

МИНИСТЕРСТВО
ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ
УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
имени В. Н. КАРАЗИНА



Л. Ф. ЧЕРНОГОР

**ФИЗИЧЕСКИЕ
ЭФФЕКТЫ
СОЛНЕЧНЫХ
ЗАТМЕНИЙ
В АТМОСФЕРЕ
И ГЕОКОСМОСЕ**

ХАРЬКОВ

2013

УДК 550.3: [521.81 + 551.51]
ББК 26.233
Ч-49

Рецензенты:

А. А. Коноваленко – академик НАН Украины (Радиоастрономический институт НАН Украины);
Ю. Г. Шкуратов – член-корреспондент НАН Украины (НИИ астрономии Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина).

*Утверждено к печати решением Ученого совета
Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина
(протокол № 10 от 28 октября 2013 г.)*

Черногор Л. Ф.

Ч-49 Фізичні ефекти сонячних затемнень в атмосфері та геокосмосі: монографія / Л. Ф. Черногор. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2013. – 480 с.

ISBN 978-966-285-036-9

Викладено загальні відомості про системи Земля – атмосфера – іоносфера – магнітосфера та Сонце – міжпланетне середовище – магнітосфера – іоносфера – атмосфера – Земля. Описано результати радіофізичних та оптичних спостережень основних ефектів у цих системах, викликаних частковими сонячними затемненнями в околиці м. Харкова (Україна) в 1999–2011 рр.

Для науковців, аспірантів і студентів фізичних спеціальностей університетів.

УДК 550.3: [521.81 + 551.51]

204 илл., 41 табл., 465 библ

ББК 26.233

Chernogor L. F.

Ч-49 Physical effects of solar eclipses in atmosphere and geospace: monograph / L. F. Chernogor. – Kharkiv : V. N. Karazin Kharkiv National University, 2013. – 480 p.

ISBN 978-966-285-036-9

General information about the system the Earth - atmosphere - ionosphere - magnetosphere and the Sun - interplanetary medium - magnetosphere - ionosphere - atmosphere - the Earth is presented. The results of radio physical and optical observations of the major effects in these systems, which is caused by the partial solar eclipses in the vicinity of Kharkov (Ukraine) in 1999–2011 are described.

For researchers, postgraduate and graduate students of physical specialties of universities.

УДК 550.3: [521.81 + 551.51]

204 илл., 41 табл., 465 библ

ББК 26.233

Черногор Л. Ф.

Ч-49 Физические эффекты солнечных затмений в атмосфере и геокосмосе: монография / Л. Ф. Черногор. – Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2013. – 480 с.

ISBN 978-966-285-036-9

Изложены общие сведения о системах Земля – атмосфера – ионосфера – магнитосфера и Солнце – межпланетная среда – магнитосфера – ионосфера – атмосфера – Земля. Описаны результаты радиофизических и оптических наблюдений основных эффектов в этих системах, вызванных частными солнечными затмениями в окрестности г. Харькова (Украина) в 1999–2011 гг.

Для научных работников, аспирантов и студентов физических специальностей университетов.

УДК 550.3: [521.81 + 551.51]

204 илл., 41 табл., 465 библ

ББК 26.233

ISBN 978-966-285-036-9

© Харьковский национальный университет
имени В. Н. Каразина, 2013
© Институт ионосферы, 2013
© Черногор Л. Ф., 2013
© Макет обложки, Дончик И. Н., 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	10
Список основных сокращений	12
Список основных обозначений	13
Введение	17
Литература к введению	19
Глава 1. Основы системной парадигмы	22
1.1. Общие сведения	22
1.2. Основные положения системной парадигмы	23
1.3. Строение систем. Основные процессы	26
1.3.1. Процессы в системе СМСМИАЗ	26
1.3.2. Процессы в системе ЗАИМ	28
1.3.3. Процессы в системе СМСМИАЗБ	28
1.4. Свойства систем	30
1.5. Энергетика процессов	31
1.5.1. Энергетика солнечных процессов	36
1.5.2. Энергетика солнечных и геокосмических бурь	36
1.5.3. Энергетика магнитосферы	38
1.5.4. Энергетика ионосферы	39
1.5.5. Энергетика атмосферы	42
1.5.6. Энергетика солнечных затмений	45
1.6. Потоки энергии	47
1.7. Каналы взаимодействия подсистем в системах СМСМИАЗ и ЗАИМ	48
1.8. Основные результаты	48
Литература к главе 1	49
Глава 2. Эффекты солнечного затмения 11 августа 1999 г.	53
2.1. Общие сведения	53
2.2. Сведения о солнечном затмении	54
2.2.1. Пространственно-временные характеристики	55
2.2.2. Энергетические характеристики	56
2.2.3. Функция покрытия Солнца. Освещенность поверхности Земли	57
2.2.4. Состояние атмосферной и космической погоды	58
2.3. Средства наблюдения и радиозондирования	59
2.3.1. Оптическая система	59
2.3.2. Радар частичных отражений	61
2.3.3. Доплеровский радар	61
2.3.4. Радар некогерентного рассеяния	61
2.3.5. Ионозонд	62
2.4. Методики измерений и обработки данных	63
2.4.1. Оптические измерения	63
2.4.2. Измерения радаром частичных отражений	64
2.4.3. Измерения доплеровским радаром	65
2.4.4. Измерения радаром некогерентного рассеяния	65
2.4.5. Измерения ионозондом	72

2.5. Результаты наблюдений	72	3.6.5. Вариации концентрации электронов в максимуме слоя F2 и высоты максимума	143
2.5.1. Приземная атмосфера	72	3.6.6. Вариации температуры электронов и ионов	143
2.5.2. Нижняя ионосфера	75	3.6.7. Вариации скорости переноса плазмы	145
2.5.3. Средняя ионосфера	81	3.6.8. Вариации концентрации ионов водорода	147
2.5.4. Слой F2 ионосферы	83	3.6.9. Волновые возмущения	150
2.6. Результаты расчетов	96	3.7. Результаты расчетов	150
2.6.1. Процессы в приземной атмосфере	96	3.7.1. Процессы в приземной атмосфере	150
2.6.2. Ионизация в D- и E-областях ионосферы	97	3.7.2. Концентрация нейтралов	153
2.6.3. Ионизация в F-области ионосферы	100	3.7.3. Температура нейтралов и нагрев атмосферы	153
2.6.4. Процессы переноса ионов в F-области ионосферы	102	3.7.4. Поток плазмы	156
2.6.5. Ионосферно-плазменное взаимодействие	103	3.7.5. Подвод энергии к электронам	156
2.6.6. Тепловые процессы в F-области ионосферы	105	3.7.6. Потоки тепла, переносимого электронами	159
2.6.7. Ионосферно-магнитосферное взаимодействие	111	3.8. Обсуждение	160
2.6.8. Оценки параметров выпадающих частиц	112	3.8.1. Процессы в приземной атмосфере	160
2.7. Обсуждение	114	3.8.2. Процессы в области F и внешней ионосфере	161
2.7.1. Процессы в приземной атмосфере	114	3.8.3. Сравнение эффектов солнечных затмений 11 августа 1999 г. и 31 мая 2003 г.	164
2.7.2. Процессы в нижней ионосфере	115	3.9. Основные результаты	165
2.7.3. Процессы в средней ионосфере	118	Литература к главе 3	167
2.7.4. Процессы во внешней ионосфере	121	Глава 4. Эффекты солнечного затмения 3 октября 2005 г.	170
2.8. Основные результаты	124	4.1. Общие сведения	170
Литература к главе 2	126	4.2. Сведения о затмении Солнца	171
Глава 3. Эффекты солнечного затмения 31 мая 2003 г.	131	4.3. Состояние атмосферной и космической погоды	172
3.1. Общие сведения	131	4.3.1. Метеорологическая обстановка	172
3.2. Сведения о солнечном затмении	132	4.3.2. Гелиофизическая обстановка	172
3.3. Состояние атмосферной и космической погоды	133	4.4. Средства наблюдения и радиозондирования	172
3.3.1. Метеорологическая обстановка	133	4.5. Результаты наблюдений	174
3.3.2. Гелиогеофизическая обстановка	134	4.5.1. Вариации температуры воздуха в приземной атмосфере	174
3.4. Средства наблюдения и радиозондирования	137	4.5.2. Вариация среднего квадратического отклонения смещения края солнечного диска	175
3.4.1. Оптическая система	137	4.5.3. Вариации флуктуаций геомагнитного поля	175
3.4.2. Доплеровский радар	137	4.5.4. Вариации доплеровских спектров	176
3.4.3. Ионозонд	137	4.5.5. Вариации параметров максимума области F2 ионосферы	180
3.4.4. Радар некогерентного рассеяния	137	4.5.6. Вариации концентрации электронов	180
3.4.5. Магнитометр-флюксметр	137	4.5.7. Вариации температуры электронов и ионов	180
3.4.6. Система термометров	138	4.5.8. Вариации скорости переноса плазмы	186
3.5. Методики измерений и обработки данных	138	4.5.9. Вариации концентрации ионов водорода	187
3.5.1. Оптические измерения	138	4.5.10. Волновые возмущения	188
3.5.2. Измерения доплеровским радаром	138	4.6. Результаты расчетов	190
3.5.3. Измерения радаром некогерентного рассеяния	139	4.6.1. Поток плазмы	195
3.5.4. Измерение ионозондом	140	4.6.2. Скорость эквивалентного нейтрального ветра и меридиональная составляющая скорости нейтрального ветра	197
3.5.5. Магнитометрические измерения	140	4.6.3. Энергия, подводимая к электронному газу	199
3.6. Результаты наблюдений	140		
3.6.1. Вариации температуры воздуха в приземной атмосфере	140		
3.6.2. Вариации среднего квадратического отклонения смещения края солнечного диска	140		
3.6.3. Вариации уровня геомагнитного поля	140		
3.6.4. Вариации доплеровских спектров	141		

4.6.4. Поток тепла, переносимого электронами	199	5.7.4. Вариации температур электронов и ионов	239
4.6.5. Температура нейтралов	201	5.7.5. Динамические процессы в верхней ионосфере	239
4.7. Обсуждение	202	5.7.6. Сравнение с данными других наблюдений	242
4.7.1. Температура воздуха в приземной атмосфере	202	5.7.7. Сравнение атмосферно-ионосферных эффектов затмений Солнца 1999, 2003, 2005 и 2006 гг.	242
4.7.2. Уровень флуктуаций геомагнитного поля	203	5.8. Основные результаты	243
4.7.3. Концентрация электронов в ионосфере	203	Литература к главе 5	244
4.7.4. Температуры электронов и ионов в ионосфере	203	Глава 6. Эффекты солнечного затмения 1 августа 2008 г.	247
4.7.5. Скорость переноса плазмы	204	6.1. Общие сведения	247
4.7.6. Концентрация ионов водорода в ионосфере	204	6.2. Сведения о солнечном затмении	250
4.7.7. Волновые возмущения в ионосфере	204	6.2.1. Общие сведения	250
4.7.8. Поток плазмы	205	6.3. Состояние атмосферной и космической погоды	251
4.7.9. Тепловые процессы в электронном газе	205	6.3.1. Метеорологическая обстановка	251
4.7.10. Эффекты нейтральных ветров	205	6.3.2. Гелиогеофизическая обстановка	253
4.8. Основные результаты	206	6.4. Средства наблюдения и радиозондирования	255
Литература к разделу 4	207	6.4.1. Оптическая система	255
Глава 5. Эффекты солнечного затмения 29 марта 2006 г.	208	6.4.2. Радиоприемное устройство ОНЧ диапазона	255
5.1. Общие сведения	208	6.4.3. Радар частичных отражений	257
5.2. Сведения о затмении Солнца	210	6.4.4. Доплеровский радар	257
5.3. Состояние атмосферной и космической погоды	211	6.4.5. Радар некогерентного рассеяния	258
5.3.1. Метеорологическая обстановка	211	6.5. Результаты наблюдений	261
5.3.2. Гелиогеофизическая обстановка	212	6.5.1. Эффекты в приземной атмосфере	261
5.4. Средства наблюдения и радиозондирования	212	6.5.2. Эффекты в нижней ионосфере	263
5.5. Результаты наблюдений	214	6.5.3. Эффекты в радиошумах	269
5.5.1. Вариации температуры воздуха в приземной атмосфере	214	6.5.4. Эффекты в средней ионосфере	270
5.5.2. Вариации среднего квадратичного отклонения смещения края солнечного диска	214	6.5.5. Эффекты во внешней ионосфере	296
5.5.3. Вариации доплеровских спектров	215	6.6. Результаты расчетов	312
5.5.4. Вариации концентрации и высоты максимума области F2 ионосферы	222	6.6.1. Эффекты в приземной атмосфере	312
5.5.5. Вариации концентрации электронов	222	6.6.2. Уменьшение концентрации электронов на радиотрассе	316
5.5.6. Вариации температур электронов и ионов	223	6.6.3. Особенности распространения ОНЧ радиоволны	316
5.5.7. Вариации вертикальной составляющей скорости переноса плазмы	225	6.6.4. Амплитудный эффект ОНЧ радиоволны	317
5.5.8. Вариации концентрации ионов водорода	227	6.6.5. Фазовый эффект ОНЧ радиоволны	317
5.6. Результаты расчетов	229	6.6.6. Фазовые вариации, вызванные случайными неоднородностями	318
5.6.1. Полный поток плазмы	230	6.6.7. Фазовые вариации, вызванные квазипериодическими возмущениями	319
5.6.2. Поток плазмы за счет амбиполярной диффузии	231	6.6.8. Амплитудные вариации, вызванные квазипериодическими возмущениями	320
5.6.3. Компонента скорости вертикального переноса плазмы за счет ветрового увлечения и электромагнитного дрейфа и меридиональная скорость ветра	233	6.6.9. Возмущение интегрального коэффициента поглощения СЧ радишумов	320
5.6.4. Подвод энергии к электронному газу	233	6.6.10. Уменьшение концентрации электронов	323
5.7. Обсуждение	236	6.6.11. Оценка амплитуды колебаний	324
5.7.1. Процессы в нижней ионосфере	236	6.6.12. Оценка смещения области отражения радиоволны	325
5.7.2. Процессы в средней ионосфере	238	6.6.13. Температура нейтралов	325
5.7.3. Вариации концентрации электронов области F ионосферы	238	6.6.14. Частоты соударений заряженных и нейтральных частиц	325

6.6.15. Продольные составляющие тензоров амбиполярной диффузии и теплопроводности	327	7.5. Результаты расчетов	396
6.6.16. Плазменная приведенная высота	327	7.5.1. Уменьшение концентрации электронов	396
6.6.17. Поток плазмы	327	7.5.2. Оценка амплитуды колебаний	396
6.6.18. Передача энергии к электронам и потоки тепла из плазмосферы	327	7.5.3. Оценка смещения области отражения радиоволны	397
6.7. Обсуждение	328	7.5.4. Эффекты ДСЧ	397
6.7.1. Процессы в приземной атмосфере	328	7.5.5. Вариации АОС	400
6.7.2. Эффекты на радиотрассе Архангельск – Харьков ...	331	7.5.6. Скорость переноса частиц за счет амбиполярной диффузии	401
6.7.3. Эффекты в радиошумах	332	7.5.7. Нейтральные ветры в ионосфере	404
6.7.4. Процессы в средней ионосфере	334	7.5.8. Подвод энергии к электронам	404
6.8. Основные результаты	346	7.5.9. Поток тепла из плазмосферы	404
Литература к главе 6	350	7.6. Обсуждение	404
Глава 7. Эффекты солнечного затмения 4 января 2011 г.	357	7.6.1. Процессы в средней ионосфере	404
7.1. Общие сведения	357	7.6.2. Процессы во внешней ионосфере	403
7.2. Состояние атмосферной и космической погоды	358	7.7. Основные результаты	417
7.2.1. Метеорологическая обстановка	358	Литература к главе 7	420
7.2.2. Гелиогеофизическая обстановка	358	Глава 8. Систематизация эффектов солнечных затмений	424
7.2.3. Сведения о солнечном затмении	360	8.1. Общие сведения	424
7.3. Средства наблюдения и радиозондирования	360	8.1.1. Основные сведения о солнечных затмениях	424
7.3.1. Ионозонд	360	8.1.2. Состояние атмосферной погоды	424
7.3.2. Наклонное радиозондирование	360	8.1.3. Состояние космической погоды	427
7.3.3. Доплеровский радар	361	8.2. Эффекты в приземной атмосфере	428
7.3.4. Радар некогерентного рассеяния	361	8.2.1. Температурный эффект	428
7.3.5. Спектральный анализ	361	8.2.2. Эффект конвекции	428
7.4. Результаты наблюдений	362	8.2.3. Результаты расчетов	429
7.4.1. Описание ионограмм	362	8.2.4. Динамические процессы, сопровождавшие солнечные затмения	432
7.4.2. Временные вариации критических частот	365	8.2.5. Обсуждение эффектов в приземной атмосфере ...	436
7.4.3. Временные вариации действующих высот	369	8.3. Эффекты в средней и верхней ионосфере	437
7.4.4. Временные вариации высоты h_p	369	8.3.1. Основные эффекты	437
7.4.5. Временные вариации концентрации электронов в максимуме ионизации	370	8.3.2. Результаты спектрального анализа	438
7.4.6. Временные вариации доплеровских спектров	372	8.3.3. Результаты расчетов	446
7.4.7. Временные вариации амплитуды отраженного сигнала	375	8.3.4. Параметры среды	450
7.4.8. Спектральные характеристики вариаций критической частоты	377	8.3.5. Эффект дополнительной ионизации	453
7.4.9. Спектральные характеристики вариаций δh_p	377	8.4. Эффекты во внешней ионосфере	454
7.4.10. Спектральные характеристики вариаций ДСЧ	377	8.5. Инфразвуковой эффект солнечных затмений	456
7.4.11. Временные вариации доплеровских спектров на наклонных радиотрассах	378	8.5.1. Инфразвуковой эффект в средней ионосфере	457
7.4.12. Временные вариации ДСЧ и АОС	380	8.5.2. Инфразвуковой эффект в средней и внешней ионосфере	465
7.4.13. Временные вариации концентрации электронов ..	386	8.6. КПД генерации АГВ	473
7.4.14. Временные вариации температуры электронов и ионов	389	8.7. Основные результаты	474
7.4.15. Вариации вертикальной составляющей скорости переноса плазмы	390	Литература к главе 8	475
		Заключение	478