. Частицы, выбрасываемые при β -распаде ядер атомов тория, имеют следующие характеристики: кинетическая энергия 10 МэВ, длина пробега в воздухе около 30 м, ионизационные потери 36,0 эВ; масса покоя электрона $9,11 \cdot 10^{-28}$ г. Вычислить: а) отношение скорости таких частиц к скорости света; б) относительное увеличение их массы $((m - m_0) / m_0)$ при движении с такой скоростью; в) общее число пар ионов, создаваемых β -частицей на всем пути пробега; г) ионизирующую способность. Сравните полученные ответы с ответами к задаче 1. Определить, какая из частиц радиоактивного распада (α или β) обладает большей ионизирующей способностью; большей проникающей способностью?

Дано:

$$R_{\beta} = 30 \text{ м};$$

$$T = 10 \text{ МэВ};$$

$$P = 36,0 \text{ эВ};$$

$$m_0 = 9,11 \cdot 10^{-28} \text{ г}.$$

Найти: N ; I ; $(m - m_0) / m_0$; v_{β} / c_0 .

4. Решить задачу 3 для электронов, образующихся при β -распаде, если они обладают минимальной кинетической энергией 15 КэВ, длина их пробега в воздухе около 2 м.

Дано:

$$R_{\beta} = 2 \text{ м};$$

$$T = 15 \text{ КэВ} = 0,015 \text{ МэВ};$$

$$P = 36,0 \text{ эВ};$$

$$m_0 = 9,11 \cdot 10^{-28} \text{ г}.$$

Найти: N ; I ; $(m - m_0) / m_0$; v_{β} / c_0 .

5. Максимальная кинетическая энергия α -частиц, образующихся при радиоактивном распаде, достигает 10 МэВ. Вычислить путь ее пробега в воздухе при нормальных условиях, отношение массы движения к массе покоя, скорость частицы в долях от скорости света и в м/с.

Дано:

$$T = 10 \text{ МэВ};$$

$$m_0 = 6,653 \cdot 10^{-24} \text{ г};$$

Найти: v_α , v_α/c_0 , m/m_0 , R_α .

6. Вычислить периоды полураспада трех радиоактивных эманаций, играющих важную роль в ионизации воздуха в нижней тропосфере: радона, торона и актинона, если их постоянные радиоактивного распада равны соответственно $2,097 \cdot 10^{-6}$; $1,270 \cdot 10^{-2}$ и $0,177 \text{ с}^{-1}$. Какая из этих эманаций играет главную роль в ионизации воздуха и почему?

Дано:

$$\lambda^*_{\text{(радон)}} = 2,097 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1};$$

$$\lambda^*_{\text{(торон)}} = 2,097 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1};$$

$$\lambda^*_{\text{(актинон)}} = 2,097 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}.$$

Найти: $T_{1/2}$ (радон); $T_{1/2}$ (торон); $T_{1/2}$ (актинон).

Практическая работа № 2

Ионная проводимость атмосферы

В процессе ионизации атом теряет электрон и приобретает положительный заряд. Свободный электрон быстро соединяется с другим атомом, образуя отрицательно заряженный ион. Молекулы в атмосфере стремятся группироваться вокруг этих ионов. Несколько молекул, объединившихся с ионом, образуют комплекс, называемый обычно «легким ионом».

В атмосфере всегда также присутствуют комплексы молекул, известные в метеорологии под названием ядер конденсации, вокруг которых при насыщении воздуха влагой начинается процесс конденсации. Эти ядра представляют собой частички морской соли, вулканической пыли, пыльцы растений, а также загрязняющих веществ, поступающих в воздух от промышленных и других источников. «Легкие ионы» часто присоединяются к таким ядрам, образуя уже «тяжелые ионы». Под воздействием электрического поля атмосферы легкие и тяжелые ионы перемещаются из одних областей атмосферы в другие, перенося электрические заряды.

Уравнение баланса легких ионов в идеально чистом воздухе при равной концентрации положительных и отрицательных легких ионов ($n_+ = n_- = n$) записывается так:

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = q - \alpha n^2, \quad (2.1)$$

где n_+ и n_- – концентрация положительных и отрицательных легких ионов; q – интенсивность ионизации (число пар ионов, создаваемых за 1 с в 1 м³, с⁻¹·м⁻³); α – коэффициент рекомбинации (воссоединения) легких ионов противоположного знака.

При нормальных метеорологических условиях в чистом воздухе

$$\alpha = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{с} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3/\text{с}.$$

При установлении ионизационного равновесия концентрация легких ионов не изменяется, поэтому

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = 0; \quad q = \alpha n^2, \quad (2.2)$$

откуда

$$n = \sqrt{\frac{q}{\alpha}}. \quad (2.3)$$

Время жизни легкого иона определяется по формуле

$$\tau = \frac{n}{q} = \frac{1}{\alpha n}, \quad (2.4)$$

после прекращения действия ионизаторов ($q = 0$) концентрация легких ионов уменьшается со временем по закону

$$n_1 = \frac{n_0}{1 + \alpha t n_0}, \quad (2.5)$$

где n_0 – начальная концентрация легких ионов. Уравнение баланса легких ионов в реальной запыленной атмосфере имеет вид

$$\frac{dn}{dt} = q - \beta n, \quad (2.6)$$

где β – коэффициент рассеяния (исчезновения) легких ионов.

β зависит от концентрации легких и тяжелых ионов и нейтральных ядер. Среднее значение β колеблется в пределах $(1 - 30) \cdot 10^{-9}$ м³/с.

При установлении ионизационного равновесия выполняются соотношения:

$$\begin{aligned} \frac{dn}{dt} &= 0; \\ q &= \beta n \rightarrow n = \frac{q}{\beta}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Время жизни легкого иона в запыленной атмосфере

$$\tau = \frac{n}{q} = \frac{1}{\beta}. \quad (2.8)$$

Концентрация легких ионов при $q=0$ убывает по экспоненциальному закону, а именно:

$$n_t = n_0 e^{-\beta t}. \quad (2.9)$$

Скорость установившегося движения легких ионов u (м/с) в электрическом поле напряженностью E (В/м) описывает

$$u = wE, \quad (2.10)$$

где w – подвижность ионов.

Ионная проводимость воздуха λ , обусловленная совокупностью движений легких (с концентрациями n_+ и n_-) и тяжелых ионов (с концентрациями N_+ и N_-), определяется по формуле

$$\lambda = en_+w_+ + en_-w_- + eN_+W_+ + eN_-W_- = \lambda_+ + \lambda_-, \quad (2.11)$$

где e – заряд легкого или тяжелого иона, равный $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; W_+ и W_- – подвижность ионов; λ_+ и λ_- – так называемые полярные проводимости.

Решить задачи:

1. Через какой промежуток времени число легких ионов в изолированном объеме уменьшится в 2 раза только за счет рекомбинации их друг с другом, если в начальный момент концентрация ионов каждого знака составляла $3 \cdot 10^8 \text{ м}^{-3}$?

Дано:

$$n_0 = 3 \cdot 10^8 \text{ м}^{-3};$$

$$n_t = 1,5 \cdot 10^8 \text{ м}^{-3}.$$

Найти: t – ?

2. Над океаном в 1 м^3 воздуха содержится $6 \cdot 10^8$ положительных и $5 \cdot 10^8$ отрицательных легких ионов. Их средние подвижности равны соответственно $1,3 \cdot 10^{-4}$ и $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. Определить полярные и общую проводимости воздуха.

Дано:

$$n_+ = 6 \cdot 10^8 \text{ м}^{-3};$$

$$n_- = 5 \cdot 10^8 \text{ м}^{-3};$$

$$W_+ = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с});$$

$$W_- = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с}).$$

Найти:

$$\lambda_+ - ? \lambda_- - ? \lambda - ?$$

Практическая работа № 3

Электрическое поле атмосферы

Напомним основные физические характеристики, широко используемые для описания электрического поля атмосферы:

Электрическое поле характеризуется напряженностью, измеряемой в Вольтах на метр или, что то же самое, в Кулонах на квадратный метр. Напряженность электрического поля (E) численно равна силе, с которой заряд(-ы), создающий(-е) поле, действует(-ют) на единичный заряд. Данная величина является векторной, имеет не только величину, но и направление. Заряды разных знаков, при прочих равных условиях, генерируют противоположно направленные поля. Причем поля, создаваемые разными зарядами (любыми), накладываются друг на друга (по принципу векторной суммы).

Потенциал поля характеризует энергию, которой обладает единичный заряд, помещённый в данную точку поля. Единицей измерения потенциала является единица измерения работы, деленная на единицу измерения заряда.

Градиент потенциала электрического поля – вектор, направленный по нормали к изопотенциальной поверхности атмосферного электрического поля в сторону возрастания потенциала поля и численно равный производной от потенциала в этом направлении.

Градиент потенциала, взятый с обратным знаком (в сторону убывания потенциала), называется напряженностью электрического поля:

$$E = -\Delta V / \Delta z, \quad (3.1)$$

где ΔV – изменение потенциала по направлению к нормали к изопотенциальной поверхности на расстоянии Δz . В условиях земного поля на равнине это направление практически совпадает с вертикальным направлением (рис. 1).

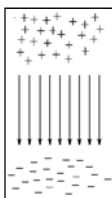


Рис. 1. Направление вектора напряженности (градиента потенциала) электрического поля

Непосредственно у земной поверхности напряженность электрического поля определяется поверхностным зарядом Земли, т.е.

$$E_0 = \sigma / e_0, \quad (3.2)$$

где σ – поверхностная плотность заряда Земли в данной точке в Кл/м²; e_0 – электрическая постоянная, равная $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м. Общий заряд Земли (Кл):

$$Q = 4\pi R^2 \sigma, \quad (3.3)$$

потенциал поверхности Земли ($R_{\text{земли}} = 6\,371 \text{ км}$):

$$V_0 = Q/R = 4\pi R \sigma. \quad (3.4)$$

С высотой напряженность поля быстро уменьшается, что связано с наличием объемных зарядов в атмосфере. Связь эта выражается уравнением

$$\Delta E/\Delta z = -\rho/e_0, \quad (3.5)$$

где ρ – плотность объемного заряда атмосферы на высоте z .

Решить задачи:

1. Металлический шарик диаметром 10 см заряжен положительно, его заряд $q = 1,7 \cdot 10^{-9}$ Кл. Вычислить поверхностную плотность заряда шарика и напряженность электрического поля у его поверхности.

Пример решения задачи:

Из формулы (3.3)

$$\sigma = Q/4\pi R^2 = 1,7 \cdot 10^{-9} / 12,57 \cdot 25 \cdot 10^{-4} = 5,4 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/м}^2.$$

Согласно формуле (3.2)

$$E_0 = 5,4 \cdot 10^4 / 8,85 = 6,1 \text{ кВ/м.}$$

2. Напряженность электрического поля 130 В/м у поверхности Земли и 40 В/м на высоте 100 м. Вычислить среднюю плотность объемного заряда в этом слое атмосферы.

Пример решения задачи

Из формулы (3.5)

$$\rho = 90 \cdot e_0 / 100 = 0,09 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} = 7,9 \cdot 10^{-13} \text{ Кл/м}^3.$$

3. Среднее значение градиента потенциала у земной поверхности 130 В/м. Вычислить среднюю поверхностную плотность заряда Земли.

4. По условию предыдущей задачи вычислить общий заряд Земли.

5. Среднее значение градиента потенциала в Ленинграде 171 В/м. Вычислить поверхностную плотность заряда Земли.

6. В суточном ходе градиента потенциала (по среднегодовым ежечасным значениям) в Ташкенте отмечаются два максимума – 139 В/м в 10 ч и 208 В/м в 20 ч – и два минимума – 72 В/м в 4–5 ч и 90 В/м в 15 ч. Вычислить соответствующие значения плотности поверхностного заряда Земли.

7. Амплитуда суточного хода напряженности электрического поля в Тбилиси в среднем равна 52 В/м, а среднее значение равно 126 В/м. В каких пределах изменяется поверхностная плотность заряда Земли?

8. По данным наблюдений в свободной атмосфере получено, что средние значения градиента потенциала быстро убывают с высотой, сохраняя, примерно, следующую последовательность:

Z км	0	0,5	1,5	3	6	9
E В/м	130	50	30	20	10	5

Рассчитать объемную плотность заряда в слоях 0—0,5; 0,5–15; 3–6; 6–9 км.

9. При снегопадах с сильным ветром резко меняется напряженность электрического поля атмосферы. Так, например, на леднике Федченко при изменении ветра от 8 до 20 м/с при снегопаде наблюдалось изменение градиента потенциала от 150 до 6000 В/м. Как при этом менялась поверхностная плотность заряда Земли?

10. На высоте 500 м с помощью привязного аэростата измерялась напряженность электрического поля. Один коллектор (в данном случае устройство, воспринимающее электрический потенциал), подвешенный ниже поверхности аэростата на 10 м, присоединялся к нитям электрометра, а другой коллектор, подвешенный на 3 м ниже, – к корпусу электрометра. Показания электрометра 84,8 В. Чему равна напряженность поля на данной высоте?

Практическая работа № 4

Электрические токи в атмосфере Земли

Электрические токи в атмосфере возникают вследствие переноса в ней электрических зарядов под действием как электрических, так и механических сил. Можно выделить пять основных типов электрических токов в нижних слоях атмосферы: 1) токи проводимости, 2) конвективные токи, 3) токи с острий, 4) токи осадков и 5) токи молний.

Токи проводимости. Под воздействием электрического поля атмосферы легкие и тяжелые ионы перемещаются из одних областей атмосферы в другие, перенося электрические заряды. Хотя обычно атмосфера не считается электропроводной средой, она все же обладает небольшой проводимостью. Поэтому оставленное на воздухе заряженное тело медленно утрачивает свой заряд. Проводимость атмосферы возрастает с высотой из-за увеличения интенсивности космического излучения, уменьшения потерь ионов в условиях более низкого давления (и, следовательно, при большем среднем свободном пробеге), а также из-за меньшего количества тяжелых ядер. Максимальной величины проводимость атмосферы достигает на высоте около 50 км, так называемом «уровне компенсации». Известно, что между поверхностью Земли и «уровнем компенсации» постоянно существует разность потенциалов в несколько сотен киловольт, т.е. постоянное электрическое поле. Благодаря наличию градиента потенциала и проводимости атмосферы между «уровнем компенсации» и поверхностью Земли начинают двигаться заряженные частицы: положительно заряженные ионы – по направлению к земной поверхности, а отрицательно заряженные – вверх от нее. Сила этого тока составляет около 1500 – 1800 А. Хотя эта величина кажется большой, необходимо помнить, что она распределяется по всей поверхности Земли. Сила тока в столбе воздуха с площадью основания 1 м² составляет лишь $4 \cdot 10^{-12}$ А. С другой стороны, сила тока при разряде молнии может достигать и нескольких сотен ампер, хотя, конечно, такой разряд имеет малую продолжительность – от до-

лей секунды до целой секунды или немного больше при повторных разрядах

Плотности токов, текущих в атмосфере, вычисляются по следующим формулам:

$$j_{\lambda} = \lambda E. \quad (4.1)$$

Конвективные токи. Конвективные токи возникают вследствие переноса зарядов воздушными токами, например конвекцией. Плотность этого тока примерно в 100 раз меньше плотности тока проводимости. К конвективным токам относятся токи диффузии, возникающие в зонах с развитой турбулентностью при наличии градиента плотности объемного заряда. При определенных условиях эти токи у поверхности земли могут составлять заметную часть токов проводимости. Плотность тока конвекции:

$$j_{\rho} = \rho v_{\rho}, \quad (4.2)$$

где v_{ρ} – скорость вертикального переноса; вертикальная составляющая плотности тока конвекции, обусловленного турбулентным переносом некоторого объемного заряда ρ :

$$j_{\rho r} = -k_z \frac{d\rho}{dz}, \quad (4.3)$$

где k_z – вертикальный коэффициент турбулентности; плотность горизонтального тока адвекции:

$$j_{\text{адв}} = \rho v_{\text{гор}}, \quad (4.4)$$

где $v_{\text{гор}}$ – скорость ветра; плотность тока смещения:

$$j_{\text{смещ}} = \epsilon_0 \frac{dE}{dt}, \quad (4.5)$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Токи с острий. Когда у поверхности Земли напряженность электрического поля превышает 500–1000 В/м, начинается элек-

трический разряд с острых, вытянутых предметов (трава, деревья, линии электропередач, мачты, трубы и т.д.), сопровождаемый характерным шумом. При дальнейшем усилении поля разряд становится видимым, иногда довольно ярким, с переходом в коронную форму. Огни электрической короны в атмосфере часто называют огнями святого Эльма, они особенно сильны в горах и на море. На очень высоких сооружениях (телевизионные мачты и т. п.) ток короны может превышать 10 мА.

Токи осадков. Выпадающие из облаков осадки в большинстве случаев несут электрические заряды как положительные, так и отрицательные. При этом, как показали наблюдения, число положительно заряженных капель и снежинок больше, чем отрицательно заряженных. Средний положительный заряд одной капли ($1 \cdot 10^{-12}$ Кл) меньше среднего отрицательного заряда ($1,3 \cdot 10^{-12}$ Кл). Суммарный положительный заряд осадков, приносимый на землю, больше отрицательного.

Удельный заряд осадков, т. е. заряд, приходящийся на 1 г осадков (или 1 см^3 дождя или растаявшего снега), в среднем составляет $0,17 \cdot 10^{-9}$ – $0,33 \cdot 10^{-9}$ Кл/г.

Движение электрических зарядов создает в атмосфере электрический ток, плотность которого в среднем для обложных дождей составляет $5 \cdot 10^{-16}$ – $5 \cdot 10^{-15}$ А/см² и для ливневых примерно 10^{-12} А/см².

Ливневые осадки несут оба знака заряда, причем чаще преобладает отрицательный. Обложные осадки несут главным образом положительный заряд. Средняя сила тока отрицательных осадков больше, чем положительных, но повторяемость выпадения положительных осадков значительно больше повторяемости отрицательных, поэтому суммарный ток осадков оказывается положительным, как и ток проводимости.

Токи молний. Как уже указывалось, на земном шаре каждую секунду возникает около 100 молний, примерно 3/4 их приносят на землю отрицательное электричество, 1/4 молний – положительное.

По некоторым оценкам, плотность тока молний для всего земного шара составляет $0,7$ – 10^{-16} А/см².

Напряженность электрического поля, создаваемого молниевым разрядом, описывается выражением

$$E_M = \frac{hQ}{2\pi\epsilon_0 r^3} + \frac{h}{2\pi\epsilon_0 cr^2} \frac{dQ}{dt} + \frac{h}{2\pi\epsilon_0 c^2 r} \frac{d^2Q}{dt^2}, \quad (4.6)$$

где Q – заряд, нейтрализуемый в канале молнии длиной h ; c – скорость света.

Первое слагаемое – электростатическая составляющая поля, второе – радиационная его составляющая, третье – поле электромагнитного излучения.

При этом $dQ/dt = i$ – ток в канале молнии.

Приведем некоторые вспомогательные формулы электростатики, необходимые для решения ряда задач:

- емкость шара радиусом R :

$$e = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R; \quad (4.7)$$

- емкость сферического конденсатора:

$$c = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 Rr}{R - r}, \quad (4.8)$$

где R и r – радиусы внешнего и внутреннего шаров.

Баланс электрических токов в атмосфере. Таким образом, вследствие токов проводимости и токов осадков отрицательный заряд земли должен непрерывно уменьшаться, а электрическое поле атмосферы исчезать. С другой стороны, давно известно, что отрицательный заряд земли практически не меняется и равен $5,7 \cdot 10^5$ Кл.

Вопрос сохранения заряда земли, или происхождения электрического поля атмосферы, давно уже интересовал ученых всех стран. В свое время было предложено много гипотез для объяснения процессов создания и поддержания электрического поля атмосферы. В настоящее время наиболее вероятной считается следующая точка зрения. В грозовых облаках происходит разделение

электрического заряда по высоте. Высокие, преимущественно отрицательные, значения градиента потенциала обуславливают истечение положительного заряда с острий (заостренные части рельефа, гребни волн, деревья, мачты и т.п.) в грозовых областях. Положительный заряд, переходя в атмосферу, нейтрализует отрицательный заряд облака. Положительные заряды облака рассеиваются по земному шару через верхние (более проводящие) слои атмосферы и возвращаются на земную поверхность в виде электрического тока проводимости. Создается замкнутая система электрических полей и электрических токов с интенсивностью, меняющейся в соответствии с изменением интенсивности гроз на земном шаре.

Грозовые облака действуют как электрические генераторы, поддерживая высокие слои атмосферы под большим электрическим потенциалом V относительно земной поверхности. Именно благодаря существованию этого потенциала, возможно протекание электрического тока между земной поверхностью и верхними слоями атмосферы. Существование разности потенциалов V обуславливает появление электрического поля в толще атмосферы, в том числе у поверхности земли. Поскольку электропроводность атмосферы меняется с высотой, в атмосфере появляется объемный заряд. Величина суммарного положительного заряда атмосферы равна величине суммарного отрицательного заряда земной поверхности. Существует баланс между электрическим током I_1 , генерируемым в грозовых облаках, и током I_2 , текущим в остальных негрозовых областях. Общая схема описываемых процессов названа схемой сферичного конденсатора. Характерным для обкладок электрического конденсатора является наличие на них электрических зарядов, на которых начинаются и кончаются силовые линии электрического поля. Внутренней обкладкой сферического конденсатора является земная поверхность, внешней обкладкой, по существу, является вся толща атмосферы, поскольку она несет объемные заряды.

На самом деле схема электрического поля атмосферы значительно сложнее, так как в создании поля участвуют и местные генераторы объемных зарядов.

Решить задачи:

1. Максимальная скорость стокового ветра на ст. Мирный (Антарктида) в июле достигала 5 м/с. Вычислить плотность адвективного тока при метели, когда за счет трения снежинок о покрытую снегом и льдом поверхность возникал объемный заряд $5 \cdot 10^{-8}$ Кл/м³.

Схема решения задачи:

Для вычисления плотности адвективного тока при метели использовалась формула: $J_{\text{адв}} = \rho \cdot v_{\text{гор}}$. Объемный заряд $\rho = 5 \cdot 10^{-8}$ Кл/м³, скорость тока $v_{\text{гор}} = 5$ м/с. Отсюда получим плотность адвективного тока, равную $J_{\text{адв}} = 25 \cdot 10^{-8}$.

2. Вычислить скорость движения легких ионов при средней напряженности у поверхности Земли 130 В/м в сухом и влажном воздухе.

3. Средние значения градиента потенциала электрического поля атмосферы и проводимости воздуха у земной поверхности в Ленинграде летом равны 110 В/м и $2.50 \cdot 10^{-11}$ Ом⁻¹м⁻¹. Вычислить плотность тока проводимости.

4. Известно, что суммарный ток проводимости на земную поверхность равен 1600 А. Найти сопротивление между электросферой и Землей, если разность потенциалов составляет 300 кВ.

5. Область атмосферы на высотах более 20 км обладает достаточно высокой проводимостью и является по сути эквипотенциальной поверхностью (электросферой). Определить емкость сферического конденсатора, образованного земной поверхностью и электросферой, если ее высота составляет 20 и 40 км.

6. По условиям предыдущей задачи найти заряд сферического конденсатора «Электросфера – Земля», если разность потенциалов на его обкладках составляет 250 кВ. Как зависит заряд от высоты электросферы?

7. Средние значения напряженности электрического поля в Якутске составляют 86 В/м, а в Южно-Сахалинске – 143 В/м. Вычислить средние значения тока проводимости, если концентрация положительных и отрицательных ионов одинакова и равна $7 \cdot 10^{-4}$ и $1,6 \cdot 10^{-4}$ м²/(В·с).

8. Вычислить, какое количество электричества принесено на 1 км² земной поверхности, если выпал дождь с удельным зарядом $2 \cdot 10^{-10}$ Кл/г. Осадков выпало 4 мм.

9. Средний заряд капель ливневого дождя $2,7 \cdot 10^{-12}$ Кл. Сколько электричества получает 1 м^2 поверхности земли, если выпало 2,8 мм ливневого дождя? Можно принять, что в 1 см^3 дождя содержится 1000 капель. Какой заряд получает осадкомер?

10. За день выпало 7,8 мм осадков. Средний заряд капли $2,0 \cdot 10^{-12}$ Кл. Какое количество электричества поступило на 1 м^2 земной поверхности? Считать, что в 1 см^3 содержится 1300 капель.

11. В ливневых осадках средние значения заряда капель составляют: положительных $12,9 \cdot 10^{-12}$ Кл, отрицательных $15,1 \cdot 10^{-12}$ Кл. Каков удельный заряд этих осадков, если принять, что в 1 см^3 содержится 1000 капель? Какое количество электричества приносит такой дождь на землю при интенсивности 2,5 мм/мин?

12. Удельный заряд грозových дождей, измеренный у земной поверхности, в Потсдаме составляет $+5,0 \cdot 10^{-4}$ и $-10,5 \cdot 10^{-4}$ Кл/м³; в Новой Зеландии: $+2,5 \cdot 10^{-4}$ и $-0,92 \cdot 10^{-4}$ Кл/м³; в Индии (г. Пуна): $+4,0 \cdot 10^{-4}$ и $-2,8 \cdot 10^{-4}$ Кл/м³. Какое количество электричества приносят такие дожди на 1 м^2 земной поверхности при средней интенсивности 3 мм/мин?

13. Какое количество электричества приносится молнией на земную поверхность, если ее продолжительность 0,8 с, а ток в ее канале равен 20 кА?

14. Какое количество электричества приносится молниями на земную поверхность за год, если каждую секунду на земном шаре вспыхивает 100 молний и каждая из них приносит количество электричества, равное 20 Кл?

Практическая работа № 5

Понятие силы тока в канале молнии

Причиной молниевых разрядов является возникновение сильно-го электрического поля, которое, по достижении некоторого критического значения, вызывает лавинообразный процесс ионизации молекул воздуха и образование проводящего канала. Через этот проводящий канал протекает электрический ток, вызывающий нагрев и, как следствие, свечение (молния) и взрывообразные звуковые эффекты (гром).

Сила тока: скалярная характеристика электрического тока; равна отношению заряда q , переносимого через поперечное сечение проводника за интервал времени t ; к этому интервалу времени:

$$i=q/t. \quad (5.1)$$

Единица силы тока. Силой тока называют скалярную физическую величину, определяемую величиной заряда, переносимого через поперечное сечение проводника в единицу времени. Для измерения силы тока используют *амперметры*.

$$1 \text{ Ампер (A)} = 1 \text{ Кулон / секунду}. \quad (5.2)$$

Плотность тока – величина заряда, проходящего в единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярной к линиям тока. Эта величина обозначается j и рассчитывается следующим образом:

$$j = nev. \quad (5.3)$$

Здесь n – концентрация заряженных частиц, e – заряд каждой из частиц, v – их скорость.

Плотность тока насыщения между плоскими электродами, отстоящими на расстоянии d , равна

$$j = ead, \quad (5.4)$$

где a – число пар ионов, образуемых ионизатором в единице объема за 1 с.

Плотность тока – векторная величина. Направление вектора плотности совпадает с направлением скорости направленного движения положительных зарядов в стационарном электрическом поле, т.е. так как I (сила тока) = q/t , то j (плотность тока) = q/tS .

Плотность тока можно выразить через скорость направленного движения зарядов. Предположим, что участок цепи представляет собой однородный цилиндрический проводник из металла площадью поперечного сечения S и длиной l . В объеме проводника ($V = S * l$) содержится n частиц, заряд каждой из них равен заряду электрона. При создании стационарного поля в проводнике заря-

женные частицы движутся направленно со средней скоростью $\langle n \rangle$. Пусть за промежуток времени t все n носители тока пройдут через поперечное сечение у торца проводника. Тогда суммарный заряд, перенесенный через это сечение $q = ne$:

$$I = e n_0 \langle V \rangle S. \quad (5.5)$$

Сила тока зависит от заряда, переносимого каждой частицей, концентрации частиц, скорости их направленного движения и площади поперечного сечения проводника.

Перечень электрических единиц системы СИ.

Ампер, единица силы электрического тока, – одна из шести основных единиц системы СИ. Ампер – сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины с ничтожно малой площадью кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызывал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Вольт, единица разности потенциалов и электродвижущей силы. Вольт – электрическое напряжение на участке электрической цепи с постоянным током силой I А при затрачиваемой мощности 1 Вт.

Кулон, единица количества электричества (электрического заряда). Кулон – количество электричества, проходящее через поперечное сечение проводника при постоянном токе силой 1 А за время 1 с.

Напряжённость электрического поля – В/м. За единицу напряженности электрического поля в СИ принимается напряженность такого поля, в котором на заряд 1 Кл действует сила 1 Н.

Единица длины – метр.

$$1 \text{ м}^3 = 1\,000\,000 \text{ см}^3;$$

$$1 \text{ м}^2 = 10\,000 \text{ см}^2.$$

Решить задачи:

1. В атмосфере Земли под воздействием космического излучения каждую секунду образуется $5 \cdot 10^6$ пар одновалентных ионов в объеме 1 м^3 . Определите силу тока насыщения между плоскими электродами площадью 1 см^2 каждый, расположенными на расстоянии

0,2 м. Сила тока зависит от заряда, переносимого каждой частицей, концентрации частиц, скорости их направленного движения и площади поперечного сечения проводника.

Пример решения:

$$5 \cdot 10^6 \cdot 0,008 = 0,04 \cdot 10^6 \text{ количество частиц в выделенном объеме.}$$

$$J = 0,04 \cdot 10^6 \cdot 0,0001 = 4 \text{ (А).}$$

2. Определите силу тока насыщения между плоскими электродами площадью $0,15 \text{ м}^2$ каждый, расположенными на расстоянии 2 см, если под действием внешнего ионизатора в объеме 1 см^3 ежесекундно образуется $5 \cdot 10^6$ пар одновалентных ионов.

3. Обкладки плоского воздушного конденсатора находятся на расстоянии 5 см друг от друга. Определите площадь обкладки, если под действием внешнего ионизатора в объеме воздуха 1 см^3 ежесекундно образуется $6,6 \cdot 10^6$ пар ионов, а сила тока насыщения 4 пА (1 пико ампер равен $1 \cdot 10^{-12} \text{ А}$).

4. Вычислить максимальную плотность и силу тока конвекции в грозовых облаках, если скорость вертикальных движений достигает 30 м/с, а объемная плотность зарядов в среднем равна $1,5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл/м}^3$ и увеличивается на два порядка в отдельных частях грозовых облаков. В поперечном сечении такие области достигают 10 км. Во сколько раз плотность таких токов больше (или меньше) средней плотности тока проводимости? Какой из этих токов имеет решающее значение для обмена зарядами между атмосферой и Землей? Почему?

Практическая работа № 6

Составление аннотации и тезисов научной работы

1. Написать аннотацию к предложенной преподавателем статье.

Аннотация (от лат. *annotatio* – замечание) есть краткая характеристика издания: рукописи, статьи или книги. В аннотации очень коротко раскрывается содержание произведения – буквально говорится, о чем оно. *Аннотация* показывает отличительные особенности и достоинства издаваемого произведения, помогает сориенти-

роваться в выборе. Также указывается назначение и аудитория, например «учебник...».

2. Написать тезисы к предложенному преподавателем тексту:

Тезис в записи – это положение, вбирающее в себя существо значительной части текста, то, что доказывает или опровергает автор, то, в чем он стремится убедить читателя, вывод, к которому он подводит читателя. *Тезис* – это доказываемое положение или утверждение. В отличие от выписок, которые могут содержать только иллюстрированный или фактический материал, тезисы должны всегда иметь доказательства рассуждением; другими словами, идеи тезисов могут быть защищены.

Формулировка тезисов должна быть четкой и краткой. В самих тезисах не приводят обосновывающих фактов, примеров. Но тезисы всегда должны быть обоснованы и доказаны.

Если, имея тезисы (например, используя не вами составленные тезисы или же читая при работе над книгой одни выводы), вы не знаете их обоснований, доказательств, наконец, не имеете хотя бы примеров к ним, то одних выводов окажется недостаточно для подлинного знания. Доказательства остаются в тезизируемой книге или статье, к обоснованиям и доказательствам полезно отсылать в записи.

Практическая работа № 7

Составление конспекта научной статьи

Конспект – краткое изложение материала. Научная статья для конспектирования предоставляется преподавателем.

Методика составления:

1. Составить план прочитанного текста
2. Разъяснить и дополнить каждый пункт цитатами (выдержки из текста) или мыслями, сформулированными самостоятельно.
3. Сопоставить разные точки зрения, сделать вывод.

Конспект это систематическая, логически связанная запись, объединяющая план, выписки, тезисы или, по крайней мере, два из этих типов записи. Одно из основных требований, предъявляемых к конспекту, – быть систематической, логически связанной записью.

Выписки с отдельными пунктами плана, если в целом они не отражают логики произведения, если между отдельными частями записи нет смысловой связи, не являются конспектом.

Связующим звеном при составлении конспекта должна быть внутренняя логика изложения. Составляя конспект, нельзя путать связность логическую и связность стилистическую. Стремиться к форме связного пересказа нужно, но не в ущерб другим, более важным качествам конспекта – ясности и краткости.

На страницах конспекта может быть отражено отношение самого конспектирующего к тому материалу, над которым он работает. Но надо так организовать текст, чтобы после, при использовании своей записи, можно было легко разобраться, где авторское, а где личное понимание вопроса.

Виды конспектов:

- 1) плановые;
- 2) текстуальные;
- 3) свободные;
- 4) тематические.

Плановый конспект легко получить с помощью предварительно сделанного плана. Каждому вопросу плана в такой записи отвечает определенная часть конспекта. Однако там, где пункт плана не требует дополнений и разъяснений, он не сопровождается текстом. Это одна из особенностей стройного, ясного и короткого плана-конспекта. Являясь сжатым, в форме плана, пересказом прочитанного, этот конспект – один из наиболее ценных, помогает лучше усвоить материал еще в процессе его изучения.

Самым простым плановым конспектом является *вопросно-ответный* конспект. В этом случае на пункты плана, выраженные в вопросительной форме, конспект дает точные ответы.

В процессе разработки, а иногда и при последующей переработке плановый конспект может стать *схематическим* плановым конспектом, т.е. конспектом, отражающим логическую структуру и взаимосвязь отдельных положений, причем во имя логической смысловой стройности в записи может быть изменена последовательность изложения оригинала.

Текстуальный конспект – это конспект, созданный в основном из отрывков подлинника – цитат. Текстуальные выписки связаны цепью логических переходов, могут быть снабжены планом и включать отдельные тезисы в изложении конспектирующего или автора.

Текстуальный конспект – прекрасный источник дословных высказываний автора, а также приводимых им фактов. Такой конспект научной статьи (книги) поможет определить ложность положений автора или выявить спорные моменты, которые значительно труднее найти по пересказу – свободному конспекту. В последнем случае все равно потребовалось бы вновь обратиться к подлиннику для поправок и уточнений. Отсюда следует вывод о целесообразности применения текстуальных конспектов при изучении материалов для сравнительного анализа положений, высказанных рядом авторов. Существенный недостаток текстуального конспекта заключается в том, что он не активизирует резко внимание и память (если, конечно, он заранее не был призван стать пособием для сравнения разных точек зрения).

Своеобразие *свободного конспекта* в том, что он представляет собой сочетание выписок, цитат, иногда тезисов; часть его текста может быть снабжена планом. Свободный конспект требует умения самостоятельно четко и кратко формулировать основные положения, для чего необходимы глубокое осмысление материала, большой и активный запас слов. Он в высшей степени способствует лучшему усвоению материала. Здесь читатель на деле демонстрирует свое умение активно использовать все типы записей: планы, тезисы, выписки. Забота тут одна – понять, осмыслить, записать четко, логично. Над свободным конспектом приходится много работать, его не так-то легко составить.

Тематический конспект дает более или менее исчерпывающий ответ (в зависимости от числа привлеченных источников и другого материала, скажем, своих же записей) на поставленный вопрос. Поэтому он и получил название тематического. Составление тематического конспекта учит работать над темой, всесторонне обдумывая ее, анализируя различные точки зрения на один и тот же вопрос. Таким образом, этот конспект облегчает работу над темой при условии использования нескольких источников. Созда-

вая тематический конспект, порой приходится привлекать личный опыт, наблюдения, рыться в памяти, вспоминая событие, факт, мысль, теорию, наконец, книгу, в которой вы встретили когда-то то или иное нужное вам в этот момент положение. Так постепенно вы приучаете себя мобилизовать свои знания. Ваш рабочий каталог, картотеки, наконец, ваши же конспекты и другие записи должны помочь этому.

С чего начать записи – с конспекта, выписок, тезисов или планов?

Начинать тренироваться лучше с выписок, затем овладевать умением составлять планы, тезисы и уже потом переходить к конспектам.

Но жизнь дает и особые установки: студенты, скажем, на первом курсе неплохо овладевают конспектами, не проходя последовательно всей цепочки. И тут есть своя логика. Если читатель, не имея навыка, составляет плохой план или плохие тезисы, а затем пытается ими заменить серьезную книгу, это кончается, как правило, конфузом. Но если к такой книге сразу же составляется конспект, то в большинстве случаев по этой записи можно будет восстановить содержание источника.

Литература, рекомендованная для выполнения самостоятельной работы и подготовки к семинарам

Основная

1. *Горбатенко В.П., Еришова Т.В.* Молния как звено глобальной электрической цепи. – Томск: Изд-во ТГПУ, 2011. – 204с.
2. *Базелян Э.М.* Азбука молниезащиты. – М.: Знак, 2010. – 192 с.
3. *Матвеев Л.Т.* Физика атмосферы. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2000. – 777 с.
4. *Чалмерс Дж.А.* Атмосферное электричество. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 419 с.
5. *Атмосферное электричество:* тр. III Всесоюзного симпозиума / под ред. В.Д. Степаненко. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 288 с.

Дополнительная

1. *Юман М. А.* Молния. – М.: Мир, 1972. – 327 с.
2. *Капица П.Л.* Эксперимент. Теория. Практика. – М.: Наука, 1981. – 494 с.
3. *Вопросы атмосферного электричества.* – М.: Гидрометеоиздат, 1987. – Вып. 44 (134). – 135 с.
4. *Наблюдения за атмосферным электричеством: метод. указания.* – СПб.: Гидрометеоиздат, 2002. – 58 с.

Тесты для самоконтроля успешности освоения дисциплины

1. *Задание закрытой формы (с одним вариантом ответа):*

С ростом высоты благодаря ионизации и ультрафиолетовому и рентгеновскому излучению Солнца проводимость атмосферы

- уменьшается;
- растёт экспоненциально;
- растёт линейно.

2. *Задание закрытой формы (с одним вариантом ответа):*

Если разделить разноименные заряды, то вектор поля будет направлен:

- от отрицательных зарядов к положительным;
- параллельно зарядам;
- вектора не будет;
- от положительных к отрицательным зарядам.

3. *Задание открытой формы:* несколько молекул, объединившихся с ионами называют

4. *Задание закрытой формы (с одним вариантом ответа):*

Напряженность электрического поля атмосферы составляет, в среднем:

- 150 В/м;
- 50 В/м;
- 350 В/м.

5. *Задание закрытой формы (с одним вариантом ответа):*

По сравнению со средними широтами в экваториальных областях напряженность электрического поля атмосферы:

- меньше;
- больше.

6. *Задание на установление правильной последовательности:*

Механизмы, вызывающие образование и рост осадков в облаке:

- осадки падают вниз под действием силы тяжести;

- коагуляционный рост;
- конденсационный рост.

7. *Вопрос закрытой формы (с одним вариантом ответа):*

Ионосфера располагается на высоте:

- 40–50 км;
- 50–60 км;
- 60–70 км;
- 70–80 км.

8. *Задание закрытой формы (с несколькими вариантами ответа):*

Напряженность электрического поля имеет не только величину, но и:

- градиент;
- направление;
- плотность;
- емкость.

9. *Задание закрытой формы (с одним вариантом ответа):*

На какой высоте наблюдается максимальная проводимость атмосферы?

- 30км;
- 20км;
- 50км;
- 1.5км.

10. *В годовом ходе напряженность электрического поля наибольшая (с одним вариантом ответа):*

- зимой;
- летом;
- весной;
- осенью.

11. *Задание закрытой формы (с одним вариантом ответа):*

По сравнению со средними широтами в полярных областях напряженность электрического поля атмосферы:

- меньше;
- больше.

12. *Задание открытой формы (с ограниченным ответом)*

Так называемое «электричество хорошей погоды» представляет собой

13. *Вопрос закрытой формы (с одним вариантом ответа):*

В областях хорошей погоды электрическое поле направлено:

- вверх;
- вниз;
- вниз, а потом вверх;
- вверх, а потом вниз.

14. *Задание открытой формы (с ограниченным ответом):*

Так называемые унитарные вариации напряженности электрического поля Земли представляют собой

15. *Задание открытой формы (с ограниченным ответом):*

Перечислите известные Вам виды молний.

16. *Задание закрытой формы (с одним вариантом ответа):*

Как изменяется напряженность электрического поля атмосферы:

- убывает с высотой по экспоненциальному закону;
- увеличивается с высотой по экспоненциальному закону;
- убывает с высотой по логарифмическому закону;
- увеличивается с высотой по логарифмическому закону.

17. *Задание закрытой формы (с одним вариантом ответа):*

В суточном ходе напряженности электрического поля атмосферы наблюдается максимум между:

- 18–20 ч;
- 02–03 ч;
- 12–14 ч.

18. *Задание закрытой формы (с одним вариантом ответа):*

Конвекция в грозовых облаках имеет тенденцию к усилению вблизи:

- изотермы -22°C ;
- верхней границе кучево-дождевого облака;
- нижней границы кучево-дождевого облака;
- изотермы 0°C .

19. *Задание открытой формы (с ограниченным ответом):*

Приведите основные физические характеристики развитого конвективного облака, генерирующего молнии.

20. *Задание открытой формы (с ограниченным ответом):*

Нарисуйте (опишите) классическую схему распределения зарядов в грозовом облаке

Корректор А.Н. Воробьева

Отпечатано на участке цифровой печати
Издательского Дома Томского государственного университета

Заказ № 465 от «08» июля 2014 г. Тираж 100 экз.