

Москва, МАКС Пресс, 2011 ISBN: 978-5-317-03592-1 Environmental and climate characteristics of the atmosphere in 2010 according to the measurements of the Meteorological Observatory of Moscow State University



MOSCOW - 2011

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М.В. ЛОМОНОСОВА, ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ имени А.М. ОБУХОВА РАН

ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ В 2010 г. ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ МГУ

Коллектив авторов: И.Б. Беликов, Е.В. Горбаренко, И.Д. Еремина, П.И. Константинов, М.А Локощенко, Е.И. Незваль, Н.Е. Чубарова, О.А. Шиловцева, Р.А. Шумский

Под редакцией Н.Е. Чубаровой



МОСКВА – 2011

Коллектив авторов:

И.Б. Беликов, Е.В. Горбаренко, И.Д. Еремина, П.И. Константинов, М.А Локощенко, Е.И. Незваль, Н.Е. Чубарова, О.А. Шиловцева, Р.А. Шумский

Под редакцией Н.Е. Чубаровой

Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2010 г. по Э40 данным метеорологической обсерватории МГУ/ Беликов И.Б. и др.; Под ред. Чубаровой Н.Е. – М.: МАКС Пресс, 2011. – 180 с. ISBN 978-5-317-03592-1

В данной публикации приведены основные закономерности различных характеристик атмосферы в 2010 году по данным метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ). Выявлены особенности метеорологического и радиационного режима атмосферы, анализируется газовый состав атмосферного воздуха, характеристики атмосферных аэрозолей, химический состав осадков. Особое внимание уделяется анализу данных в период аномальной жары и лесных пожаров в июле-августе 2010г. Во второй части приведены результаты методических исследований, выполненных сотрудниками МО МГУ, которые позволили улучшить качество данных и восстановить однородность рядов измерений.

> УДК 551.5 ББК 26.237

Authors:

I.B. Belikov, Ye. V. Gorbarenko, I.D. Eremina, P.I. Konstantinov, M.A. Lokoshchenko, Ye.I. Nezval', N.Ye. Chubarova, O.A. Shilovtseva, R.A. Shumski

Edited by N.Ye. Chubarova

Environmental and climate characteristics of the atmosphere in 2010 according to the measurements of the Meteorological Observatory of Moscow State University. – Moscow, MAKS Press, 2011. – 180 p.

This publication describes the main features of different atmospheric parameters in 2010 according to the data of the Meteorological Observatory of Moscow State University (MO MSU). The specific features of meteorological and radiative regime of the atmosphere, characteristics of atmospheric aerosols as well as gaseous composition of the atmospheric air and chemical composition of the precipitation have been revealed. A special attention is paid to the study of the period in July-August 2010 with anomalous hot weather accompanied by forest fires. The second part of the issue contains the results of the methodic analysis fulfilled by the researchers of the MO MSU, which help to improve the quality of the data and to retrieve the homogeneity in data records.

Электронное издание

Издательство ООО "МАКС Пресс" Лицензия ИД N 00510 от 01.12.99 г.

119992, ГСП-2, Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2-й учебный корпус, 627 к. Тел. 939-3890, 939-3891. Тел./Факс 939-3891.

ISBN 978-5-317-03592-1

© Коллектив авторов, 2011

оглавление

	Предисловие. Н.Е. Чубарова	7
Ча	сть І Оценка эколого-климатических характеристик в Москве	
в 2	2010 г. по данным метеорологической обсерватории (МО) МГУ	9
	А. Метеорология	
1.	Температура воздуха и почвы, влажность воздуха и атмосферные осадки.	
	П. И. Константинов	10
2.	Снежный покров и промерзание почвы. М.А.Локощенко	31
3.	Ветровой режим атмосферы до высоты 500 м по данным	
	содарных измерений. М.А. Локощенко	45
4.	Особенности облачного покрова и продолжительности	
	солнечного сияния. Е.В. Горбаренко	65
	Б. Атмосферная радиация	
5.	Характеристики прозрачности атмосферы и составляющие	
	радиационного баланса. Е.В. Горбаренко	69
6.	Особенности режима фотосинтетически-активной радиации	
	и естественной освещенности. О.А. Шиловцева	
7.	Особенности режима УФ радиации 300-380нм. Е.И. Незваль	107
8.	Характеристика режима биологически-активной	
	эритемной радиации. Н.Е. Чубарова	115
9.	Режим нисходящей длинноволновой радиации.	
	Е.И. Незваль, Н.Е. Чубарова	122

В. Газовый и аэрозольный состав атмосферы, химический состав атмосферных осадков

10. Основные аэрозольные характеристики и влагосодержание атмосферы по данным солнечно-небесного

фотометра CIMEL сети AERONET. Н.Е. Чубарова	128
11. Химический состав осадков И.Д. Еремина	137
12. Газовый состав приземного воздуха. И.Б. Беликов, Р.А.Шумский	142

Часть II. Разработка методик сохранения однородности рядов данных	154
13. Методические аспекты сохранения однородности рядов	
УФ радиации 300-380нм. Е.И. Незваль, Н.Е. Чубарова	155
14. Методики восстановления однородности рядов измерений	
фотосинтетически активной радиации приборами	
нескольких типов. О.А. Шиловцева	171

Предисловие

Н.Е. Чубарова

Мы начинаем новую серию публикаций результатов измерений экологоклиматических характеристик атмосферы, проводимых в метеорологической обсерватории кафедры метеорологии и климатологии географического факультета Московского Государственного университета имени М.В.Ломоносова (МО МГУ).

Метеорологическая Обсерватория МГУ (φ = 55°42′ с.ш., λ = 37°30′ в.д.) была основана в 1954 году как учебно-методический центр и научная база для изучения климата Москвы.

В МО МГУ выполняется расширенная программа метеорологических измерений, включающая акустическое зондирование пограничного слоя атмосферы, а также большая программа радиационных измерений, куда входят измерения фотосинтетически-активной радиации, естественной освещенности и УФ радиации в нескольких диапазонах спектра. МО МГУ обладает самыми длинными в мире периодами измерений естественной освещенности (с 1964 г.) и УФ радиации 300-380 нм (с 1968 г.). В химической лаборатории МО МГУ с 1980 г. проводятся измерения химического состава атмосферных осадков и снежного покрова. В конце 1980-х годов начата программа акустического зондирования атмосферы. В последние десятилетия программа измерений МО МГУ продолжает расширяться. В 1999 г. начаты измерения биологически-активной УФ радиации. С 2001 г. в МО МГУ ведется мониторинг различных характеристик аэрозоля совместно с американским Годдардовским центром космических полетов в рамках международной программы AER-ОNЕТ. В 2002 году совместно с ИФА им. А. М. Обухова РАН создана станция наблюдений за составом атмосферного воздуха и проводятся регулярные измерения концентраций различных газовых примесей в приземном слое атмосферы. С 2004 года ведутся измерения скорости и направления ветра до высоты 500 м с помощью допплеровского содара "MOD-OS". С 2008 года в рамках сотрудничества со швейцарским институтом ЕТН и Давосской обсерваторией PMOD/WRC начаты прецизионные измерения нисходящей длинноволновой радиации. Более подробную информацию о наблюдениях, проводимых в метеорологической обсерватории можно найти на сайте http://momsu.ru.

Все измерения, осуществляемые в МО МГУ, проводятся в соответствии с принятыми международными и отечественными нормами, установленными ВМО и Росгидрометом. МО МГУ входит в российскую метеорологическую сеть, а также в мировую сеть данных по солнечной радиации. Обсерватория имеет лицензию Б 420217 Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (регистрационный но-мер Р/98/0062/300/Л) на проведение гидрометеорологических наблюдений.

Цель данной публикации заключалась в оперативном освещении особенностей климатических характеристик г. Москвы в 2010 году, анализе полученных материалов и сопоставлении с результатами измерений в предшествующие годы, а также выявлении наиболее интересных тенденций в изменении различных метеорологических, радиационных, экологических параметров атмосферы.

Авторы выражают большую признательность всем сотрудникам Метеорологической обсерватории МГУ, труд которых помог подготовить данную публикацию.

Работа выполнялась при поддержке федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы по лоту "Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы" шифр "2010-1.1-220-037", государственный контракт № 02.740.11.0676.

Часть І.

Оценка эколого-климатических характеристик в Москве в 2010 г. по данным метеорологической обсерватории (МО) МГУ

1. Температура воздуха и почвы, влажность воздуха и атмосферные осадки

П.И.Константинов

1.1.Общие сведения о метеорологической программе измерений

В метеорологическом отделе МО МГУ круглосуточно проводятся наблюдения за многочисленными метеорологическими элементами: атмосферным давлением; температурой воздуха, поверхности почвы и грунта на разных глубинах вплоть до 3,2 метра; глубиной промерзания грунта; показателями влажности воздуха; общей и нижней облачностью; состоянием диска солнца; атмосферными явлениями; количеством и продолжительностью осадков; горизонтальной дальностью видимости и нижней границей облаков; скоростью и направлением ветра; высотой снежного покрова и др. Кроме того, именно здесь впервые в России и в бывшем Советском Союзе были организованы многолетние непрерывные наблюдения за температурной стратификацией нижнего 800-метрового слоя воздуха с помощью акустического локатора (содара) (см. раздел 3).

Наблюдения и измерения производятся в строгом соответствии с принятыми международными и отечественными нормами, установленными <u>BMO</u> и <u>Росгидрометом</u>. Все стандартные приборы регулярно поверяются.

Помимо стандартной программы работ в обсерватории осуществляются и некоторые уникальные наблюдения. К ним относятся измерения температуры и промерзания на разных глубинах грунта, на единственном в России специальном участке, лишенном естественного покрова (зимой - снега, летом - травы).

Метеорологические приборы

Температура воздуха. Измерения температуры воздуха в психрометрической будке, установленной на высоте 2 метров над поверхностью земли, производятся стандартным комплектом из станционного психрометра, минимального и максимального термометров ТМ-1 и ТМ-2. Непрерывное наблюдение за суточным ходом производится с помощью суточного термографа М-16.

10

*Температура почвы. И*змерения температуры почвы с частотой 8 раз в сутки (каждые 3 часа) осуществляются с помощью комплекта из срочного, минимального и максимального термометров ТМ-1, ТМ-4 и ТМ-2 Измерения температуры почвы на глубинах до 20 см производятся также через 3 часа с помощью комплекта Савиновских термометров, установленных соответственно на глубинах 5, 10, 15 и 20 см.

Температура почвы на больших глубинах (до 3,2м) на открытом и закрытом участках. Производится с помощью комплекта глубинных термометров, установленных на площадке с естественным растительным покровом и под обнаженной поверхностью (летом почва, лишенная растительного покрова, зимой – почва, очищенная от снега)

Влажность воздуха. Измеряется в психрометрической будке с помощью волосного гигрометра, а также рассчитывается по данным психрометрической установки. На суточном масштабе в непрерывном режиме также ведутся наблюдения за относительной влажностью воздуха с помощью суточного гигрографа М-21М.

Атмосферное давление. Регистрируется в сроки наблюдений с помощью станционного чашечного барометра **СР-А**

Атмосферные осадки. Регистрируются 2 раза в сутки с помощью станционного осадкомера, а также регистрируются с помощью плювиографа.

Испарение с водной поверхности. Измеряется с помощью испарителя ГГИ – 3000, который предназначен для определения испарения с открытой водной поверхности частотой раз в сутки и применяется для наблюдений при температуре воздуха от + 1 до + 50 °C.

Скорость и направление ветра на высоте 15 метров. Измеряется с помощью анеморумбометра M63.

Высота и плотность снежного покрова. Высота измеряется по трем стандартным снегомерным рейкам в холодное время года. Плотность измеряется с помощью станционного плотномера.

Наблюдения за явлениями погоды (регистрируется их продолжительность и интенсивность – осадки, ледовые явления, погодные явления, высота, ярус и форма облаков)

1.2 Температура воздуха

Мониторинг температуры воздуха за прошедший год представляет собой наибольший интерес, поскольку лето 2010 года в столичном регионе оказалось экстремально жарким.



Рис 1.2.1. Среднемесячная температура воздуха в 2010 года в сравнении с климатическими нормами за 1901-2000 и 1961-1990 годы.

Рассмотрим среднемесячную температуру воздуха, приведенную на рис.1.2.1 Самым ярким летним событием явилось превышение средней температуры июля на 8(!) градусов - +26,4 градуса против климатических +18,4 С. Впрочем, превышены были климатические нормы практически всех месяцев теплого периода. Холодный же период выдался далеко не таким однозначным. К примеру, январская температура оказалась ниже нормы на 4 градуса. Вдобавок, в течение всего месяца в столице не наблюдалось ни единой оттепели, что бывает в течение такого длительного периода крайне редко. А вот ноябрь оказался заметно теплее нормы (почти на 5 градусов), что хорошо видно на рис. 1.2.2 – и среднемесячная температура оказалась положительной.

Таблица 1.2.1 Среднемесячная температура воздуха в 2010 году и климатическая норма

	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VII	IX	Х	XI	XII	Год
								Ι					
Абсолют- ный максимум, 2010	-4,0	4,6	12,4	18,5	28,0	33.6	38,1	38,0	25,6	15,0	14.0	4,1	38,1
Абсолют- ный минимум, 2010	-25,7	-17,2	-13,0	-0,6	6,3	7,9	13.8	3,9	-0,8	-3,1	-18,9	-23,4	-25,7
Среднеме- сячная темпера- тура воз- духа 2010 год	-14,0	-8,2	-0,9	8,7	16,9	19,1	26,4	22,2	12,2	4,3	2,8	-7,5	6,8
Среднеме- сячная темпера- тура (кли- матическая норма 1960-1990)	-9,4	-7,8	-2,2	5,8	13,3	17,0	18,3	16,7	11,1	4,9	-1,4	-6,2	5,0
Аномалия 2010 год	-4,6	-0,4	1,3	2,9	3,6	2,1	8,1	5,5	1,1	-0,6	4,2	-1,3	1,8

В среднем же, год оказался более теплым, чем обычно (положительная аномалия составила +1,7°С – за счет экстремально теплого лета. Годовая амплитуда температуры, характеризующая различия средних месячных температур в течение года в 2010 году превысила 40°С, в то время, как ее климатическое значение, рассчитанное за период 1961-1990 гг. составляет лишь 27,8° С. Абсолютная амплитуда температур за 2010 год составила, согласно таблице 1.2.1, 63,8°С

На рис. 1.2.3 хорошо видно, что лето 2010 года выдалось экстремально жарким – стоит лишь посмотреть на количество абсолютных суточных рекордов температуры, отмеченных красными метками. Всего за летний период их набралось 22 рекордно теплых дня по максимальной температуре воздуха, за осенний добавилось еще четыре. Однако не только летние температуры были экстремально высоки. В таблице 1.2.2 можно проследить всю рекордную хронологию 2010 года.



Рис 1.2.2 Среднемесячная аномалия температура воздуха в 2010 года



Рис 1.2.3 Рекордные температуры воздуха в 2010 году.

Табл. 1.2.2 Рекорды температуры воздуха в течение 2010 года и за все время наблю-

		,
Дата	Максимал	Значение
рекорла	ьное значение	предыдущего
рекерда	температуры	рекорда
12-июн-10	31,5	30,7
25-июн-10	33,1	32,7
26-июн-10	33,6	31,6
27-июн-10	31,7	31,6
16-июл-10	34,3	32,8
17-июл-10	35,2	33,7
22-июл-10	35,5	34,6
23-июл-10	36,6	32,8
24-июл-10	37	34,2
25-июл-10	36,8	34,3
26-июл-10	37,6	33,5
27-июл-10	36	34,8
28-июл-10	37,5	34,3
29-июл-10	38,1	34,2
02-авг-10	38	36,7
03-авг-10	35,6	34,7
04-авг-10	37	34
05-авг-10	37,4	32,7
06-авг-10	37,8	35,4
08-авг-10	36	33,3
09-авг-10	36,2	32,3
10-авг-10	35,1	33,9
10-ноя-10	14,0	12,6
11-ноя-10	14,0	12,6
15-ноя -10	13,0	11,7
16-ноя-10	11,7	10,2

дений в МО МГУ и ТСХА (до 1954 года)

Таким образом, теперь максимальная температура, когда-либо наблюдавшаяся на площадке Метеорологической Обсерватории МГУ составляет +38,1 градуса. И самый теплый месяц по климатическим параметрам – июль.

И.как видно на рис. 1.2.4 из 20 самых жарких дней (согласно среднесуточным значениям) за период с 1954 по 2010 гг. 15 наблюдались прошедшим летом.



Рис 1.2.4. Рекордные среднесуточные значения температуры воздуха 1954-2010гг. Темные столбцы – рекордные значения в 2010 году, серые – в предшествующие годы.

Из приведенного рисунка хорошо заметно, что наиболее высокие среднесуточные значения температуры в 2010 году колеблются в интервале от +28 до +31,5 градуса. По климатическим же нормам, самая высокая среднесуточная температура наблюдается 13 июля, и составляет +19,4 градуса.

1.3 Температура почвы

Температура поверхности почвы в 2010 году изменялась по схожему с температурой воздуха сценарию, что, впрочем, физически абсолютно справедливо. После относительно холодной зимы, когда температура поверхности в отдельные (январь) месяцы так и не поднималась выше нулевой отметки, относительно сухая и теплая весна существенно повлияли на установление исключительных в климатическом плане температур в летний период. Небывалая продолжительность экстремально жаркого и засушливого периода привела к повышению температуры поверхности почвы до рекордных значений. Затем, согласно законам Фурье тепловые волны проникли вглубь земной толщи и рекорды температуры последовательно наблюдались на всех нижележащих горизонтах.



РРис 1.3.1. Среднемесячная температура поверхности почвы в 2010 году (сравнение с нормой).

тическая норма за период 1961-2000 г.													
	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII	Год
Абсолютный максимум,	-6	4	8	32	49	54	62	58	37	20	13	1	62
T 00 2 010													

Таблица 1.3.1 Среднемесячная температура поверхности почвы в 2010 году и клима-

Абсолютный максимум, Т, °С 2010	-6	4	8	32	49	54	62	58	37	20	13	1	62
Абсолютный минимум, Т, °С 2010	-35	-28	-22	-3	5	6	11	2	-3	-5	-18	-22	-35
температура почвы на глуби- не 80 см Т, °С 2010 год	-18	-10	-4	9	20	23	33	24	12	3	2	-8	7,2
климатическая норма T, °C 1961-2000	-10,2	-9,1	-3,5	6,3	16,1	20,7	21,6	19,0	11,9	4,5	-1,8	-6,7	5,7

На рис. 1.3.1 видно, что наибольшая положительная аномалия наблюдалась в июле и составила 11,4 градуса, что является абсолютным максимумом. Кроме того, за счет аномально теплой первой половины ноября среднемесячная температура оказалась (как и температура воздуха) положительной, в то время, как этот месяц уже относится к холодному периоду. В начале года – в январе температура поверхности снега, напротив, была на 8 градусов ниже нормы.

Среднегодовое значение (+7,2С) оказалось выше климатического (+5,7С), что сопоставимо с аналогичными значениями для температуры воздуха. В нижеследующих таблицах 1.3.2-1.3.8 приведены данные сравнения средней, минимальной и максимальной температуры на каждой из стандартных глубин (0,2 м;0,4 м; 0,6 м; 0,8 м; 1,2 м; 1,8 м; 2,4 м и 3,2 м) с климатической нормой.

	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VII	IX	X	XI	XII	Год
								Ι					
Абсолютный максимум, T, °C 2010	0,6	0,5	2,6	9,8	17,7	21,0	26,4	26,0	16,1	10,5	8,3	0,7	26,4
Абсолютный минимум, Т, °С 2010	0,2	0,2	0,4	2,2	9,0	13,9	18,3	14,0	10,1	4,0	0,7	-2,1	-2,1
температура почвы на глу- бине 20 см Т, °С 2010 год	0,5	0,3	0,7	7,0	14,3	16,7	22,9	21,5	13,6	6,5	5,1	-0,7	9,0
климатическая норма T, °C 1961- 2000	0,2	0,2	0,4	4,4	11,2	15,8	17,5	16,5	12,4	7,3	2,6	0,6	7,4

Таблица 1.3.2 Среднемесячная температура на глубине 20 см в 2010 году

	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Абсолютный максимум, Т, °С 2010	1,4	0,9	1,6	8,1	15,2	17,8	25,7	22,9	16,0	12,1	7,5	2,9	25,7
Абсолютный минимум, Т, °С 2010	0,8	0,7	0,8	1,9	8,1	14,1	17,7	16,0	12,1	5,6	2,9	0,7	0,7
температура почвы на глуби- не 40 см Т, ℃ 2010 год	1,2	0,8	0,9	6,1	12,8	15,7	20,8	20,9	14,3	7,9	5,9	1,0	9,0
климатическая норма Т, °С 1961-2000	1,0	0,8	0,9	3,9	10,0	14,4	16,4	16,1	12,7	8,1	3,7	1,6	7,5

Таблица 1.3.3. Среднемесячная температура на глубине 40 см в 2010 году

Таблица 1.3.4 Среднемесячная температура на глубине 60 см в 2010 году

	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Абсолютный максимум, Т, °С 2010	2,2	1,6	1,7	7,4	13,8	16,3	21,0	21,3	15,7	12,4	7,8	4,1	21,3
Абсолютный минимум, Т, °С 2010	1,6	1,4	1,3	2,1	7,6	13,3	16,5	16,5	12,9	6,5	4,4	1,6	1,3
температура почвы на глуби- не 60 см Т, °С 2010 год	1,9	1,5	1,5	5,7	11,7	14,7	19,1	20,0	14,3	8,8	6,7	2,0	9,0
климатическая норма Т, °С 1961-2000	1,3	1,0	1,0	3,4	8,8	13,6	15,8	15,6	12,9	8,8	4,9	2,3	7,4

	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII	Год
Абсолютный максимум, Т, °С 2010	2,7	2,0	1,8	6,6	12,5	15,1	19,8	20,1	16,4	12,8	7,7	5,1	20,1
Абсолютный минимум, Т, °С 2010	2,0	1,8	1,5	1,9	6,9	12,3	15,3	16,7	13,0	7,4	5,4	2,2	1,5
температура почвы на глуби- не 80 см Т, ℃ 2010 год	2,4	1,9	1,7	5,1	10,6	13,7	17,8	19,2	14,4	9,4	7,1	3,0	8,8
климатическая норма Т, °С 1961-2000	2,0	1,6	1,5	3,4	8,4	12,4	14,9	15,2	12,9	9,1	5,2	2,9	7,4

Таблица 1.3.5 Среднемесячная температура на глубине 80 см в 2010 году

Таблица 1.3.6 Среднемесячная температура на глубине 120 см в 2010 году.

	Ι	Π	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Абсолютный максимум, Т, °С 2010	3,8	2,9	2,5	5,9	10,8	13,3	17,5	18,3	16,3	12,9	8,3	6,5	18,3
Абсолютный минимум, Т, °С 2010	2,9	2,5	2,1	2,1	6,1	10,8	13,3	16,6	13,2	8,3	6,7	3,4	2,1
температура почвы на глуби- не 120 см Т, °С 2010 год	3,3	2,7	2,3	4,4	9,0	12,1	15,5	17,8	14,4	10,4	7,8	4,4	8,7
климатическая норма Т, °С 1961-2000	2,9	2,4	2,1	3,3	7,3	11,0	13,6	14,3	12,9	9,8	6,3	4,0	7,5

	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII	Год
Абсолютный максимум, Т, °С 2010	5,1	3,9	3,3	5,4	9,7	11,9	15,5	16,7	15,9	13,4	9,5	7,9	16,7
Абсолютный минимум, Т, °С 2010	3,9	3,3	2,8	2,7	5,5	9,7	12,0	15,7	13,4	9,6	8,0	4,9	2,7
температура почвы на глуби- не 180 см Т, °С 2010 год	4,4	3,6	3,1	4,1	7,8	10,9	13,8	16,4	14,5	11,5	8,9	6,1	8,7
климатическая норма Т, °С 1961-2000	4,0	3,3	2,9	3,3	6,3	9,5	12,0	13,2	12,6	10,4	7,6	5,3	7,5

Таблица 1.3.7 Среднемесячная температура на глубине 180 см в 2010 году

Таблица 1.3.8 Среднемесячная температура на глубине 240 см в 2010 году.

	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Абсолютный максимум, Т, °С 2010	6,7	5,4	4,6	5,3	8,0	10,1	12,9	14,6	14,5	13,1	10,6	9,0	14,6
Абсолютный минимум, Т, °С 2010	5,4	4,6	4,1	4,0	5,3	8,2	10,1	13,0	13,1	10,6	9,1	6,8	4,0
температура почвы на глуби- не 240 см Т, °С 2010 год	6,0	5,0	4,3	4,5	6,6	9,2	11,4	14,0	13,8	11,9	9,7	7,8	8,7
климатическая норма Т, °С 1961-2000	5,4	4,6	4,0	3,9	5,5	7,8	10,1	11,6	11,8	10,7	8,7	6,8	7,6

	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Абсолютный максимум, Т, °С 2010	7,6	6,5	5,7	5,4	7,0	8,8	10,9	12,7	12,8	12,5	11,0	9,7	12,8
Абсолютный минимум, 2010	6,4	5,7	5,0	4,8	5,4	7,1	8,8	11,0	12,5	11,2	9,7	8,0	4,8
температура почвы на глуби- не 320 см Т, ℃ 2010 год	7,0	6,0	5,3	5,0	6,0	8,0	9,8	11,9	12,7	11,9	10,3	8,9	8,6
климатическая норма Т, °С 1961-2000	6,4	5,6	5,0	4,6	5,3	6,9	8,8	10,3	10,9	10,5	9,2	7,7	7,6

Таблица 1.3.9 Среднемесячная температура на глубине 320 см в 2010 году, т. ес.

Даже при беглом анализе таблиц 1.3.2-1.3.9 легко заметить, что практически на всех глубинах среднемесячные температуры воздуха оказались выше климатических значений, а среднегодовая температура воздуха абсолютно на всех глубинах превысила норму на 1,0-1,6 градуса (см.табл 1.3.10).

Таблица 1.3.10 Разница между среднегодовой температурой и климатической нормой на различных глубинах.

Глубина слоя почвы, м	0,2	0,4	0,6	0,8	1,2	1,8	2,4	3,2
Разница между среднегодовой температурой и нормой Т, °C 1961-2000	1,6	1,5	1,6	1,4	1,2	1,2	1,1	1,0

При анализе более высокочастотной изменчивости отмечается большое количество рекордных значений, вызванных тепловой волной июня-августа 2010 года. Количество за-

регистрированных рекордных значений температуры почвы на разных глубинах приведенов сводной таблице 1.3.11

Таблица 1.3.11 Число дней с превышением прежних суточных рекордов в значениях температуры почвы на разных глубинах в 2010 году; в скобках – число с учётом повторений прежних рекордов.

Месяц	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Всего:
Наибольшее значение максимальной за сутки	4 (4)	10(11)	9 (9)				23(24)
температуры воздуха							
T _{max} , °C (1879-2009)							
Наибольшее значение	A(A)	15(16)	12(12)				31(32)
среднесуточной темпе-	- (-)	13(10)	12(12)				51(52)
ратуры воздуха							
T, °C (1966-2009)							
Наибольшее значение	1(1)	9 (9)	13(13)				23(23)
минимальной за сутки	1 (1))())	15(15)				23(23)
температуры воздуха							
T _{min} , °C (1966-2009)							
Наибольшее значение	0 (0)	22(22)	10(10)				32(32)
максимальной	0(0)	22(22)	10(10)				52(52)
за сутки температуры							
поверхности							
Т _{п (max)} , °С (1966-2009)							
Наибольшее значение	0 (0)	17(17)	10(10)				36(36)
максимальнойза сутки	0(0)	1/(1/)	19(19)				50(50)
температуры грунта на							
глубине 20 см под есте-							
ственным покровом T ₂₀							
(max), °C (1966-2009)							

Наибольшее значение							
срелней за сутки темпе-	0 (0)	19(20)	19(19)				38(39)
ратуры грунта на глу-							
бине 20 см под естест-							
венным покровом T ₂₀ ,							
°C (1966-2009)							
Наибольшее значение	1 (2)	22(24)	21(21)				45(47)
температуры грунта на	1 (2)	23(24)	21(21)				43(47)
глубине 60 см под есте-							
ственным покровом Т ₆₀ ,							
°C (1966-2009)							
Наибольшее значение	0(0)	20(20)	21(21)	O(1)			51(52)
температуры грунта на	0(0)	20(20)	51(51)	0(1)			51(52)
глубине 120 см под ес-							
тественным покровом							
T ₁₂₀ , °C (1966-2009)							
Наибольшее значение	10	21	21	20 (20)	14(10)	0 (0)	100
температуры грунта на	12	21	31	30 (30)	14 (18)	0(0)	108
глубине 240 см под ес-	(27)*	(27)*	(31)*				(133)
тественным покровом							
T ₂₄₀ , °C (1966-2009)							
Наибольшее значение	0 (15)	1((27)	21(21)	20 (20)	21 (21)	11 (22)	124 (170)
температуры грунта на	0(15)	16(27)	31(31)	30 (30)	31 (31)	11 (23)	134 (179)
глубине 320 см под ес-							
тественным покровом							
T ₃₂₀ , °C (1966-2009)							
	1	1					

Теперь подробнее о самих рекордах. Из наиболее заметных значений стоит отметить, что впервые на метеостанции МГУ температура поверхности почвы превысила отметку в +60 градусов.

Температура грунта на глубине 20 см [Локощенко, 2010] 46 раз (26 раз в июле и 20 раз в августе) превысила прежние рекорды для отдельных дней по данным наблюдений за период с 1977 по 2009 гг., впервые достигнув значения 25С 24 июля. Прежнее рекордно высокое за последние 33 года значение составляло 23,7 С. Температура на глубине 120 см 51 раз, 20 раз в июле и в течение всего августа, превышала наибольшие рекордные значения в прошлом (здесь и всюду далее – сравнение вновь с данными за период 1966-2009 гг.). Наибольшее значение этого параметра достигло в 2010 году 18,3 С, тогда как прежний рекорд на этой глубине составлял 16,9 С и был отмечен 27 августа 1972 года.

Температура на глубине 240 см превысила в 2010 году рекордно высокие значения 96 раз – 21 раз в июле, в течение всего августа и сентября, а также 14 раз в октябре. Наконец, на глубине 320 см в 2010 году было отмечено уже около 120 дней с суточными рекордами, что составляет почти треть календарного времени года: 16 дней в июле, все дни непрерывно в течение трёх последующих месяцев и даже несколько дней в ноябре. Таким образом, связанная с аномальной жарой летом 2010 года тепловая волна отмечалась на глубине 120 см вплоть до 1 сентября, на 240 см – вплоть до 15 октября, а на 320 см проявлялась даже во второй половине ноября.

1.4. Влажность воздуха

Относительная влажность воздуха является консервативной характеристикой в приземном слое атмосферы. Поэтому, с ее помощью довольно удобно судить о насыщенности влагой воздуха не только на уровне 2 метров, но и на более высоких уровнях, особенно в теплый период года. На рис. 1.4.1 видно, что во все месяцы относительная влажность в 2010 году была меньше климатических значений. Иначе говоря, в течение всего года воздух был суше, чем обычно. А в особенности – в экстремально сухом июле, когда влажность в отдельные дни понижалась до 17%. То есть над Московским регионом преобладали жаркие, но сухие воздушные массы. Это подтверждается и рис.1.4.2 Упругость водяного пара не показала значительных превышений по сравнению с прежними рекордными значениями – несмотря на аномально высокую температуру воздуха.



Рис.1.4.1 Сравнение среднемесячной относительной влажности воздуха в 2010 году с климатической нормой

Таблица 1.4.1 Среднемесячная относительная влажность воздуха в 2010 году и климатическая норма

	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VII	IX	X	XI	XII	Год
								Ι					
относительная влажность воздуха, % 2010 год	80	75	67	57	64	63	52	62	74	73	83	82	69
климатическая норма, % 1961-2000	82	78	72	65	60	69	72	77	80	85	84	84	74



Рис.1.4.2 Сравнение среднемесячной упругости водяного пара в 2010 году с климатической нормой.

Таблица 1.4.2 Среднемесячная упругость водяного пара в 2010 году и климатическая норма

	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VII	IX	Х	XI	XII	Год
								Ι					
Упругость водяного пара, гПа 2010 год	1,8	2,7	4,0	6,3	12,0	13,4	17,0	15,8	10,4	6,1	6,7	3,1	8,3
климатическая норма, гПа 1961-2000	3,1	3,1	4,1	6,2	9,0	12,5	14,4	13,5	10,2	7,2	4,9	3,6	7,7

Здесь, если проследить ход упругости водяного пара видно, что по этой характеристике в летний период повторяемость воздушных масс из более южных регионов была чаще обычной. Более наглядно это можно видеть при рассмотрении режима осадков в 2010 году.

1.5. Атмосферные осадки

Беспрецедентная синоптическая ситуация, наблюдавшаяся в летний период над ЕТР (установившийся блокирующий антициклон необычной интенсивности и длительности существования [Шакина и др. 2010]., не могла не сказаться на режиме увлажнения.



Рис.1.5.1 Сравнение месячных сумм осадков в 2010 году с климатической нормой

	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VII	IX	X	XI	XII	Год
								Ι					
Месячная сумма осадков,мм 2010 год	17	68	19	32	64	65	7	69	66	43	70	87	607
климатичес кая норма,мм 1961-1990	43	36	35	44	50	77	91	78	62	57	56	55	684

Таблица 1.5.1 Месячные суммы осадков в 2010 году и климатическая норма

Из этого показательного графика и таблицы 1.5.1 видно, что режим увлажнения в отчетном году был чрезвычайно неравномерным. В летние и весенние (за исключением мая и августа) месяцы режим был засушливым, а, к примеру, в феврале, сумма осадков вдвое превысила норму, в ноябре и декабре была заметно выше климатических значений. В итоге, год оказался на 11% суше, нежели положено по норме. Но самое знаменательное в режиме увлажнения случилось в июле месяце.



Рис.1.5.2 Рекордные засухи в июле по данным метеорологической обсерватории МГУ

Так, прошедший июль стал самым засушливым за всю историю метеонаблюдений. Никогда ранее за весь месяц не выпадало менее 7ми мм осадков. Значения предыдущих засушливых рекордов (см. рис. 1.5.2.) в 1,5-3 раза выше. За более чем столетнюю историю метеорологических наблюдений меньшая величина месячной суммы осадков наблюдалась лишь один раз – и составила 1 мм. Но это было в августе 1938 года.

Исходя из изложенных в главе 1 результатов метеорологических наблюдений, метеорологический режим 2010 года можно охарактеризовать следующим образом:

 Среднегодовая температура воздуха превысила норму на 1,8 градуса, причем в осносном за счет теплого периода года. В отдельные месяцы холодного периода (январь, декабрь) среднемесячная температура воздуха была ниже климатической нормы.

- Среднегодовая температура почвы на поверхности и на всех горизонтах от 20 до 320 см также была выше нормы.
- Летом 2010 года были отмечены рекордные аномально высокие максимальные, среднесуточные температуры воздуха, поверхности почвы и на различных глубинах почвенного покрова.
- 4. По режиму увлажнения 2010 год оказался заметно суше нормы количество осадков составило 607 мм при норме 684 мм, что на 11% ниже нормы.
- 5. В 2010 году был отмечен рекордно сухой июль за все время метеорологических наблюдений в Обсерватории МГУ (количество осадков составило 7 мм).
- Среднемесячная относительная влажность воздуха в каждом из месяцев оказалась ниже климатической нормы. Среднемесячная упругость водяного пара заметно превысила норму в теплый период года.

Литература:

Справочник эколого-климатических характеристик г.Москвы (по наблюдениям метеорологической обсерватории МГУ) Том 1 под редакцией А.А.Исаева М., изд-во МГУ, 2003.

М.А.Локощенко Данные наземных метеорологических наблюдений в Москве во время катастрофической жары 2010 года. Сб.тезисов Всероссийского совещания «Состояние воздушного бассейна г. Москвы в экстремальных погодных условиях лета 2010 г.»ИФА им. А.М.Обухова РАН, ноябрь 2010 стр. 8-9 <u>http://ifaran.ru/docs/abstracts.pdf</u>

Н. П. Шакина, А. Р. Иванова, Б. А. Бирман, Е. Н. Скриптунова Блокирование: условия лета 2010 г. в контексте современных знаний. Сб.тезисов Всероссийского совещания «Состояние воздушного бассейна г. Москвы в экстремальных погодных условиях лета 2010 г.»ИФА им. А.М.Обухова РАН, ноябрь 2010 стр. 6-7 <u>http://ifaran.ru/docs/abstracts.pdf</u>

2. Снежный покров и промерзание

М.А.Локощенко

2.1 Снежный покров

В холодном сезоне 2009-2010 гг. первые твёрдые осадки (мокрый ливневый снег) выпали 19 октября – немного позднее обычного (в среднем за период 1954-2003 гг. эта дата, по данным автора [Локощенко, 2005а], приходится на 8-е октября). Это первое выпадение произошло на фоне ещё устойчиво положительной температуры воздуха, так что снежный покров не образовался. Первое образование снежного покрова произошло 31 октября – также позднее обычного приблизительно на 10 дней, и установился он на трое суток. Всего снежный покров образовывался в конце 2009 года четыре раза, и лишь на четвёртый раз стал устойчивым. Образование устойчивого (постоянного) снежного покрова произошло вечером 5 декабря, и с этого дня снежный покров существовал в столице непрерывно. В среднем за полвека наблюдений в МГУ устойчивый снежный покров образуется 21-го ноября, так что все календарные даты, связанные с появлением осенью твёрдых осадков и установлением снежного покрова, наступили в этом сезоне позднее обычного.



Рис.2.1. Ход высоты снежного покрова в 2009-2010 гг. в сравнении со средними многолетними значениями по данным [Локощенко, 2005а].

В Таблице 2.1 приведены значения средней высоты снежного покрова за все дни холодного сезона, пока снежный покров существовал. Для большей наглядности в прослеживании динамики этого показателя приведён также рис.2.1 с графическим изображением высоты снежного покрова за каждый отдельный день (красные кружки). Здесь же для сравнения приведены средние значения высоты за полувековой период (1954-2003 гг.).

	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март
1		1		27	35	55
2		0		27	37	57
3				27	39	57
4				27	40	53
5				26	39	53
6			0	23	39	53
7		5	0	23	39	52
8			10	28	39	52
9			10	31	38	52
10			10	31	38	52
11			9	30	41	52
12			9	30	41	51
13			8	30	40	49
14			10	28	40	47
15			10	28	48	47
16		6	9	28	48	48
17		6	9	29	44	48
18		6	9	29	44	48
19		5	9	29	45	48
20		2	9	29	56	52
21		0	18	30	58	46
22			19	29	63	39
23			19	29	68	31
24			18	29	68	30
25			18	30	61	30
26			16	30	59	30
27			12	30	57	25
28			12	30	56	20
29			11	30		16
30			24	33		14
31	0	1	27	33		0

Таблица 2.1. Высота снежного покрова в Москве в отдельные дни, сезон 2009-2010 гг.

Как видно из таблицы и рисунка, вплоть до начала декабря высота снежного покрова заметно отставала от обычных значений. Лишь с началом второй декады декабря она устойчиво приблизилась к уровню средних оценок и оставалась очень близкой к ним вплоть до конца января. В целом рост высоты в это время происходил с обычной скоростью, хотя и немонотонно, перемежаясь с кратковременными периодами её уменьшения при оттепелях – например, с 23 по 29 декабря. Наконец, к концу января высота снежного покрова достигла 30 см, то есть вполне обычных для этого времени значений. Однако затем, вместо замедления роста высоты, рост этот неожиданно ускорился вследствие обильных осадков, выпавших в феврале (67,6 мм при норме для этого месяца 37 м). Именно в феврале, таким образом, произошло резкое отклонение высоты снежного покрова от средних многолетних значений в сторону её увеличения. Так, с 19-го по 23-е февраля, то есть в течение всего четырёх дней, средняя по данным трёх станционных снегомерных реек высота возросла более чем на 20 см, достигнув 68 см и вплотную приблизившись к рекордной величине. Это значение было отмечено дважды подряд: 23-го и 24-го февраля. Примечательно, что дата достижения наибольшей высоты почти совпала со средней многолетней (Таблица 2-2). Заметим, что абсолютный рекорд средней высоты снежного покрова по станции МГУ составляет за весь период наблюдений 72 см, и был отмечен трижды: в 1969-70, 1993-94 и 2000-01 гг. Таким образом, максимальное значение средней высоты (68 см) в сезоне 2009-2010 гг. оказалось лишь немногим ниже максимума-максиморума за полвека.

Что касается наибольших значений по отдельным рейкам, то рекордный разовый отсчёт высоты снежного покрова за всю историю существования Метеорологической обсерватории МГУ составляет 74 см. В сезоне же 2009-2010 гг. наибольший единичный отсчёт по отдельным трём рейкам составил 69 см, то есть, как и значение средней высоты, оказался немногим меньше рекордного. Однако четвёртая дополнительная рейка у термометров показала в те же дни – 23 и 24 февраля – отсчёт 75 см. Никаких указаний на сугроб рядом с этой рейкой в наблюдениях нет, а случайная ошибка с учётом совпадения результатов измерений разными наблюдателями в соседние дни практически исключена. Поэтому мы вправе принять значение 75 см в качестве нового станционного рекорда единичного отсчёта наибольшей высоты снежного покрова.

33

Таблица 2.2. Календарные даты динамики снежного покрова в МО МГУ в холодном сезоне 2009-2010 гг. и в конце 2010 г. в сравнении со средними значениями за период 1954-2003 гг. [Локощенко, 2005а].

	Первое	Появле-	Образова-	Исчезнове-	Достиже-	Появле-	Разруше-	Послед-	Послед-
	выпаде-	ние пер-	ние устой-	ние послед-	ние наи-	ние пер-	ние устой-	нее зале-	нее вы-
	ние твёр-	вого	чивого	них прота-	большей	вых про-	чивого	гание	падение
	дых	снежного	снежного	лин	высоты	талин	снежного	снежного	твёрдых
	осадков	покрова	покрова				покрова	покрова	осадков
Сред-	8 / X	22 / X	21 / XI	6 / XII	22 / II	25 / III	8 / IV	17 / IV	28 / IV
няя									
дата									
Самая	13 / XI	14 / XI	28 / XII	30 / I	5 / IV	15 / IV	24 / IV	20 / V	24 / V
позд-									
няя									
дата									
Самая	17 / IX	22 / IX	22 / X	30 / X	17 / X	13 / II	15 / III	29 / III	24 / III
ранняя									
дата									
Дата в	19/X	31/X	5/XII	5/XII	23-24/II	30/III	3/IV	3/IV	25/IV
2009-									
2010 гг.									
Дата в	12/X	29/X	27/XI	28/XI					
конце									
2010 г.									
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Достигнув к концу зимы столь большой высоты, снежный покров, казалось, имел все основания просуществовать рекордно долгое время. Однако очень тёплый март привёл к неожиданно быстрому его сходу. В течение третьей декады марта высота снежного покрова уменьшалась рекордно быстрыми темпами: с 52 до 0 см, то есть в среднем на целых 5 см в день. Уже 31 марта был произведён последний в сезоне, нулевой отсчёт высоты. В продолжение последующих трёх дней остатки снежного покрова быстро исчезали. Утром третьего апреля покрытие снегом составило всего лишь один балл в окрестностях станции, а четвёртого числа снега уже не было. Устойчивый снежный покров явился последним залеганием в сезоне; больше он на поверхности уже не образовывался, несмотря на довольно обильный последний снегопад 25 апреля. Как видим, если календарные даты, связанные с

образованием снежного покрова осенью, наступали с опозданием, то сход его весной произошёл с опережением по сравнению с обычной датой приблизительно на пять дней.



Рис.2.2. Ход высоты снежного покрова и её накопленного прироста в 2009-2010 гг.

Помимо обычных и традиционных измерений высоты снежного покрова, в сезоне 2009-2010 гг. в МГУ по специальной просьбе Гидрометеорологического бюро г. Москвы впервые были осуществлены регулярные измерения накопленного прироста высоты. Такие измерения производились дважды в сутки сразу после очередного снегопада. На рис.2-2 приведён ход этой высоты в сравнении с рассмотренной уже высотой снежного покрова. Как видно, к концу холодного сезона, после последнего снегопада при устойчивом снежном покрове 24 марта, накопленный прирост его высоты составил 147 см. Сравнение этого показателя на рис.2-2 с рассмотренной выше реальной высотой наглядно показывает, до каких огромных значений снежный покров гипотетически мог бы вырасти. В действительности, разумеется, он неизбежно оседает в течение зимы в результате оттепелей и под действием ветрового уплотнения. Поскольку наблюдения эти для Обсерватории новые и полученный результат первый, сравнить его в нашем архиве пока не с чем. Однако уже сейчас очевидна очень большая величина накопленного прироста в условиях исключительно снежной зимы. Заметим, что наблюдения эти начались 7 декабря, то есть не в самом начале холодного сезона, так что, с учётом первых непродолжительных залеганий, общий накопленный прирост высоты снежного покрова, вероятно, достигает 150 см.

В следующем холодном сезоне первое выпадение твёрдых осадков (мокрого ливневого снега) произошло 12 октября. Первое непродолжительное залегание снежного покрова, в течение всего лишь нескольких часов, было отмечено в наблюдениях днём 29 октября. Затем, после трёхнедельного перерыва, снежный покров образовался вторично лишь поздним вечером 20 ноября и продержался уже четверо суток. Наконец, третье по счёту залегание осенью 2010 года ознаменовало собой появление устойчивого снежного покрова. Образовался он 27 ноября, а на следующий день, 28-го числа, окончательно стал сплошным. К концу 2010 года средняя высота снежного покрова достигла 29 см, а наибольший отсчёт по отдельной рейке достиг 31 см.

2.2. Промерзание почвы

Промерзание грунта измеряется в Метеорологической обсерватории пятью мерзлотомерами: тремя приборами системы Ратомского (МР) и двумя – системы Данилина (в сезоне 2009-2010 гг. использовались АМ-21-1/II и МД-50). Три мерзлотомера (два МР и один новый АМ-21-1/II с прозрачной полихлорвиниловой трубкой) были установлены перед началом холодного сезона на специальном оголённом участке площадью 12 × 20 м, ещё два (третий МР и один МД-50 с резиновой трубкой старого образца) – на участке под естественным покровом. Обе группы мерзлотомеров на обоих участках находятся в непосредственной близи от реечных помостов двух линий вытяжных почвенно-глубинных термометров. Опорными в наблюдениях Обсерватории традиционно считаются мерзлотомеры системы Ратомского, показывающие действительную глубину промерзания влажного столба глины с учётом реальной солёности почвенных вод. Следует учитывать, что показания мерзлотомеров системы Данилина отражают, по сути, не промерзание как таковое, а глу-
бину нахождения нулевой изотермы. Столь подробных синхронных наблюдений за промерзанием с помощью разных приборов не производится больше нигде в Москве и даже, вероятно, нигде во всей России.

На рис.2.3 показан ход глубины промерзания трёх мерзлотомеров на оголённом участке в течение холодного сезона 2009-2010 гг. Синими ромбами показана глубина промерзания и оттаивания по данным первого (опорного) прибора MP; сиреневыми треугольниками – по данным второго (запасного) MP; красными кружками – по данным третьего мерзлотомера AM-21-1/II. Как видно, качественный ход изменений обеих глубин во времени весьма сходен по данным всех трёх приборов. В среднем за все дни одновременных измерений в сезоне 2009-2010 гг. средняя разность значений глубины промерзания на втором и первом мерзлотомерах одной и той же системы составила лишь +1,5 см. Что же касается сравнений показаний приборов Ратомского и Данилина, то последний в среднем показывает немного большие значения. Средняя разность первого и третьего мерзлотомеров составила –11,6 см, а второго и третьего: –10,1 см. Это, впрочем, вполне ожидаемо, поскольку, начиная с некоторой глубины, температура грунта лишь немногим менее нуля и почвенные воды не замерзают (в отличие от дистиллированной воды в трубке AM-21-1/II).

Впервые в холодном сезоне 2009-2010 гг. промерзание на оголённом участке было отмечено мерзлотомером Данилина 31 октября, что вполне логично, поскольку именно в этот день температура поверхности почвы впервые в сезоне оказалась отрицательной во все сроки измерений. Мерзлотомеры же Ратомского впервые показали промерзание 5-6 ноября (с разницей в одни сутки двумя приборами MP: № 1 и № 2). Однако уже на следующий день промерзание на обоих этих мерзлотомерах исчезло; по данным же прибора AM-21-1/II № 3 спустя несколько дней, в тонком приповерхностном слое толщиной 2 см началось оттаивание, а 9-го ноября, с усилением очередного потепления, промерзание полностью исчезло и там. Заметим, что за дату исчезновения промерзания принимается первый день, когда промерзание не отмечено. На участке же под естественным покровом первый и единственный отсчёт промерзания в эти дни был отмечен по данным прибора MД-50 № 7 только 6-го ноября: 3 см.

37



Рис.2.3. Ход изменений глубин промерзания и оттаивания грунта в 2009-2010 гг. в МГУ по данным всех трёх приборов на оголённом участке.

Таким образом, данные наблюдений по мерзлотомерам обеих систем не тождественны друг другу и отражают разные физические процессы.

Второе по счёту в сезоне промерзание оказалось уже устойчивым; оно было впервые отмечено при резком похолодании 6-го декабря одновременно четырьмя из пяти приборов на обоих участках: мерзлотомерами №№ 1, 2, 3 и 7. Последний мерзлотомер на участке под естественным покровом (№ 6) впервые показал промерзание днём позже, 7-го декабря. Затем, в течение большей части декабря, наблюдалась очень морозная погода с температурами вплоть до –25 °C. В этих условиях глубина промерзания очень быстро и монотонно увеличивалась с высотой: приблизительно на 3-4 см в день. Примечательно, что с 23 декабря началась оттепель, продлившаяся до 28 декабря. Наибольшей силы эта оттепель достигла 26 и 27 числа, когда среднесуточная температура воздуха оказалась выше +1 °C, а

27-го декабря даже наименьшая температура воздуха была положительной. В динамике глубины промерзания на рис.2-3 отчётливо виден отклик на потепление в виде её временного уменьшения по данным всех трёх приборов, начавшегося 25/ХІІ на MP (\mathbb{N} 2), 27/ХІІ на MP (\mathbb{N} 1) и 28/ХІІ на AM-21-1/ІІ (\mathbb{N} 3). Затем, с началом нового похолодания, устойчивый рост глубины промерзания возобновился: 1-го января по данным приборов \mathbb{N} 1 и 2, а 3-го января – и по данным прибора \mathbb{N} 3. Как видно, показаниям мерзлотомера системы Данилина подчас присуща несколько большая инерция по сравнению с мерзлотомерами системы Ратомского.

Наибольшая глубина промерзания по данным опорного мерзлотомера № 1 составила 140 см и была достигнута 25 февраля; по данным же мерзлотомера № 2 предельный отсчёт глубины 145 см (нижняя граница диапазона измерений этого прибора) отмечался в течение восьми дней подряд – с 26 февраля по 5 марта. Возможно, что реальная глубина в эти дни была даже больше, но, с учётом медленной скорости её роста к этому времени – ненамного (вряд ли она превысила значение 150 см). Однако, несмотря на идентичность обоих приборов МР, опорными в архиве традиционно считаются данные первого мерзлотомера. По данным мерзлотомера Данилина № 3, предельный отсчёт глубины промерзания 150 см (наибольшее измеряемое по этому прибору значение) отмечался с небольшим перерывом в течение целых двух недель с 24 февраля по 8 марта. Таким образом, реальная глубина промерзания могла здесь также быть больше. Однако с учётом уже медленного её роста, вряд ли она превысила 160 см. Во всяком случае, глубина промерзания в сезоне 2009-2010 гг., хотя и оказалось на редкость большой, тем не менее, довольно далека от рекордно высокого значения 195 см, отмеченного в 1956 году.

Начавшаяся 24 февраля кратковременная оттепель (продлившаяся лишь четыре дня) нашла своё отражение в появившемся на оголённом участке впервые после ноября оттаявшем слое по данным мерзлотомера № 3. Устойчивое же оттаивание на этом участке началось 11 марта по данным мерзлотомера № 3 и 12 марта – по данным опорного мерзлотомера № 1. На дополнительном приборе № 2 оттаивание было впервые зафиксировано лишь 26 марта и сразу толщиной в 12 см, так что здесь довольно вероятен случайный пропуск начала оттаивания в предыдущие дни. Затем, на склоне холодного сезона, как и в большинстве других лет, происходило вполне закономерное сужение слоя грунта, охваченного промерзанием, и его постепенное выклинивание ото дня ко дню – в условиях уже вполне устойчивых положительных температур воздуха и поверхности почвы. Окончательно промерзание исчезло на опорном мерзлотомере № 1 20-го апреля. Накануне промерзание было отмечено в последний раз в слое толщиной всего лишь шесть см. На дополнительном мерзлотомере № 2 исчезновение промерзания произошло 17-го апреля, а по данным прибора AM-21 (№ 3) – 28 апреля. Завершая разговор о промерзании на оголённом участке, стоит отметить, что во время кратковременного похолодания на фоне уже тёплой погоды 23-го марта по мерзлотомеру № 3 было отмечено два слоя с промерзанием один под другим. Поскольку непосредственно перед сроком измерений температура поверхности вновь поднялась до +1,5 °C, то удалось проследить сразу четыре границы одновременно: оттаивание в пределах верхнего приповерхностного слоя толщиной 5 см, промерзание в слое от 5 до 8 см, устойчивое оттаивание в слое от 8 до 10 см и, наконец, самую нижнюю границу слоя с устойчивым промерзанием на глубине 147 см. Заметим, что столь подробные наблюдения за промерзанием встречаются в практике довольно редко.

Что касается участка под естественным покровом, то наблюдения за промерзание на нём в сезоне 2009-2010 гг. оказались неполными и отрывочными вследствие поломок обоих мерзлотомеров – отрыва и падения в скважину опорного МР № 6, а также течи в старом приборе МД-50 № 7 (заменённом вскоре на новый АМ-21-1/II). Впервые промерзание здесь, как уже сказано выше, было отмечено 6-го ноября мерзлотомером № 7, но исчезло уже на следующий день (рис.2-4).



Рис.2.4. Ход изменений глубины промерзания грунта в 2009-2010 гг. в МГУ по данным обоих приборов на участке под естественным покровом.

Устойчивое промерзание началось здесь 6-7 декабря. Несмотря на отсутствие записей о промерзании по данным опорного прибора MP № 6 в течение последующих четырёх дней, причин для его исчезновения в период с 8 по 11 декабря с учётом погодных условий не было. Поэтому можно считать, что первый отсчёт 7/XI знаменует собой начало уже устойчивого промерзания на участке под естественным покровом. Начиная же с 12 декабря, промерзание отмечалось здесь непрерывно вплоть до 16 февраля. Заметим, что этому способствовала не только морозная погода, но и весьма тонкий снежный покров, высота которого вплоть до конца декабря не достигала даже 20 см. Показательно уменьшение глубины промерзания по данным опорного прибора № 6 во время оттепели в конце декабря: с 17 см 23/XII до 2 см 26/XII. Дополнительный прибор № 7 большую часть времени не работал; введённый же снова в строй лишь 14 февраля, он показывал промерзание, по меньшей мере, вплоть до начала второй декады марта (хотя по данным опорного прибора № 6 промерзание после 16 февраля не отмечалось больше ни разу). Наибольшая глубина промерзания оказалась невелика: лишь 17 см (23 декабря) по данным опорного прибора № 6 и 14 см (25 декабря) по данным прибора № 7. Разумеется, столь небольшая глубина неудивительна с учётом исключительно мощного снежного покрова, являющегося действенным теплоизолятором. Этим же обстоятельством объясняется заметное смещение во времени – на целых два месяца – даты достижения здесь наибольшей глубины промерзания по сравнению с оголённым участком. Остаётся лишь добавить, что достоверных отсчётов оттаивания на участке под естественным покровом в этом сезоне не было отмечено ни разу ни по одному из двух приборов.

На рис.2-5 приведено сравнение глубин промерзания и оттаивания по данным опорного прибора № 1 на оголённом участке в 2009-2010 (синие ромбы, как и на рис.3-2) со средними данными об этих глубинах за 40 лет (зелёные кружки).

Как уже показано выше, зима 2009-2010 гг. выдалась необычно холодной, хотя рекордно низкие температуры воздуха не отмечались (наименьшая температура в течение всего сезона составила лишь –26 °C). Однако довольно сильные морозы с температурами в пределах от –10 до –20 °C оказались на редкость устойчивыми: на протяжении почти целых двух месяцев – с конца декабря до конца февраля – не случилось ни одной оттепели. В результате январь 2010 года со среднемесячной температурой –14,0 °C оказался самым холодным почти за целую четверть века после 1987 года.



Рис.2.5 – Сравнение глубин промерзания и оттаивания грунта в 2009-2010 гг. со средними многолетними значениями на оголённом участке по данным [Локощенко, 20056].

Следствием подобных условий явилось существенное превышение глубины промерзания в феврале и марте по сравнению со среднемноголетними значениями. В отличие от большинства последних лет, промерзание оказалось в этом сезоне столь же глубоким, как и в 1950-х гг., на заре существования Метеорологической обсерватории. Несмотря на то, что возникло оно в начале декабря позднее обычного, рост его с глубиной происходил вплоть до конца января значительно быстрее, нежели в иные годы. С другой стороны, и рост глубины нижней границы оттаявшего слоя в очень тёплом марте также оказался необычно быстрым. В результате дата окончания промерзания отнюдь не стала рекордно поздней, чего с учётом большой глубины можно было бы ожидать при холодной весне.

Обобщение рассмотренных выше показателей, связанных с промерзанием грунта в холодном сезоне 2009-2010 гг., приведено в Таблице 2.3.

Заметим, что в начале сентября 2010 г., перед началом нового холодного сезона, автор совместно со старшим наблюдателем В.В.Белопуховой произвёл поверку места нуля приборов на оголённом участке. Оказалось, что на опорном мерзлотомере № 1 невязка нулевая, на МР № 2 она составляет –3 см (утоплен в глубь почвы на 3 см), а на мерзлотомере АМ-21-1/II № 3 она равна +2 см (место нуля приподнято над поверхностью на 2 см). Столь малые невязки подтверждают надёжность наблюдений в сезоне 2009-2010 гг.

	Оголённы	ый участок	Участок под есте	ественным покровом
	Опорные дан-	Дополнительные	Опорные дан-	Дополнительные
	ные (МР)	данные (МД)	ные (МР)	данные (МД)
Дата начала промерзания:	6 / XI	31/ X		6 / XI
Дата начала устойчивого	6 /XII	6 / XII	7 / XII	6 / XII
промерзания:				
Дата достижения наи-	25 / II	24/II – 8/III	23 / XII	25 / XII
большей глубины:				
Наибольшая глубина:	140 (145)	>150	17	14
Дата начала оттаивания:		26 / II		
Дата начала устойчивого	12 / III	11 / III		
оттаивания:				
Дата исчезновения про-	20 / IV	28 / IV	17 / II	
мерзания:				

Таблица 2.3. Основные показатели промерзания грунта в МГУ в 2009-2010 гг.

Что же касается следующего холодного сезона 2010-2011 гг., то промерзание грунта началось в МГУ не позднее 29 ноября: именно в этот день, почти одновременно с установлением устойчивого снежного покрова, на обоих участках были впервые получены отсчёты глубины промерзания. Они составили сразу от 16 до 20 см на оголённом участке и 9 см на участке под естественным покровом. В этой связи следует заметить, что вплоть до вечера 26-го ноября температура поверхности почвы оставалась в основном положительной. Данное промерзание – вероятно, первое в сезоне – оказалось уже устойчивым, поскольку прослеживалось вплоть до конца календарного 2010 года и характеризовалось стабильным ростом глубины.

Литература:

Локощенко М.А. «Снежный покров и его современные изменения в Москве». М., Метеорология и гидрология, 2005а, № 6, стр.71-82.

Локощенко М.А. «Сезонное промерзание и оттаивание почвы» – раздел 13 в Справочнике эколого-климатических характеристик Москвы (по наблюдениям Метеорологической обсерватории МГУ), Том 2. Под редакцией А.А.Исаева. М., Географический факультет МГУ, 2005б, стр.261-273.

3. Ветровой режим атмосферы в слое воздуха до 500 м по данным содарных измерений.

Локощенко М.А.

3.1 – Введение и общие сведения о состоянии содарной аппаратуры.

В 2010 году удалось успешно продолжить акустическое зондирование атмосферы в МГУ с помощью нового доплеровского содара «MODOS» почти в непрерывном режиме, несмотря на отдельные поломки и частые самопроизвольные остановки содарной аппаратуры. За весь 2010 год (см. Таблицу 3.1) содар «MODOS» работал 324 полных или неполных дней, что составило 89 % всего календарного времени года, в том числе 240 дней – без значительных перерывов (во всяком случае, не дольше одного часа). Первое число (324) означает все дни, когда в течение хотя бы одного часа были данные о ветре. Второе число (240) означает условно непрерывные данные. В большинстве случаев это, действительно, дни с непрерывным зондированием. К их числу дополнительно отнесены также и отдельные дни, когда пропущенным в измерениях ветра оказался лишь один или несколько подряд десятиминутных интервалов времени (не более шести, то есть перерыв в зондировании длился не дольше одного часа). Практически все эти случаи были связаны либо с быстро замеченными самопроизвольными остановками содарной аппаратуры и вовремя произведённым её перезапуском, либо с кратковременным выключением электропитания в Метеорологической обсерватории.

Таблица 3.1. Продолжительность содарных измерений в 2010 г. (первые числа означают число дней в течение каждого месяца, охваченных акустическим зондированием полностью или частично; вторые числа в скобках – число дней только с непрерывным акустическим зондированием).

Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Всего:
31	27	30	30	21	27	25	31	30	26	24	22	324
(28)	(18)	(24)	(25)	(18)	(23)	(10)	(24)	(25)	(15)	(13)	(17)	(240)

Таким образом, в 2010 году лишь 41 день оказался полностью пропущен для содарных измерений ветрового режима. Следует заметить, что доля календарного времени, в течение которого содар «MODOS» работал (около 90 %) остаётся неизменной в течение уже нескольких последних лет. Как видно из Таблицы 3.1, наиболее полно содарными данными оказались охвачены январь, апрель, август и сентябрь. В течение этих четырёх месяцев для содарных измерений не был пропущен, полностью или частично, ни один из дней.

В то же время все предпринятые в отчётном году попытки возобновить зондирование с помощью старого вертикального содара «ЭХО-1» производства ГДР не увенчались успехом: к сожалению, этот содар не работает с марта 2009 года.

Что касается качества содарных данных о ветре, то оно было в 2010 году высоким, а высотный диапазон этих данных – вполне удовлетворительным, как и в предыдущие годы (кроме нескольких месяцев 2007 года, когда временно использовался источник бесперебойного питания, создававший, как оказалось, существенные помехи в содарных данных). В среднем, на примере данных весны и лета 2010 г., реальные содарные данные о ветре в каждом отдельном слое воздуха с шагом 20 м по высоте от 40 м (поверх «мёртвой зоны») и вплоть до 120 м были получены в девяносто девяти сотых долях общего календарного времени. Это означает, с одной стороны, что в приземном слое воздуха, а также в нижней части слоя Экмана над Москвой почти всегда существует развитая термическая турбулентность в инерционном интервале турбулентного спектра, достаточно интенсивная для образования эхо-сигнала, хорошо различимого приёмником содара на фоне внешних шумов. С другой же стороны, столь высокая доля реальных измерений свидетельствует об исправности и хорошем техническом состоянии содарной аппаратуры – как набора излучателей, так и приёмного устройства (разумеется, когда содар работает).

Выше уровня 120 м обеспеченность содарными данными о ветре по отношению к общему времени зондирования начинает постепенно уменьшаться. Так, на уровне 140 м доля времени с реальными измерениями составляет 97 %, на 160 м – 93 %, а на уровне 200 м – 82 %. На уровне же 300 м эта доля сокращается уже до 40 %, что может при определённых условиях создать систематические отклонения в статистических оценках скорости ветра. Именно в силу данного соображения выводы о режиме ветра в нижнем 200-метровом слое воздуха по содарным данным наиболее надёжны.

46

3.2 – Средняя скорость ветра по содарным данным.

В Таблице 3.2 приведены средние и наибольшие значения скорости ветра по данным измерений доплеровским акустическим локатором (содаром) «MODOS» в среднем за каждые 10 минут в 2010 году. Данные о скорости ветра приведены применительно к слою воздуха от 40 до 100 или до 200 м. Как уже отмечено выше, хотя наибольший диапазон зондирования этого локатора составляет 500 м, именно нижний 200-метровый слой воздуха в наибольшей степени обеспечен реальными содарными данными о режиме ветра.

Слой:	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя скорость в слое 40-200 м:	4,3	5,4	6,0	4,4	5,3	5,1	4,0	4,5	4,8	5,6	6,0	5,1
Средняя скорость в слое 40-100 м:	3,3	4,3	4,6	3,4	4,2	3,9	3,2	3,5	3,5	4,3	4,6	4,1
Наибольшая ско- рость в слое 40-500	22,8	30,3	26,3	23,5	24,1	22,1	20,2	22,5	25,2	24,8	26,2	21,9

Таблица 3.2. Скорость ветра в МГУ в 2010 г. по содарным данным, м/с.

Красным цветом показано наибольшее значение в 2010 г.

На рисунке 3.1 и 3.2. приведён годовой ход средней скорости ветра в слое воздуха соответственно от 40 до 200 и от 40 до 100 м за весь шестилетний период содарных измерений этого показателя, включая и 2010 год (жёлтые треугольники) в сравнении с другими годами. Как видно, качественные особенности изменений скорости ветра от месяца к месяцу во все годы довольно сходны на обоих рисунках, поскольку степень согласия данных в соседних слоях высокая.



Рис.3.1. Годовой ход средней скорости ветра в МГУ в слое от 40 до 200 м.



Рис.3.2. Годовой ход средней скорости ветра в МГУ в слое от 40 до 100 м.

Для более наглядного сравнения результатов измерений в 2010 году (жёлтые треугольники) с данными за все годы наблюдений (голубые кружки) служит рис.3.3:



Рис.3.3. Годовой ход средней скорости ветра в МГУ в слое от 40 до 200 м в 2010 г. и в среднем за все годы наблюдений.

Доверительные интервалы для средних значений за каждый месяц года рассчитаны с уровнем значимости 5 %.

Как видно, минувший 2010-й год выдался на редкость тихим в режиме ветра. Лишь в трёх из двенадцати месяцев (в феврале, марте и мае) средняя скорость ветра была больше средних многолетних значений. Целых семь месяцев – январь, апрель, июль, август, сентябрь, октябрь и декабрь – оказались отмеченными очень тихой маловетреной погодой. Наконец, в июне и ноябре 2010 года средняя скорость ветра почти точно совпала со средним многолетним значением для этих месяцев. Интересно заметить, что среднемесячная скорость ветра в шести месяцах из двенадцати – в январе, марте, апреле, мае, августе и декабре – даже вышла за пределы доверительных интервалов средних многолетних значений с доверительной вероятностью 0,95, а ещё в двух месяцах – в июле и сентябре – оказалась очень близка к нижнему пределу доверительного интервала. Примечательно, что в шести из восьми отмеченных случаев речь идёт о статистической достоверности отклонений от средних именно в сторону меньших значений. Особенно сильно отличаются от многолет-

них значений условия очень тихого января 2010 года, когда среднемесячная скорость ветра составила лишь 4,3 м/с (в среднем же за несколько лет для этого месяца – 5,7 м/с). Неудивительно, что последний январь стал самым тихим за всю историю доплеровских содарных измерений в МГУ в этом месяце, начиная с 2005 года. Заметим также, что из всех зимних месяцев только один раз, в феврале 2006 года, среднемесячное значение скорости ветра оказалось ещё меньше – 3,9 м/с. Очень малой оказалась средняя скорость ветра и в холодном декабре: лишь 5,1 м/с в слое от 40 до 200 м.

Интересно также отдельно остановиться на особенностях погодных условий в январе 2010 года, частично уже рассмотренных автором в Разделе 2. Этот месяц был отмечен необычно длительными и устойчивыми морозы с температурой воздуха Т вплоть до -26 °C. Среднемесячная Т составила в январе -14,0 °С, что значительно (на 4,6 °С) ниже климатической нормы. Показательно, что в течение всего этого месяца в Москве не случилось ни единой оттепели, а наибольшая Т составила всего лишь -4,0 °C. Очевидно, что подобные погодные условия бывают, как правило, связаны с господством над Европейской Россией отрогов Сибирского максимума, определяющих ясную и преимущественно тихую морозную погоду. Примечательно в данной связи, что столь длительные морозы были связаны не только с адвекцией холода, но и с условиями радиационного выхолаживания за счет сравнительно малой величиной покрытия облаками и создаваемого ими противоизлучения длинноволновой радиации. Действительно, в январе 2010 г. средний балл покрытия облаками нижнего яруса составил в МГУ всего 4,5 (см. Раздел 4). В среднем же за период 1965-2009 гг. средний балл нижней облачности составляет здесь в январе 7,1, а в среднем за последнее десятилетие – даже 8,0. В результате средний за январь радиационный баланс подстилающей поверхности составил в МГУ –24 МДж/м² при средней величине за период 1999-2009 гг. лишь –15 МДж/м².

Отчасти данный вывод о значительной роли радиационного и теплового баланса в формировании температурного режима применим также и к условиям аномально жаркого июля и августа. Как видно на рис.3.3, в течение обоих этих месяцев средняя скорость ветра также была заметно меньше среднемноголетних значений. В июле она составила лишь 4,0 м/с – наименьшее среднемесячное значение в 2010 году. Июль 2010 года явился не только самым тихим месяцем в 2010 году, но и третьим по счёту в ряду самых маловетреных месяцев за всё время содарных наблюдений. Средняя скорость ветра в этом месяце оказалось

всего на одну десятую м/с больше, нежели в рекордно тихом феврале 2006 года и июле 2009 года. Разумеется, в июле 2010 года адвекция тепла в условиях длительного нахождения Москвы на западной периферии обширного и высокого блокирующего антициклона имела место и явилась одной из необходимых предпосылок аномальной жары. Однако крайне малая при этом скорость ветра даёт основание предположить также роль в этом катастрофическом погодном явлении радиационных факторов – прежде всего, продолжительности солнечного сияния и прихода суммарной радиации. Действительно, продолжительность солнечного сияния оказалась в 2010 г. рекордно высокой за всю историю измерений в МГУ: 396,4 ч при средней величине для июля за период 1961-1990 гг. лишь 271 ч. (см. Раздел 4). Столь высокое значение является очевидным следствием очень малого количества облаков. Действительно, средний балл покрытия облаками нижнего яруса составил в июле 2010 года лишь 2,3 при среднем значении для июля за период 1965-2009 гг. 4,9. В итоге приход суммарной радиации при высоком стоянии Солнца в середине лета оказался в июле 2010 г. рекордно высоким: 742 МДж/м² при средней величине за период 1961-1990 гг. лишь 582 МДж/м² (см. Раздел 5).

И сильная жара летом, и сильные морозы зимой очевидным образом связаны с ослаблением циклонической активности и преобладанием маловетреной антициклональной погоды. Таким образом, содарные данные о ветре в данных случаях косвенно подтверждают весьма существенную роль радиационного и теплового баланса в погодных условиях как аномально холодного января, так и аномально жаркого июля 2010 г.

	2006	2007	2008	2009	2010
Средняя скорость в слое 40-200 м:	5,1	5,4	5,5	5,0	5,0
Средняя скорость в слое 40-100 м:	4,0	4,1	4,3	3,9	3,9

Таблица 3.3. Среднегодовая скорость ветра в Москве по содарным данным в МГУ, м/с.

В итоге и весь 2010 год в целом оказался довольно тихим. Как видно из Таблицы 3.3, значения среднегодовой скорости ветра в 2009 и 2010 гг. оказались самыми малыми за пять последних лет.

3.3 – Наибольшая скорость ветра по содарным данным.

Отдельный интерес представляет рассмотрение рекордно высокой скорости ветра по содарным данным. Заметим, что скорости ветра свыше 30 м/с отмечаются в нижнем 500метровом слое исключительно редко – в среднем один раз в год. Как видно из Таблицы 3.2, самое большое значение скорости в среднем за 10 минут составило в 2010 году 30,3 м/с. Оно было отмечено в 09.50 12 февраля на самом верхнем уровне измерений 500 м и приведено на высотно-временной развёртке скорости ветра на рис.3-4.

Как видно, в эти часы над Москвой отмечался устойчивый юго-восточный ветер в нижнем 200-метровом слое, переходящий выше в южный в соответствии со вполне закономерным правым поворотом. Для понимания особенностей синоптической ситуации в эти часы рассмотрим синоптическую карту приземного анализа за 00 ч 12 февраля 2010 г. на рис.3.5:

Видно, что Москва утром в этот день находилась в зоне интенсивных градиентных потоков на периферии западного ядра Сибирского антициклона с центром над средним Поволжьем. Сходная ситуация прослеживается и на карте абсолютной барической топографии (здесь не приведена) на уровне 850 ГПа, где центр высокого давления с замкнутыми изогипсами также находится над средним Поволжьем.

Даже на уровне 500 гПа над средним Поволжьем прослеживается отчётливо выраженный высотный гребень, очевидно связанный с западным ядром Сибирского максимума. Заметим, что данный центр действия необычно сильно развит и распространён к западу значительно дальше обычного своего положения в другие годы. Исландская же депрессия и связанная с ней фронтальная активность, напротив, подавлена и оттеснена далеко на север, в район Норвежского моря. Необычным в данной ситуации с точки зрения ветрового режима является нахождение Москвы в зоне градиентных потоков на периферии не циклона, а антициклона, то есть в поле изобар (и изогипс на больших высотах) не циклональной, а антициклональной кривизны.



Рис.3.4 – Скорость ветра в МГУ по содарным данным утром 12 февраля 2010 г. в слое воздуха до 500 м.



Рис.3.5. Карта приземного анализа за 00 ч по Гринвичу (03 ч Московского времени) 12 февраля 2010 г. Москва помечена звёздочкой.

Как известно, значительные величины горизонтального барического градиента связаны обычно именно с циклоническими образованиями. Поэтому и наибольшие значения скорости ветра по содарным данным, как правило, отмечаются при нахождении места зондирования на периферии обширных и глубоких циклонов. Второй особенностью данного примера явилось отсутствие низкоуровневой струи в профиле ветра, которая часто служит дополнительной предпосылкой для достижения рекордно высоких значений скорости ветра. В данном же случае профиль скорости ветра являет собой монотонный её рост с высотой. Интересно также рассмотреть приведённую на рис.3.6 гистограмму распределения скорости ветра в этот очень ветреный день 12 февраля 2010 года.



Рис.3.6. Гистограмма средних за каждые 10 минут значений скорости ветра в слое воздуха от 40 до 500 м 12 февраля 2010 г. По горизонтали – скорость ветра, по вертикали – число значений.

Для сравнения ниже на рис.3.7 приведена также общая гистограмма всех измерений скорости ветра за весь 2010 год. Как видно, модальный интервал в целом за год составляет 4 м/с, тогда как 12 февраля он смещён в сторону значительно больших значений и составляет уже 8 м/с.

В целом за год число штилей (самый левый столбец на рис.3.7 – число значений со скоростью ветра менее 0,5 м/с) сравнительно мало. В дни же с очень большой скоростью ветра, как видно на рис.3.6, совершенно нет даже значений 1 м/с. Кроме того, смещение моды в сторону больших значений на рис.3.6 очевидным образом приводит к ослаблению положительной асимметрии распределения, которая в сводном распределении в целом за год выражена значительно сильнее.



Рис.3.7. Гистограмма средних за каждые 10 минут значений скорости ветра в слое воздуха от 40 до 500 м за 2010 год. По горизонтали – скорость ветра, по вертикали – число тысяч отдельных значений.

3.4 – Направление ветра.

На рис.3.8 приведены розы ветра за каждый месяц 2010 года, а на рис.3.9 – сводная роза ветров за весь 2010 год. Они рассчитаны в программном обеспечении содара «MOD-OS» по исходным данным с шагом 10° по кругу азимута и, попутно, характеризуют повторяемость различных диапазонов скорости ветра в каждом отдельно взятом направлении в виде концентрических окружностей разного радиуса с шагом по скорости 5 м/с.

Как видим, распределение скоростей ветра по направлениям характеризуется многообразием и значительной изменчивостью от месяца к месяцу. Кроме того, в целом оно заметно отличается в 2010 году от климатической зоны ветров (рис.3.10), характеризующейся в средних широтах одной выраженной модой, связанной с юго-западным направлением. Из всех месяцев лишь март и апрель, а также, с некоторой долей условности, август и ноябрь приблизительно соответствуют климатической розе ветров. Во всех остальных случаях в распределении направления ветра присутствуют, по меньшей мере, две моды: помимо обычной юго-западной – дополнительная мода с восточной составляющей. В некоторых же случаях восточная или, чаще, юго-восточная мода оказывается главной и даже единственной – например, в январе, феврале и июле.



а) Январь 2010 г. в слое 60-500 м;

б) Февраль 2010 г. в слое 60-500 м;

Необычно длительные и устойчивые морозы до −26 °С в течение всего января и февраля;среднемесячная Т в январе −14,0 °С.





в) Март 2010 г. в слое 40-500 м;

г) Апрель 2010 г. в слое 40-500 м;





д) Май 2010 г. в слое 40-500 м;

е) Июнь 2010 г. в слое 40-500 м;





з) Август 2010 г. в слое 40-500 м;

Аномальная катастрофическая жара с начала июля до середины августа с температурой воздуха до +38 °C.





и) Сентябрь 2010 г. в слое 40-500 м;





л) Ноябрь 2010 г. в слое 40-500 м;

м) Декабрь 2010 г. в слое 40-500 м.

Рис.3.8.Розы ветров над Москвой за каждый месяц 2010 г. по содарным данным в МГУ.



Рис.3.9 – Сводная роза ветров над Москвой по содарным данным в слое воздуха от 40 до 500 м за 2010 год.



Рис.3.10 – Сводная роза ветров над Москвой по содарным данным в слое воздуха от 40 до 500 м за 2004-2010 гг.

В этом наглядно проявляется особенность условий атмосферной циркуляции в 2010 году, связанная с аномально частыми меридиональными процессами и относительно ослабленным западным переносом. Так, в январе чаще всего отмечались юго-восточные, а в феврале – южные и юго-восточные ветры. Это вполне логично с учётом обычной конфигурации барического поля в случаях распространения на Европейскую часть России зимой отрогов Сибирского максимума – при этом естественно ожидать нахождения района столицы на западной или юго-западной периферии антициклона. При этом преобладание южных или юго-восточных ветров в общих розах ветров за первые два месяца года является вполне закономерным и ожидаемым, примером чему служит приведённый выше рис.3.5.

Принципиально сходная ситуация наблюдалась и в июле-августе, когда к востоку от Москвы, вместо обычной для летнего времени года термической депрессии, находился устойчивый и очень высокий блокирующий антициклон. Именно антициклональный характер погоды, а также вынос континентального тропического воздуха вдоль западной периферии этого антициклона обусловил необычно сильную и длительную жару, несмотря даже на сравнительно небольшие скорости ветра. Аномальная катастрофическая жара наблюдалась с начала июля до середины августа с температурой воздуха вплоть до +38,1 °C по станции МГУ. Среднемесячная T составила в июле +26,4 °C, в августе +22,2 °C. Эти значения превысили ныне действующую климатическую норму 1961-1990 гг. соответственно на 8,1 и на 5,5 °C для июля и августа. Следует заметить, что в период с 9-го июля до 18-го августа наименьшая T ни разу не опускалась ниже +18 °C – значения среднемесячной июльской температуры. Наибольшая же температура воздуха во все эти дни была больше +28 °C, а вплоть до 12-го августа – даже больше +30 °C.

Как видно на рис.2 ж), данный синоптический процесс – вынос исключительно жаркого тропического воздуха вдоль западной периферии блокирующего антициклона – проявился в розе ветров за июль в виде отчётливо выраженного максимума повторяемости, связанного с юго-восточными ветрами. Столь необычный вид розы ветров, особенно для летнего времени года, наглядно отражает аномальный характер погоды. Заметим, что в данных за август преобладающего направления, связанного с восточными или южными румбами, не проявилось, хотя период катастрофической жары закончился лишь 18 августа. Вероятно, в общей статистике за этот месяц возобладало проявление последующих синоп-

61

тических процессов во вторую половину месяца, связанных с восстановившимся западным переносом.

Необычно частые юго-восточные и восточные ветры проявились и в общей розе ветров за весь 2010 год на рис.3.9, что видно при её сравнении с розой ветров за весь шестилетний период содарных измерений в МГУ на рис.3.10.

Интересно также рассмотреть отдельно розу ветров только за период катастрофической жары – с 9-го июля по 18-е августа 2010 г. Данный расчёт приведён на рис.3.11.



Рис.3.11 – Роза ветров над Москвой по содарным данным в слое воздуха от 40 до 500 м в среднем за период катастрофической жары с 09 июля по 18 августа 2010 г.

Как видим, действительно, преобладание в целом за август западных потоков объясняется вкладом в общую выборку за месяц данных последней декады. В календарных рамках наиболее сильной жары летом 2010 года, как и в среднем за июль, преобладает юговосточное направление ветра.

Рассмотрим также структуру направления ветра в течение двух самых жарких дней прошедшего лета и, вместе с ним, последних 230 лет – 29 июля и 02 августа 2010 г., когда Т достигла по станции МГУ соответственно 38,1 и 38,0 °C. Отдельные розы ветров для этих дней приведены на рис.3.12. Как видно, они подтверждают сделанный выше вывод о

связи отчётливо выраженного максимума в повторяемости ветров юго-восточного направления и аномально жаркой погоды. Действительно, как в целом за период аномальной жары, так и в эти конкретные дни наиболее часто над Москвой отмечались юго-восточные или восточно-юго-восточные ветры, причём восточная составляющая в направлении ветра была выражена сильнее южной. Интересно также отметить, что день 29 июля оказался самым ветреным днём июля и первых двух декад августа в 2010 г. со среднесуточной скоростью ветра 7,1 м/с в слое воздуха от 40 до 200 м. Это подтверждает значительную роль усиления тёплой адвекции в достижении рекордно высокой температуры воздуха в этот день.



a) 29/VII 2010 г. ($T_{max} = +38,1 \text{ °C}$); 6) 02/VIII 2010 г. ($T_{max} = +38,0 \text{ °C}$).

Рис.3.12. Розы ветров над Москвой в слое воздуха 40-500 м по содарным данным в МГУ 29 июля (слева) и 02 августа (справа) 2010 г.

Таким образом, изменения в распределении направлений ветра в нижнем 500метровом слое воздуха тесно связаны с особенностями погодных явлений. Наличие ярко выраженной южной или юго-восточной моды в розе ветров зимой бывает связано с очень морозной, а летом – с очень жаркой погодой. Заметим также, что обычно наиболее частыми в Москве оказываются ветры средней силы со скоростями в диапазоне от 5 до 10 м/с. Однако в январе (рис.3.8 а) наибольшая повторяемость (синий и чёрный цвет в цветовой шкале повторяемостей на рис.2 а) была связана со слабыми ветрами от 0 до 5 м/с. Этот эффект проявился даже при расчёте в слое воздуха от 60 до 500 м, т.е. начиная со второго расчётного уровня. Очевидно, что при расчёте с учётом самого первого рассеивающего объёма поверх «мёртвой зоны» с серединой на уровне 40 м доля случаев штилей и крайне слабых ветров не более 5 м/с будет тем более высокой. В июле чаще всего отмечались ветры в двух градациях – как от 0 до 5 м/с, так и от 5 до 10 м/с (синий цвет в цветовой шкале). Однако в среднем за период наиболее сильной жары (рис.3.11) чаще всего, как и в январе, отмечались ветры в диапазоне от 1 до 5 м/с. Во все же остальные месяцы наиболее частыми были ветры со скоростями от 5 до 10 м/с, как и в среднем за весь многолетний период содарных наблюдений.

4. Особенности облачного покрова и продолжительности солнечного сияния

Е.В. Горбаренко

Информация о продолжительности солнечного сияния получена на основе записей гелиографа универсальной модели Кэмпбелла — Стокса. Анализ режима облачности представлен по ежечасным наблюдениям актинометрического отдела, проводимых в светлое время суток.

В 2010 году продолжительность солнечного сияния (ПСС) превысила норму на 15%, что составило 44.1 % от возможного ПСС. Всего было 89 дней в году без Солнца, это на 20 дней меньше, чем за период 1961-1990 гг. 2010 год - один из самых ясных за весь период наблюдений МО МГУ, но годовое значение ПСС не превысило абсолютный максимум 2002 года. В течение 8 месяцев года ПСС превышала норму (табл.4.1, рис.4.1). Существенно выше нормы ПСС в январе (на 128% выше нормы, 32 % от возможной суммы). В июле ПСС -396 час., это на 46% выше нормы и 76% от возможной ПСС. Июльское значение ПСС в 2010 году – абсолютный месячный максимум за период наблюдения 1955-2010 гг, оно превысило прежний максимум на 30 час . На 30% и 43% превышена норма ПСС в сентябре и октябре. Как и в 2009 году самым пасмурным месяцем года стал ноябрь, ПСС на 56% ниже нормы (6% от возможной суммы). Так же ниже нормы ПСС в феврале, мае и августе. В таблице 4.1 представлены средние месячные значения ПСС, балла облачности в 2010 году, за период 1961-1990 гг. (норма ВМО) и период 1999-2009гг (в этот период проводились актинометрические измерения по всему комплексу приборов). Экстремальные значения выбраны за период с начала наблюдений до 2009 года.



Рис.4.1. Годовой ход: а- продолжительности солнечного сияния; б - % от возможного

Месячные значения ПСС хорошо согласуются с баллом облачности. Восемь месяцев в 2010 году балл нижней облачности ниже нормы, общей 4 месяца (табл.4.1, рис.4.2). В целом за год балл общей и нижней облачности ниже нормы, прежде всего за счет продолжительной малооблачной погоды в июле. Малооблачная, антициклональная погода продолжалась практически весь месяц (рис.4.3), средний балл нижней облачности (2.3), балл общей облачности (5.1). Значения среднего месячного балла в июле как для общей, так и для нижней облачности существенного меньше нормы - это наименьшие значения балла облачности за весь период наблюдений. В ноябре балл общий облачности превысил максимальное значение за период наблюдения 1965-2009 г.

	I	Ш	Ш	IV	v	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII	Год
						ПС	С час.						
2010	75,3	61,7	160,8	230,1	255,7	286,1	396,4	193,4	171,6	111,7	14,9	25,9	1983,6
1961- 1990	33	72	128	170	265	279	271	238	147	78	32	18	1731
d%	128	-14	26	35	-4	3	46	-19	17	43	-53	44	15
1999-													
2009	25,5	59,4	148,2	210,9	288,8	290,1	304,9	245,9	181,5	75,0	30,9	16,9	1878,1
мин	7,6	22,7	65,9	92,4	123,3	159,9	191,7	130,6	57,3	18	7,9	0	1478,3
год	1966	1991	1976	1986	1980	2003	1993	1960	1990	1982	1976	1968	1980
мак	78	152,2	208,4	254,5	378,2	404,8	367	347,8	226,5	148,7	81,1	55	2125,5
год	1973	1969	1996	1965	2002	1999	2002	1955	1974	2005	1958	2002	2002
% от возможного													
2010	32	23	44	54	51	54	76	41	44	34	6	12	44,1
1961-	14	27	25	40	53	52	52	51	29	24	12	0	29
1990	14	21	35	40	33	33	52	31	50	24	13	0	50
Δ70 1000	10	-4	9	14	-2		24	-10	O	10	-7	4	0
2009	11	22	40	50	57	55	58	53	47	23	12	8	42
	балл общей облачности												
2010	7.8	8.6	8.0	8.1	7.8	7.5	5.1	7.0	8.6	7.6	9.9	9.1	7.9
1965-	,-	- , -	- , -	- /	,-		- /		- / -			-,	
2010	8,7	8,2	7,9	7,9	7,3	7,5	7,3	7,2	8,0	8,7	9,1	9,1	8,1
Δ%	-0,9	0,4	0,1	0,2	0,5	0,0	-2,2	-0,2	0,6	-1,1	0,8	0,0	-0,2
1999-		0.7											
2009	9,3	8,7	8,0	7,8	7,5	1,1	7,6	7,6	7,7	8,9	9,2	9,3	8,3
мин	6,2	4,7	5,6	5,3	5,5	4,9	5,2	4,8	6,5	7,2	7,4	7,3	7
год	1973	1969	1969	1965	1970	1999	1972	1996	1974	1987	1975	1985	1972
мак	9,9	9,7	9,3	9,4	9,2	8,9	8,8	8,8	9,6	9,8	9,8	10	8,5
год	2004	2002	1000	1072	1000	2005	1002	1007	1000	2006	2000	2000	2008,2
	2004	2002	1988	1973	1980	2005	1993 	1987	1990	2000	2000	2000	009
2010	45	C C	E 0	2.0	бал	л нижне	и оолач	ности	E 7	E A	0.0	0.4	E 0
2010	4,5	6,2	5,0	3,9	4,4	4,2	2,3	4,1	5,1	5,6	ŏ, b	ð,1	5,2
1965-2009	7.1	6.2	5.5	5.1	4.6	5.0	4.9	4.9	5.7	7.0	8.1	7.9	6.0
Δ%	-2.6	0.0	-0.5	-1.2	-0.2	-0.8	-2.6	-0.8	0.0	-1.4	0.5	0.2	-0.8
1999-	.,-	- ,-	- , -	,—	- ,—	- , -	,-	- ,-	- /-	,-	- ,-	- ,—	- ,-
2009	8,0	6,9	5,6	4,5	4,6	5,1	4,7	4,9	4,9	7,2	8,2	8,4	6,1
мин	3,6	1,7	2,8	3,5	2,8	2,9	2,3	3,2	3,3	4,4	5,3	5,3	4,8
год	1973	1969	1969	2009	1967	1972	1996	1974	1974	1987	1967	2002	1967
мак	9,1	8,8	7,4	7,3	7,7	7,2	6,6	7	8,6	9,3	9,4	9,7	6,8
год	1994	1990	1978	1986	1980	2003	1979	1980	1990	1982	2003	2000	1990

Таблица 4.1. Продолжительность солнечного сияния и облачность



Рис.4.2. Годовой ход балла облачности: а- общей, б- нижней облачности.



Рис.4.3. Изменения суточных значений ПСС и балла облачности в период с 1июня по 30 сентября.

В 2010 году продолжилась тенденция увеличения годового значения ПСС, и наметилась тенденция к уменьшению балла нижней облачности.

5. Характеристика прозрачности атмосферы и составляющих радиационного баланса

Е.В. Горбаренко

Наблюдения за составляющими радиационного баланса подстилающей поверхности и их обработка производятся строго по наставлению гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям (Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям.- Л., Гидрометеоиздат, 1973).

Для сохранения однородности ряда актинометрических данных в 2010 г. проведена профилактическая вырубка деревьев: в конце мая деревьев, могущих повлиять на показания приборов, установленных на крыше МО МГУ; в ноябре вокруг метеорологической площадки, где установлены приборы для измерения отраженной радиации и радиационного баланса.

Характеристики прозрачности атмосферы (коэффициент прозрачности атмосферы, приведенный к массе 2 (P₂) и аэрозольная оптическая толщина на 550 нм (AOT550)) рассчитываются по данным измерений прямой интегральной солнечной радиации (Абакумова Г.М, Горбаренко Е.В., 2008).

Показатели прозрачности атмосферы в течение всего года свидетельствуют о продолжение в 2010 году тенденции увеличения прозрачности атмосферы (табл.5.1, рис.5.1). АОТ550 для девяти месяцев года ниже нормы (1961-1990), пять месяцев в году значения АОТ550 ниже нормы более чем на 50%. 2010 год мог стать одним из самых «чистых» за период с 1955 по 2010 год. Но продолжительная сухая, малооблачная погода июля способствовала накоплению аэрозоля в июле и возникновению торфяных и лесных пожаров в Московской области и в Центральном районе в августе. Значение в августе АОТ550 наиболее высокое (0.9), а значение коэффициента прозрачности (0.461) самое низкое за весь период с 1955 по 2010 гг. Необходимо отметить, что при значительном увеличении аэрозольной мутности атмосферы увеличивается поступление в трубку актинометра рассеянной солнечной радиации от 10 градусной зоны вокруг Солнца, что ведет к занижению абсолютных значений показателей прозрачности атмосферы. При АОТ550 больше 0.4 занижение может достигать 30%. Таким образом, реальные значения АОТ550 в период дымной мглы больше, и в отдельные дни суточные значения АОТ550 превышают 3. Уменьшение прозрачности атмосферы в период дымной мглы в августе 2010 наибольшее по сравнению с дымной мглой в 1972 и 2002 годах. Дымовой аэрозоль не достигает больших высот в атмосфере, и быстро вымывается из атмосферы дождями. Так в период продолжающихся пожаров в августе, после выпадения осадков значения аэрозольной оптической толщины уменьшаются до нормы. Сентябрьское значение АОТ550 уже на 61% ниже нормы, а P_2 на 33% выше нормы.

	Коэффициент прозрачности атмосферы												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
2010	0,796	0,799	0,803	0,720	0,716	0,748	0,680	0,461	0,770	0,778		0,760	0,730
1961-1990	0,756	0,749	0,731	0,693	0,690	0,700	0,697	0,692	0,713	0,756	0,768	0,770	0,709
d%*	5	7	10	4	4	7	-2	-33	8	3		-1	3
1999-2009	0,792	0,777	0,768	0,725	0,737	0,749	0,714	0,718	0,713	0,760	0,781	0,799	0,739
AOT 550													
2010	0,04	0,07	0,07	0,22	0,16	0,13	0,26	0,9	0,09	0,09		0,08	0,19
1961-1990	0,18	0,2	0,22	0,28	0,28	0,24	0,25	0,26	0,23	0,16	0,14	0,18	0,24
d%	-78	-65	-68	-21	-43	-46	4	246	-61	-44		-56	-20
1999-2009	0,05	0,10	0,13	0,20	0,15	0,13	0,18	0,19	0,20	0,12	0,06	0,04	0,13
мак	0,47	0,44	0,44	0,54	0,51	0,39	0,35	0,42	0,64	0,38	0,34	0,44	0,33
год	1968	1985	1992	1983	1983	1981	1972	1992	2002	1984	1965	1966	1983
мин	0,01	0,02	0,07	0,11	0,09	0,07	0,1	0,1	0,06	0,04	0,01	0,01	0,11
										1962,			
						2004				1967, 2001		1999	1997
год	2009	1989	1997	1997	1997	1994	1980	2000	2003	2001	2003	2007	2003

Таблица 5. Характеристики прозрачности атмосферы

*-d%=(Y2010-Yнорма)/Унорма*100%



Рис.5.1 Годовая изменчивость характеристик прозрачности атмосферы: а- коэффициент прозрачности, б- аэрозольная оптическая толщина на 550 нм

Несмотря на значительное понижение прозрачности в августе, в целом за год значение AOT550 на 20% ниже, а P₂ на 3% выше нормы. В многолетней изменчивости параметров прозрачности атмосферы над Москвой сохранилась тенденция к увеличению прозрачности атмосферы.

Приход суммарной интегральной солнечной радиации в 2010 году выше нормы на 6%. Месячные суммы Q изменялись от 36 МДж/м² (декабрь) до 742 МДж/м² (июль) (табл.5.2, рис.5.2а) Июльская сумма на 27% превысила норму и стала абсолютным максимумом за период наблюдения 1958–2010 гг. Январское значение Q повторило максимальное значение 1973 года. Отклонение от нормы в сторону увеличения отмечены для 7 месяцев года, в сторону уменьшения для пяти. Наибольшее уменьшение в ноябре и декабре, отклонение от нормы 28% и 10% соответственно. При балле общей и нижней облачности ниже нормы в августе приход суммарной радиации на 8% ниже нормы, за счет существенного уменьшения Q в период дымной мглы.



Рис. 5.2 Годовой ход: а- суммарной интегральной радиации, б- доли рассеянной радиации в суммарной

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Месячные суммы суммарная радиация Q (МДж/м ²)													
2010	83	133	299	438	565	621	742	441	300	170	44	36	3872
1961-1990	64	136	277	390	578	612	582	480	293	147	61	40	3660
d%	30	-2	8	12	-2	1	27	-8	2	16	-28	-10	6
1999-2009	52	122	285	423	590	599	604	468	311	140	54	34	3682
мин 1958-2009	42	75	197	272	400	458	482	336	194	86	34	22	3346
	1989	1990	1979	1986	1980	2003	1993	1960	1990	1970	2003	1960	1990
год										1986			
мак 1958-2009	83	186	371	485	719	769	707	565	371	192	94	61	4065
год	1973	1969	1996	1963	2002	1968	1972	1971	1974	1987	1967	2002	1963
Доля рассеянной радиации в суммарной D/Q (%)													
2010	65	71	55	48	50	43	35	63	55	52	91	80	50
1961-1990	81	69	62	58	51	51	53	54	59	58	79	88	57

Таблица 5.2 Составляющие радиационного баланса
Δ%**	-16	2	-7	-10	-1	-8	-18	9	-4	-6	12	-8	-7
1999-2009	85	73	58	51	47	49	49	52	54	69	80	88	53
		(Этраж	сенная	а ради	нация R	k (M	Дж/м²	2)	•	•		•
2010	52	76	148	68	103	132	130	69	52	33	10	17	890
1961-1990	40	87	131	68	117	126	117	96	58	32	24	22	918
d%	31	-13	13	0	-12	5	11	-28	-11	4	-58	-22	-3
1999-2009	31	74	136	79	116	116	109	85	58	26	17	17	863
мин 1958-2009	22	30	51	37	73	90	92	67	31	14	8	5	682
год	1971	2002	2003	1986	1980	2003	2007	2006	1990	1970	1996	2008	2008
мак 1958-2009	53	133	233	158	155	178	151	127	80	54	44	33	1239
год	1967	1969	1963	1963	1967	1967	1994	1965	1963	1976	1988	1977	1963
	Mecs	ачные	е суми	ны ра,	диаци	онного	бала	нса В	(МДж	к/м ²)			
2010	-24	5	55	196	288	329	374	186	129	41	-5	-12	1562
1961-1990	-34	-26	30	159	267	299	284	212	99	19	-20	-31	1258
d%	29	119	83	23	8	10	32	-12	30	116	75	61	24
1999-2009	-15	-11	39	182	289	302	321	224	122	31	-9	-16	1461
мин 1958-2009	-65	-72	-34	115	201	224	237	140	61	-5	-38	-56	1117
год	1972,197	1969	1970	1983	1980	2003	1993	1960	1990	1976	1975	1962	1980
мак 1958-2009	4	11	97	206	354	373	355	279	141	42	4	-4	1629
год	2006	2002	2002	2009	2002	1999	1959	2004	2007	2007	2009	2000	2007
		Аль	бедо п	одсти	ілаюц	цей пов	ерхно	ости А	· (%)				
2010	62	57	50	16	18	21	17	16	17	20	23	47	23
1961-1990	63	64	46	17	20	21	20	20	20	21	39	56	25
Δ%	-1	-7	4	-1	-2	0	-3	-4	-3	-1	-16	-9	-2
1999-2009	60	59	47	19	20	19	18	18	19	18	31	48	25
мин 1958-2009	50	36	19	12	16	18	14	15	15	13	18	23	19
год	1971	2002	2002	1979	1970	> 3 лет	2002	2002	2002	2008	1996	2008	2002
мак 1958-2009	73	79	68	33	24	24	24	25	25	36	58	78	31
год	1960	1959	1963	1963	1966	1964	1965	1965	1994	1976	1960	1959	2008

*-d%=(Y2010-Yнорма)/Yнорма*100%, **д**%**= Y2010-Yнорма

В целом за год доли рассеянной и прямой радиации в суммарном потоке равны, такое соотношение потоков наблюдалось еще только в 1996 году. Существенная роль прямой радиации в Q в июле (65%), так же большая доля S в Q в апреле, июне и октябре (рис.5.2б).



Рис. 5.3 Годовой ход суточных сумм суммарной интегральной радиации.

Значения средних суточных сумм в 8 месяцах года превысили средние многолетние, в июле превышение существенное на 4.9 Мдж/м² (рис.5.3).

Максимальные значения суточных сумм Q менялись от наибольших в июне (30,32 – 6.06), до наименьших – в декабре (2,93 – 1.12). Июньские и июльские суточные суммы Q в некоторые сутки близки к максимальным многолетним значениям (рис.5.4). 29 и 30 июня, 5,13 и 14 июля и 24 сентября отмечен абсолютный суточный максимум суммарной интегральной радиации в эти дни за весь период наблюдений.



Рис.5.4 Ход средних многолетних значений, максимальных , минимальных и средних за 2010 год суточных сумм суммарной интегральной солнечной радиации

Величина альбедо подстилающей поверхности в 2010 году менялось от 16 % в апреле, августе до 62% в январе (табл.5.2, рис.5.5б). В годовом ходе альбедо минимальные значе-

ния отмечаются в апреле, когда сходит снежный покров и нет растительности. Уменьшения альбедо на 4% от нормы в августе в 2010 году, связано с особенностями погоды летом этого года. Метеорологические условия способствовали иссушению травяного покрова. В июле, августе состояния подстилающей поверхности характеризовалось наблюдателями как «пожухлая трава». Наибольшее уменьшение от нормы в ноябре связано с поздним установлением снежного покрова.



Рис. 5.5 Годовой ход: а- отраженной радиации, б- альбедо подстилающей поверхности

Годовая изменчивость отраженной радиации связана как с приходом суммарной радиации, так и с состоянием подстилающей поверхности. В целом за год отраженная радиация на 3% ниже нормы (1961-1990), но выше среднего многолетнего за период 1999-2009 (табл.5.2). В последние годы наметилась тенденция к уменьшению периода со снежным покровом, частые оттепели приводили к ухудшению и разрушению сплошного снежного покрова, что существенно влияло на отражательные свойства подстилающей поверхности. Снежный покров в зимний период 2010 году характеризовался большой устойчивостью (см. раздел 3) и продержался до конца марта. Месячное значение Rk в марте на 11% превысило норму. Существенное увеличение отраженной радиации в январе (значение Rk на 31% выше нормы и, практически, достигло абсолютного максимума) связано с большим поступлением суммарной радиации и сохранением высоких отражательных свойств поверхности. В след за Q большие значения отраженной радиации в июне и июле, но в июне значения Rk больше, за счет больших отражательных свойств свежей травы. Уменьшение в августе связано как с уменьшением потока Q, так и с уменьшением отражательных свойств «пожухлой травы» (рис.5.5а).

Годовая сумма радиационного баланса на 24% выше нормы и составила 1562 МДж/м². Во все месяцы года, за исключением августа месячные суммы В выше нормы (рис.5.6а). Июльская сумма радиационного баланса – **абсолютный максимум** за весь период наблюдений. Наибольшие изменения в тепловом режиме земной поверхности произошли в холодное время года, что продолжило тенденцию последних пятнадцати лет. В феврале, в отличие от нормы земная поверхность больше получала тепла, чем отдавала (табл.5.2).

Годовой ход суточных сумм В повторяет годовой ход месячных сумм В (рис.5.6.б). В некоторые дни теплого периода суточные суммы близки к максимальным значениям. 6,21-23 и 29,30 июня, 12, 13, 17 июля, 10, 24, 27 сентября суточные значения радиационного баланса выше максимальных суточных значений, а 28 августа и 23 сентября ниже минимальных значений для этих дней из выборки 1955-2010 г.



Рис. 5.6 Годовой ход : а- месячных сумм радиационного баланса, б- суточных сумм радиационного баланса

Таблица 5.3 Годовые значения характеристик прозрачности атмосферы и составляющих

	P ₂	AOT550	A%	Srop.	D	Q	Rk	B
2010	0,730	0,19	23	1935	1937	3872	890	1562
1961-1990	0,709	0,24	25	1584	2073	3660	918	1258
d,%	3	-20	-2	22	-7	6	-3	24

радиационного баланса

Таким образом, в 2010 году отмечены следующие тенденции (табл.5.3):

- увеличение прозрачности атмосферы
- увеличение прямой солнечной радиации
- уменьшение рассеянной радиации
- увеличение суммарной интегральной радиации
- уменьшение альбедо
- уменьшение отраженной радиации
- увеличение общего радиационного баланса

Литература:

Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В. Прозрачность атмосферы в Москве за последние 50 лет и её изменения на территории России. – М.: Издательство ЛКИ, 2008, 192 с. Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям.- Л., Гидрометеоиздат, 1973, 223 с.

6. Особенности режима фотосинтетически-активной радиации и естественной освещенности.

О.А.Шиловцева

Раздел посвящен анализу режима солнечной радиации в видимом участке спектра. В метеорологической обсерватории МГУ видимая радиация измеряется двумя способами:

- солнечная радиация в энергетическом выражении в интервале длин волн 400-700 нм, играющая ведущую роль в процессе фотосинтеза. С середины XX века сложилась традиция называть ее фотосинтетически активной или ФАР [Ничипорович,1961]. Она измеряется в кВт/м² (мощность излучения) и МДж/м² (суммы излучения). В обсерватории МГУ подобные изменения проводятся с 1980 года. До 2001 г. они осуществлялись с помощью цветного пиранометра ГГО [Махоткина, 1983], а с осени 1998 г. по прибору LI-190SA американской фирмы LI-COR (www.licor.com);
- естественная освещенность земной поверхности, представляющая собой учет восприятия солнечного излучения человеческим глазом. Измерения проводятся с 1964 г., основным прибором для этого до весны 2010 г. служили оригинальные приборы РЕО (регистратор естественной освещенности), сконструированные в метеообсерватории МГУ мастером по точным приборам А.В.Высоцким [Никольская и др., 1972]. В марте 2010 г. на запись рассеянной освещенности поставлен люксметр ГГО [С.И.Зачек и др., 1988], а в июне 2010 г. на запись суммарной освещенности поставлен люксметр ГГО [С.И.Зачек и др., 1988], а в июне 2010 г. на запись суммарной освещенности поставлен люксметр ГГО [С.И.Зачек и др., 1988], а в июне 2010 г. на запись суммарной освещенности поставлен люксметр ГГО [С.И.Зачек и др., 1988], а в июне 2010 г. на запись суммарной освещенности поставлен люксметр ГГО [С.И.Зачек и др., 1988], а в июне 2010 г. на запись суммарной освещенности поставлен люксметр ГГО [С.И.Зачек и др., 1988], а в июне 2010 г. на запись суммарной освещенности поставлен люксметр ГГО [С.И.Зачек и др., 1988], а в июне 2010 г. на запись суммарной освещенности поставлен люксметр ГГО [С.И.Зачек и др., 1988], а в июне 2010 г. на запись суммарной освещенности постав-

6.1. Фотосинтетически активная солнечная радиация

В 2010 году в МО МГУ продолжались наблюдения за суммарной ФАР (Q_f) по прибору LI-190SA. Сравнение конкретного года проводятся со средними значениями за период 1999-2009 гг. В целом за год поступление суммарной ФАР в 2010 году превысило среднюю сумму за период 1999-2009 гг. на 4,5% (годовая сумма суммарной интегральной радиации – Q – выше средней за тот же период на 5%). Это не выходит за рамки средней естественной изменчивости за рассматриваемый период осреднения (среднее квадратическое отклонение годовых сумм $Q_f \sigma_{rog} = \pm 6\%$), но выходит за рамки доверительного интервала с уровнем значимости 0,05 (ДИ=±52,6 МДж/м²).

Все сезонные суммы суммарной ФАР также превысили средние значения, причем наибольшее превышение - +18% - наблюдается для зимнего периода. Это достаточно значительное превышение средней естественной изменчивости суммы ФАР <u>зимой</u> ($\sigma_{3имa}$ =±10%). Также сумма за зиму превысила границы доверительного интервала. Столь значительное увеличение зимней суммы Q_f объясняется тем, что зимний сезон 2010 года, в отличие от зим предшествующего десятилетия, характеризуется значительным ростом продолжительности солнечного сияния и существенным уменьшением сезонного количества общей, и, особенно, нижней облачности (табл. 6.1.1).

<u>Летом 2010</u> года сумма Q_f превысила среднюю величину на 6%. Особенность лета этого года заключается в том, что, несмотря на минимальное за год количество облаков в этом сезоне, рост продолжительности солнечного сияния из-за наличия дымной мглы оказался не столь значителен. Это послужило причиной не столь заметного увеличения поступления суммарной ФАР летом, как следовало бы ожидать при наблюденном уменьшении облачности. Примечательно также более существенное уменьшение поступление суммарной ФАР по сравнению с суммарной интегральной радиацией в силу более значительного ослабления дымами солнечного излучения в видимом участке спектра. Был также превышен доверительный интревал сезонной суммы Q_f (см. табл.6.1.1).

В переходные сезоны 2010 года превышение сумм ФАР над средними значениями невелико: весной они практически равны (разница менее 1%), а осенью увеличение Q_f составило 4% (см. табл. 6.1.1). Суммы Q_f не вышли за пределы доверительных интервалов для средних сумм за 1999-2009 гг.

<u>Месячные суммы</u> суммарной ФАР в течение года изменялись от 14,2 Мдж/м² в декабре до 315,7 Мдж/м² в июле, главным образом, следуя за годовым ходом облачности и продолжительности солнечного сияния (рис.6.1.1, см. п.5). В восьми месяцах из двенадцати сумма 2010 года оказалась выше средней (табл. 6.1.2).

	3има *	Весна	Лето	Осень
	Q _f ,MД	(ж/м ²		
2010 г.	94	535	736	209
1999-2009 гг. ± ДИ	80±5	530±24	714±36	202±9
δ**, %	+18	+1	+6	+3,5
	Q, МД	(ж/м ²		
2010 г.	249	1302	1804	514
1999-2009 гг.	209	1298	1676	505
δ**, %	+19	+0.3	+8	+2
	ПСС,	час	I	
2010 г.	163	647	876	298
1999-2009 гг.	102	648	841	287
δ**, %	+60	0	+4	+4
Дол	ія от возмох	кной ПСС	, %	
2010 г.	22	50	57	28
1999-2009 гг.	13	49	56	28
0	бщая облач	ность, бал	Л	
2010 г.	8,5	8,0	6,5	8,7
1999-2009 гг.	9,1	7,8	7,6	8,6
δ**, %	-7	+3	-14	+1
Hı	ижняя облач	ность, бал	ЛЛ	
2010 г.	6,3	4,4	3,5	6,6
1999-2009 гг.	7,8	4,9	4,9	6,8
δ**, %	-19	-10	-29	-3

Таблица 6.1.1. Сезонные суммы суммарной ФАР (400-700 нм, МДж/м²)

*При расчетах взят декабрь предыдущего года.;

** - .б=(2010-Среднее₁₉₉₉₋₂₀₀₉)/ Среднее₁₉₉₉₋₂₀₀₉

Основной вклад в столь значительное увеличение зимней суммы ΦAP внес январь: приход Q_f в этом месяце оказался не только максимальным за первую декаду XXI века, но

и за весь период наблюдений МОМГУ (рис.6.1.2). В остальные зимние месяцы суммы ФАР превысили средние значения на 7-10% (табл. 6.1.2). Доверительный интервал оказался превышенным только в январе (см. табл. 6.1.2).

Период	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII	Год
2010 г.	32	50	121	179	235	264	316	176	123	68	18	14	1596
1999-2009	20	47	111	170	249	259	257	200	125	55	21	13	1527
±ДИ средней	1.6	4.4	8.7	7.6	19.0	22.8	11.7	16.2	5.9	6.0	2.5	2.3	53
δ,%	57.8	6.8	9.1	5.3	-5.7	1.9	23.0	-11.9	-1.9	25.4	-15.0	10.1	4.5
		Дол	и ФА	Рвсум	имарно	ой инте	гралы	ной рад	иации	(%)			
2010 г.	38	38	40	41	42	43	43	40	41	40	41	39	41
1999-2009	39	39	40	41	42	43	42	42	40	39	39	38	41

Таблица 6.1.2. Месячные и годовая сумма суммарной ФАР (400-700 нм, МДж/м²)



Рис.6.1.1. Годовой ход месячных сумм суммарной ФАР (Q_f, МДж/м²), относительной продолжительности солнечного сияния (SSD, %) и среднего за месяц общей (NO, балл) и нижней облачности (NL,балл) в 2010 году

Весной поступление суммарной ФАР распределилось следующим образом. В марте и апреле месячные суммы превысили средние значения за 1999-2009, причем в обоих месяцах были превышены верхние границы доверительных интервалов. Наоборот, в мае, в силу роста количества нижней облачности сумма в прошедшем году на 5% ниже среднего значения.

Следующая особенность годового хода месячных сумм суммарной ФАР - экстремальные условия, которые наблюдались в летний период. В июле приход суммарной ФАР, так же, как и интегральной и ультрафиолетовой радиации, оказалась наибольшим за весь период наблюдений в силу продолжительного периода с минимальной облачностью и максимальной продолжительностью солнечного сияния (см. рис.6.1.2). Рост Q_f по сравнению со средним значением составил +23%, что превышает не только верхнюю границу доверительного интервала, но и среднюю естественную изменчивость Q_f в этом месяце почти в 3 раза ($\sigma=\pm8\%$). Однако в результате того, что июньская сумма ФАР выше средней всего на 2%, а в августе в результате дымной мглы наблюдалось значительное уменьшение поступления Q_f (на 12%), сезонная сумма увеличилась по сравнению со средней не на столь рекордное значение, как могла бы при сложившихся циркуляционных условиях. Интересно отметить, что наличие очень сильной дымной мглы в августе привело к тому, что сумма Q_f в апреле оказалась на 3 МДж/м² больше, чем в августе (табл.6.1.2). Кроме того, август оказался одним из двух месяцев, в котором среднее за 2010 г. оказалось меньше нижней границы доверительного интервала.

Аналогичные изменения по сравнению со средними величинами Q_f наблюдались и осенью 2010 года. Так, в сентябре поступление ФАР было близко к норме, в то время, как в <u>октябре</u> превышение Q_f в 2010 г. оказался значительным в результате уменьшение облачного покрова по сравнению не только со средними значениями облачности в этом месяце, но и с количеством облачности в сентябре (см. п.5, рис.6.1.1). В <u>ноябре</u>, наоборот, сложились условия, приводящие к значительному уменьшению поступления радиации: низкие высоты солнца, максимум в годовом ходе количества облачности и отсутствие снежного покрова. В результате уменьшение Q_f по сравнению со средней суммой составило в этом месяце 15%, что и послужило причиной выхода Q_f за нижний предел доверительного интервала.

МДж/м² 90 80 $R^2 = 0.04$ 70 60 50 40 $R^2 = 0.05$ 30 20 10 0 1999 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2000 2001 - I - - X

A



Рис.6.1.2. Многолетнее изменение месячных сумм суммарной ФАР в Москве

При сравнении годового хода в 2009 и 2010 гг. оказалось, что месячные суммы суммарной ФАР 2010 года в восьми месяцах из двенадцати превысили суммы 2009 года. Наибольшая положительная разница отмечается в январе 2010 г. (+90%), в феврале-марте и октябре поступление радиации в 2010 г. было на 10-15%, а в июле – на 23% больше, чем в 2009 г. Уменьшение поступления ФАР в 2010 г. по сравнению с 2009 г. наблюдалось наиболее значительно в сентябре (-9%) и в августе (-5%). В остальные месяцы суммы ФАР оказались близки: разница не превышает ±4%. В целом за 2010 год к земной поверхности поступило на 6% больше ФАР, чем в предыдущем.

Вклад ФАР в годовую сумму суммарной интегральной радиации составил 41%, изменяясь в месячных суммах от 38-39% в декабре-феврале до 43% в июне-июле (см. табл.6.1.2). Особенностью годового хода доли суммарной ФАР в 2010 г. является значительное уменьшение величины вклада видимой радиации в интегральную в августе в результате влияния дымной мглы.

<u>Средние суточные суммы</u> суммарной ФАР в течение 2010 года менялись от 0,46 $Mдж/m^2$ в декабре до 10,19 Mdx/m^2 в июле (табл.6.1.3). Приход суммарной ФАР может колебаться в широких пределах ото дня ко дню. Это хорошо видно при анализе как среднеквадратического отклонения сумм ФАР, так и величин экстремальных сумм (табл.6.1.3, рис. 6.1.3-6.1.5).

Сопоставление экстремальных сумм Q_f показал, что в 2010 году почти все «рекорды» суточных сумм не были перекрыты. Уникальные циркуляционные условия в июле привели к тому, что наименьшая сумма ФАР в этом месяце оказалась больше абсолютного минимума в 5 раз. Исключение составила минимальная сумма в сентябре, которая оказалась меньше минимальной Q_f за период 1999-2009 на 6%.

Сопоставление годового хода коэффициентов вариации суточных сумм суммарной Φ AP (V_f) в 2010 г. и в среднем для периода 1999-2009 гг. выявило следующие особенности сезонного хода изменчивости суточных сумм Q_f в 2010 году:

•годовой ход V_f 2010 г. отличается от годового хода средних величин V_f : максимум в первую половину года наблюдается не в январе, а сдвинут на март;

• *V_f* больше средних величин только в декабре, в остальные месяцы изменчивость суточных сумм была либо меньше, либо близка к средней многолетней;

•наименьшая относительная изменчивость наблюдалась в июле в силу исключительных стабильных циркуляционных условий, наблюдавшихся в этом месяце (рис.6.1.4).

Таблица 6.1.3. Суточные суммы суммарной фотосинтетически активной радиации в 2010 г. и в среднем за 1999-2009 гг.

Месяц	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII
						2010	год					
Средняя, МДж/м ²	1.02	1.79	3.89	5.97	7.58	8.81	10.1 9	5.68	4.09	2.00	0.59	0.46
Максиму												
м,												
МДж/м ²	1.71	3.41	6.88	9.78	11.61	12.68	12.33	9.06	6.42	4.54	1.52	1.13
Дата	31	23	26	27	20	6	1	12	10	7	7	1
Характер погоды	10/0 Ci Cc Ac As	8/3 Ci Cc Sc	7/1 Ci Cc Sc	4/2 Ci Cu	2/1.5 Ci Cc Cu	5/2 Ci Cc Cu	0/0	6.5/2 Ci Cc Cu	5/3 Ci Cc Ac	2/0 Ci Ac Cc	9.5/5 Ci Cc Cs Ac	3/1 Ci Ac Sc
Миниму												
м,												
МДж/м²	0.25	0.58	1.06	2.65	2.35	2.76	6.77	1.65	0.46	0.46	0.13	0.12
Дата	8	2	2	5	26	11	3	28	28	21	20	13
Характер погоды	10/10 Ns,St, Sc снег	10/10 Cb Sc, Frnb cнег	10/10 Sc, Cb, Frnb Мокр ый снег	9.9/8 Sc, Cb Frnb дожд ь	10/10 Sc Cb Frnb дожд ь	10/10 Sc Cb Frnb дожд ь	10/7 Ci Cs Ac Cu	10/7 Cs Sc Cb Frnb моро сь	10/10 St, Cb Sc,Fr nb дожд ь	10/10 Сb Sc,Fr nb дожд ь, моро сь	10/10 Sc St Ns Cb дожд ь моро сь	10/1 0 Ns St моро сь
о, МДж/м ²	0,44	0,77	1,68	1,97	2.49	3.05	1.51	1.94	1.82	1.33	0.33	0.28
						1999-20	09 гг.					
Средняя МДж/м ²	0.65	1.71	3.57	5.67	8.04	8.64	8.28	6.45	4.16	1.76	0.70	0.42
ДИ ±	0,04	0,10	0,20	0,26	0.31	0.32	0.27	0.24	0.20	0.13	0.05	0,03
Максиму м МДж/м ²	1.96	4.23	8.15	10.23	13.24	14.28	12.92	11.22	8.97	5.36	2.63	1.20
Дата	31/200 2	26/20 07	30/20 04	30/20 06	25/20 07	3/200 7	7/199 9	9/200 7	3/200 7	1/200 5	1/200 5	1/20 02
Миниму м, МДж/м ²	0.12	0.28	0.57	0.78	1.05	1.13	1.36	0.74	0.49	0.22	0.11	0.04
Дата	7,12/2 007	8/200 8	16/20 01	19/20 05	25/20 08	25/20 09	17/20 00	14/20 04	28/20 02	31/20 04	30/20 08	8/20 08
о, МДж/м ²	0.37	0.92	1.85	2.42	2.91	2.95	2.58	2.31	1,87	1.24	0.48	0.25



Рис.6.1.3. Годовой ход средних за месяц и экстремальных суточных сумм суммарной ФАР в 2010 г. и за период 1999-2009 гг.



Рис.6.1.4. Годовой ход коэффициентов вариации (%) суточных сумм суммарной ФАР в 2010г. и за период 1999-2009 гг.



Рис.6.1.5. Годовой ход средних и экстремальных суточных сумм суммарной ФАР в 2010 г. и за период 1999-2009 гг. для каждого дня года

Средние суточные суммы за 1999-2009 гг. изменяются от 10,87 МДж/м² (4 июня) до 0,28 МДж/м² (31 декабря). Так как период осреднения невелик, в 2010 г. наблюдалось довольно много дней, когда суточные суммы ФАР оказались больше или меньше экстремальных сумм за рассматриваемый период осреднения (табл.6.1.4). Наибольшее число дней с $Q_{f 2010} > Q_{f 1999-2009}$ (9) наблюдалось в январе, в июле и октябре их оказалось по 5, а всего за год – 33. В трех месяцах – мае, июне и августе все максимальные суммы остались прежними.

Дней, когда $Q_{f\ 2010} < Q_{f\ 1999-2009}$, в 2010 году было 26, причем больше всего их оказалось в сентябре (5). Интересно отметить, что в августе, в период дымной мглы также был перекрыт минимум. Это наблюдалось 7 августа, когда задымление достигло своего максимума. В месяцы, когда поступление суммарной ФАР было больше средней (январефеврале, июле и октябре) минимумы не были перекрыты.

Анализ погоды в дни, когда отмечены как максимальные суточные суммы ФАР, так и её абсолютные максимальные значения (табл.6.1.5), показал, что в холодное время, как правило, это наблюдается при сплошном покрове облаков верхнего

Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII
				Qf	2010>Q _f	1999-20	09				
5	5	23	11			1		24	7	15	2
(22%)	(13%)	(2%)	(9%)			(4%)		(6%)	(13%)	(30%)	(2%)
10	7	26	12			5			8		22
(25%)	(37%)	(3%)	(1%)			(1%)			(7%)		(5%)
11	16		13			14			19		30
(1%)	(6%)		(6%)			(3%)			(52%)		(33%)
12						17			24		31
(48%)						(9%)			(22%)		(8%)
18						31			31		
(6%)						(1%)			(11%)		
21											
(20%)											
22											
(30%)											
27											
(4%)											
28											
(23%)											
				Q_f	2010 <q<sub>f</q<sub>	1999-20)09				
		21	22	6	1		7	1		4	13
		(28%)	(29%)	(12%)	(7%)		(22%)	(15%)		(24%)	(36%)
					, ,			· · ·		(, ,
		24	28	26	11		22	22		19	21
		(9%)	(5%)	(43%)	(52%)		(5%)	(56%)		(7%)	(7%)
				27	15		28	23		20	
				(60%)	(29%)		(43%)	(45%)		(28%)	
				28	16		29	28			
				(43%)	(1%)		(39%)	(5%)			
								29			
								(47%)			

Таблица 6.1.4. Даты, когда суточные суммы ФАР оказались выше/ниже экстремумов за период 1999-2009 гг. (в скобках – на сколько процентов выше/ниже)

Таблица 6.1.5. Максимальная энергетическая освещенность суммарной ФАР в 2010 году

Месяц	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII
ΦAP,	0,14	0,24	0,38	0,46	0,50	0,54	0,45	0,44	0,42	0,28	0,16	0,08
KBт/м ²												
День	26	27	22	25	29	9	7	27	3	1	7	1,2
Время*	14^{44}	11^{21}	11 ³³	11 ⁴⁵	1044	12^{27}	13 ¹³	10 ⁴³	10 ⁵⁹	11 ¹³	11 ¹⁴	12^{24}
												11 ¹⁹
Характер	¢	\$\$°	φo	¢	¢	¢.	¢	¢	\$\$°	ф.	ф.	¢
погоды	10/3 Ci	8/5	8/7	7/7	8/8	[10]/6	8/3	[10]/[10]	[10]/7	[10]/9	[10]/3	2/2
	Cc Ac	Ci	Sc	Sc	Sc	Ci Ac	Ci	Sc Cu	Ac Sc	Ac Sc	Ci Cc	Sc
	Sc	Cc	Ci	Cu	Cu	Sc Cu	Cc	Cb	Cu	Cu	Ac Sc	
	слабый	Ac	Ac				Ac		Cb			¢
	снег	Sc					Cu					5/5
												Sc

*Время истинное солнечное

и среднего яруса при небольшом количестве слоисто-кучевых облаков. В теплое время года максимумы наблюдаются при наличии высоко-кучевой и кучевой облачности.

Поскольку наибольший интерес информация о ФАР представляет для биологов, отдельно были рассчитаны декадные и пентадные суммы ФАР, а также суммы за вегетационный период.

Под вегетационным периодом понимается период года, в который возможен рост и развитие растений. В условиях умеренного климата вегетационный период травянистых растений примерно соответствует промежутку времени от последних весенних до первых осенних сильных заморозков; у деревьев - от начала сокодвижения (фенологически отмечают у клёна и берёзы) до конца листопада. Вегетационный период - важнейший биоклиматический показатель, которым пользуются при интродукции и акклиматизации растений.

Вегетационный период (ВП), строго говоря, для каждого растения свой. Для большинства растений ВП определяется как количество суток со средними температурами 5° и выше. Для среднетребовательных к теплу растений - после перехода температуры через $+10^{\circ}$ С, а для теплолюбивых - через $+15^{\circ}$ С. В климатологии (агроклиматологии) в большинстве случаев ориентируются на температуру $+10^{\circ}$ С и сумму активных температур (выше $+10^{\circ}$ С). Но единого понятия нет. Для большинства древесных и кустарничковых растений видимая вегетация начинается после перехода среднесуточной температуры через $+5^{\circ}$ С, когда начинается набухание почек, но распускаться почки начинают при более высоких температурах - около $+10^{\circ}$ С и даже больших (до $+15^{\circ}$ С). В то же время вегетация тополя, березы и др. начинается при много меньших температурах. Не менее сложно определить и дату осеннего окончания вегетации, так как одни растения реагируют на изменение температуры, а другие - на изменение продолжительности фотопериода и даже интенсивность солнечной радиации.

Поэтому, проанализировав ход среднесуточной температуры воздуха, была рассчитана длительность вегетационного периода и соответствующие ему суммы суммарной Φ AP для периодов с устойчивыми средними температурами за сутки выше 0°C, 5°C, 7°C, 10°C, 15°C. Особенность 2010 года заключается в уникальной продолжительности периода с t>20°C, поэтому в этом году были рассчитаны также и все параметры для этого периода (табл. 6.1.6). Продолжительность периода с положительными температурами в 2010 г. составила 2/3 от года, а в течение полугода температура за сутки не опускалась ниже +5°C. Длительность периода с непрерывной жаркой и засушливой погодой составила два месяца, что привело к угнетению в росте и развитии растений, несмотря на рекордные суммы Φ AP. Усугубила ситуацию дымная мгла, которая наиболее сильно стала проявляться в конце июля.

	t>0°C	t>5 °C	t>7 °C	t>10 °C	t>15 °C	t>20 °C
Вегетационный	26.III-	30.III-	2.IV-	30.IV-	01.V-	20.VI-
период	20.XI	11.X	28.IX	28.IX	27.VIII	19.VIII
Продолжительнос						
ть ВП, дни	240	196	180	152	119	61
% от						
длительности						
года	66	54	49	42	33	17
ΣQ _f ., МДж/м ²	1407	1339	1248	1113	979	562

Таблица 6.1.6. Вегетационный период и суммы ФАР в 2010 году

При анализе декадных сумм 2010 г. были выявлены следующие особенности их годового хода (табл. 6.1.7, рис.6.1.6):

- максимум поступления ФАР отмечен не в третьей декаде мая, как это характерно для средних значений, а в третьей декаде июня (113 МДж/м²), следуя за годовым ходом средних за декаду баллов общей и нижней облачности:
- значительное превышение сумм Q_f для периода с 21 июня до 31 июля на 20-33%;
- в результате дымной мглы поступление ФАР в первых двух декадах августа снижено по сравнению со средними значениями на 6-10%, а в третьей декаде – за счет роста облачности – на 19%;
- минимальное значение декадной суммы Q_f наблюдалось не в первой декаде декабря, как для средних величин (особенность установления снежного покрова в течение периода осреднения), а в последней декаде года в силу значительной повторяемости пасмурной погоды;
- для периода с температурами выше 5°С наибольшее отклонение от средней декадной суммы Q_f в сторону увеличения наблюдалось в третьей декаде июня и первой декаде октября, когда разница превысила 30%, а в сторону уменьшения во третьей декаде мая (21%), когда, несмотря на то, что это, по сути, одиннадцать дней, отмечался существенный рост облачности.

		Ι			II			III	
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2010	7.0	9.0	15.6	15.8	12.5	16.9	30.9	39.0	50.6
1999-2009	5.4	6.0	8.7	13.0	16.2	17.7	25.9	32.1	52.1
ДИ ₁₉₉₉₋₂₀₀₉	±1.0	±0.9	±1.5	±2.2	±2.6	±3.2	±4.0	±4.5	±3.5
V ₁₉₉₉₋₂₀₀₉ ,%	32	26	29	28	27	30	26	24	11
δ ₂₀₁₀ ,%	29	51	81	22	-23	-5	19	22	-3
		IV	1		V	1		VI	1
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2010	58.81	61.3	58.9	70.3	88.8	76.0	80.0	70.9	113.2
1999-2009	49.1	54.0	68.3	79.8	72.0	96.5	85.9	87.9	84.8
ДИ ₁₉₉₉₋₂₀₀₉	±7.9	±6.7	±6.9	±7.5	±7.1	±13.0	±8.6	±7.0	±9.2
V ₁₉₉₉₋₂₀₀₉ ,%	27	21	17	16	17	23	17	14	18
δ ₂₀₁₀ ,%	20	14	-14	-12	23	-21	-7	-19	33
		VII	I		VIII	I		IX	I
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2010	103.3	108.5	104.0	61.3	64.0	50.9	48.6	40.0	34.0
1999-2009	85.9	86.2	84.5	68.2	68.0	62.5	47.8	40.0	38.0
ДИ ₁₉₉₉₋₂₀₀₉	±5.9	±6.6	±6.1	±7.1	±6.4	±8.3	±6.7	±6.3	±5.3
V ₁₉₉₉₋₂₀₀₉									
,%	12	13	12	18	16	23	24	26	23
δ ₂₀₁₀ ,%	20	26	23	-10	-6	-19	2	0	-10
		Х	L		XI	L		XII	
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2010	33.9	18.1	16.4	7.8	5.3	4.7	5.7	4.4	4.15
1999-2009	26.0	15.9	13.4	9.4	6.1	5.2	3.9	4.2	4.8
ДИ ₁₉₉₉₋₂₀₀₉	±3.7	±2.3	±2.4	±1.6	±1.1	±1.4	±1.2	±1.0	±0.6
V ₁₉₉₉₋₂₀₀₉									
,%	24	25	31	29	30	44	52	42	22
δ ₂₀₁₀ ,%	31	14	22	-17	-13	-9	45	4	-13

Таблица 6.1.7. Декадные суммы суммарной ФАР (400-700 нм) (Мдж/м²)



Рис.6.1.6. Годовой ход декадных сумм ФАР (Qf) в 2010 году и за 1999-2009 (Qf 1999-2009), среднего за декаду альбедо подстилающей поверхности (A2010) и балла общей (OO2010) и нижней (NO2010) облачности в 2010 году

Пентадные суммы суммарной ФАР позволяют представить еще более детальную картину прихода радиации к земной поверхности (табл.6.1.8, рис.6.1.7). Так в 2010 году максимум прихода ФАР к земной поверхности наблюдался в пятой пентаде июня (58 МДж/м²), превысив среднее значение для этого периода более, чем на 30%. В августе во второй пентаде усиление дымной мглы послужило причиной того, что земная поверхность недополучила четверть от средней суммы ФАР. Для вегетационного периода с t>5°C минимальная сумма отмечена в первой пентаде октября (12 МДж/м²), когда преобладала пасмурная погода. В то же время, вторая пентада октября характеризуется значительным увеличением поступления радиации: сумма Q_f более, чем в два раза превысила среднюю за 1999-2009 гг.



Рис.6.1.7. Годовой ход пентадных сумм суммарной ФАР в течение 2010 г.и в среднем за 1999-2009гг.

1. T	аблица 6.1.8.	Пентадные суммы	суммарной ФАР	(400-700 нм)	$(Mдж/м^2)$
------	---------------	-----------------	---------------	--------------	-------------

месяц	N⁰	Q _f 2010	Q_{f}	ДИ	V,	месяц	N⁰	Q _f 2010	Q_{f}	ДИ	V,
	пентады		1999-	1999-	1999-		пентады		1999-	1999-	1999-
			2009	2009	2009				2009	2009	2009
январь	Ι	4.27	2.64	0.40	0.26	июль	Ι	54.47	43.35	4.97	0.19
	II	2.71	2.81	0.69	0.42		II	48.82	43.83	4.84	0.19
	III	3.73	2.75	0.52	0.32		III	58.06	46.94	3.56	0.13
	IV	5.28	3.22	0.64	0.34		IV	50.41	40.43	4.86	0.20
	V	6.9	3.79	0.97	0.43		V	51.25	42.38	2.32	0.09
	VI	8.74	5.13	1.06	0.35		VI	52.73	43.02	4.57	0.18
февраль	Ι	6.21	7.17	0.98	0.23	август	Ι	37.00	36.00	4.65	0.22
	II	9.61	6.16	1.66	0.46		II	24.34	32.63	3.63	0.19
	III	7.83	7.64	1.64	0.36		III	37.54	33.09	4.57	0.23

	IV	9.66	8.96	1.48	0.28		IV	26.47	35.32	2.59	0.12
	V	9.4	10.86	2.34	0.37		V	27.54	30.55	5.21	0.29
	VI	9.56	9.79	2.04	0.35		VI	23.34	32.31	4.71	0.25
март	I	12.08	11.18	2.44	0.37	сентябрь	I	20.7	26 39	4 35	0.28
	II	18.85	15 52	2.51	0.27		II	27.87	21.41	3 74	0.30
		20.23	15.32	2.31	0.27			10.80	10.07	3.60	0.30
		19.70	17.77	2.09	0.32			20.12	19.97	2.50	0.31
		18.79	21.07	3.21	0.31			20.12	19.79	3.39	0.31
	V	17.98	21.8/	2.40	0.19		V	18.33	20.54	2.86	0.24
	VI	32.63	32.25	2.81	0.15		VI	15.65	17.27	3.20	0.31
апрель	Ι	28.35	25.30	4.97	0.33	октябрь	Ι	12.13	16.11	2.54	0.27
	II	30.46	25.50	4.67	0.31		II	21.78	10.73	2.07	0.33
	III	35.35	26.26	4.07	0.26		III	7.02	9.33	1.74	0.31
	IV	25.97	26.37	5.94	0.38		IV	11.11	7.34	1.14	0.28
	V	22.10	32.32	5.37	0.28		V	9.13	6.68	1.53	0.38
	VI	36.83	35.63	4.65	0.22		VI	7.22	7.11	1.54	0.37
май	Ι	30.9	39.78	4.87	0.21	ноябрь	Ι	3.83	4.94	1.35	0.46
	II	39.37	41.69	5.16	0.21		II	3.99	4.51	1.05	0.36
	III	44.04	33.55	5.87	0.30		III	3.49	3.32	0.76	0.30
	IV	44.80	40.00	4.35	0.18		IV	1.79	2.80	0.71	0.29
	V	42.36	41.45	8.79	0.36		V	1.63	2.75	0.76	0.28
	VI	33.59	57.08	7.84	0.23		VI	3.1	2.52	0.73	0.26
июнь	Ι	39.25	46.17	4.75	0.17	декабрь	Ι	3.39	1.98	0.64	0.55
	II	40.79	40.97	5.10	0.21		II	2.29	2.03	0.67	0.56
	III	30.64	47.72	6.02	0.21		III	2.47	1.99	0.53	0.45
	IV	40.30	41.47	4.56	0.19		IV	1.90	2.27	0.63	0.47
	V	58.20	43.49	5.46	0.21		V	1.93	2.37	0.36	0.26
	VI	54.98	42.63	5.95	0.24		VI	2.22	2.40	0.45	0.31
		1									

Таким образом, в заключение следует сказать, что в 2010 году:

1. в целом за год поступление ФАР превысил среднюю оценку на 6%;

- в январе и июле сумма за месяц превысила максимальную сумму за 1999-2009 гг, т.е. были достигнуты новые максимумы;
- за счет влияния дымной мглы поступление суммарной ФАР в августе уменьшилось на 12%;
- 4. в результате устойчивого антициклонального типа погоды с минимальной нижней облачностью, наблюдавшихся в течение периода с 20 июня по 19 августа максимум декадной суммы наблюдался в третьей декаде июня, когда высота солнца максимальна;
- максимальная суточная сумма ФАР наблюдалась 6 июня, а минимальная 13 декабря;
- 6. летом в результате сложившихся условий жаркой и засушливой погоды, осложненной в августе еще и дымной мглой, условия произрастания растений в июлеавгусте были неблагоприятными.

6.2. Естественная освещенность земной поверхности

Годовая сумма суммарного освещения (E_Q) в 2010 году (E_Q = 114,7 Млк•ч) превышает среднюю многолетнюю величину или норму (1964-2003 гг, E_{Qcp} = 109,7 Млк•ч) на 5%. Сумма рассеянного освещения за год оказалась меньше (E_D = 63,6 Млк•ч) по сравнению с нормой (1964-2003 гг, E_{Dcp} = 64,8 Млк•ч) на 2%. Наоборот, годовая сумма освещения прямой радиацией (E_S = 51,1 Млк•ч) увеличилась на 14% по сравнению с нормой (1964-2003 гг, E_{Scp} = 44,9 Млк•ч). Следует отметить, что для интегральной радиации тенденции изменения в 2010 году относительно норм за тот же временной период оказался аналогичными: суммарная интегральная радиация больше на 6%, прямая – на 21%, а рассеянная радиация меньше на 6%.

Основной приход E_Q приходится на теплый период (V-IX), и в 2010 году он составил 70% (80,6 Млк•ч) от годовой суммы, что больше нормы (77,7 Млк•ч) на 4%. Аналогичное количество рассеянного освещения составило 67% (42,3 Млк•ч) от годового прихода E_D , что на 6% меньше нормы (45 Млк•ч).

В отличие от предыдущих двух лет, приход E_Q в календарные сезоны 2010 года был выше нормы в течение всех сезонов года, причем наиболее значительный рост наблюдается зимой и летом (+7%). Весной количество освещения практически равно норме: разница не превысила 1%. Количество освещения рассеянным светом, наоборот, было меньше нормы во все сезоны года, за исключением зимы, сумма которого в это время года было близко к норме (+1%) (табл. 6.2.1). Наиболее значительный рост в 2010 г. наблюдается для количества освещения прямым светом. Наиболее существенен он зимой и осенью (более трети от нормы), но и летом также превышение значительно (четверть от нормы). Для сравнения в табл. 6.2.1 приведены также аналогичные изменения составляющих суммарной интегральной радиации. Практически все закономерности изменения одинаковы.

В течение года суммы E_Q за месяц изменялись от 927 клк-час в декабре до 21924 клк-час в июле. Поступление суммарного освещения в течение 8-ми месяцев было больше нормы (табл. 6.2.2). Наибольшее положительное отклонение месячной суммы E_Q от нормы в 2010 году наблюдалось в январе - +33%, июле (+22%) и октябре (+17%). Наиболее «темный» месяц опять был ноябрь: -26% от нормы.

97

	3има *	Весна	Лето	Осень								
Е _Q , клк•час												
2010 г.	6758	37710	54744	15488								
1964-2003 гг.	6316	37452	51303	14628								
ДИ	±279	± 870	±893	±452								
V,%	14	7	6	10								
δ**, %	7	1	7	6								
Е _D , клк•час												
2010 г.	5135	19093	27718	9197								
1964-2003 гг.	5109	22831	29478	10026.5								
ДИ	±178	±490	±596	±202								
V,%	11	7	6	6								
δ**, %	1	-16	-6	-8								
Е _s , клк•час												
2010 г.	1623	18617	27028	6291								
1964-2003 гг.	1207	14621	21824	4602								
δ**, %	34	27	24	37								
	Q,	МДж/м ²										
2010 г.	250	1303	1804	514								
1964-2003 гг.	230	1247	1675	493								
δ**, %	9	4	8	4								
	D,	МДж/м ²										
2010 г.	176	658	809	313								
1964-2003 гг.	175	686	865	317								
δ**, %	0	-4	-6	-1								
	S',	МДж/м ²										
2010 г.	74	645	995	201								
1964-2003 гг.	55	561	809	176								
δ**, %	35	15	23	14								

Таблица 6.2.1.Сезонные суммы интегральной радиации и количества освещения суммарным (E_Q), рассеянным (E_D) и прямым (E_S) светом в 2010 г. и за 1964-2003 гг.

*Взят декабрь предыдущего года; ** - .б=(2010-Норма)/Норма

Особенностью 2010 года является то, что в январе и июле были перекрыты максимумы E_Q за период 1964-2003 гг. (рис.6.2.1, табл.6.2.2). Наоборот, суммы рассеянного освещения в девяти месяцах из двенадцати оказались меньше нормы, причем в июне-июле эта разница составила около 2σ , а в ноябре – 1,5 σ . Годовой ход E_D в 2010 году характеризуется двумя максимумами: основной в августе в результате влияния дымной мглы (E_D превысил норму на 16% и почти достиг максимального значения, наблюдавшегося в 1992 г.), и вторичный в мае за счет значительной повторяемости облачной погоды (см. рис.6.2.1). Также нетипично было постепенное уменьшение количества освещения рассеянным светом от июня к июлю.

Таблица 6.2.2. Количество освещения суммарным, рассеянным и прямым светом за месяц (Млк-час) в 2010 г. и в среднем за период 1964-2003 гг.

Период	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII
				Суммар	оная ос	вещенн	ость, Е	Q				
2010 г.	2.2	3.6	8.6	12.6	16.5	19.3	21.9	13.5	9.4	4.9	1.3	0.9
1964-												
2003гг.	1.7	3.6	8.2	11.6	17.6	18.6	18.1	14.6	8.7	4.2	1.7	1.0
ДИ	±0.1	±0.2	± 0.3	±0.4	±0.7	± 0.6	± 0.6	±0.4	± 0.4	±0.2	±0.1	±0.1
E _{Qmax}												
1964-2003	2.16	4.99	10.77	14.20	22.39	22.38	21.52	17.18	10.78	5.62	2.68	1.67
год	1972	1969	1969	2001	2002	1968	1972	1971	1974	1987	1967	2002
E _{Qmin}												
1964-2003	1.11	2.22	5.67	8.35	12.54	14.92	15.04	11.57	6.20	2.33	1.02	0.69
год	1989	1990	1979	1986	1974	1985	2000	1998	1990	1970	2003	1965
V,%	17	19	12	12	12	11	10	9	13	17	22	20
δ 2010,%											-	
	32.5	0.5	5.1	8.6	-6.5	3.7	21.5	-7.8	7.2	16.3	25.6	-9.8
				F	Рассеян	ная осв	ещенно	сть, ЕС)			
2010 г.	1.6	2.8	5.2	7.1	9.2	9.0	8.8	9.9	5.4	2.7	1.1	0.8
1964-												
2003гг.	1.4	2.7	5.4	7.5	9.9	10.5	10.3	8.6	5.6	3.0	1.4	0.9
ДИ	±0.06	±0.1	±0.2	±0.2	±0.3	±0.3	±0.2	±0.2	±0.1	±0.1	±0.1	±0.04
E _{Dmax}												
1964-2003	1.78	3.78	6.58	9.25	11.41	12.00	11.42	9.98	6.49	3.77	2.10	1.29
год	1972	1984	1976	1984	1984	1981	1984	1992	1992	1983	1993	2002
E _{Dmin}												
1964-2003	1.05	1.74	4.35	6.32	8.63	8.78	8.90	7.47	4.77	2.13	0.90	0.66
год	1971	1974	1979	1986	2003	1999	1973	1974	1969	1970	2003	1972

V,%	14	16	11	9	8	7	7	8	8	10	15	15		
δ 2010,%										-	-			
	8.7	0.5	-2.2	-5.4	-7.1	-14.4	-15.0	15.6	-3.9	11.1	21.7	-16.0		
	Прямая освещенность, ES													
2010 г.	0.6	0.9	3.3	5.5	7.2	10.3	13.2	3.6	4.0	2.2	0.2	0.1		
1964-														
2003гг.	0.2	0.9	2.8	4.1	7.7	8.1	7.7	6.0	3.1	1.2	0.3	0.1		
ДИ	±0.05	±0.1	±0.3	±0.4	±0.6	±0.6	±0.5	±0.3	±0.4	±0.2	±0.1	±0.02		
E _{Smax}														
1964-2003	0.67	2.25	5.37	7.18	13.61	13.17	10.84	8.74	5.25	2.24	0.63	0.38		
год	1973	1969	1996	1965	2002	1999	2002	2001	1974	1987	1975	2002		
E _{Smin} 1964-														
2003	0.03	0.14	1.08	1.51	2.66	4.85	4.50	3.66	1.02	0.19	0.04	0.01		
год	1966	1991	1976	1983	1980	1985	1993	1987	1990	1982	1976	2000		
V,%	63	53	35	29	26	24	21	18	37	46	62	50		
δ 2010,%	190	0.8	19	34	-6	27	70	-41	27	88	-45	50		
	Доли рассеянной освещенности в суммарной (%)													
2010	71	76	61	56	56	47	40	74	58	55	88	84		
1964-														
2003гг	87	76	66	65	56	57	57	59	64	72	83	90		
			Светов	ые экви	ивалент	ы освеі	ценнос	ги (клк	час/М	<u>Цж/м²)</u>				
LE _Q 2010	26.5	27.3	28.8	28.9	29.1	31.1	29.5	30.6	31.2	28.7	28.6	25.6		
LE _Q 1964-														
2003	27.5	28.0	29.5	29.9	30.3	30.5	30.7	30.6	30.1	29.1	28.8	26.3		
LE _D 2010	29.0	29.3	32.3	33.7	32.5	33.7	33.3	35.7	32.6	30.7	27.9	26.9		
LE _D 1964-														
2003	29.1	30.0	32.6	33.4	33.8	33.8	34.2	34.0	32.7	31.1	30.2	27.4		
LE _S 2010	22.0	22.6	24.6	24.3	25.7	29.2	27.5	21.8	29.4	26.6	34.8	20.1		
LE _s 1964-														
2003	20.0	23.2	24.9	25.1	26.8	27.1	27.1	26.9	26.4	24.9	23.2	19.0		
		6.0	O ^r	гношен	ие суми	и освеш	цения к	возмож	ным (%	<u>o)</u>				
EQ ₂₀₁₀ /EQ _o	91	69	67	70	66	71	82	66	66	53	34	49		
EQ _H /EQ _o	69	69	64	64	70	68	68	72	62	46	46	54		
ED ₂₀₁₀ /ED _o	106	114	117	113	125	123	114	129	101	82	62	67		
$ED_{\rm H}/ED_{\rm o}$	97	113	120	119	135	144	135	112	105	92	79	79		
ES_{2010}/ES_o	68	31	40	47	41	51	69	28	45	37	8	20		
ES_{H0}/ES_{o}	24	31	34	35	43	40	41	48	36	20	15	13		

Для годового хода месячных сумм E_s 2010 года характерно сильное отличие от годового хода норм E_s . Наибольшая сумма E_s , наблюдавшаяся в июле, превысила максимум за период 1964-2003, наблюдавшийся в 2002 г., на 20%. В то же время сумма за август оказалась меньше абсолютного минимума (наблюдавшегося в 1987 г.) на 2,5%. В сентябре количество освещения прямым светом превысило E_s в августе на 10% (рис.6.2.1).



Рис.6.2.1. Годовой ход месячных сумм количество освещения в 2010 г. и в среднем за период 1964-2003 гг.

Отношение фактического количества суммарного освещения к возможному (при отсутствии облаков в течение всего месяца) показало, что в целом за 2010 год к земной поверхности поступило 69% от возможной суммы E_Q (что на 3% больше, чем для нормы), 113% от ED₀ и 46% от ES₀. Наиболее «темным» месяцем был ноябрь (34% от возможного количества), а максимум наблюдался в январе (91%). В июле поступление EQ также было очень значительным (82%). В целом в течение всего года в суммарной освещенности больше половины приходится на ее рассеянную составляющую (59% для периода 1964-2003 гг.). Вклад ED в годовую сумму EQ в 2010 г. оказался на 4% ниже. В годовом ходе максимальный вклад ED в суммарную освещенность отмечался в ноябре (88%), а минимальный – в июле (40%). В результате дымной мглы в августе доля рассеянной освещенности увеличилась до 74%, что превысило аналогичные оценки для нормы на 15% (см. табл. 6.2.2).

Отношения количества освещения к средней за месяц интегральной суммарной радиации (LEQ) колеблется в небольших пределах (26-31 клк•час/ МДж•м-2). Аналогичные величины отношения ED к сумме за месяц рассеянной радиации выше (28-34 клк•час/МДж•м-2), чем для EQ, причем чем меньше вклад рассеянной освещенности в суммарную, тем разница между LEQ и LED больше (см. табл.6.2.2). Выделяется опять август 2010 г., когда световой эквивалент рассеянной освещенности вырос до 36 клк•час/ МДж•м-2 и одновременно значительно уменьшился световой эквивалент ES.

Количество освещения за сутки может колебаться в значительных пределах, что наглядно представляет график на рис. 6.2.2-6.2.3 и табл. 6.2.3.



Рис.6.2.2.Годовой ход средних за месяц и экстремальных суточного количества освещения суммарным светом в 2010 г. и за период 1964-2003 гг.

Таблица 6.2.3. Суточное количество освещения суммарным светом в 2010 г. и в среднем за 1964-2003 гг.

Месяц	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII
	2010 год											
Средняя,	71	130	278	421	531	644	707	436	312	157	44	30
Максиму	/ 1	150	270	721	551	044	/0/	-50	512	1.57		50
M,												
клк∙час	120	234	471	632	828	926	870	686	498	333	112	74
Дата	31	23	26	27	20	6	1	12	10	8	7	1
Характер погоды	10/0 Ci Cc Ac As	8/3 Ci Cc Sc	7/1 Ci Cc Sc	4/2 Ci Cu	2/1.5 Ci Cc Cu	5/2 Ci Cc Cu	0/0	6.5/2 Ci Cc Cu	5/3 Ci Cc Ac	2/0 Ci Ac Cc	9.5/5 Ci Cc Cs Ac	3/1 Ci Ac Sc
Миниму												
м, клк·час	20.5	48.5	84.4	217.2	222.7	202.7	478.4	123.6	33.0	33.2	9.8	8.4
Дата	8	2	2	5	27	11	3	29	28	21	24	13
Характер погоды	10/10 Ns,St, Sc снег	10/10 Cb Sc, Frnb снег	10/10 Sc, Cb, Frnb Мокр ый снег	9.9/8 Sc, Cb Frnb дожд ь	10/10 Sc Cb Frnb дожд ь	10/10 Sc Cb Frnb дожд ь	10/7 Ci Cs Ac Cu	10/7 Cs Sc Cb Frnb моро сь	10/10 St, Cb Sc,Fr nb дожд ь	10/10 Cb Sc,Fr nb дожд ь, моро сь	10/10 Sc St Ns Сb дожд ь моро сь	10/1 0 Ns St моро сь
V,%	38	38	39	27	31	35	15	34	45	62	55	61
						1964-20	03 гг.					
Средняя клк·час	54	128	264	388	568	621	582	472	291	135	56	33
±ДИ	1.5	3.6	6.7	9.5	10.8	11.4	10.8	9.1	7.8	4.6	2.1	1.0
Максиму м клк·час	148	319	583	741	1007	985	946	847	616	418	211	91
Дата	1\2002	27/19 72	31\20 01	31/19 93	3\196 6	8\198 0	8\197 3	1\198 0	3\199 9	1\196 7	11\19 93	1\20 02
Миниму												
м,												
клк∙час	7.8	20.3	43.6	31.7	58.5	46.0	65.8	52.7	27.2	6.4	6.4	2.3
Дата	1/1995	2\196 8	2/196 6	14/19 70	24/19 74	1/197 6	20/19 73	11/19 80	27/19 68	24/19 74	28/19 69	14\6 5
V,%	48	48	45	43	34	32	33	35	46	62	65	52
As	0.655	0.46	0.16	-0.17	-0.53	-0.67	-0.59	-0.4	0.06	0.79	1.18	0.55
Е	-0.03	-0.47	-0.93	-0.96	-0.45	-0.22	-0.34	-0.53	-0.86	-0.19	1.18	-0.47



Рис.6.2.3. Дневное количество суммарного освещения на каждый день года: 1 - среднее, 2 -максимальное, 3 - минимальное за 1964-2003 гг., 4-2010 г.

В отличие от месячного количества освещения, экстремальные суточные суммы не изменились. Однако в конкретные дни были перекрыты как абсолютные максимумы (22 июня, 24-25 сентября, 24 и 31 октября), так и абсолютные минимумы (23 и 28 сентября, 20 октября, 24 ноября).

Сопоставление характера изменчивости дневного количества E_Q в 2010 и для периода 1964-2003 гг. показало, что в 2010 году относительная изменчивость была меньше во все месяцы, кроме июня и декабря (рис. 6.2.4).



Рис.6.2.4. Годовой ход коэффициентов вариации (%) суточного количества освещения суммарным светом в 2010г. и за период 1964-20039 гг.

Максимальная суммарная освещенность колебалась в течение года от 20 клк в декабре до 139 клк в июне, следуя за ходом высоты Солнца (табл. 6.2.4). Максимум рассеянной освещенности не превысил 11 (декабрь) - 91 (сентябрь) клк, причем удивителен сдвиг максимума на сентябрь. К сожалению, в ряде месяцев в работе приборов были перерывы, что не позволило определить максимальные значения Е в эти месяцы.

Период	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Максимальная суммарная освещенность, клк													
E_Q		50	69	77		139	113	124	117	75	43	20	
Дата		27	22	30		9	7	27	3	1	7	2	
Время*		11 ²¹	11 ²⁶	11 ¹⁵		12 ²⁷	13 ¹³	10 ⁴³	10 ⁵⁹	11 ¹³	11 ¹⁴	11 ⁰⁵	
	Максимальная рассеянная освещенность, клк												
E_D			64	64		75	65	76	91	40	23	11	
Дата			10	30		16	3	1	17	22	2	16	
Время*			11 ⁵⁸	10 ³⁶		12 ³⁷	9 ²³	11 ¹¹	11 ¹⁵	11 ¹⁷	12 ²⁸	11 ³⁸	

Таблица 6.2.4. Максимальные значения освещенности	(клк) в 2010	году
---	------	----------	------

*время истинное солнечное

Таким образом:

- рост суммарного освещения в 2010 году на 5% по сравнению с нормой был обусловлен значительным ростом количества прямого освещения (14%). При этом количество рассеянного освещения уменьшилось на 2%;
- приход суммарного освещения в календарные сезоны 2010 года был выше нормы в течение всех сезонов года, причем наиболее значительный рост наблюдается зимой и летом (+7%). Он обусловлен значительным увеличением количества прямого освещения: зимой и осенью - более трети от нормы, летом - до четверти от нормы;
- в январе и июле были перекрыты максимумы месячного количества освещения E_Q, в июле – максимум E_S за период 1964-2003 гг.;
- Максимальное суточное количество освещения суммарным светом в 2010 г. наблюдалось 6 июня, а минимальное – 13 декабря.

Литература:

Ничипорович А.А., 1961. Рабочее совещание по вопросам измерения оптического излучения для целей агрометеорологии, физиологии и экологии растений. – Физиология растений, т.8, вып. 6, с.744-747.

Махоткина Е.Л. 1983. Цветные пиранометры. Труды ГГО, Вып. 456, с. 71-77.

Никольская Н.П., Евневич Т.В., Янишевский Ю.Д., Луцько Л.В. 1972. Рекомендации по учёту светового климата при проектировании естественного освещения. Строительная светотехника, вып.5(19), с.15-105.

Зачек С.И., А.П.Бычкова, С.А.Соколенко. О некоторых результатах натурных испытаний люксметров на кремниевых фотодиодах ячеистой структуры. 1988. Труды ГГО, Ленинград, Гидрометеоиздат, под ред.Г.П.Гущина, с.74-81.

7. Особенности режима УФ радиации 300-380нм.

Незваль Е.И.

В Метеорологической обсерватории МГУ непрерывная регистрация суммарной и рассеянной ультрафиолетовой (УФ) радиации в области спектра 300-380 нм осуществляется с 1968 года. До декабря 2008 года измерения проводились уфиметрами, разработанными и сконструированными сотрудниками обсерватории М.П.Гараджа и А.В.Высоцким (Ультрафиолетовые измерительные приборы, 1977, Chubarova, Nezval, 2000). Начиная с декабря 2008 г. для измерения суммарной радиации 300-380 нм используется УФ пиранометр UVA-1 YES, проградуированный в области спектра 300-380 нм. Подробно методика сохранения однородности ряда измерений суммарной УФ радиации 300-380 нм изложена в разделе 13.

В целом за 2010 год приход суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм соответственно на 6% и 4% выше по сравнению со средней величиной за 40 лет с 1968 г. по 2007 г. (норма) и за период с 1999 г. по 2009 г. В 2010 году в 8 месяцах приход УФ радиации был выше нормы и выше средних значений за предыдущие 11 лет (табл.7.1).

Особенности прихода в отдельные месяцы в значительной степени определяются циркуляционными факторами, а, следовательно, облачностью и связанной с ней продолжительностью солнечного сияния. На рис.7.1 представлены отклонения от средних значений за период 1968-2007 гг. месячных сумм суммарной УФ ($dQ_{y\phi p}$) и интегральной (dQ_{up}) радиации, балла общей (dN_o) и нижней (dN_{μ}) облачности за светлую часть суток и продолжительности солнечного сияния ($d_{\Pi CC}$). Годовой ход и знак аномалий для суммарной УФ и интегральной радиации, как правило, хорошо согласуются. Положительные аномалии балла нижней облачности и рост ПСС и наоборот. Исключение составляет август и декабрь 2010 г.

Таблица 7.1. Месячные и годовые суммы суммарной УФ радиации 300-380 нм за 2010 год и за периоды 1968-2007 гг. и 1999-2009 гг. , МО МГУ.

Пара-	Месяцы														
метры	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII	Год		
	Месячные и годовые суммы суммарной УФ радиации 300-380 нм, МДж/м ²														
2010 г.	2.90	4.89	11.4	16.2	22.9	26.6	29.6	16.5	12.1	6.4	2.12	1.50	153.1		
1968-	2.36	5.05	10.8	14.9	22.4	24.6	24.1	19.4	11.5	5.62	2.34	1.57	144.6		
2007 гг.															
1999-	2.29	4.90	11.1	15.7	22.8	24.8	24.7	19.7	12.0	5.50	2.32	1.46	147.3		
2009 гг.															
Максимальные и минимальные месячные и годовые суммы за период 1968-2009 гг., МДж/м ²															
Q макс	2.93	6.23	1.3.6	18.1	27.3	30.5	28.2	23.4	13.5	7.19	3.62	2.22	160.3		
Год	1972	1968	1996	1968	2002	1968	1994	1971	1970	1994	1998	2002	1968		
Q мин	1.81	3.44	7.58	11.1	16.5	20.2	21.1	15.8	8.38	3.39	1.48	1.16	132.1		
Год	1989	1974	1979	1986	1980	2003	1984	1987	1990	1982	1976	1976	1980		
Откло	Отклонения месячных сумм и годовой суммы УФ радиации за2010 год от средних многолетних величин,														
						d%									
d ₁₉₆₈₋₂₀₀₇	23	-3	6	9	2	8	23	-15	5	14	-9	-4	6		
d ₁₉₉₉₋₂₀₀₉	27	0	3	3	0	7	20	-16	1	17	-9	3	4		
Доли меся	чных и г	одовых	сумм су	ммарной	і УФ рад	циации в	месячн	ых и год	овых су	ммах су	ммарной	і интегра	альной		
					I	радиаци	и, %.								
2010 г.	3.5	3.7	3.8	3.7	4.1	4.3	4.0	3.7	4.0	3.8	4.8	4.2	4.0		
1068-	3.9	3.9	3.8	3.8	3.9	4.1	4.1	4.1	4.0	4.0	4.1	4.1	4.0		
2007 гг.															
		Доли м	есячных	к и годов	вых суми	м рассея	нной УФ	радиац	ии в сум	марной	, %				
2010 г.	97	94	87	80	79	72	72	88	82	91	97	99	80		
1068-	98	94	87	84	78	78	79	80	85	92	97	99	92		
2007 гг.															

Январь 2010 г. был малооблачным и солнечным, о чем свидетельствуют уменьшение балла нижней облачности почти на 40% и рост ПСС более чем на 140%. В январе 2010 г. месячная сумма превысила норму на 23%, а среднюю величину за 1999-2009 гг. - на 27%. Эта величина близка к максимальной сумме за весь период, отмечавшейся в 1972 г.


Рис.7.1 Отклонения (d%) от нормы (1968-2007 гг.) месячных данных за 2010 год.

Существенно больший прирост суммарной интегральной радиации (40%) по сравнению с УФ радиацией 300-380 нм в январе обусловлен в первую очередь значительно большей долей прямой интегральной радиации в суммарной по сравнению с УФ радиацией.

Как уже говорилось в предыдущих разделах, лето 2010 г. было уникальным. С конца июня до середины августа наблюдалась аномально жаркая антициклональная погода. В июле приход суммарной УФ радиации выше соответственно на 23% и 20% по сравнению с нормой и величиной за предыдущие 11 лет. Это максимальная величина за весь период наблюдений. Однако максимальная суточная сумма УФ радиации приходится для июля приходится на 1995 г. (табл. 7.2, рис. 7.2). Интересно отметить, что в июле 2010 г. минимальная суточная сумма была на 36% выше самой высокой минимальной суммы за все предыдущие июли, наблюдавшейся в 1981 г. 14 и 15 июля 2010 года отмечались максимальные суточные суммы для этих дат за весь период наблюдений (рис.7.3). Отмечались абсолютные максимумы суточных сумм для отдельных чисел и в июне:6, 21, 29.

Параметр	Масяни													
	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII		
Сре	Средние, максимальные, минимальные суточные суммы за 2010 г., кДж/м ² .													
Q _{средн}	94	175	368	539	739	499	954	532	404	207	71	48		
Q _{макс}	154	304	596	860	1077	1213	1161	863	596	372	149	91		
Число	30	71	127	292	294	351	709	193	62	63	19	18		
Q _{мин}	30	71	127	292	294	351	709	193	62	63	19	18		
Число	8	2	2	5	26	15	27	7	28	21	20	13		
σ	32	62	132	149	203	265	147	179	157	94	33	22		
V%	34	35	36	28	27	30	15	34	39	45	46	46		
Средние суточные суммы за 1968-2007 гг. и 1999-2009 гг., кДж/м ² и коэффициенты ва-														
					риаці	ии V%.								
Q _{средн}	76	179	347	496	723	821	776	627	382	181	78	51		
1968-2997														
V	41	41	40	39	31	29	29	32	41	54	54	43		
1968-2007														
Q _{средн} 1999-2009	74	173	357	523	737	827	796	640	401	177	77	47		
V														
1999-2009	43	42	41	36	31	29	27	29	36	54	53	45		
Макси	мальнь	іе и ми	нимал	ьные с	уточны	е сум	мы за г	териод	1968-2	2009 гг.	, кДж/	M ²		
Q _{макс}	175	382	683	1057	1307	1265	1236	1071	826	487	227	116		
Число	31	25	31	27	29	22	10	2	1	3	1	3		
Год	2002	1998	2000	1974	1974	1969	1995	2008	1994	1998	1975	2001		
Q _{мин}	14	36	52	67	126	91	93	91	42	15	6	8		
Число	1	14	5	14	2	15	20	14	26	10	18	18		
Год	1995	1975	1992	1970	1980	1993	1973	2004	1972	1983	1976	1980		

Таблица 7.2 Суточные суммы суммарной УФ радиации 300-380 нм.

Можно видеть, что в большинстве дней июля 2010 г. суточные суммы суммарной УФ радиации были выше нормы и близки к максимальным значениям за весь период наблюдений. Следствием этого явилась низкая изменчивость суточных сумм УФ радиации в июле 2010 года (рис. 7.4).



Рис. 7.2 Годовой ход средних суточных сумм суммарной УФ радиации за 2010 год и за период 1968-2007 гг. (норма) и максимальных и минимальных величин за 2010 г. и период 1968-2009 гг.



Рис. 7.3. Изменение суточных сумм суммарной УФ радиации за период с 1 июня по 31 августа.



Рис. 7.4 Годовой ход коэффициента вариации суточных сумм суммарной УФ радиации.

Наибольшая отрицательная аномалия отмечалась в августе. Месячная сумма суммарной УФ радиации была соответственно на 15 и 16 % ниже нормы и средней величины за 1999-2009 гг. Уникальные погодные особенности лета 2010 г. способствовали возникновению в конце июля лесных и торфяных пожаров как в ряде областей Центральной части Европейской России, так и в непосредственной близости от Москвы. Следствием этого явилось сильное задымление воздуха в Москве, которое продолжалось до 19 августа. В результате, несмотря на уменьшение нижней облачности на 18 %, уменьшилась на 20 % ПСС. Максимальное задымление, отмечавшееся 6-10 августа, и вызванные этим чрезвычайно высокие значения АОТ (см. разделы 5, 10) привели к тому, что 7-8 августа суточные суммы суммарной УФ радиации для области спектра 300-380 нм оказались самыми низкими для этих чисел августа за весь период наблюдений (см. рис.7.3). 7 августа полностью отсутствовала прямая УФ радиация. Приход суммарной УФ радиации состоял только из рассеянной радиации. В целом за этот месяц доля рассеянной УФ радиации в суммарной резко возросла:88% при норме -80% (см. табл.7.1).

Развитие циклонической деятельности и выпадение осадков во 2-ой декаде августа способствовало прекращению пожаров и очищению атмосферы. Об этом свидетельствует

рост суточных сумм суммарной УФ радиации. Резкие понижения в суточном приходе суммарной УФ радиации 28 и 29 обусловлены наблюдавшимся в течение всего дня сплошным покровом облаков нижнего яруса и выпадением осадков.

Характер многолетних изменений в приходе суммарной УФ достаточно хорошо согласуется с изменениями суммарной интегральной радиации (рис.7.5).



a.



б.

Рис. 7.5. Многолетние изменения суммарной УФ и интегральной радиации. d – отклонения от нормы (1968-2007 гг.) в %. a – суммы за год, б – суммы за теплый период (май-сентябрь).

Годовой вклад суммарной УФ радиацию в интегральную суммарную радиацию в среднем за 40 лет составляет 4%, мало изменяясь в течение года от 3.8% в марте и апреле до 4.1 % в июне-августе и ноябре-декабре. В 2010 году наименьшее значение доли суммарной УФР в интегральном потоке отмечалось в январе - 3.5%, а наибольшее – в октябре - 4.8%. В целом за 2010 год доля УФ радиации 300-380 нм в интегральной суммарной радиации равна средней многолетней величине.

Литература:

- 1. Ультрафиолетовые измерительные приборы Пущино, координационный центр стран СЭВ и СФРЮ по проблеме «Исследования в области биологической физики», 1977, с.35-38.
- 2. Chubarova N. YE. and Nezval' YE. I. Thirty year variability of UV irradiance in Moscow. Journal of Geophysical Research, 2000, vol. 105, No D10, pp. 12,529-12,539.

8. Характеристика режима биологически-активной эритемной радиации.

Н.Е. Чубарова

Измерения биологически активной эритемной радиации в метеорологической обсерватории МГУ проводятся с 1999 года с помощью ультрафиолетовых широкополосных пиранометров UVB-1 YES. Калибровка приборов осуществляется по международным стандартам в рамках международного соглашения с Департаментом Физиологии и Медицинской Физики Отделения Биомедицинской Физики Медицинского Университета, Инсбрук, Австрия. Последняя калибровка контрольного пиранометра UVB-1 №060904 проводилась в Инсбрукском Медицинском Университете в Австрии летом 2008 г. по спектрометру Bentham DTM300.

В 2010 году на регистрации продолжал использоваться UVB-1 №920602. Проводилось его сопоставление с контрольным прибором №060904, который работал в параллельном режиме на другом канале системы регистрации SUN с 1 по 30 апреля 2010 года. Сравнение показало, что сигнал регистратора примерно на 3% занижен при высотах Солнца более 30 градусов после введения спектральной и косинусной поправки. Последняя величина и была использована в качестве коррекции значений измерений, осуществляемых в 2010г.

Согласно рекомендациям ВМО и разработанным методам работы с приборами этого типа в МО МГУ при обработке данных регистрации широкополосных приборов необходимо вводить поправки на высоту Солнца и общее содержание озона, что связано с отличиями кривой спектральной чувствительности прибора от кривой эритемного действия. При этом на первом этапе формируются стандартные таблицы с часовыми дозами эритемной радиации (Qer), полученной с помощью переводного коэффициента при 30 градусах и озоне 300 DU (a=0.1303 BT/м² V для контрольного прибора), а также с учетом 8% изменения калибровочного коэффициента непосредственно для регистратора. Окончательные данные измерений обрабатываются по стандартной методике, рекомендованной BMO, с учетом зависимости переводного множителя от высоты Солнца и общего содержания озона и учета косинусной погрешности прибора при часовой сумме прямой радиации выше 1 Мдж/м². При обработке использовались данные спутника OMI по общему содержанию озона.

115

Результаты измерений средних за месяц суточных сумм биологически активной эритемной радиации (Q_{er}) и некоторые статистики за период 1999-2009 г. приведены в Таблице 8.1.

В целом 2010 году годовая сумма эритемной радиации Q_{er} была несколько ниже средней (2.8%), чем среднее значение за 1999-2009 г. и составила 380.4 кДж/м² (эф). В 2010 году был зарегистрирован абсолютный максимум эритемной радиации в июле, который превышал среднее значение за период 1999-2009 гг. на 16% за счет практически полного отсутствия в июле сплошного покрова облаков нижнего яруса, вызывающего значительное ослабление УФ радиации. Он совпадает с абсолютным максимумом, наблюдающимся и для суммарной радиации в других диапазонах спектра (см. разделы 5 и 6) за более продолжительные периоды. В декабре наблюдался абсолютный минимум эритемной радиации за период 1999-2009 гг., который ниже среднего на 29%. Отметим, что в декабре значения суммарной коротковолновой радиации также отмечались на 10% ниже нормы 1999-2009 (см. раздел 5).

Вариации относительно средних величин Q_{er} в 2010 году составляли порядка ±20-30%. На рисунке 8.1 приведено сравнение вариаций Q_{er} в разные годы. Хорошо видно, что как и в другие годы в 2010 году заметные относительные отклонения эритемной радиации наблюдались в основном в зимние месяцы года. Однако в июле и августе 2010 года также наблюдались довольно заметные отклонения Q_{er} от нормы.

Для выяснения причин вариаций эритемной радиации в 2010 году была использована модернизированная модель реконструкции, позволяющая оценивать изменения радиации с месячным и более осреднением (Chubarova, 2008). Отметим, что модель пока учитывает вариации Q_{er} за счет оптической толщины облаков только за период май-сентябрь, вследствие чего возможны существенные отклонения в зимние месяцы, когда этот фактор важен за счет большой повторяемости условий сплошного покрова облаков.

На рис.8.2 приведен сезонный ход изменения эритемной радиации и сравнение его с нормой, а также сопоставление изменчивости среднесуточных значений эритемной радиации с модельными оценками. Хорошо видно, что в теплый период наблюдается заметное положительное отклонение от нормы в июле и отрицательное - в августе, которые хорошо описываются с помощью модели.

Таблица - 8.1

Средние суточные суммы эритемной радиации (Q_{er} , Дж/м²), максимальная величина часового УФ индекса в 2010 году и статистики за период 1999-2009 гг.

	Месяцы													
	I	II	111	IV	V	VI	VII	VIII	IX	х	XI	XII		
Qer														
2010	102	192	566	1119	1891	2595	2998	1494	999	366	85	38		
максимум														
УФ индекс 2010	0.5	0.9	2.5	3.5	4.8	6.3	6.0	4.9	3.3	1.6	0.9	0.2		
среднее $Q_{ m er}$														
1999-2009	80	218	628	1201	2069	2543	2578	1883	1078	366	111	53		
максимум														
Q _{er} 1999-2009	109	264	744	1397	2492	3140	2748	2331	1179	439	150	79		
минимум Q _{er}														
1999-2009	63	190	510	1016	1752	1720	2350	1534	850	276	81	42		
максимум														
УФ индекс 1999-2010	0.6	1.4	2.8	4.2	6.1	7.3	6.8	5.8	4.3	2.3	1.0	0.3		
Q _{er2010} /Q _{er 1999-2009} - 1,		-	-								-	-		
%	27%	12%	10%	-7%	-9%	2%	16%	-21%	-7%	0%	23%	29%		



Рис. 8.1. Отклонения от средних месячных значений эритемной радиации за период 1999-2009 г., выраженные в долях единицы.

На рисунке 8.3 приведен вклад отдельных факторов в изменчивость эритемной радиации. Видно, что в июле 20% рост Q_{er} произошел за счет уменьшения эффективного балла облаков при других незначительно влияющих факторах. В августе основным фактором ослабления Q_{er} был существенный рост АОТ, за счет чего Q_{er} уменьшилась более, чем на 20%. Однако наблюдалась некоторая компенсация за счет уменьшения эффективного балла облаков (~7%), что несколько скорректировало уменьшение Q_{er} за счет АОТ. В октябре некоторый рост Q_{er} наблюдался за счет уменьшения эффективного балла облаков (+18%), скорректированный более высоким содержанием озоном, чем в среднем за период. Плохое согласие данных в декабре связано вероятно с неучетом вариаций оптических толщин облаков в модели, что особенно важно при большой повторяемости условий сплошного покрова облачности. В то же время при небольшой повторяемости таких условий в январе, наблюдается вполне удовлетворительное согласие с модельными расчетами. Отметим, что главный фактор в январе – существенное уменьшение эффективного балла облаков, лишь в небольшой степени скомпенсированное более высоким содержанием озона (см. рис.8.3).

Уровень УФ радиации принято характеризовать с помощью УФ индексов, которые рассчитываются на основании измерений биологически активной эритемной УФ радиации и характеризуют степень опасности УФР для кожи человека. Считается, что защита от УФ радиации требуется уже при УФИ более 3. Сезонный ход максимальных УФ индексов в Москве приведен на рисунке 8.4, где также приведены абсолютные максимумы за период 1999-2009 г. Видно, что такие значения наблюдаются при определенных условиях атмосферы в околополуденные часы практически каждый год в июне- июле, а иногда в мае и августе. Максимальные значения УФ индексов в наших широтах достигают 6-7, что по классификации BO3 соответствует высокой категории УФ облучения.

Рассмотрим, как менялись максимальные часовые УФ индексы в 2010 г. В отличие от средних суточных сумм, максимальное значение УФ индекса пришлось на июнь, в то время как суммы эритемной радиации за 2010 год и средние за 1999-2009 г. приходятся на июль месяц. Максимальное значение УФ индекса в 2010 году наблюдалось 29 июня (6.3) при большой высоте Солнца, отсутствии облаков, несколько пониженном общем содержании озона и очень низком содержании аэрозоля (АОТ500=0.085).



Рис. 8.2. Сезонный ход средних суточных сумм эритемной радиации в 2010 году и в среднем за период 1999-2009 г, а также относительные изменения по данным модели реконструкции и измерений.



Рис. 8.3. Сопоставление вкладов различных факторов в общую изменчивость эритемной радиации, наблюдающуюся в 2010 году по сравнению с нормой 1999-2010 г.. Однако это значение УФИ все же было несколько ниже абсолютного максимума (*УФИ*=7.3), который наблюдался 27 июня 2004 г.

Минимальные часовые максимумы УФ индексов наблюдались в декабре 2009г., как и обычно, за счет самых низких высот Солнца и большей повторяемости облачности.



Рис. 8.4 Максимальные часовые значения УФ индексов, наблюдавшиеся в 2010 году, а также абсолютные максимумы за 1999-2009 г.

Защита от биологически активной УФ радиации требовалась в 2010 г. с апреля по сентябрь, что также согласуется с средними многолетними данными. Пользуясь оценками биологического действия УФР по (Holick, Jenkins, 2003), отметим, что в 2010 году в Москве невозможно было ни при каких условиях получить полезную радиацию, необходимую для формирования витамина D3, в январе и декабре.

Литература:

Chubarova N.E., UV variability in Moscow according to long-term UV measurements and reconstruction model. Atmos. Chem. Phys., 8, 2008, pp. 3025-3031

Holick M.F., Jenkins M. The UV advantage: new medical breakthroughs reveal powerful health benefits from sun exposure and tanning. A publication of ibooks, inc. 2003.

9. Режим нисходящей длинноволновой радиации

Е.И. Незваль, Н.Е. Чубарова

Устройство прибора и условия регистрации нисходящей длинноволновой радиации в метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ). Начиная с апреля 2008 года, в МО МГУ ведется регистрация нисходящей длинноволновой радиации (НДР) в диапазоне длин волн 3.5-50 мкм с помощью прецизионного инфракрасного радиометра (пиргеометра Эппли) модели PIR.

Приемником радиации в модели PIR является термоэлемент Эппли, покрытый черным лаком Парсона, поглощение которого не зависит от длины волны. Исключение влияния солнечной радиации в дневное время достигается с помощью силиконовой полусферы, на внутренней поверхности которой находится нанесенный в вакууме интерференционный фильтр, пропускающий только радиацию в диапазоне длин волн 3.5-50 мкм. При определении калибровочных коэффициентов учитывалась также температура прибора и его полусферы. Более подробно методика расчета НДР изложена в работе (Незваль Е.И., Чубарова Н.Е., Groebner J., Ohmura A., в печати).

Перед началом регистрации в Москве прибор был дополнительно тестирован и откалиброван в Физико-метеорологической обсерватории в Давосе путем сопоставления с группой инфракрасных радиометров при различных условиях в ночное время. В декабре 2009 г. пиргеометр был вторично отправлен на калибровку в Давос и с конца февраля 2010 г. был заново установлен в комплекте с вентилятором, необходимым для защиты приемной полусферы прибора от капель дождя, налипания снега, образования гололеда и росы.

Регистрация НДР в МО МГУ осуществляется с минутным разрешением с помощью аппаратно-программного комплекса SUN. В настоящей работе использованы осредненные за час значения НДР.

Результаты наблюдений. Анализ данных за весь период наблюдений показал, что максимум нисходящей длинноволновой радиации в годовом ходе наблюдается в летние месяцы, минимум в январе-феврале (табл. 9.1, рис. 9.1, 9.2). При этом изменения НДР в течение года четко согласуются с годовым ходом температуры воздуха и упругости водяного пара на высоте 2 м. С апреля по октябрь 2010 г. (в эти месяцы проводились измерения

в течение трех лет) отклонения от средней величины колеблются от -7.9% в октябре до 2.2 % в мае. Изменчивость средних за час значений НДР для всех месяцев года невелика и для большинства месяцев за весь период наблюдений колеблется в пределах 7.5-12.5% (рис.9.3). Наибольшая изменчивость 17.5 % отмечена в марте 2010 г., наименьшая - в августе и июле 2010 г.: соответственно 4.0% и 6.6%.

В 2010 г. максимум в годовом ходе средних за месяц величин НДР приходится на июль. Самая высокая средняя величина за июль наблюдалась в 2008 г. Несмотря на то, что средняя месячная температура воздуха в июле 2010 г. достигла максимальной величины за весь период наблюдений в МО МГУ и была почти на 7° выше соответствующей величины в 2008 г., средняя месячная величина НДР в 2010 г. оказалась чуть ниже (примерно на 1 Вт/м²) по сравнению со средней величиной в 2008 г. Это обусловлено тем, что в июле 2010 г. средний за месяц балл общей и особенно нижней облачности был существенно ниже, чем 2008 г. : 4.9/2.0 в 2010 г., 7.6/4.6 – в 2008 г. Таким образом, в июле 2010 г. большие величины НДР наблюдалось, главным образом, за счет более высоких температур в пограничном слое в результате адвекции исключительно теплого воздуха. В июле 2008 г. дополнительный рост длинноволновой радиации осуществлялся за счет излучения от нижней границы плотных облаков, которых в июле 2010 г. практически не наблюдалось. Анализ проведенных измерений показал, что все максимальные величины средних за час значений НДР были отмечены при сплошном покрове облаков нижнего яруса или значительной многоярусной облачности, часто при наличии кучево-дождевых облаков. Так, максимальное значение (424.3 Bт/м²) зафиксировано 14 июля 2009 г. в 18-19 часов (здесь и далее часы даны по солнечному времени) при [10]/[10] баллов слоисто-кучевой (Sc) и кучево-Лишь максимальная величина для августа дождевой (Cb) облачности. 2010 г. (419.8Bт/м²), наблюдавшаяся 5 августа 2010 г. в 22-23 часа отмечалась при сплошном покрове перистых (Ci) облаков и нескольких баллах Sc. Отметим, что ночью с 5 на 6 августа 2010 г. в Москве происходило задымление воздуха в результате лесных и торфяных пожаров. Все минимальные значения НДР наблюдались при безоблачном небе или наличии облачности верхнего яруса.

Таблица 9.1

Средние месячные значения нисходящей длинноволновой радиации в 2010 г. и осредненные за весь период наблюдений 2008-2010 гг.

НДР,	НДР,	НДР,	НДР,	НДР,	НДР,	Относительное
2010	Макс	Мин	2008-	Макс	Мин	отклонение от
			2010	2008-	2008-	средней вели-
			(Число	2010	2010	чины, %
			лет)			,
			270.0 (1)	317,8	171,8	
			265.8 (1)	325,6	168,7	
251.0	334.6	173.01	261.5 (2)	334.6	173.0	-4.0
280.3	349.9	212.9	283.5 (3)	373	199.0	-1.1
326.2	380.1	264.7	319.2 (3)	385.9	227.9	2.2
333.0	414.6	258.8	336.6 (3)	414.6	239.3	-1.1
359.4	421.9	287.3	358.2 (3)	424.3	272.2	0.3
357.7	419.8	252.0	354.6 (3)	419.8	252.0	0.9
311.2	383.7	224.3	323.1 (3)	398.8	224.3	-3.7
-						
278 6	336.4	213 7	302 5 (3)	387.2	213 7	-7 9
	00011	21011			21011	1.0
307.6	362.3	218.0	304.3 (3)	362.3	208.0	1.1
262.9	326.4	181.8	276.5(2)	348.9	181.8	-4.9
			304.6			
	НДР, 2010 251.0 280.3 326.2 333.0 359.4 357.7 311.2 278.6 307.6 262.9	НДР, НДР, Макс 2010 Макс 251.0 334.6 280.3 349.9 326.2 380.1 333.0 414.6 359.4 421.9 357.7 419.8 311.2 383.7 278.6 336.4 307.6 362.3 262.9 326.4	НДР, 2010 НДР, Макс ИДР, Мин 2010 Закс ИИН 251.0 334.6 173.01 280.3 349.9 212.9 326.2 380.1 264.7 333.0 414.6 258.8 359.4 421.9 287.3 357.7 419.8 252.0 311.2 383.7 224.3 278.6 336.4 213.7 307.6 362.3 218.0 262.9 326.4 181.8	НДР, 2010 НДР, Макс НДР, Мин НДР, 2008- 2010 (Число лет) 270.0 (1) 265.8 (1) 251.0 334.6 173.01 261.5 (2) 280.3 349.9 212.9 283.5 (3) 326.2 380.1 264.7 319.2 (3) 333.0 414.6 258.8 336.6 (3) 359.4 421.9 287.3 358.2 (3) 357.7 419.8 252.0 354.6 (3) 311.2 383.7 224.3 323.1 (3) 278.6 336.4 213.7 302.5 (3) 307.6 362.3 218.0 304.3 (3) 262.9 326.4 181.8 276.5(2)	НДР, 2010 НДР, Макс НДР, Мин НДР, 2008- 2010 НДР, Макс НДР, 2008- 2010 НДР, Макс 2010 2008- 2010 2008- 2010 2008- 2010 2008- 2010 2010 2010 лет) 2010 317.8 265.8 (1) 325.6 251.0 334.6 173.01 261.5 (2) 334.6 280.3 349.9 212.9 283.5 (3) 373 326.2 380.1 264.7 319.2 (3) 385.9 333.0 414.6 258.8 336.6 (3) 414.6 359.4 421.9 287.3 358.2 (3) 424.3 357.7 419.8 252.0 354.6 (3) 419.8 311.2 383.7 224.3 323.1 (3) 398.8 278.6 336.4 213.7 302.5 (3) 387.2 307.6 362.3 218.0 304.3 (3) 362.3 262.9 326.4 181.8 276.5(2) 348.9	НДР, 2010 НДР, Макс НДР, Мин НДР, 2008- 2010 НДР, Макс НДР, Мин НДР, 2008- 2008- 2010 НДР, Мин 2010 2008- 2010 2008- 2010 2008- 2010 2008- 2010 2010 270.0 (1) 317.8 171.8 171.8 251.0 334.6 173.01 261.5 (2) 334.6 173.0 280.3 349.9 212.9 283.5 (3) 373 199.0 326.2 380.1 264.7 319.2 (3) 385.9 227.9 333.0 414.6 258.8 336.6 (3) 414.6 239.3 359.4 421.9 287.3 358.2 (3) 424.3 272.2 357.7 419.8 252.0 354.6 (3) 419.8 252.0 311.2 383.7 224.3 323.1 (3) 398.8 224.3 278.6 336.4 213.7 302.5 (3) 367.2 213.7 307.6 362.3 218.0 304.3 (3) 362.3 208.0 262.9 326.4 181.8 276.5(2) 348.9 181.8 304.6 3

Примечание: из-за отсутствия по техническим причинам данных с 17 ноября по 5 декабря 2010 г. значения НДР, а также температуры воздуха и упругости водяного пара осреднены соответственно за 1-16 ноября и 6-31 декабря 2010 г.



Рис. 9.1 Максимальные, средние и минимальные значения НДР за все месяцы наблюдений с апреля 2008 г. по 2010 г. и средние за месяц значения температуры воздуха t°C и парциального давления водяного пара е в гПа.



Рис. 9.2. Годовой ход максимальных, средних и минимальных значений НДР за 2010 г. и за период 2008-2010 гг.



Рис. 9.3. Годовой ход средних за месяц значений коэффициента вариации НДР.

Особенности прихода нисходящей длинноволновой радиации в период дымной мглы 2010 г.

Представляется важным оценить влияние дымной мглы лесных и торфяных пожаров на величину НДР. Для этой цели были использованы средние за час значения НДР при ясном небе, когда были известны величины аэрозольной оптической толщины для длины волны λ =500 нм (AOT500) и влагосодержания во всем столбе атмосферы W см по данным солнечного фотометра CIMEL (Улюмджиева, Чубарова, Смирнов, 2005).

Для выявления эффекта непосредственно аэрозольного слоя на нисходящее длинноволновое излучение атмосферы были отобраны значения, полученные при фиксированной температуре и влагосодержании воздуха: при температуре воздуха около 300К и влагосодержании ≈2 см (рис. 9.4). Видно, что за счет переизлучения и частичного поглощения видимой радиации аэрозольным слоем при максимальном задымлении 7 и 8 августа, когда АОТ500 достигала эекстремально высоких значений до 4.6 (см. раздел 10) нисходящая длинноволновая радиация может увеличиваться на 40-50 Вт/м².



Рис. 9.4. Рост нисходящей длинноволновой радиации с увеличением аэрозольной оптической толщины на λ =500нм. Ясное небо. Температура воздуха 300К, влагосодержание W=2 см.

Литература:

Незваль Е.И., Чубарова Н.Е., Groebner J., Ohmura A. Первые результаты измерений нисходящей длинноволновой радиации атмосферы в Москве по данным Метеорологической обсерватории МГУ (в печати).

Улюмджиева Н., Н. Чубарова, А. Смирнов. Аэрозольные характеристики атмосферы в Москве по данным солнечного фотометра CIMEL. Метеорология и Гидрология, 2005, №1, стр. 48-57

10. Основные аэрозольные характеристики и влагосодержание атмосферы по данным солнечно-небесного фотометра CIMEL сети AERONET.

Н.Е. Чубарова

Начиная с 2001 года, в метеорологической обсерватории МГУ проводятся регулярные измерения аэрозольных свойств атмосферы с помощью солнечно-небесных фотометров CIMEL CE 318-2 в рамках международной программы AERONET [Holben et al., 1998, Улюмджиева, Чубарова, Смирнов, 2005]. В данной модификации прибора измерения ослабления прямой солнечной радиации ведутся на 8 длинах волн -340, 380, 440, 500, 670, 870, 940 и 1020 нм. Канал 940 нм используется для восстановления влагосодержания атмосферы W, а остальные каналы- для определения спектральной аэрозольной оптической толщины атмосферы АОТ_λ. Измерения рассеянного излучения в солнечном альмукантарате и в главной солнечной плоскости производятся в 4 спектральных каналах: 440, 500, 670 и 870 нм. Ширина полосы пропускания на половине максимума составляет 2 нм в УФ области спектра и 10 нм – для остальных фильтров. Прибор имеет 2 коллиматора с одинаковыми углами зрения 1.2⁰ для измерений прямого и рассеянного от небесной полусферы солнечного излучения. Погрешность измерений в видимом и ближнем ИК диапазоне составляет 0.01, в УФ области спектра для каналов 340 и 380нм – 0.02. Работы ведутся в рамках соглашения с американским Годдардовским центром космических полетов в рамках международной программы AERONET.

На официальном сайте программы AERONET http://aeronet.gsfc.nasa.gov доступны данные нескольких уровней. Всем данным, полученным в режиме реального времени, присваивается уровень 1.0. Поскольку прибор работает в автоматическом режиме, то необходимо было разработать специальные количественные критерии, позволяющие оценивать условия наблюдений и исключать наблюдения, искаженные влиянием облачности [Smirnov et al., 2000]. Измерениям, прошедшим все критерии, присваивается уровень 1.5. Данным уровня 1.5, уточненным после вторичной калибровки фильтров и прошедшим дополнительный контроль, присваивается уровень 2.0. Однако после проведенных в МО МГУ исследований (Улюмджиева, Чубарова, Смирнов, 2005) в дополнение к основному алгоритму, принятому на сети AERONET, используются и дополнительные, которые основаны на визуальных наблюдениях за облачностью, что позволяет проводить более качественную фильтрацию данных. Анализ АОТ за 10 лет наблюдений по стандартному алгоритму AERONET и по предложенному методу, разработанному в МОМГУ с учетом дополнительной фильтрации, показал, что средние значения АОТ при стандартной обработке могут превышать истинные на 0.01-0.06 с минимальной погрешностью летом и максимальной в зимние месяцы, когда эта величина может достигать почти 90%.

Для обработки данных с учетом дополнительных критериев фильтрации данных было разработано программное обеспечение, которое также позволяет подготавливать ежемесячные электронные таблицы основных аэрозольных характеристик атмосферы для метеорологического бюллетеня МО МГУ. Обычно в итоговом годовом бюллетене публикуются данные текущих измерений без окончательной калибровки. Однако в 2010 году за счет того, что окончательная калибровка прибора в НАСА (США) была проведена уже в декабре, у нас появилась возможность подготовить обзор по уже окончательным результатам измерений уровня 2.0 с учетом дополнительных критериев, разработанных в МО МГУ.

В таблице 10.1 приведены средние месячные значения, коэффициент вариации, минимумы, максимумы и отклонения от нормы аэрозольной оптической толщины на длинах волн 340 и 500нм, содержания водяного пара W, а также параметра Ангстрема

 α =-ln(AOT_{λ})/ln λ , с помощью которого можно оценить спектральные оптические толщины в видимом и ближнем ИК диапазоне спектра и качественно охарактеризовать размер аэрозольных частиц. Расчет параметра Ангстрема в стандартном алгоритме AERONET проводится на основании уравнения регрессии для различных спектральных диапазонов, но в качестве основного диапазона принята область 440-870нм. (Отметим также, что по данным измерений солнечно-небесного фотометра CIMEL рассчитывается еще несколько десятков различных аэрозольных характеристик, которые не вошли в анализ.)

Наиболее яркой характеристикой этого года явилось аномально высокое содержание аэрозоля в период лесных и торфяных пожаров в июле-августе 2010 г., в результате чего средние за месяц значения АОТ были в несколько раз выше нормы (см. далее более подробное описание этого явления). В целом отмечались несколько пониженные значения АОТ зимой, весной и осенью по сравнению со средними значениями за 10 лет наблюдений. При этом величины АОТ в мае, сентябре и октябре значимо с вероятностью 95% от-

129

личались от средних значений. Если в весенний период как всегда наблюдалась значительная изменчивость АОТ ото дня ко дню (высокий коэффициент вариации), то летом за счет лесных пожаров и затем резкой смены адвекции воздуха также наблюдалась аномальная исключительно высокая изменчивость АОТ (С_{var} >90%).

Отметим, что для центральной части Европейской равнины сезонное распределение AOT характеризуется бимодальным характером с основными максимумами в апреле и авrycre-сентябре. Весенний максимум определяется накопленной за зимний период пылью, недостатком осадков и ростом AOT за счет сжигания сухой травы, связанным с началом сельскохозяйственных работ. Некоторый вклад может вносить и почвенный минеральный аэрозоль, поступающий в атмосферу при отсутствии травяного покрова. Летне-осенний максимум определяется дополнительным вкладом вторичного биогенного аэрозоля, а также влиянием адвекции дымового аэрозоля от лесных пожаров, повторяемость которых в этот период увеличивается. В то же время, включение в 10-летнее осреднение данных измерений 2010 г. резко изменило характер распределения АОТ и сделало летний августовский максимум основным. В целом, такой тип распределения характерен для южных районов, где формирование летнего максимума связано с активным накоплением аэрозоля при явно недостаточных процессах вымываниях в конвективных осадках, а также за счет активного формирования биогенного аэрозоля в условиях высоких температур.

Основные закономерности, показанные выше для АОТ, характерны как для видимого, так и для УФ диапазона спектра. Как видно из таблицы, в УФ диапазоне аэрозольные оптические толщины несколько выше: разница составляет от 0.06 до 0.3 в зависимости от распределения частиц по размерам и абсолютного аэрозольного содержания в атмосфере.

Влагосодержание атмосферы в 2010 году имело типичное сезонное распределение с максимумом в летние месяцы, однако его повышенные значения наблюдались в мае, июле и августе. В июле и августе это было естественно связано с адвекцией очень теплого воздуха, обладающего высокой влагоемкостью. Пониженные значения АОТ осенью в сентябре и октябре коррелируют с пониженными значениями влагосодержания, которые значимо отличаются от средних многолетних с вероятностью 95%.

Параметр Ангстрема имел в 2010 году также характерное для наших условий сезонное распределение с максимумом в летние месяцы и минимумом в холодный период, однако в этом году в некоторые месяцы (в марте, июне и августе) его значения были заметно ниже. В марте вероятно была интенсивное влияние грубодисперсного аэрозоля, который слабо оседал на поверхности за счет присутствия снежного покрова. В июне низкие значения параметра Ангстрема коррелируют с относительно низким содержанием аэрозоля и, вероятно определяются преобладанием адвекции морского аэрозоля, характеризующегося довольно крупным размером. В августе относительно низкие значения параметра Ангстрема возможно наблюдались в связи с ослабленным формированием мелкодисперсного вторичного биогенного аэрозоля в период исключительно высоких температур воздуха и лесных пожаров. В то же время известно , что при наличии дымной мглы отмечается отклонение зависимости $ln(AOT)=f(ln(\lambda))$ от линейного закона, что также может быть причиной заниженных значений параметра Ангстрема.

В среднем, в 2010 году аэрозольная оптическая толщина на длине волны 500 нм была равна АОТ500=0.26, что заметно выше среднего многолетнего за 10 лет наблюдений (АОТ500=0.18) за счет влияния исключительно высоких значений АОТ в период лесных пожаров. Влагосодержание атмосферы в среднем за год составило W= 1.2 см, что несколько выше среднего, главным образом, за счет июля и августа, когда отмечались экстремально высокие температуры воздуха. Среднее за год значения параметра Ангстрема α =1.48, что близко к средним значениям за период 2001-2010г.

Таблица 10.1

Средние, минимальные, максимальные месячные значения и коэффициенты вариации (Cvar,%) аэрозольных оптических толщин на 500нм и 340нм, влагосодержания атмосферы (W,см), параметра Ангстрема, в 2010 году и их относительные разницы R,%, со средними многолетними значениями за период 2001-2010г. Москва, МО МГУ. Уровень 2.0

	z		AOT:	500			AOT340					W,см					Параметр Ангстрема, α				
Месяц	Число днеі	Среднее	Cvar, %	Min	Max	R.%	Среднее	Cvar,%	Min	Max	R.%	Среднее	Cvar,%	Min	Max	R.%	Среднее	Cvar,%	Min	Max	R.%
1	1	0.10	0.00	0.10	0.10	-5%	0.15	0.00	0.15	0.15	-4%	0.26	0.00	0.26	0.26	-13%	1.51	0.00	1.51	1.51	10%
2	5	0.10	13.77	0.08	0.13	-38%	0.15	15.27	0.12	0.22	-36%	0.23	27.78	0.14	0.33	-27%	1.34	13.99	0.97	1.60	-1%
3	14	0.16	88.54	0.05	0.62	-14%	0.24	80.79	0.07	0.84	-19%	0.56	65.41	0.20	1.36	10%	1.27	13.86	0.86	1.69	-8%
4	15	0.24	60.02	0.07	0.73	-4%	0.39	60.28	0.11	1.16	-5%	0.72	23.32	0.32	1.16	4%	1.44	16.38	0.74	1.93	-2%
5	8	0.17	29.83	0.08	0.33	-14%	0.30	34.16	0.13	0.60	-12%	1.60	16.10	0.93	1.95	24%	1.65	8.05	1.27	1.94	12%
6	21	0.14	50.56	0.05	0.46	-12%	0.23	48.03	0.08	0.77	-15%	1.68	31.51	0.84	3.34	2%	1.46	17.43	0.39	1.98	-9%
7	29	0.34	52.78	0.08	0.89	41%	0.57	51.60	0.15	1.46	40%	2.42	19.72	1.03	3.69	11%	1.78	6.03	0.94	2.07	4%
8	19	1.14	90.89	0.05	4.62	226%	1.45	81.10	0.07	4.85	173%	2.20	24.20	0.93	3.29	8%	1.47	14.89	0.85	1.95	-9%
9	5	0.11	48.21	0.05	0.20	-59%	0.17	41.81	0.08	0.30	-58%	1.43	30.71	1.15	2.24	-8%	1.49	24.90	0.87	1.85	-2%
10	2	0.09	14.25	0.06	0.13	-33%	0.15	20.46	0.11	0.21	-30%	0.54	6.30	0.50	0.58	-39%	1.39	15.22	0.92	1.59	1%
11	0	-	-	-	-		-	-	-	-		-	-	-	-		-	-	-	-	
12	0	-	-	-	-		-	-	-	-		-	-	-	-		-	-	-	-	
Год	119	0.26	-	0.05	4.62	40%	0.38	-	0.07	4.85	28%	1.16	-	0.14	3.69	13%	1.48	-	0.39	2.07	1%



a.

б.



Рис.10.1. Средние величины аэрозольных оптических толщин на длине волны 500нм (а), 340нм (б), влагосодержание атмосферы (в) и параметр Ангстрема (г) в 2010 году и средние многолетние за период 2001-2010г.

Доверительные интервалы приведены при 95% уровне значимости. Москва, МО МГУ.

Особенности аэрозольных свойств атмосферы в период дымной мглы июляавгуста 2010 г.

Рассмотрим более подробно, как менялись аэрозольные свойства атмосферы в период дымной мглы. В результате уникальных погодных условий (см. раздел 1), в августе отмечались очень высокие значения АОТ, которые в 3.3 раза отличались от нормы за 2001-2010 гг. Интенсивные лесные и торфяные пожары в центральных районах Европейской территории России привели к большим эмиссиям различных газов и сажевого аэрозоля в очагах пожаров, которые переносились на распространялись на большую территорию.

Рассмотрим динамику аэрозольных характеристик атмосферы по данным измерений AERONET в МО МГУ. На рисунке 10.2 приведены среднесуточные значения AOT 500 за период с 1 июля по 31 августа 2010 г. и вариационный размах суточных значений, характеризующий диапазон изменчивости в течение дня. Заметный рост AOT начинается с середины июля. За период с 13 июля по 3 августа идет постепенно накопление аэрозоля в атмосфере: AOT почти линейно растет примерно со скоростью 0.03 AOT в день (R^2 =0.58). Примерно за этот период наблюдается тенденция к постепенному снижению параметра Ангстрема (0.01 в день R^2 =0.41), что свидетельствует о постепенном росте вклада грубодисперсной фракции аэрозоля.

Максимум АОТ наблюдался 7 августа, когда величина АОТ на 500 нм достигла 4.62. Это <u>абсолютный максимум</u>, зарегистрированный за весь период наблюдений в МО МГУ. В предыдущие годы максимум АОТ наблюдался также в период дымной мглы, когда 31 июля 2002 в условиях сильного смога АОТ500 достигло 2.93.

Отметим, что в августе значения аэрозольной оптической толщины значительно превосходили климатические величины, осредненные за 10-летний период 2001-2010 г. (в 3.3 раза!). Синхронно с изменениями АОТ но в гораздо меньшей степени менялись характеристики влагосодержания и параметр Ангстрема (рис. 10.3). Во второй половине августа произошло резкое уменьшение АОТ500. Так, с 18 по 20 августа значения снизились более чем в 11 раз, и атмосфера очистилась от дымового аэрозоля. Это произошло в некоторой степени за счет вымывания аэрозоля осадками (19 августа выпало 8.3 мм), но, главным образом, за счет смены направления переноса (рис.10.4). О смене воздушной массы, в частности, может свидетельствовать и резкое уменьшение влагосодержания атмосферы более, чем в 1.5 раза в эти дни. В эти дни резко уменьшились значения влагосодержания. С 20

августа установился западный перенос, который привел к полному очищению атмосферы от дымового аэрозоля.



Рис. 10.2. Суточные значения и вариационный размах АОТ500 в период с 1 июля по 31 августа 2010 г. Москва, МО МГУ.



Рис. 10.3. Суточные значения параметра Ангстрема и влагосодержания атмосферы в период с 1 июня по 30 сентября 2010 г. Москва МО МГУ



Рис. 10.4. Обратные траектории воздушных частиц 18 августа (а) и 20 августа(б), когда происходила смена циркуляции и очищение Москвы от дымной мглы лесных и торфяных пожаров.

Литература:

Holben, B.N., T.F.Eck, I.Slutsker, D.Tanré, J.P.Buis, A.Setzer, E.Vermote, J.A. Reagan, Y.J.Kaufman, T.Nakajima, F.Lavenu, I.Jankowiak and A.Smirnov, 1998: AERONET-A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. Remote Sens.Environ.,66, 1-16.

Улюмджиева Н., Н. Чубарова, А. Смирнов. Аэрозольные характеристики атмосферы в Москве по данным солнечного фотометра CIMEL. Метеорология и Гидрология, 2005, №1, стр. 48-57

Chubarova N. Y., Prilepsky N. G., Rublev A. N., Riebau A. R.: A Mega-Fire Event in Central Russia: Fire Weather, Radiative, and Optical Properties of the Atmosphere, and Consequences for Subboreal Forest Plants. In Developments in Environmental Science, Volume 8 A. Bytnerowicz, M. Arbaugh, A. Riebau and C. Andersen (Eds). Elsevier B.V. 249-267, 2009.

11. Химический состав атмосферных осадков в 2010 году.

И.Д.Еремина

В 2010 г. было собрано и проанализировано 134 пробы твердых и жидких осадков, подвергнутых полному анализу, и 13 проб, в которых было определено только значение кислотности. Проб дождя собрано почти в 2 раза больше (59%), снега – 32% и 9% проб – смешанные осадки. Общее количество проанализированных осадков составило 599,8 мм (98,5% всех выпавших в этом году).

Кислотность осадков. Среднее годовое значение pH составило 4,67 pH, (среднее многолетнее 4,90), т.е. кислотных осадков (<5 pH) было довольно много, но меньше, чем в прошлом году. Выпадение осадков (без разделения их по агрегатному состоянию) в диапазоне от 4 до 7 pH примерно равновероятно (рис.1). Максимальное количество проб дождей имело значение pH от 5 до 6, а проб снега – от 6 до 7. Кислотных осадков в теплый период 2010 г. выпало меньше, чем в прошлом году (43,4 и 56,8 % соотв.), а в холодный – больше (22,5 и 12,8%)! Это заметно и по виду кривой годового хода pH осадков (рис.2). Как обычно, pH осадков проб теплого периода «кислее», чем холодного: 4,54 и 4,94 pH соответственно.



Рис.11.1. Распределение проб всех осадков по градациям рН.

Низкое среднее значение pH в декабре на кривой годового хода (рис.2) объясняется выпадением двух обильных дождей 25 и 26 декабря («ледяной дождь»), значения которых

были кислыми: 4,20 и 4,60 pH. Они и снизили среднее значение. Без учета этих дождей среднее pH декабря остальных 15 выпадений осадков было бы вполне «зимним» - около 5,90 pH.



Рис.11.2. Годовой ход рН осадков в 2010 году.

Ионный состав осадков. Средние годовые концентрации почти всех ионов и суммарной минерализации 2010 г. не очень отличаются от таковых прошлого, 2009 г. Исключение составляют концентрации сульфатов (их стало меньше на 30%) и аммония, содержание которого увеличилось почти на 50%. Еще одна особенность этого года – значения минерализации больше в теплый период, а не в холодный, как обычно. Осадки теплого периода 2010 г. характеризуются повышенными содержаниями хлоридов, нитратов и аммония по сравнению с прошлым, 2009 г. и средними многолетними (табл. 1), а концентрации сульфатов немного уменьшились.

Вероятно, сказалась жаркая антициклональная погода июля-августа, когда дожди выпадали редко и нерегулярно: количество осадков за теплый период существенно меньше нормы (346 и 463 мм соотв.), а в июле их суммарное количество всего 7 мм (при норме 91). Понятно, что эти 5 проб все были очень загрязнены (минерализация >100 мг/л), и в них наблюдались повышенные содержания всех ионов. Этим же можно объяснить и появление второго максимума в годовом ходе минерализации (и средних концентраций почти всех ионов) в июле 2010 г. (рис.3). Обычно максимальные концентрации ионов наблюдаются в весенние месяцы, здесь же июльский максимум даже выше весеннего!

Таблица 11.1

Средневзвешенные значения концентраций ионов в осадках в 2009-2010 гг. и осредненные данные за все годы наблюдений

	Концентрация ионов, мг/л													
Сезон	pН	HCO ₃ -	SO4 ²⁻	Cl	NO ₃ -	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na^+	K^+	$\mathrm{NH_4}^+$	Сумма ионов			
2010г.														
Год	4,67	1,3	3,3	4,9	1,90	2,7	0,08	0,24	0,17	1,45	15,9			
Тепл. (IV-X)	4,54	1,0	3,2	6,5	2,02	2,9	0,09	0,15	0,22	1,93	18,0			
Хол. (I-III, XI-XII)	4,94	1,6	3,3	2,7	1,74	2,4	0,08	0,35	0,10	0,82	13,1			
2009 г.														
Год	4,48	0,9	4,8	4,2	1,69	3,0	0,09	0,28	0,18	1,00	16,1			
Тепл. (IV-X)	4,34	0,4	5,1	4,2	1,57	2,7	0,09	0,09	0,22	1,05	15,5			
Хол. (I-III, XI-XII)	4,88	1,5	4,4	4,3	1,87	3,3	0,09	0,58	0,11	0,92	17,0			
Многолетние данные (1982-2009 гг)														
Год	4,90	3,3	5,0	3,1	1,81	3,3	0,19	0,37	0,17	0,84	18,0			
Тепл. (IV-X)	4,78	2,3	5,0	3,3	1,73	3,0	0,19	0,24	0,18	0,97	16,9			
Хол. (I-III, XI-XII)	5,67	5,7	5,0	2,5	2,01	3,8	0,20	0,69	0,14	0,53	20,6			

Интересное получилось в 2010 г. и распределение проб по градациям минерализации (рис.4). Максимальное количество проб осадков (почти треть всех проб) имеет очень низкое значение минерализации (до 10 мг/л), и это больше среднего многолетнего значения на 35 %. Обычно максимум проб имеют минерализацию от 10 до 20 мг/л.



Рис.11.3. Годовой ход минерализации осадков 2010 г.



Рис.11.4. Распределение значений минерализации проб 2010 г. по сравнению с многолетним.

Значительно больше в этом году и очень загрязненных проб (минерализация более 100 мг/л) – в 2,2. раза (по-видимому, причина опять же в сухом 1,5-месячном периоде в июле-августе 2010 г.). Процентное количество всех остальных градаций подобно много-летнему распределению, но чуть меньше по количеству.

В 2010 г., как обычно, среди катионов преобладали ионы кальция, и далее концентрации катионов расположились в таком порядке: Ca2+>NH4+> H+> Na+>Mg2+> K+. Среди анионов преобладали хлориды, как и в прошлом году, и анионный ряд такой же: Cl->SO42->NO3-> HCO3-.

В 2010 г. на поверхность земли вместе с атмосферными осадками выпало 97,0 кг/га минеральных солей (многолетнее годовое значение составляет 124,7 кг/га). Больше всего (30,6 %) пришлось на долю хлоридов, 20,5 % сульфатов, 16,8 % кальция.

В апреле были собраны 2 пробы дождей, которые выпали через несколько дней после известного извержения вулкана Эйяфьятлайокудль в Исландии. В первой на дне ведра были заметны черные частички, довольно твердые, они отличались от обычной глинистой взвеси, которая иногда бывает в сильнозагрязненных пробах. Консультация с геохимиками подтвердила вероятность того, что это мог быть вулканический пепел. Эти дожди были сильно загрязнены, особенно первый, но надо учесть, что до этого осадков не было 10 дней, да и выпавшие дожди были не обильные (1,0 и 1,2 мм), а такие всегда отличаются большой минерализацией.

Выводы.

- Кислотных осадков в 2010 г. выпало около 30%, причем в теплый период их выпало меньше, чем в прошлом году (43,4 и 56,8 % соотв.), а в холодный больше (22,5 и 12,8%)
- В этом году выпало значительно больше очень чистых и очень грязных осадков, чем обычно, а количество проб со средней минерализацией было близко к многолетним значениям.
- В годовом ходе концентраций почти всех ионов и минерализации наряду с обычным весенним максимумом появился еще июльский из-за экстремально жаркого и сухого июля в 2010 г.
- По преобладающим ионам осадки 2010 г. относятся к хлоридно-кальциевому классу.

12. Газовый состав приземного воздуха

И.Б.Беликов, Р.А.Шумский

12.1 Общие сведения.

Для исследования особенностей газовых и аэрозольных примесей атмосферы в мегаполисе Географическим факультетом МГУ им. М. В. Ломоносова и ИФА им. А. М. Обухова РАН совместно создана и поддерживается станция наблюдений состава атмосферы (далее - станция), действующая в составе МО МГУ с 1 февраля 2002 года.

Основой станции является автоматизированный интегрированный комплекс аппаратуры для мониторинга широкого ряда параметров состава атмосферы [1], размещенный в специализированном помещении (экологическом павильоне) МО МГУ.

Указанный комплекс укомплектован измерительными приборами производства ведущих зарубежных производителей и обеспечивает наблюдения ряда климатически и химически активных газовых и аэрозольных примесей атмосферы. Перечень наблюдаемых на станции параметров и режимы их измерения приведен в таблице 12.1. Отличительными особенностями станции являются полная автоматизация измерений, постоянный контроль технических параметров функционирования приборов, обеспечение дистанционного слежения за работой станции через сеть Intetnet. Также существенной особенностью станции является возможность измерения концентраций некоторых примесей (в частности, NO, NO₂ и CO) на т.н. фоновых уровнях, чего не позволяют приборы, выпускаемые известными отечественными производителями.

Поверки (калибровки) приборов газового анализа производятся в соответствии с их инструкциями по эксплуатации по поверочным газовым смесям, поставляемым ВНИИМ им. Д. И. Менделеева. В состав станции входит генератор "нулевого" (не содержащего примесей) воздуха.

Общий анализ выявленных закономерностей вариаций концентраций газовых примесей в приземном слое атмосферы Москвы был выполнен в [2] и [3]. В данной работе будут проанализированы в основном, особенности поведения концентраций в 2010 году.

12.2 Среднемесячные характеристики.

Ряды данных концентраций основных наблюдаемых на станции газовых примесей в приземном слое атмосферы, полученные за 2010 год, показаны на рисунке 12.1. Как указано выше, ряды данных по концентрациям O3, NO, NO₂ и CO непрерывны, ряды

№	Измеряемый параметр	Используемые приборы	Диапазон	Режим работы
1.	Приземная концентрация О3	1008-RS, № 6394 (Dasibi Inc., CIIIA)	1 - 1000 ppb	
		O3-41M, № 1294 (Environmental SA, Франция)	0,5 - 1000 ppb	
2.	Приземная концентрация NO и NO ₂	M200AU, № 152 (Teledyne API Inc., CIIIA)	0,05 - 2000 ppb	
		Р-310А № 183-4-06 (ЗАО "ОПТЭК",Россия)	1 - 1000 мкг/м ³	Непрерывно
3.	Приземная концентрация СО	TE48S № 48S-54487-300 (Thermo Inc., CIIIA)	0,05 - 1000 ppm	
		"Палладий-3" № 107-95	0,05 - 50 мг/м ³	
		(ФГУП СПО "Аналитприбор", Россия)		
4.	Содержание NO ₂ в вертикальном столбе атмосферы	Спектрометр MS-260i, № 133 (Oriel Inc., США)		Непрерывно с июля 2010 г.
5.	Концентрация атмосферного аэрозоля	TEOM 1400ab, № 140AB258010508	2,5 мкг/м ³ - 5 г/м ³	Непрерывно с
	PM 2,5	(Thermo Inc., CIIIA)		января 2011 г.
6.	Приземная концентрация СН4	АРНА-360, № 8513510906 (Horiba Inc., Япония)	0,05 - 50 ppm	
				Непрерывно кроме периодов экспе-
7.	Приземная концентрация NMHC			диций на ж/д ва-
8.	Приземная концентрация CO ₂	LI6262, № IRG3-990 (LiCor Inc., CIIIA)	1 - 3000 ppm	гоне
9.	Приземная концентрация SO ₂	APSA-360, № 8512250410 (Horiba Inc Япония)	0,5 - 500 ppb	
10.	Приземная концентрация NH ₃	M201A, № 2779 (Teledyne API Inc., CIIIA)	1 - 2000 ppb	
11.	Концентрации радона и продуктов его распада	LLRDM № 120599 (TracerLab GmbH, Германия)		Эпиролицооки
12.	Распределение аэрозольных частиц по	1.108 № 8F090014 (Grimm, Германия)	0,3 - 10 мкм	Эпизодически
	размерам		1 - 2 10 ⁶ 1/л	
13.	Приземные концентрации ЛОС	PTR-MS № (C16)07/C05 (Ionicon Inc., Австрия)	0,5 - 500 ppb	
14.	Вертикальный профиль температуры	МТП-5 № 28 (НПО "Аттех", Россия)	0 - 600 м	В отдельные
			-40 - 40 град.С	периоды
15.	Параметры турбулентности в приземном слое	USA-1 № 0101011329 (Metek GmbH, Германия)		Планируется не- прерывно с апреля 2011 г.

Таблица 12.1 - Наблюдаемые на станции параметры состава атмосфер	Ы.
--	----



Рис. 12.1 -Ряды данных, полученные на станции наблюдений состава атмосферы за 2010 год (среднесуточные значения)
концентраций CO_2 , CH_4 , NMHC и SO_2 прерываются в мае-июне и декабре 2010 года, в связи с проводимыми в эти периоды ИФА им. А.М. Обухова РАН экспедициями на железнодорожном вагоне-лаборатории с использованием приборов станции. Характерные для 2010 г. особенности режима концентраций приземных газовых примесей, по сравнению со средними значениями за весь период работы станции иллюстрирует рис. 12.2, на котором показаны среднемесячные значения концентраций за 2002- 2010 гг. и отдельно за 2010 год.

По концентрации озона 2010 год характеризовался пониженными, по сравнению со средними, концентрациями в январе и декабре, в связи с большей, чем в остальные годы, загрязненностью атмосферы оксидом азота, разрушающим озон. В феврале - марте соответствующая загрязненность атмосферы была меньше средней по 2002 - 2010 годам. В июле и августе аномальная жара и сопутствующие ей явления привели к интенсивной фотохимической генерации озона, что выразилось в превышении среднемесячной концентрации над средней по 2002 - 2010 годам более чем в полтора раза.

Концентрация оксида азота NO, как правило, имеет особенности, обратные ходу концентрации озона. Это показывает и анализ данных за 2010 год. Повышенное загрязнение атмосферы оксидом азота в январе и декабре 2010 года выражается в превышении среднемесячных значений в эти месяцы над средним, соответственно, в два и в полтора раза. Известная ситуация с неблагоприятной экологической обстановкой в г. Москве в июлеавгусте отражается в годовом ходе среднемесячных концентраций NO соответствующим превышением, однако существенно не отличающимся по величине от среднего по 2002 -2010 годам. Анализ этого явления будет проведен ниже.

Анализ концентраций диоксида азота NO_2 за 2010 год показывает ранее обнаруживаемую по ходу концентраций озона и NO повышенную загрязненность атмосферы в январе и декабре, а также в июле - августе по причинам, указанным выше. В 2010 году особенности годового хода концентрации NO_2 с минимумом в летний период и максимумами в весенний и осенний периоды проявились наиболее отчетливо.

Неблагоприятная экологическая обстановка в г. Москве в августе 2010 года, наиболее существенно отразилась на вариациях концентраций оксида углерода, СО. Его среднемесячная концентрация превысила среднее по всем годам наблюдений более чем в 2 раза. В остальные месяцы концентрация СО была меньше, чем средняя по 2002-2010 годам, за исключением месяцев января и декабря 2010 г., что подтверждает сделанный



Рис.12.2 -Среднемесячные значения концентраций примесей, осредненные за 2002-2010 годы (сплошные линии) и за 2010 год (пунктир)

выше вывод о повышенной загрязненности атмосферы в эти месяцы.

Анализ концентраций метана, CH₄, обнаруживает снижение среднемесячных концентраций по сравнению со средними за 2002 - 2010 годы с февраля по апрель и с сентября по ноябрь. Аномальная экологическая ситуация августа 2010 года отразилась лишь в небольшом превышении концентрации CH₄.

Превышение концентрации суммы неметановых углеводородов (NMHC) в августе 2010 года составило около 20% над средним. Большее (до 25%) превышение концентрации NMHC над средним вызвала повышенная загрязненность атмосферы в январе 2010 года. Повышение концентраций NMHC наблюдалось также в феврале и в апреле.

По концентрациям диоксида углерода, CO₂, явление превышения концентраций над средними с августа 2010 года сохранялось и во все последующие месяцы. В самом августе 2010 года превышение среднемесячной концентрации над средним за 2002 - 2010 годы составило около 5%, что сопоставимо с уровнем естественных сезонных вариаций CO₂.

Концентрации диоксида серы, SO₂, в прошлые годы наблюдений характеризовались повышенными уровнями в январе - феврале, по-видимому, в связи со сжиганием серосодержащего топлива в отопительных системах г. Москвы в периоды резких похолоданий. В последние годы загрязнение атмосферы Москвы диоксидом серы существенно снизилось. Это показывают и данные за 2010 год. Небольшое превышение над средними в июле - августе, очевидно, связано с известной неблагоприятной экологической обстановкой.

12.3 Среднегодовые характеристики.

Кроме среднемесячных значений, представляют интерес также среднегодовые значения по всем измеряемым концентрациям, по которым в дальнейшем будет возможно определить их долговременные тренды. Соответствующие диаграммы среднегодовых значений показаны на рисунке 12.3.

Как видно из рисунка, до настоящего времени практически ни по одному из измеряемых параметров не наблюдается устойчивого продолжительного тренда, за исключением оксида углерода, концентрация которого в г. Москве заметно снижалась от года к году. В 2010 году из-за неблагоприятной экологической ситуации августа 2010 года это снижение прекратилось. Рост среднегодовой концентрации диоксида углерода в 2007 году сменился ее снижением, также прекратившимся в 2010 году. Как отмечалось выше, концентрации диоксида серы с 2007 года существенно уменьшились.





0.2

0.1 · 0.0 ·

год









год

Численные значения среднегодовых концентраций примесей и их среднеквадратичные отклонения представлены в таблице 12.2. Вследствие значительных суточных и сезонных вариаций концентраций практически всех примесей среднеквадратичные отклонения при осреднении за год оказываются весьма существенными, и по величине сравнимыми с самими средними значениями.

Таблица 12.2. Среднегодовые значения концентраций примесей M и их среднеквадратичные отклонения σ (значения в ppb для O₃, NO, NO₂, SO₂ и в ppm для остальных примесей)

год	O ₃		NO		NO ₂		CO		CO ₂		CH ₄		NMHC		SO ₂	
	Μ	σ	Μ	σ	Μ	σ	Μ	σ	Μ	σ	Μ	σ	Μ	σ	Μ	σ
2002	15,9	15,4	19,6	37,0	25,7	15,3	1,04	0,65	386	15	2,00	0,19				
2003	13,8	12,9	19,2	36,1	21,4	12,1	0,65	0,60	392	16	1,99	0,19				
2004	12,3	12,2	17,2	34,2	18,2	10,0	0,57	0,47	393	20	1,97	0,20	0,30	0,18	1,5	1,3
2005	16,0	13,5	12,5	23,3	16,5	8,9	0,48	0,36	396	17	2,01	0,23	0,39	0,18	2,5	2,6
2006	13,7	13,0	19,2	32,5	20,7	9,9	0,50	0,40	396	20	2,00	0,23	0,42	0,18	2,5	5,0
2007	13,9	12,5	21,2	40,6	26,5	12,7	0,43	0,33	391	16	1,98	0,26	0,40	0,20	0,9	0,8
2008	14,2	12,1	11,0	19,6	20,6	11,7	0,37	0,21	386	15	1,95	0,16	0,36	0,11	1,2	0,6
2009	15,3	14,1	13,9	24,9	18,0	9,7	0,41	0,27	383	16	1,97	0,15	0,38	0,17	1,0	0,6
2010	16,1	16,3	22,5	30,9	23,9	13,1	0,57	0,84	392	18	1,93	0,21	0,42	0,28	1,1	0,8

Следует отметить, что неблагоприятная экологическая обстановка в г. Москве в августе 2010 года не привела к существенному отличию среднегодовых показателей по сравнению с остальными годами наблюдений. По среднегодовым значениям 2010 год является рекордным только по концентрации NO. Но и это явление связано, по-видимому, в большей мере с общим повышенным загрязнением атмосферы в январе и декабре, а вовсе не в августе, когда в г. Москве наблюдалась интенсивная дымная мгла.

12.4 Особенности отдельных периодов и дымной мглы в г. Москве.

Обеспечиваемые станцией наблюдений непрерывные ряды данных (с минимальным разрешением по времени 1 минута) позволяют детально проанализировать особенности

поведения приземных концентраций примесей в отдельные периоды.

Как известно, с 13 по 18 апреля 2010 года в Исландии происходило извержение вулкана Эйяфьятлайокудль. Как отмечено в [4], 18 апреля 2010 года облако вулканического пепла подошло к г. Москве. На рисунке 12.4 показаны ряды концентраций всех измеряемых на станции газовых примесей за период с 17 по 20 апреля (с осреднением 10 мин.)

Как видно из рисунка, влияние вулканического пепла на концентрации приземных примесей не выразилось ни в одной из измеряемых концентраций, за исключением диоксида серы. На графиках хорошо заметен рост концентраций SO₂ 18 и 19 апреля. Абсолютная величина концентрации SO₂ при этом оставалась много меньшей предельно допустимой концентрации [5] (около 0,12 величины ПДК).



Рис. 12.4 - Концентрации примесей 17-20 апреля 2010 года в дни подхода к г. Москве облака вулканического пепла от извержения вулкана Эйяфьятлайокудль в Исландии

В июле - августе 2010 г., как хорошо известно, в центральных областях РФ в связи с аномальной жарой возникла чрезвычайно пожароопасная ситуация. Возникшие затем в Московской области торфяные и лесные пожары привели к образованию интенсивной дымной мглы в г. Москве [6].

На рисунке 12.5 показаны ряды концентраций всех измеряемых на станции газовых примесей за период с 1 по 14 августа с осреднением 10 мин. В дни, когда над Москвой наблюдалась дымная мгла, концентрации примесей существенно возросли, и превысили предельно допустимые.

Концентрация озона на территории МО МГУ в течение августа 2010 года превышала максимальную разовую ПДК 2, 3, 4, 6, а также 10, 11, 13, 14, 15 и 18 августа. Максимальное превышение ПДК в 2 раза наблюдалось 6 августа.



Рис. 12.5 - Концентрации примесей 1- 14 августа 2010 года в условиях интенсивной дымной мглы

На концентрацию NO неблагоприятная экологическая ситуация повлияла в меньшей степени. Превышения максимальной разовой ПДК не наблюдалось, среднесуточная ПДК была превышена только 7 августа в 1,75 раза.

По концентрации NO₂ максимальная разовая ПДК была превышена 3, 6, 7 и 9 августа,

максимально - в 2,2 раза 7 августа. Среднесуточная ПДК оставалась превышенной с 1 по 19 августа, максимально - в 4,3 раза 7 августа.

Как отмечалось выше, тем компонентом, на рост концентрации которого дымная мгла над Москвой повлияла в наибольшей степени, является СО. Максимальная разовая ПДК превышалась 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9 и 10 августа, максимальное превышение составило 3,8 раза 7 августа. Среднесуточная ПДК по СО была превышена 4, 6, 7, 8, 9 и 10 августа, максимально 7 августа в 3,6 раза.

По остальным измеряемым примесям как разовые, так и среднесуточные ПДК превышены не были, однако наблюдалось существенное увеличение практически всех их концентраций - диоксида углерода, метана, суммы неметановых углеводородов и диоксида серы.

Следует отметить, что несмотря на большой общественный резонанс, к которому привела дымная мгла над Москвой, в масштабах года эта аномалия была краткосрочной. Как отмечалось выше, рассматриваемая экологическая ситуация не привела к существенным отличиям среднегодовых концентраций примесей от средних за остальные годы наблюдений.

12.5 Заключение.

Рассмотренный анализ вариаций примесей за 2010 год, конечно, не является полным. Представляет большой интерес взаимосвязь концентраций примесей с погодными явлениями: температурой и влажностью воздуха, атмосферным давлением, направлением и скоростью ветра. Предварительный анализ показывает, что характер зависимости степени загрязнения атмосферы от текущей погоды является весьма сложным и неоднозначным. Подробный анализ этого будет выполнен в дальнейшем.

Также в дальнейшем будет осуществляться развитие станции в направлениях повышения надежности наблюдений за счет ввода в действие дополнительных приборов, дублирующих имеющиеся, достижения максимально возможной непрерывности наблюдений, а также, в перспективе, установки новых приборов и увеличения числа измеряемых параметров.

Литература:

1. Беликов И. Б.. Газовые примеси атмосферы над территорией России по наблюдениям автоматизированным комплексом аппаратуры // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. ИФА им. А.М. Обухова РАН. 2004.

2. Еланский Н. Ф., М. А. Локощенко, И. Б. Беликов, А. И. Скороход, Р. А. Шумский. Изменчивость газовых примесей в приземном слое атмосферы Москвы // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, т.43, № 2, 2007. С. 246-259

3. Шумский Р. А.. Статистический анализ данных 7-летнего мониторинга газовых примесей атмосферы на стационарной обсерватории в мегаполисе. Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические процессы. XIII международная конференция молодых ученых. Звенигород, 2009. Тезисы докладов. С. 48.

4. Справка ФИАЦ Росгидромета по извержению вулкана Эйяфьятлайокудль в Исландии. 18 апреля 2010 г. <u>http://www.meteorf.ru/default_doc.aspx?RgmFolderID=a4e36ec1-c49d-</u> <u>461c-8b4f-167d20cb27d8&RgmDocID=06b394fd-c144-4f0d-ae2d-2faef1785200</u>

5. ГН 2.1.6.1983-05. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Дополнения и изменения N 2 к ГН 2.1.6.1338-03.

6. Пресс-релиз Росгидромета "Данные о содержании загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов на территории Российской Федерации, подверженных воздействию очагов возгорания, по состоянию на 06-08 августа 2010г." <u>http://www.meteorf.ru/rgm3d.aspx?RgmFolderID=8fa3a439-2cb4-4d09-b567-</u> 36fd11f3f414&RgmDocID=c9156187-ec41-462a-8fc6-78cbe5041e2f

Часть II/

Разработка методик сохранения однородности рядов данных

13. Разработка методики сохранения однородности ряда УФ радиации в диапазоне длин волн 300-380 нм при переходе на современную аппаратуру.

Незваль Е.И., Чубарова Н.Е.

Введение. В метеорологической обсерватории МГУ (МОМГУ) с 1968 г. проводится мониторинг суммарной и рассеянной УФ радиации в диапазоне длин волн 300-380 нм. (Chubarova and Nezval', 2000). Измерения проводятся уфиметрами, разработанными и сконструированными сотрудниками МОМГУ М.П.Гараджа и А.В.Высоцким. [Ультрафиолетовые измерительные приборы, 1977]. Уфиметр МО МГУ при измерении суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм обладает маленькой (менее 1%) спектральной погрешностью. Косинусные погрешности контрольного уфиметра учитываются в процессе работы. До 2005 г. уфиметры МО МГУ градуировались с помощью солнечного кварцевого монохроматора А.Н.Бойко (Белинский и др. 1968; Ультрафиолетовые измерительные приборы,1977; Chubarova and Nezval', 2000) В июле 2005 г. один из контрольных уфиметров был откалиброван по спектрорадиометру Bentam DTM-300 (the Medical University of Innsbruck, Austria), входящего в группу приборов, по которым осуществляется градуировка УФ приборов в Европе. Это дало возможность привести показания уфиметров к международному стандарту. Однако, в силу невозможности в дальнейшем изготовления новых экземпляров уфиметров МО МГУ, для продолжения самого длинного в мире ряда УФ радиации 300-380 нм (более 40 лет) возникает необходимость найти ему замену. При замене приборов одной марки на другие приборы возможно нарушение однородности ряда за счет различий в кривых спектральной чувствительности и в отклонениях показаний прибора от закона косинусов. Поэтому при замене работающих приборов новыми необходимо провести их тщательное исследование на предмет возможности использования для измерения УФ радиации в необходимом диапазоне длин волн (в данном случае область спектра 300-380 нм). С этой целью были исследованы потенциальные возможности ультрафиолетового пиранометра UVA-1 YES (Yankee Environmental Systems LTD), который по рекомендациям фирмы предназначен для измерения УФ радиации в области спектра 320-400 HM.

Начиная с 2006 г. в МО МГУ проводится мониторинг радиации в УФ-А области спектра (320-400 нм) с помощью УФ пиранометра UVA-1 № 031201 (регистратор). В конце 2006 г. был приобретен второй экземпляр прибора UVA-1 № 060902 (контрольный). Начиная с 2007 г. несколько раз в году осуществляются параллельные записи по обоим приборам продолжительностью около 10 дней. Соотношение показаний двух приборов UVA-1 за период 2007-2009 гг. колебалось в пределах в пределах 2-5%, что свидетельствует хорошей стабильности их работы.

Оценка возможности использования УФ пиранометра UVA-1 для измерения суммарной УФ радиации в области длин волн 300-380 нм.

Значительные отклонения кривой спектральной чувствительности приборов UVA-1 от области спектра 320-400 нм (рис.13.1) дают возможность предположить, что он с меньшими погрешностями может быть использован для измерения суммарной УФ радиации области спектра 300-380 нм. В связи с этим необходимо оценить спектральные погрешности данного прибора в областях спектра 320-400 нм и 300-380 нм.

Для этой цели были выполнены расчеты спектральной радиации в пределах УФ области спектра по модели TUV (Madronich, and Floke, 1998) с модификациями, описанными в работе (Чубарова, 2006). Спектры прямой, рассеянной и суммарной УФ радиации были рассчитаны для высот солнца от 10° до 60° для слабо поглощающего аэрозоля с различными аэрозольными оптическими толщинами для длины волны 380 нм (AOT₃₈₀) от 0.15 до 1.50. Кроме того, были проведены соответствующие вычисления для условий сплошной плотной облачности с оптической толщиной OT=40. Расчеты были выполнены для общего содержания озона (OCO) X=350 еД. Естественные колебания OCO практически не сказываются на величине УФ радиации во всем диапазоне длин волн 300-380 нм, так как наиболее сильное поглощение озона имеет место в УФ области спектра с длинами волн короче 320 нм, вклад которой в радиацию области 300-380 нм на уровне земли даже в условиях высокой прозрачности атмосферы колеблется от 2 до 7 % при изменении высоты солнца от 10° до 60°

На рис. 13.1 можно видеть, что максимум чувствительности приборов UVA-1 приходится на длину волны λ = 328 нм, в то время как для уфиметра МО МГУ он сдвинут в сторону более длинных волн на λ ≈345 нм. На основании модельных расчетов с учетом спектральных кривых обоих приборов было показано, что эффективные длины волн для больших высот солнца (h=50°) и высокой прозрачности атмосферы для указанных приборов близки и приходятся на $\lambda \approx 347-348$ нм. Сходство эффективных длин волн дает возможность предположить, что прибор UVA-1 должен иметь меньшую спектральную погрешность при работе в области длин волн 300-380 нм, чем в рекомендованной в паспорте прибора области УФ-А 320-400 нм.



Рис.13.1. Кривые спектральной чувствительности УФ приборов: 1 –УФ пиранометр UVA-1 Yes № 031201 (регистратор), 2 – УФ пиранометр UVA-1 Yes № 060902 (контрольный) 3 – уфиметр МО МГУ (контрольный).

В июле 2008 г. УФ пиранометр UVA-1 № 060902 был откалиброван по суммарной радиации в двух областях спектра 320-400 нм и 300-380 нм по спектрорадиометру Bentam DTM-300 Медицинского университета в Инсбруке. Там же были определены его кривая спектральной чувствительности (см. рис.13.1) и косинусная характеристика (рис.13.2). В паспорте приборов UVA-1 приводится только кривая спектральной чувствительности. Косинусная характеристика отсутствует. Незначительные различия в отношении показаний УФ пиранометров № 060902 и № 031201, полученные с использованием паспортных переводных множителей для области спектра 320-400 нм (1.3%) в широком диапазоне высот солнца (от 10° до 55°), позволяют использовать косинусную характеристику УФ пиранометра № 060902 для работы с прибором № 031201.

Рис.13.3 иллюстрирует зависимость переводного множителя УФ пиранометра UVA-1 № 060902 а_Q от высоты солнца для двух спектральных областей (320-400 нм и 300-380 нм), полученную по результатам сравнения в Инсбруке. Эта зависимость обусловлена суммой спектральной и косинусной погрешностей приборов. Для области 300-380 нм зависимость выражена слабее.



Рис.13.2. Поправочные множители УФ пиранометра UVA-1 № 060902 и контрольного уфиметра МО МГУ №9, обусловленные отклонениями показаний приборов от закона косинусов.

Спектральная погрешность ультрафиолетовых пиранометров UVA-1 для обеих спектральных областей была оценена на основании модельных расчетов, используя параметр R, нормированный на значения a_{Qh} при h=30° и при средних условиях мутности атмосферы AOT₃₈₀=0.325:

$$R = \left(\frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{\lambda h} \cdot d\lambda / \int_{280}^{400} Q_{\lambda h} \cdot V_{\lambda} \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{\lambda \cdot 30} \cdot d\lambda / \int_{280}^{400} Q_{\lambda \cdot 30} \cdot V_{\lambda} \cdot d\lambda} \cdot \right) - 1, \%$$
(13.1)

где λ_1 и λ_2 – границы выбранных спектральных интервалов, V_{λ} – относительная спектральная чувствительность прибора на длине волны λ .



Рис.13.3. Зависимость переводного множителя УФ пиранометра UVA-1 № 060902 от высоты солнца для двух спектральных областей по данным градуировки в Инсбруке в июле 2008 г. 1 – 320-400 нм, 2 – 300-380 нм.

Параметр L характеризует погрешности за счет отклонения показаний прибора от закона косинусов (см. рис.13.2). Он рассчитывается на основании модельных спектров прямой, рассеянной и суммарной УФ радиации:

$$L = \left(\frac{1/A_{Qh}}{1/A_{Q30}}\right) - 1, \ \%, \tag{13.2}$$

где A_{Qh} – изменения суммарной УФ радиации за счет отклонений показаний прибора от закона косинусов в различных условиях, нормированные на значения при h=30° и AOT₃₈₀=0.325.

Значения R и L и их суммы S для двух рассматриваемых спектральных интервалов при различных высотах солнца и аэрозольной оптической толщине для длины волны 380 нм АОТ₃₈₀=0.15 для условий безоблачного неба и сплошного покрова плотной облачности с оптической толщиной ОТ=40 для УФ пиранометра № 031201 представлены в табл.13.1.

На рис.13.4 для условий высокой прозрачности атмосферы (AOT₃₈₀=0.15) показана зависимость R и S от высоты солнца. Можно видеть, что R для области спектра 300-380 нм существенно ниже, чем для области 320-400 нм. Таким образом, прибор UVA-1 по своим спектральным характеристикам действительно может быть использован для продолжения мониторинга УФ радиации 300-380 нм в МО МГУ. В случае области 300-380 нм изменения переводного множителя прибора UVA-1 (см. рис.13.3) в основном объясняются отклонениями показаний прибора от закона косинусов.

Таблица 13.1. Относительные изменения (%) в данных УФ пиранометра UVA-1 № 031201 для двух спектральных областей за счет спектральных (R) и косинусных (L) погрешностей и их суммы (S) по сравнению с соответствующими значениями при h=30° и AOT₃₈₀=0.325 для различных атмосферных условий. Результаты расчетов выполнены для AOT₃₈₀=0.15.

	Высота солнца, h°											
	10	20	30	40	50	60						
	Безоблачное небо, область спектра 320-400 нм											
R	5.2	2.6	-0.1	-2.3	-3.8	-4.9						
L	1.6	6.5	0.6	-5.3	-9	-11.2						
S	6.8	9.0	0.4	-7.5	-12.9	-16.1						
	Безоблачное небо, область спектра 300-380 нм											
R	1,2	0,5	0	-0,4	-0,6	-0,8						
L	1,3	6,0	0,6	-5,1	-8,7	-10,9						
S	2,5	6,5	0,6	-5,4	-9,4	-11,7						
	Сплошная облачность, ОТ=40, L=-1.3, область спектра 320-400 нм											
R	5,3	2,0	-0,2	-1,8	-2,9	-3,7						
S	4,0	0,7	-1,5	-3,1	-4,2	-5.0						
	Сплошная облачность, ОТ=40, L=-1.2, область спектра 300-380 нм											
R	1,7	0,6	-0,1	-0,5	-0,7	-0,9						
S	0,5	-0,6	-1,3	-1,7	-1,9	-2,1						







Рис.13.4. Зависимость R и S от высоты солнца для УФ пиранометра UVA-1 № 031201, рассчитанных для спектральных интервалов 320-400 нм и 300-380 нм. АОТ₃₈₀=0.15.

а- безоблачное небо, б – сплошная облачность, оптическая толщина ОТ=40.

Для обоих приборов UVA-1 в области спектра 300-380 нм были рассчитаны поправочные множители K_h, обусловленные отклонениями показаний приборов от закона косинусов и спектральными погрешностями относительно величины переводного множителя прибора при h=30° и средних условиях мутности атмосферы (AOT₃₈₀=0.325) и получены зависимости K_h от высоты солнца для условий безоблачного неба и сплошного покрова облачности (рис.13.5).



Рис. 13.5. Зависимость поправочного множителя K_h от высоты солнца. а - № 031201 (регистратор), б - № 060902 (контрольный).

Используя поправочные множители K_h, значения переводных множителей для контрольного прибора № 060902, полученные в Инсбруке для различных высот солнца (см.

рис. 13.3), были приведены к высоте солнца h=30° и средним условиям мутности атмосферы АОТ₃₈₀=0.325. (рис. 13.6).



Рис. 13.6. Переводные множители УФ пиранометра № 060902 (контрольный) в области спектра 300-380 нм. 1 – по градуировке в Инсбруке (июль 2008 г.), 2 – приведенные к h=30° и средним условиям прозрачности атмосферы АОТ₃₈₀=0.325.

Параллельные записи, проведенные летом 2008 г. по двум приборам UVA-1, позволили получить переводные множители регистратора для области спектра 300-380 нм, приведенные к h=30° и AOT₃₈₀=0.325.

Алгоритм определения величины суммарной УФ радиации по прибору UVA-1 в области спектра 300-380нм с учетом косинусных и спектральных погрешностей имеет вид:

$$Q_{380} = n(MB) * a_{Q30} (BT*M^{-2}/MB) * K_{h, clear} (K_{h, cloud})$$
(13.3)

где n(мВ) – отсчеты в милливольтах,

а_{Q30} (Вт*м⁻²/мВ) – переводный множитель в области 300-380 нм при h=30° и средних условиях мутности атмосферы АОТ₃₈₀=0.325,

 $K_{h,\;clear}-$ поправочный множитель для условий безоблачного неба,

К_{h, cloud} –поправочный множитель для сплошного покрова плотной облач-

ности.

Используя выражение 13.3, были рассчитаны часовые суммы суммарной УФ радиации области 300-380 нм за весь период наблюдений с 2006 г. Для удобства расчетов зависимость K_h от h была аппроксимирована полиномиальными уравнениями 4-го или 3-го порядка. Так как различия в поправочных множителях K_h , clear и K_h , cloud определяются главным образом наличием или отсутствием прямой солнечной радиации, множитель K_h , clear использовался при значениях интегральной прямой радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, $\Sigma S' \ge 0.3 M Д ж/m^2$. При значениях $\Sigma S'$ ниже 0.3 $M Д ж/m^2$ использовался поправочный множитель K_h , cloud. Ниже приводится алгоритм расчета K_h для регистратора N 031201 и контрольного прибора №060902.

Алгоритм определения часовых сумм суммарной УФ радиации по прибору № 031201.

Для середины каждого часа рассчитывается высота солнца h° При h°<7° K_h=1. При 7° <h°<30° и Σ S' \geq 0.3 МДж/м² K_h=0.0000012396*h⁴- 0.000097375*h³+ 0.0024257*h²- 0.205037*h+1.05705 (13.4) При 7° <h°<30° и Σ S'<0.3 МДж/м² K_h= -0.00000813*h³ + 0.0000677*h² - 0.0022295*h+1.0076 (13.5)

При h
$$\geq$$
30° и Σ S' \geq 0.3 МДж/м²
K_h= -0,00000011169*h⁴ + 0.000019807*h³ - 0.00122517*h² +0.027296*h +0.83985 (13.6)

При h
$$\geq$$
30° и Σ S'<0.3 МДж/м²
K_h= --0.000000079*h³ + 0.00001456*h² -0.000964*h +0.9976 (13.7)

Алгоритм определения часовых сумм суммарной УФ радиации по прибору № 060902.

При h°<7° K_h =1.01 При h°<7° и плотной облачности K_h =0.99 При 7° <h°<30° и Σ S' \geq 0.3 МДж/м² K_h = 0.0000017343*h⁴-0.000130042*h³+0.00315479*h²-0.027305886*h +1.086216 (13.8) При 7° <h°<30° и Σ S'<0.3 МДж/м² K_h = -0.000001079*h³+0.000089296*h2-0.003040311*h+1.016487 (13.9) При h \geq 30° и Σ S' \geq 0.3 МДж/м² K_h = -0.0000001145*h⁴+0.000020126*h³-0.001234842*h²+0.0271007*h+0.8480 (13.10) При h \geq 30° и Σ S'<0.3 МДж/м² K_h =0.000000037*h⁴-0.0000007382*h³+0.0000590738*h²-0.0024258971*h+1.0130 (13.11)

Пример сопоставления часовых сумм суммарной УФ радиации 300-380 нм, восстановленных по регистратору UVA-1 №031201 с использованием разработанного алгоритма и измеренных уфиметром МО МГУ, приведен на рис. 13.7.

Используя полученный алгоритм, определены часовые, суточные и месячные суммы суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм по прибору № -31201 за весь период наблюдений. Сопоставление месячных сумм суммарной УФР в области спектра 300-380 нм по уфиметру МО МГУ и прибору UVA-1 представлено на рис.13.8. За период с 2006 г. по апрель 2009 г. (за исключением двух месяцев) различия в показаниях обоих типов приборов в основном лежат в пределах ±5%. Наличие параллельного мониторинга суммарной УФ радиации по прибору UVA-1 позволило выявить постепенно увеличивающееся занижение месячных сумм суммарной УФ радиации по уфиметру МО МГУ, отчетливо проявившееся с начала 2009 г., что по-видимому связано со старением приемника, радиации в контрольном уфиметре, «усталостью» фотоэлемента контрольного уфиметра №9, работающего с 1984 г.



Рис. 13.7. Соотношение часовых сумм суммарной УФ радиации области 300-380 нм поУФ пиранометру UVA-1 №031201 (регистратор) и уфиметру МО МГУ (регистратор) по наблюдениям за июнь 2008 г. (а) и июнь 2010 г. (б).

Для подтверждения этого предположения при отсутствии облаков проведено сравнение данных измерений по контрольному уфиметру №9, уфиметру-регистратору и регистратору UVA-1 с результатами расчетов, выполненных по модели TUV за период с 2003 по 2009 гг. Характеристики аэрозоля для расчетов были получены по данным базы "AERONET", данные по общему содержанию озона – из базы спутникового спектрометра OMI. На рис. 13.10 приведены случаи, когда проводились измерения по контрольному уфиметру №9. Можно видеть, что данные модели примерно на 4% выше данных измерений как по уфиметру, так и по УФ пиранометру UVA-1. Существенные различия в отклонениях от модели для уфиметров и прибора UVA-1 наметились с мая 2009 г. однако и в декабре 2008 г. данные уфиметра были занижены на 11%. В связи с этим было принято решение о включении в электронную базу данных, начиная с декабря 2008 г. результатов регистрации суммарной УФ радиации по прибору UVA-1.



Рис. 13.8. Отклонения месячных сумм суммарной УФ радиации, полученных по уфиметру МО МГУ, от данных UVA-1 №031201 в области спектра 300-380 нм за весь период наблюдений.



Рис.13.9. Отклонение значений суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм, полученных по УФ приборам, от модельных расчетов.

На протяжении 2009 и 2010 гг. 2-4 раза в год проводилась параллельная запись в течение примерно двух недель по двум приборам UVA-1. Результаты приведены в табл. 13.2.

Таблица 13.2.

Отличия показаний суммарной УФ радиации, полученной по уфиметру МО МГУ и прибору UVA-1 №031201, от показаний контрольного прибора UVA-1 № 060902 по наблюдениям в 2009 и 2010 гг.

Год	Месяц	Параметры	Quva-reg/	Оуфиметр /		
			Quva-контр %	Quva-контр %		
2009	Май	среднее	0.8	-6.5		
	4-22	сигма	0.9	2.2		
		Коэфф. вариации	115	34		
		Число случаев	210	210		
	Сентябрь	среднее	0.8	-10.5		
	11-22	сигма	1.1	2.0		
		Коэфф. Вар.	142	19		
		Число случаев	121	121		
2010	Февраль-март	среднее	-0.6	-1.3		
	26.02-8.03	сигма	1.2	5.6		
		Коэфф. вариации	190	446		
		Число случаев				
	Июнь-июль	среднее	-4.0	-13.9		
	30.06-12.07	сигма	1.8	2.6		
		Коэфф. вариации	45	19		
		Число случаев	76	76		
	Август-сентябрь	среднее	-6.4	-15.1		
	25.08-8.09	сигма	1.5	2.7		
		Коэфф. вариации	24	18		
		Число случаев	161	161		
	Октябрь	среднее	0.03	-9.7		
	4.10-10.10	сигма	1.2	4.5		
		Коэфф. вариации	3636	46		
		Число случаев	53	62		

Параллельные измерения суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм по контрольному прибору UVA-1 и регистратору UVA-1 в 2009 г. и в феврале-марте 2010 г. показали, что различия в показаниях обоих приборов не превосходят ±1% как при наличии прямой радиации, так и при плотной облачности. Летом 2010 г. данные регистратора

оказались примерно на 4-6.5% ниже показаний контрольного прибора. В октябре данные обоих приборов UVA-1вновь оказались близкими. Важно подчеркнуть, что по данным модельных расчетов за 29 июня-1 июля 2010 г. значения суммарной УФ радиации по контрольному прибору UVA-1 на 4% ниже модельных, т.е. близкие к различиям с модельными расчетами для прибора UVA-1 в 2009 г. Это свидетельствует о надежности его показаний.

Из вышесказанного можно сделать следующие выводы:

-необходимо регулярно проводить параллельные записи по двум приборам UVA-1.

-важно проводить сопоставление результатов измерений по контрольному прибору UVA-1 при безоблачном небе с модельными расчетами.

-один раз в 2-3 года контрольный прибор должен принимать участие в международных калибровках.

С марта 2010 г. в переводные множители регистратора UVA-1 вводится коррекция для привязки его показаний к показаниям контрольного прибора .

В заключение можно сказать, что УФ пиранометр UVA-1 Yes со значительно большей точностью измеряет суммарную радиацию в области 300-380 нм по сравнению с радиацией в области 320-400 нм, указанной в паспорте. Переводный множитель в области спектра 300-380 нм в условиях ясного неба за счет спектральных погрешностей изменяется примерно на 2% в широком диапазоне высот солнца. В области 320-400 нм соответствующие изменения составляют 10%.. УФ пиранометр UVA-1 по своим спектральным характеристикам может заменить уфиметр МО МГУ в мониторинге суммарной УФ радиации 300-380 нм.

Литература

Белинский В.А., Гараджа М.П., Меженная Л.М., Незваль Е.И. Ультрафиолетовая радиация Солнца и неба. М., изд-во МГУ, 1968, 228 с.

Ультрафиолетовые измерительные приборы –Пущино, координационный центр стран СЭВ и СФРЮ по проблеме «Исследования в области биологической физики», 1977, с.35-38.

Чубарова Н.Е. О роли тропосферных газов в поглощении УФ радиации// Доклады Академии Наук, 2006, т. 407, №2, С.294-297.

Chubarova N. YE. and Nezval' YE. I. Thirty year variability of UV irradiance in Moscow. Journal of Geophysical Research, 2000, vol. 105, No D10, pp. 12,529-12,539.

Madronich. S. and S. Flocke, The role of solar radiation in atmospheric chemistry, in Handbook of Environmental Chemistry, edited by P.Boule, Springer-Verlag, Heidelberg, 1998, pp.1-26.

14. Методика восстановления однородности рядов измерений фотосинтетически активной радиации приборами нескольких типов.

О.А. Шиловцева.

В метеорологической обсерватории проводятся регулярные наблюдения за фотосинтетически активной солнечной радиацией (ФАР) уже в течение 30 лет. Они были начаты в мае 1980 года по инициативе старшего научного сотрудника МОМГУ Т.В.Евневич. Это стало возможным благодаря тому, что научный сотрудник ГГО Е.Л.Махоткина воплотила в жизнь идею Ю.Д.Янишевского по изготовлению так называемых цветных пиранометров [Махоткина, 1983]. Создав красно-белый пиранометр, она передала их на испытания, и потом и для постоянной работы, в МОМГУ, где они использовались для измерения ФАР в области спектра 380-710 нм до 2001 г. включительно.

В 1998 г. МОМГУ приобрела новый прибор для измерения солнечной радиации в области ФАР, к тому времени получивший широкое распространение среди ученых всего мира, занимающихся этой областью спектра. Это квантовый датчик американской фирмы LI-COR [www.licor.com]. Спектр измеряемой ФАР у этого прибора несколько меньше, чем у применяемого ранее цветного пиранометра (рис.14.1). С 2002 года цветные пиранометры больше не применяются в МОМГУ для измерения ФАР, поэтому встал вопрос о том, как соотносится солнечная радиация этих двух участков спектра. Следует отметить, что подобные различия в спектре измеряемой ФАР сложилась исторически: в СССР в физиологии растений еще с 1950-60-х годов было принято считать под ФАР более расширенный, чем за рубежом, участок спектра, основываясь на средней кривой фотосинтеза [Ничипорович, 1961].

Оценка разницы в солнечной энергии рассматриваемых областей ФАР проведена двумя способами. Во-первых, по теоретическим данным. При этом использовались модельные расчеты спектрального состава солнечной радиации, выполненные в Российском научном центре "Курчатовский институт" методом Монте-Карло, при общем содержании озона X = 337 е.Д., трех вариантах влагосодержания атмосферы и континентальном типе аэрозоля, т.е. при условиях, близких к реальным [Рублев и др., 1995].



Б



Рис.14.1. Кривые спектральной чувствительности цветного пиранометра ГГО (А) и измерителя ФАР LI-190 Quantum Sensor (Б)

Расчеты проведены для теплого периода года при ясном и пасмурном небе (табл.14.1). Хорошо видно, что при всем многообразии условий разница между солнеч-

ной радиацией, измеряемой LI-190 Quantum Sensor, и солнечной радиацией, измеряемой цветными пиранометрами, составляет порядка 6%. При этом не существенно ни время дня, ни условия облачности или прозрачности атмосферы, ни влагосодержание атмосферы.

Таблица 14.1. Отношение величин солнечной радиации в двух спектральных интервалах ФАР по теоретическим расчетам [Рублев и др.,1995]: ФАР(400-700 нм)/ФАР(380-710 нм)

	W** г/см ²	*AOT	Высота Солнца (cosZenit)										
			0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Я	2.93	0.1	0,937	0,940	0,943	0,943	0,943	0,943	0,942	0,942	0,942	0,941	0,941
С		0.3	0,938	0,939	0,942	0,943	0,943	0,943	0,943	0,942	0,918	0,942	0,941
О		0.5	0,936	0,938	0,941	0,942	0,943	0,943	0,943	0,943	0,942	0,942	0,942
Е	1,963	0.1	0,936	0,939	0,942	0,943	0,943	0,942	0,942	0,942	0,942	0,941	0,941
H E		0.3	0,937	0,938	0,941	0,942	0,942	0,942	0,942	0,942	0,942	0,941	0,941
		0.5	0,935	0,937	0,940	0,942	0,943	0,943	0,943	0,942	0,939	0,942	0,941
Б	0.985	0.1	0,934	0,940	0,941	0,942	0,942	0,942	0,942	0,941	0,941	0,941	0,941
О		0.3	0,936	0,937	0,940	0,940	0,942	0,942	0,942	0,942	0,941	0,941	0,941
		0.5	0,934	0,936	0,939	0,941	0,942	0,942	0,942	0,942	0,942	0,940	0,941
Пасмурное небо	As	9.8	0,926	0,930	0,934	0,939	0,934	0,943	0,940	0,941	0,938	0,939	0,938
	Sc	31	0,930	0,931	0,933	0,935	0,937	0,939	0,940	0,939	0,939	0,939	0,940
	Sc	9,8	0,935	0,937	0,939	0,941	0,941	0,941	0,942	0,942	0,942	0,942	0,942

*АОТ – для ясного неба - аэрозольная оптическая толщина на длине волны 550 нм; для пасмурного неба – оптическая толщина облака.

** W – влагосодержание атмосферы.

Второй способ заключался в сопоставлении часовых и суточных сумм суммарной Φ AP, измеренной одновременно двумя приборами, в течение 3 лет: с 1999 по 2001 гг. Сопоставление часовых сумм Φ AP при ясном небе показало, что переходный коэффициент в среднем оказался несколько ниже, чем по модельным значениям (рис.14.2). Это связано, скорее всего, с неизбежными погрешностями в измерениях. Причем соотношение k=Q_f(LI-190)/Q_f(ЦП ГГО) не зависит от прозрачности атмосферы, но имеет слабую зависимость от высоты солнца при h<15° (Puc.14.3). При h>15° в среднем k=0,895, при h<15°=0.93 за счет того, что точность измерения такова, что при низких высотах часты случаи с k=1.

Суточные суммы ФАР, измеренные двумя разными приборами, также были сопоставлены для каждого месяца года за рассматриваемый период 1999-2001 гг. Связь между ними, как и следовало ожидать, очень тесная (коэффициент корреляции



Рис.14.2. Соотношение ФАР, измеренной цветным пиранометром ГГО и LI-190 Quantum Sensor, при ясном небе; теплый период 1999-2001 гг.



Рис.14.3. Зависимость параметра k от аэрозольной оптической толщины атмосферы (AOT) (A) и высоты солнца (sinh) (Б)

не менее 0,97) (рис.14.4), а переходный коэффициент k от ФАР₃₈₀₋₇₁₀ к ФАР₄₀₀₋₇₀₀ имеет четко выраженный годовой ход (рис.14.5).

В теплый период он в среднем равен 0,93, т.е. хорошо совпал с модельными оценками. Для холодного периода разница получилась существенно более низкая: k=0.86, что, скорее всего, связано с погрешностями измерения ФАР цветными





Рис.14.4. Сопоставление суточных сумм ФАР измеренных цветными пиранометрами ГГО (Q380-710) и прибором LI-190 Quantum Sensor (Q400-700) в течение года.

пиранометрами при низких высотах солнца. В целом для всего года k=0.89, что хорошо совпадает с оценкой k, определенной по часовым суммам при ясном небе. Таким образом, полученные оценки k позволяют сохранить однородность наблюдений за ФАР и получить многолетние изменения этого параметра в течение последних 30 лет. В качестве примера на рис.14.6 приведен многолетний ход



Рис.14.5. Годовой ход переходного коэффициента ФАР от области 380-710 нм к области 400-700 нм в суточных суммах



Рис.14.6. Многолетнее изменение сумм суммарной ФАР (380-710 нм) в целом за май-сентябрь (QBП1) и за вегетационный период с температурой воздуха выше 5°С (QBП2) в течение 1958-2009 гг

суммарной ФАР (380-710 нм) за вегетационный период со средней температурой воздуха выше 5°С и в целом за май-сентябрь.

Литература:

Махоткина Е.Л. Цветные пиранометр. Труды ГГО, 1983, Вып. 456, с. 71-77.

Ничипорович А.А. Рабочее совещание по вопросам измерения оптического излучения для целей агрометеорологии, физиологии и экологии растений. Физиология растений, 1961, 8, вып.6, с. 744-747.

Рублёв А.Н., Троценко А.Н., Геогджаев И.В. Вычисление энергетических характеристик уходящего солнечного излучения для интерпретации измерений спутникового радиометра SCARAB. – М., Препринт ИАЭ 59-15/1, 1995, 16 с.

www.licor.com