ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ В 2012 г. ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ МГУ

> Москва, МАКС Пресс, 2013 ISBN 978-5-317-04478-7

Environmental and climate characteristics of the atmosphere in 2012 according to the measurements of the Meteorological Observatory of Moscow State University



MOSCOW - 2013

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

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ имени А.М. ОБУХОВА РАН

ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ В 2012 г. ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ МГУ

Коллектив авторов:

И.Б. Беликов, Е.В. Горбаренко, И.Д. Еремина, Е.Ю. Жданова, П.И. Константинов, И.А. Корнева, М.А Локощенко, Е.И. Незваль, А.И. Скороход, Н.Е. Чубарова, О.А. Шиловцева, Р.А. Шумский, К.И. Ахиярова, А.А. Ремизов

Под редакцией Н.Е. Чубаровой



МОСКВА – 2013

Коллектив авторов: И.Б. Беликов, Е.В. Горбаренко, И.Д. Еремина, Е.Ю. Жданова, П.И. Константинов, И.А. Корнева, М.А Локощенко, Е.И. Незваль, А.И. Скороход, Н.Е. Чубарова, О.А. Шиловцева, Р.А. Шумский, К.И. Ахиярова, А.А. Ремизов

Под редакцией Н.Е. Чубаровой

Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2012 г. по Э40 данным метеорологической обсерватории МГУ/ Беликов И.Б. и др.; Под ред. Чубаровой Н.Е. – М.: МАКС Пресс, 2013. – 207 с. ISBN 978-5-317-04478-7

В данной публикации приведены основные закономерности изменения различных характеристик атмосферы в 2012 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. Во второй части приведены результаты методических исследований и комплексного анализа некоторых атмосферных характеристик, выполненных в 2012 году.

УДК 551.5 ББК 26.237

Authors:

I. B. Belikov, Ye. V. Gorbarenko, I.D. Eremina, Ye.Yu.Zhdanova, P.I. Konstantinov, I.A.Korneva, M.A. Lokoshchenko, Ye.I. Nezval', A.I. Skorokhod, N.Ye. Chubarova, O.A. Shilovtseva, R.A. Shumski, K.I.Akhiyarova, A.A.Remizov

Edited by N.Ye. Chubarova

Environmental and climate characteristics of the atmosphere in 2012 according to the measurements of the Meteorological Observatory of Moscow State University. – Moscow, MAKS Press, 2013. – 207 p.

This publication describes the main features of different atmospheric parameters variation in 2011 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, the characteristics of atmospheric aerosols, gaseous composition of the atmosphere and chemical composition of atmospheric precipitation are analyzed. The second part of the issue contains the results of the methodic studies and joint analysis of several atmospheric characteristics fulfilled in 2012.

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, 527 к. Тел. 939-3890, 939-3891. Тел./Факс 939-3891.

ISBN 978-5-317-04478-7

© Коллектив авторов, 2013

оглавление

Об издании. Н.Е. Чубарова	
Часть І. Оценка эколого-климатических характеристик в Москве	
в 2012 г. по данным метеорологической обсерватории (МО) МГУ	
А. Метеорология	
1. Температурный и влажностный режим. Константинов П. И	10
2. Особенности термического режима грунта. Корнева И.А	
3. Промерзание грунта. Локощенко М.А.	
4. Снежный покров. Локощенко М.А	
5. Атмосферные осадки. Константинов П. И	43
6. Атмосферное давление. Константинов П. И	49
7. Ветровой режим в нижнем 500-метровом	
слое. Локощенко М.А., Ахиярова К.И	52
8. Особенности облачного покрова и продолжительности	
солнечного сияния. Горбаренко Е.В	63
Б. Атмосферная радиация	
9 Характеристики прозрачности атмосферы и составляющие	

9.	Характеристики прозрачности атмосферы и составляющие	
pa,	диационного баланса. Горбаренко Е.В	68
10.	Особенности режима фотосинтетически-активной радиации.	
Ш	иловцева О.А	78
11.	Световой режим. Шиловцева О.А.	. 89
12.	Особенности прихода УФ радиации 300-380 нм. Незваль Е.И.	96
13.	Оценка биологически-активной УФ радиации по уточненным	
	данным измерений. Чубарова Н.Е., Жданова Е.Ю.	110

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

14. Основные аэрозольные характеристики и влагосодержание	
атмосферы по данным солнечно-небесного фотометра CIMEL	
сети AERONET. Чубарова Н.Е.	120
15. Химический состав осадков. Еремина И.Д	131
16. Малые газовые и аэрозольные примеси в приземном	
воздухе Беликов.И.Б., Шумский Р.А	138

Часть II. Некоторые результаты методических исследований	
и комплексного анализа данных	157
17. Оценки влияния характеристик температурных инверсий	
на загрязнение приземного воздуха.	
Беликов И.Б. Скороход А.И., Ремизов А.А	158
18. Результаты сопоставлений стандартных метеорологических	
измерений и данных автоматической станции Vaisala.	
Константинов П. И	175
19. Результаты экспериментальных исследований микроклиматических	
различий в температуре грунта на разных глубинах в МГУ.	
Локощенко М.А., Корнева И.А 1	81
20. Особенности архива данных биологически активной УФ радиации	
версии 3. Жданова Е.Ю., Чубарова Н.Е 20	01

Об издании

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

Цель данной публикации состоит в оперативном освещении особенностей изменения климатических характеристик г. Москвы в прошедшем 2012 году, их анализе, сопоставлении с результатами измерений в предшествующие годы и выявлении наиболее интересных тенденций в изменении различных метеорологических, радиационных, экологических параметров атмосферы. Во второй части выпуска приводятся результаты методических работ и комплексного анализа некоторых атмосферных характеристик, выполненных в 2012 году.

Авторы выражают большую признательность всему техническому персоналу метеорологический обсерватории МГУ, усилиями которого проводился сбор и первичная обработка данных наблюдений, положенных в основу настоящего издания.

Работа выполнялась при частичной поддержке грантов РФФИ №12-05-00877, № 12-05-31471, №13-05-00956, № 13-05-00461, а также при поддержке Минобрнауки (Государственный контракт № 14.515.11.0004).

Программа наблюдений 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.

Комплекс наблюдений МО МГУ состоит из расширенной программы метеорологических, аэрозольных и радиационных измерений, а также измерений химического состава атмосферных осадков и воздуха. Измерения многих характеристик охватывают большие периоды времени. Наблюдения естественной освещенности были начаты в 1964 г., а УФ радиации 300-380 нм – в 1968 г. Измерения химического состава атмосферных осадков и снежного покрова проводятся с 1980 г. В конце 1980-х годов начато акустическое зондирование атмосферы, а с 1999 г. – 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 АЕRONET. 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 "MODOS". Более подробную информацию о наблюдениях, проводимых В метеорологической обсерватории, можно найти на сайте http://momsu.ru.

Все измерения 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 номер Р/98/0062/300/Л) на проведение гидрометеорологических наблюдений.

Н.Е. Чубарова

Часть І.

Оценка эколого-климатических характеристик в Москве в 2012 г. по данным метеорологической обсерватории (МО) МГУ

1. Температура и влажность воздуха

Константинов П.И.

1.1 Температура воздуха.

После череды исключительно жарких лет, в течение которых аномалии температуры в летний сезон достигали 7-8 градусов, в 2012м году особых рекордов температуры отмечено не было. Посмотрим на фактический материал – рис. 1.1, который иллюстрирует годовой ход температуры воздуха на метеорологической площадке МО МГУ в сравнении с климатическими нормами.



Рисунок 1.1 - Среднемесячная температура воздуха в 2012 года в сравнении с климатическими нормами за 1981-2010 и 1961-1990 годы.

Самым ярким событием явилось снижение средней температуры февраля на 3,8 (!) градусов - -11, 5 градуса против климатических -7,8 С. Относительно холодным выдался и декабрь – в последний месяц года отрицательная аномалия составила -2,4 градуса. Причиной такого холодного февраля стал затяжной безоттепельный период –

согласно рис.1.2 он продолжался с 14 января по 23 февраля – целых 40 дней! Теплый же период выдался лишь немногим жарче климатической нормы, отличия от которой были невелики. К примеру, июльская температура оказалась выше нормы только на 0,2 градуса. Но безусловно стоит отметить, что весь теплый период имел устойчивую положительную аномалию (с апреля по октябрь). И эта тенденция наглядно прослеживается в последние 3 года (см рис. 1.3)







б) февраль

Рисунок 1.2 - Суточный ход температуры в январе (а) и феврале (б) 2012 года (максимальная за сутки температура отмечена красными точками)

В среднем же, год оказался более теплым, чем обычно (положительная аномалия составила +0,9°С – за счет опять же, теплого сезона. Годовая амплитуда температуры, характеризующая различия средних месячных температур в течение года в 2012 году составила 32,6 С в то время, как ее климатическое значение ,рассчитанное за период 1961-1990 гг. составляет 27,8° С. Абсолютная амплитуда температур за 2012 год составила, согласно таблице 1.2, 56,9°С.

	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII	Год
средняя за 2012 год	-6,5	-11,5	-3	8,5	15,5	17	21,1	18	13,2	6,6	1,4	-8,6	5,9
климатиче ская норма 1961-1990	-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
абсолют- ный максимум, 2012	2,7	1,2	5,2	28,5	28,1	28,9	30,7	32	24,5	17,8	10,3	5,7	33,9
абсолют- ный минимум, 2012	-20,6	-26,2	-13,9	-3,6	3,2	5,2	10,5	6,1	5,1	-2,8	-5,8	-22,6	-23,9
аномалия 2012 год	2,6	-3,8	-0,8	2,7	2,2	0,2	2,7	1,3	2,1	1,7	2,8	-2,4	0,9

Таблица 1.1 - Среднемесячная температура воздуха в 2012 году и климатическая норма.

Самый теплый месяц 2012 года: август (столбик термометра поднялся до +32С), самый холодный- февраль(-26,2).



Рисунок 1.3 - Среднемесячная аномалия температуры воздуха в 2010, 2011 и 2012 году.

Наиболее высокие среднесуточные значения температуры в 2012 году колеблются в интервале от +29 до +32 градусов. По климатическим же нормам, самая высокая среднесуточная температура наблюдается 13 июля, и составляет +19,4 градуса. Максимум температуры (+32 градуса) свидетельствует о том, что особо жарким год признать нельзя. Но и сильных холодов (в отличие от затяжных) также не наблюдалось.

1.2 Новые термические показатели.

Переходы через 0 градусов - один из важных параметров строительной климатологии согласно СНИП 23-01-99. Количество переходов через 0 градусов рассчитывалось следующим образом. По данным срочных наблюдений за температурой воздуха, которые проводятся каждые 3 часа было отмечено общее количество переходов через 0 градусов в течение 30 летнего периода (1981-2000 гг), с частотой не выше 3 часов (колебания около нулевой отметки внутри 3-часового периода не регистрировались). Измерить более точно количество колебаний по данным стандартных метеорологических наблюдений, не используя самописцы, чья точность заведомо ниже, невозможно в принципе. Таким образом, общее количество переходов через 0 градусов в обе стороны за последние 30 лет составило 3966 раз, иначе говоря, в среднем, ежегодно отмечается 132,2 перехода температуры воздуха на высоте 2 метров через нулевую отметку. В 2012 году количество таких переходов составило 79, что, по-видимому, связано с исключительно долгим безоттепельным периодом в январе-феврале, длившемся в течение 40 дней.

<u>Продолжительность отопительного периода.</u> В 2012 году продолжительность отопительного периода (период с устойчивым переходом среднесуточной температуры воздуха через 8 градусов в сторону более низких значений) составил, как и в прошлом 2011 году всего 190 дней (Таблица 1.2). Согласно проведенным исследованиям (Шерстюков, 2005), похожая продолжительность ожидается в период с 2025 до 2050 годов.

Таблица 1.2 - Среднемесячная температура воздуха в 2012 году и климатическая норма	(СНИП-
23-01-99)	

Период	Продолжительность
	отопительного периода, дни
СНИП 23-01-99	214 дней
Климат 1981-2010	200 дней
2011 год	190 дней
2012 год	190 дней

1.3 Влажность воздуха

Как хорошо известно, относительная влажность воздуха является общепринятой мерой влияния влажности воздуха на человеческий организм. Гигиенической нормой являются ее значения в пределах от 30 до 60%. Воздух с относительной влажностью менее 30% оценивается как сухой (Исаев, 2003), до 85% как умеренно влажный, и выше 85%-как сильно влажный. Но для метеорологов относительная влажность является прежде всего 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.



Рисунок. 1.4 - Сравнение среднемесячной относительной влажности воздуха в 2012 году с климатической нормой

На рис. 1.5 видно, что в общем, относительная влажность в 2011 году оставалась в рамках климатических значений (Исаев, 2003) – среднегодовое значение параметра равно климатической норме. Наиболее сухим месяцем с точки зрения относительного влагосодержания стал июнь, наиболее влажным – декабрь. А вот упругость водяного пара показала довольно заметные превышения по сравнению с климатическими значениями (см. рис 1.5 и табл. 1.3)

Таблица 1.3 - Среднемесячная относительная влажность воздуха в 2012 году и климатическая норма

	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
относительная влажность воздуха, % 2012 год	77	72	67	54	53	50	51	59	58	75	82	79	65
климатическая норма, % 1961-1990	79	70	62	55	47	52	56	57	63	71	81	82	65



Рисунок. 1.5 - Сравнение среднемесячной упругости водяного пара в 2012 году с климатической нормой.

На рисунке 1.5, если проследить ход упругости водяного пара видно, что по этой характеристике в летний период повторяемость воздушных масс из более насыщенных влагой регионов была чаще обычной, но каких-либо значительных превышений достигнуто не было. В феврале и марте напротив, преобладали воздушные массы из более прохладных регионов, нежели обычно – свидетельством тому арктический воздух в устойчивом антициклоне в феврале.

Тем не менее, положительная годовая аномалия упругости водяного пара составила 0,6 гПа (Таблица 1.4). Для сравнения – похожее значение было достигнуто в 2011 году, который был гораздо жарче 2012 го. Это заставляет предположить, что аномалия упругости не столько зависит от температуры воздушных масс, преобладавших в течение года, а от их географического региона образования.

Таблица 1.4 - Среднемесячная упругость водяного пара в 2012 году и климатическая норма

	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII	Год
среднее													
2012 год	3,5	2,4	3,8	7,7	10,7	13,1	15,5	14,9	10,9	8,5	5,9	3	8,3
2012 ГОД													
климатическая													
порма, тта	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
1961-1990													
Аномалия	-	-0,7	-0,3	1,5	1,7	1,4	1,1	1,4	0,7	1,3	1,0	-0,6	0,6
	0,4												

Кратко характеризуя термический и гигрометрический режим 2012 года, следует отметить:

- 2012 год в целом можно охарактеризовать как умеренно теплый
- В январе-феврале продолжительность безоттепельного периода составила 40 дней
- За период 2010-2012 гг, в течение теплого периода года ни разу не отмечалось отрицательной аномалии среднемесячной температуры.

Литература

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

Шерстюков Б.Г. Сценарии климата Московского региона до 2050 г. // Метеорология и гидрология. 2005. №7. С. 26–32.

СНИП 23.01.1999

2. Особенности термического режима грунта

И.А. Корнева

2.1 Общие сведения об измерениях температуры грунта в МГУ.

Наряду с основными метеорологическими параметрами (температурой воздуха, давлением, количеством атмосферных осадков и др.) в метеорологической обсерватории МГУ проводятся также наблюдения за температурой почвы и грунта. В МО МГУ непрерывные наблюдения за термическим режимом грунта ведутся с 1955 г. на одиннадцати различных глубинах. Благодаря усилиям сотрудников метеорологической обсерватории, эта станция – одна из немногих в Московском регионе, где до настоящего времени сохранился полный комплекс наблюдений за термическим режимом грунта.

Прежде всего ежедневно в стандартные метеорологические сроки (через каждые 3 часа) проводятся измерения срочной, максимальной и минимальной температуры на подстилающей поверхности (в тёплое время года – на поверхности почвы, а в холодное время года – на поверхности снега) При этом для измерения температуры поверхности используется стандартный ртутный термометр ТМ-3, для измерения максимальной температуры поверхности – ртутный метеорологический термометр ТМ-1 и для измерения минимальной температуры – спиртовой метеорологический термометр ТМ-2.

Также в МО МГУ проводятся измерения температуры почвы в пахотном слое – от поверхности до глубины 20 см. Измерения производятся здесь точно так же, как и на подстилающей поверхности, единственной их особенностью является коленчатая форма четырёх ртутных термометров Савинова ТМ-5, устанавливаемых вглубь почвы с шагом 5 см (Справочник по гидрометеорологическим приборам, 1937). Термометры устанавливаются на специальном обрабатываемом участке с оголённой поверхностью. Данный вид наблюдений является сезонным, с наступлением холодного времени года коленчатые термометры убираются, поскольку при замерзании почвы возможны их повреждения.

Измерения на больших глубинах, начиная с 20 см, производятся с помощью вытяжных почвенно-глубинных термометров на уровнях 20 см, 40 см, 60 см, 80 см, 120 см, 160 см, 240 см и 320 см одновременно на двух участках: с обнажённой поверхностью и под естественным покровом (рис. 2.1). Вытяжной почвенно-глубинный термометр ТПВ-50 состоит из почвенно-глубинного термометра ТМ-10, защитной трубки с наконечником и

деревянной палки (Кедроливанский, 1937). Отсчёты по вытяжным термометрам производятся в дневной срок один раз в сутки, кроме глубин 20 и 40 см, на которых измерения осуществляются в стандартные метеорологические сроки (восемь раз в сутки на участке под естественным покровом и четыре раза – на участке с обнажённой поверхностью). При значительной высоте снежного покрова зимой (более 15 см при его росте и более 5 см при сходе) наблюдения по всем восьми вытяжным термометрам производятся только один раз в сутки (Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, 1969). Участок с оголённой поверхностью площадью 12×20 м (рисунок 2.1 а) в МГУ не предусмотрен действующими Наставлениями Росгидромета и является долгосрочным научным экспериментом, начатым ещё в 1955 году – одновременно с Метеорологической обсерватории (Справочник основанием эколого-климатических характеристик под ред. А.А.Исаева, 2003). Температурный режим здесь воспроизводит условия городских поверхностей, очищаемых зимой от снега: тротуаров, дорожных покрытий и т.п. Такие одновременные измерения температуры грунта на глубинах на двух участках являются, по-видимому, уникальными на всей различных территории Европейской России.



Рисунок 2.1 - Измерения температуры грунта на глубинах в МО МГУ a) на участке с оголённой поверхностью; б) на участке с естественным покровом.

2.2 Основные особенности термического режима грунта в 2012 году.

По данным регулярных измерений температуры грунта в МО МГУ рассмотрим температурный режим на глубинах грунта в 2012 г. В таблице 2.1 представлена среднегодовая температура грунта на различных горизонтах по данным вытяжных почвенно-глубинных термометров за 2012 г. и в среднем за период 1955-2011 гг. на участках с естественным покровом и обнажённой поверхностью. На обоих участках и на всех глубинах (а также на подстилающей поверхности) температура в среднем за 2012 г. превышала средние значения за период 1955-2011 гг., что позволяет отнести этот год к одному из самых тёплых.

Закономерности распределения температуры грунта с глубиной под естественным и оголённым участком существенно отличаются. В среднем за период 1955-2011 гг. на участке с естественным покровом температура грунта не меняется с глубиной, составляя с точностью до десятых долей 7,7 °С. В 2012 году вертикальный профиль распределения температуры с глубиной обладает некоторой изменчивостью, причём максимальное значение наблюдается на глубине 20 см (на той же глубине наблюдается и максимальное превышение температуры 2012 года над средней за период с 1955 г. по 2011 г.). Эту особенность, по-видимому, можно объяснить отепляющим влиянием снежного покрова в холодный период года, который в 2012 г. держался вплоть до 16 апреля (см. рис.2.2 а). Распределение температуры с глубиной на оголённом участке характеризуется повышением температуры в глубь почвы как в среднем за 1955-2011 гг., так и в 2012 г., достигая максимума на глубине 320 см. Возможной и наиболее вероятной причиной такого распределения температуры является наличие в непосредственной близости от участка с оголённой поверхностью подземного источника тепла (теплотрасы).

В 2012 г. в слое от 0 до 320 см не наблюдалось рекордных среднесуточных значений температуры грунта (табл. 2.2). Данные таблицы 2.2 также подтверждают, что год был довольно тёплым с точки зрения термического режима грунта. Так, например, минимальное среднесуточное значение за весь год на глубине 20 см на участке под естественным покровом составило лишь –0,3 °C (при абсолютном минимуме –5,7 °C, достигнутом 12 марта 1972 года), а на участке с оголённой поверхностью -12,8 °C (при абсолютном минимуме –17,3 °C, наблюдавшемся 11 февраля 1969 года). На поверхности почвы минимальное значение за 2012 г. составило –25,6 °C при абсолютном минимуме –39,5 °C 31 декабря 1978.

20

Таблица 2.1 - Среднегодовая температура грунта на различных глубинах за 2012 г. и в среднем за период 1955-2011 гг.

Участок под ес	тественным		Участок под оголённой				
покровом			поверхностью				
Глубина, см	1955-2011	2012	Глубина, см	1955-2011	2012		
20	7,7	9,1	20	6,9	7,4		
40	7,7	8,6	40	6,9	7,3		
60	7,7	8,6	60	6,9	7,5		
80	7,7	8,6	80	7,0	7,8		
120	7,7	8,4	120	7,2	8,0		
160	7,7	8,6	160	7,8	8,4		
240	7,7	8,6	240	8,3	9,1		
320	7,7	8,5	320	9,1	10,0		

Таблица 2.2 - Минимальные и максимальные значения температуры грунта на различных глубинах за 2012 г. и в среднем за период 1955-2011 гг.

Глубина,		Участок	под есте	ственным	Участок под оголённой				
СМ]	покровом			повер	хностью	
	1	955-2011		2012	1	955-2011	2012		
	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.	
20	-5,7	25,0	-0,3	22,2	-17,3	43	-12,9	27,2	
40	-3,3	23,7	0,3	19,9	-15,8	71,9	-11,3	26,3	
60	-2,2	21,3	1,0	18,8	-11,5	26,6	-8,4	23,0	
80	-0,7	20,1	1,6	17,6	-10,7	25,0	-5,6	21,8	
120	0,3	18,3	2,1	16,2	-5,1	21,9	-0,9	18,9	
160	1,2	16,7	2,9	14,9	-1,9	19,9	0,8	17,5	
240	2,6	14,6	4,1	13,3	1,4	121,7	3,5	14,9	
320	3,6	12,8	4,7	12,1	-6,1	15,4	5,7	14,1	

Рассмотрим более подробно годовой ход температуры грунта на нескольких глубинах в 2012 г. (рис. 2.2). На глубине 20 см (рис. 2.2 а) температура почвы обладает наибольшей изменчивостью по сравнению с более глубокими слоями, благодаря более сильному влиянию состояния подстилающей поверхности. Поэтому годовой ход на этой глубине под естественным покровом и оголённой поверхностью существенно отличается. Под естественной поверхностью амплитуда годового хода в 2012 г. составляет 23 °C, в то время как под оголённой поверхностью она составляет 42 °C благодаря отсутствию здесь теплоизолирующего слоя в верхних горизонтах (снежного покров зимой и слоя дернины, а также травяного покрова летом). Под естественным покровом также наблюдается ещё одна особенность в распределении температуры на данной глубине - с января по апрель она остается практически постоянной. Это явление связано с наличием устойчивого снежного покрова в эти месяцы, который препятствует выхолаживанию почвы в зимний период и нагреву в весенний период. На рис. 2.2 а) отчётливо видно, что сразу после схода снежного покрова 16 апреля 2012 г., произошло резкое увеличение температуры грунта. Заметим, что в 2012 г. после продолжительного периода залегания устойчивого снежного покрова с конца февраля по начало апреля и преобладания холодной погоды, наступило резкое потепление, и снег полностью сошёл в течение 3-х дней (с 13 по 16 апреля 2012 г.), что и определило режим температуры грунта на глубине 20 см в этот период. Рост температуры грунта на глубине 20 см весной 2012 г. начался примерно на месяц позже, чем в среднем за 1955-2011 гг.

Температура грунта на уровне 20 см летом и осенью под естественным покровом была в 2012 г. теплее, чем в среднем за 1955-2011 гг. Под оголённым участком температура грунта на 20 см практически за все месяцы 2012 г. была в пределах средней за период 1955-2011 гг. Исключение составляет январь, когда температура грунта в первую половину месяца была практически равна 0 °C благодаря тёплой погоде, наблюдавшейся в Москве в начале зимы 2012 г. Также нестандартные значения температуры на этой глубине наблюдаются в феврале и декабре, когда температура в среднем была существенно ниже. Это связано с преобладанием в Москве в эти месяцы морозной антициклональной погоды, которая способствовала сильному промерзанию грунта. В феврале эта особенность проявилась и на больших глубинах (см. рис. 2.2 б). Например, на глубине 160 см под оголённым участком температура за период с февраля по апрель была ниже средней, в то



B)

Рисунок 2.2 - Годовой ход температуры грунта под естественным и оголённым участком за 2012 г. и в среднем за период 1955-2011 г. на глубине: а) 20 см; б) 160 см; в) 320 см.

время как под естественным покровом такой закономерности не проявилось, благодаря отепляющему влиянию снежного покрова. На глубине 320 см на обоих участках температура грунта в течение всего 2012 г. была выше, чем в среднем за период 1955-2011 гг. (рис. 2.2 в). Это означает, что погодные особенности февраля и декабря 2012 г. на этой глубине не проявились.

На фоне многолетней динамики термического режима грунта среднегодовая температура за 2012 г. находится в числе самых высоких температур, как под естественным покровом, так и под оголённой поверхностью. Это отчётливо видно на рис. 2.3, где приведены изменения температуры грунта на глубине 160 см и температуры воздуха за весь период измерений в МО МГУ. Заметим, что среднегодовое значение температуры воздуха за 2012 г. не лежит в ряду высоких температур за период с 1955 г. по 2012 г. Этот факт ещё раз подтверждает вывод о том, что в термическом режиме почвы и грунта, особенно в пределах первых 20-40 см, большое значение играет состояние подстилающей поверхности.



Рисунок 2.3 - Изменения температуры грунта на глубине 160 см под участками с естественной и оголённой поверхностью и температуры воздуха за период с 1955 по 2012 г. в МО МГУ.

Также следует отметить, что на всех глубинах наблюдается устойчивая тенденция к потеплению грунта (Корнева, Локощенко, 2011; Павлов, 2008). Скорость потепления под участком с оголённой поверхностью практически совпадает со скоростью повышения температуры воздуха, в то время как под участком с естественным покровом потепление происходит в 3 раза медленнее (рис. 2.3).

Таким образом, для 2012 г. характерны следующие особенности термического режима грунта:

- Значение среднегодовой температуры грунта на всех глубинах и подстилающей поверхности превышает среднее за весь период измерений в МО МГУ с 1955 по 2011 гг;
- Погодные особенности зимы 2012 года проявились и в термическом режиме грунта вплоть до глубины 160 см;
- На температурный режим грунта под естественной поверхностью большое влияние оказывает снежный покров, что наиболее заметно на примере этого года: позднее установление и поздний сход снежного покрова существенно повлияли на термический режим на глубине 20см;

Литература

Кедроливанский В.Н. Метеорологические приборы. М., издательство ГУГМС, 1937, 318 с.

Корнева И.А., Локощенко М.А.. Многолетние изменения температуры грунта на разных глубинах в Москве. Труды XVI Международной конференции молодых учёных «Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические эффекты». М., 2012.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1. Л., Гидрометеоиздат, 1969.

Павлов А.В. Тренды современных изменений температуры почвы на севере России. Криосфера Земли, 2008. Т. XII, №3, с. 22-27.

Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам. Л., Гидрометеоиздат, 1971.

Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы (по наблюдениям Метеорологической обсерватории МГУ) под редакцией А.А.Исаева – М.: изд-во МГУ, 2003. Т.1 – 300 с.

3. Промерзание и оттаивание грунта

Локощенко М.А.

3.1 Краткие сведения о наблюдениях за промерзанием и методические вопросы.

В холодном сезоне 2011-2012 гг., как и во все последние годы, промерзание и оттаивание грунта измерялось в метеорологической обсерватории МГУ синхронно с помощью пяти приборов на двух участках. Здесь традиционно используются как мерзлотомеры системы Данилина (МД), стандартизованные Росгидрометом, так и мерзлотомеры системы Ратомского (МР), стандарт которых разработан в НИИОСП имени Н.М.Герсеванова, причём именно последние считаются в базе данных МГУ опорными. Методические основы наблюдений за промерзанием и оттаиванием изложены автором в (Локощенко, 2005, Локощенко 2003 и др.). В дополнение к ним, остановимся здесь подробнее на некоторых вопросах практических наблюдений.

Использование мерзлотомеров Ратомского сопряжено с грязной и трудоёмкой работой по их установке в начале холодного сезона. Кроме того, в конце холодного сезона возможна методическая неопределённость в отсчётах. Это связано с тем, что границы оттаивающего грунта с обеих сторон – как верхняя, так и нижняя – бывают подчас недостаточно чётко выражены и представляют собой скорее переходные зоны толщиной в несколько см. Вдобавок к этому, в быстро оттаивающем слое уже мягкого грунта возможны включения отдельных кристаллов не растаявшего льда. Это затрудняет измерения, и субъективная оценка глубины промерзания может быть различной у разных наблюдателей. Тем не менее, именно прибор Ратомского показывает достоверные глубины промерзания и оттаивания с учётом солёности почвенных вод. К тому же, в период роста промёрзшего слоя в начале зимы нижняя граница его обычно определяется вполне однозначно (с точностью до 1 см). Мерзлотомер Данилина не имеет подобных ограничений – граница столба замёрзшей воды прослеживается в нём уверенно практически всегда. Однако данный прибор позволяет измерить глубину скорее не промерзания как такового, а нахождения нулевой изотермы. Несмотря на близость этих показателей, в показаниях обоих видов мерзлотомеров возможны заметные расхождения. Заметим также, что в используемой ныне на сети разновидности мерзлотомеров Данилина AM-21-1/II прозрачная полихлорвиниловая трубка нового образца обладает слишком большой упругостью по сравнению с традиционными мягкими резиновыми трубками в

прежних моделях МД-50 и АМ-21. Это является недостатком новой модели, поскольку затрудняет определение границ и производство точных отсчётов.

На участке с обнажённой поверхностью площадью 12×20 м в МГУ установлены три мерзлотомера – два идентичных МР, опорный № 1 и запасной № 2, и один МД (прибор № 3). На участке под естественным покровом находятся один МР и один МД (соответственно приборы №№ 6 и 7). Ежедневно в дневной срок наблюдений измеряются все глубины, связанные с промерзанием и оттаиванием – при наличии одного или нескольких слоёв замёрзшего грунта в МР или замёрзшей воды в МД. Все границы этих слоёв определяются либо погружением в грунт МР острого предмета (обычно – карандаша), либо на ощупь в MД. Крайняя простота этих наблюдений служит залогом ИХ надёжности И преемственности во времени. Следует, однако, учесть возможные погрешности и искажения в данных. Так, в начале холодного сезона мерзлотомер Ратомского должен заполняться предельно увлажнённым столбом глины (грунта) – настолько, чтобы только не было его стекания вдоль внутренних стенок металлической оправы. При недостаточном смачивании глины осенью точность измерений в процессе её последующего высыхания резко ухудшается, и даже самая возможность отсчётов по МР весной может оказаться под вопросом. Что же касается мерзлотомеров Данилина, то при потере герметичности трубки и частичной утечке из неё воды до начала промерзания возможно наблюдение мнимого слоя оттаивания (пустой полости) в приповерхностном горизонте. С другой стороны, при утечке воды уже после начала промерзания (т.е. ниже замёрзшего столба, удерживаемого узелковой нитью) возможно наблюдение ложной заниженной глубины промерзания. Вероятно, именно это произошло в сезоне 2011-2012 гг. в приборе № 3 на участке с обнажённой поверхностью. Что касается календарных показателей промерзания, в станционных наблюдениях всегда есть опасность пропуска даты его начала, поскольку явление это не видно глазу наблюдателя. Поэтому уже при первых морозах требуется тщательная проверка всех приборов на наличие хотя бы наименьшего слоя с образовавшимся промерзанием.

Заметим, что наблюдения за глубинами промерзания и оттаивания в МГУ с помощью приборов разных видов и параллельно на двух участках отличаются высокой степенью подробности. Столь скрупулёзно эти показатели не измеряются ни на одной другой метеорологической станции в России.

27

3.2 Промерзание под обнажённой поверхностью в холодном сезоне 2011-2012 гг.

Осенью 2011 года промерзание на обнажённом участке было впервые отмечено по обоим мерзлотомерам Ратомского 06 ноября, а по мерзлотомеру Данилина – на следующий день, 07 ноября. Это вполне естественно, поскольку приблизительно за сутки до этого, днём пятого числа, установилась морозная погода, а к утру шестого ноября температура поверхности почвы опустилась до –9,4 °C, а температура воздуха – до –9,5 °C. Однако уже спустя два дня наступила оттепель, и первое в сезоне промерзание вполне закономерно исчезло (08 ноября по данным МР и 09 ноября по данным МД).



Рисунок 3.1 – Глубины промерзания и оттаивания грунта в 2011-2012 гг. и среднемноголетние значения по данным опорного мерзлотомера № 1 на обнажённом участке.

На рисунке 3.1 голубыми ромбами показан ход глубины промерзания и оттаивания на обнажённом участке по данным опорного мерзлотомера МР № 1 в продолжение всего холодного сезона 2011-2012 гг. Для сравнения зелёными кружками приведены средние глубины промерзания и оттаивания за каждый отдельный день в течение 41 года (за

период 1961-2001 гг.). Как видно, устойчивое промерзание началось очень поздно – лишь 11 января 2012 года, когда по данным опорного МР № 1 его глубина составила 7 см. Это согласуется с погодными условиями, поскольку устойчивая отрицательная температура поверхности почвы (от полутора до почти четырёх градусов мороза) установилась лишь накануне. До этого, вплоть до 09 января, наибольшая температура поверхности почвы колебалась вблизи нулевого значения. Таким образом, устойчивое промерзание не могло образоваться ранее 10 января. Тем не менее, по данным прибора МД № 3 устойчивое промерзание установилось значительно раньше – 31 декабря 2011 года. Начиная с этой даты, отсчёты глубины по этому мерзлотомеру (около 5 см) уже не прерывались ни на день. Однако противоречия здесь нет: в условиях приблизительно нулевой температуры поверхности в середине дня и очень малых отрицательных значений в остальное время суток дистиллированная вода могла оставаться в приповерхностном слое замёрзшей, тогда как реальное промерзание почвы отсутствовало.

Позднее установление устойчивого промерзания явилось следствием погодных условий – очень тёплого предзимья. Средняя температура воздуха и в ноябре, и в декабре 2011 года была существенно выше климатической нормы. Понижения её до значений ниже 0 °С в эти месяцы были кратковременными и перемежались частыми оттепелями. Как показано ниже в разделе 4, устойчивый снежный покров в рассматриваемом холодном сезоне также образовался очень поздно, став только восьмым по счёту залеганием снега. Промерзание на обнажённом участке в начале холодного сезона также возникало и исчезало несколько раз подряд: по данным и опорного мерзлотомера МР № 1, и дополнительного МД № 3, устойчивое промерзание стало лишь седьмым по счёту. Временные промерзания отмечались по мерзлотомеру № 1 с перерывами 06-07 ноября, 21-25 ноября, 01 декабря, 09-10 декабря, 23-26 декабря и 29 декабря. Все эти события представляются вполне достоверными, поскольку их даты совпадают с периодами похолоданий и морозной погоды. Заметим, что точность определения времени начала и окончания периодов с кратковременным промерзанием ограничена в условиях продолжительных колебаний температуры воздуха в окрестности 0 °С. Ещё два раза, 15-16 ноября 2011 г. и 02-04 января 2012 г., промерзание на обнажённом участке не было отмечено, хотя по погодным условиям оно могло существовать. Таким образом, действительно, устойчивое промерзание явилось, по меньшей мере, седьмым по счёту промерзанием в этом холодном сезоне.

В дальнейшем рост его глубины был монотонным и устойчивым. Особенно быстро она росла в продолжение очень холодной третьей декады января: в среднем на 4 см в день, а в отдельные дни (24 января и 01 февраля) – даже на 6-7 см. Наибольшее значение глубины составило в этом сезоне 120 см, причём отмечалось трижды: 25 февраля, 29 февраля и 01 марта, а также 14-15 марта. В период с 18 февраля по 23 марта глубина промерзания оставалась почти постоянной, меняясь лишь в узком промежутке от 115 до 120 см. Этому способствовала сравнительно холодная погода в марте 2012 г. Как показано автором ниже, в разделе 4, высота снежного покрова также оставалась почти неизменной вплоть до начала апреля. Лишь в последней неделе марта глубина промерзания начала устойчиво уменьшаться.

Оттаивание на опорном мерзлотомере № 1 было впервые отмечено 10 марта, хотя температура воздуха в этот день лишь в один дневной срок ненамного превысила нулевое значение. Окончательное оттаивание появилось 18 марта, составив 1 см. Эта дата заслуживает доверия, поскольку, действительно, накануне днём началось заметное потепление. Однако в течение последующей половины месяца заметного роста оттаявшего слоя не наблюдалось: глубина оттаивания колебалась в пределах лишь от 1 до 10 см и даже 04 апреля ещё составляла всего лишь 1 см. Лишь начиная с 05 апреля, она начала быстро расти. Последний в сезоне отсчёт был получен 14 апреля: в этот день глубина промерзания составила 88 см, а оттаивания – 49 см. На следующий день основной отсчёт был потерян, поскольку опорный мерзлотомер № 1 не удалось вынуть из скважины (об этом имеется рукописная пометка в исходных материалах наблюдений). Запасной МР № 2 показал 15 апреля глубины промерзания и оттаивания соответственно 81 и 53 см. Наконец, 16 апреля промерзания уже отсутствовало по обоим приборам. Следовательно, датой окончания промерзания по мерзлотомерам Ратомского следует считать 16 апреля.

Что же касается третьего прибора МД, в начале холодного сезона он также показывал вполне достоверные значения – до 26 января, когда глубина промерзания достигла здесь 45 см (красные кружки на рисунке 3.2). В последующие почти три месяца, вплоть до 15 апреля, это значение неизменно повторяется в каждодневных наблюдениях с точностью до ± 1 см. Все эти отсчёты (всего – 80) пришлось исключить из рассмотрения как очевидно бракованные. Глубина оттаивания была здесь отмечена впервые лишь 12 апреля и составила в этот день уже 5 см. Можно предположить, что слой жидкой воды отсутствовал в МД как в верхнем 5-сантиметровом слое, так и ниже отметки 45 см. Отсутствие данных об оттаивании 14 и 15 апреля следует считать пропуском в наблюдениях – очевидно, что

30

оттаивание в эти дни не прерывалось. Последний отсчёт глубины оттаивания (41 см) был получен здесь 21 апреля. Возможно, в последующие дни она просто превысила значение 45 см, выйдя за пределы фактического диапазона измерений. Таким образом, даты начала оттаивания и окончания устойчивого промерзания, так же как и его действительная глубина, по данным мерзлотомера Данилина оказались в этом году потерянными.

На рис.3.2 приведены все достоверные данные измерений тремя приборами на обнажённом участке. Как видно, данные обоих МР (№ 1 и № 2) показывают очень тесное согласие друг с другом. Устойчивое промерзание на втором мерзлотомере началось лишь на несколько дней позднее, чем на опорном, и исчезло практически одновременно с ним. Наибольшая же глубина оказалась по данным МР № 2 всего на 2 см меньше, чем на опорном: 118 см.



Рисунок 3.2 – Ход изменений глубин промерзания и оттаивания грунта в 2010-2011 гг. в МГУ по данным всех трёх приборов на оголённом участке.

Сравнение данных обоих приборов МР и прибора МД за ограниченный период достоверных одновременных измерений с 11 (15) до 26 января показывает, что глубина промерзания по данным МД существенно отстаёт от показаний обоих МР. В среднем за эти несколько дней разность между ними составила 9 см, несмотря на более низкую

температуру замерзания содержащейся в глине солёной воды. Это может быть следствием инерции замерзания столба воды в МД в процессе быстрого роста глубины промерзания. Заметим, что аналогичный результат был ранее получен автором для условий начала и середины предыдущего холодного сезона 2010-2011 гг. (Локощенко, 2012). Тогда, вплоть до 05 марта, глубина промерзания по данным опорного МР № 1 была в среднем на 7 см, а дополнительного МР № 2 – на 5 см больше по сравнению с МД.

3.3 Промерзание под естественным покровом в холодном сезоне 2011-2012 гг.

Промерзание под естественным покровом обычно бывает недолгим и неглубоким. Оно зависит в основном от двух показателей – температуры воздуха, а также наличия и высоты снежного покрова. Как видно на рисунке 3.3, впервые в сезоне 2011-2012 гг. оно было отмечено здесь 23 ноября по опорному мерзлотомеру Ратомского № 6, одновременно с участком под обнажённой поверхностью. Спустя два дня под естественным покровом оно исчезло. Во второй раз промерзание образовалось здесь по данным МР № 6 лишь 20 января и оказалось уже устойчивым. На дополнительном мерзлотомере Данилина № 7 промерзание впервые было отмечено 30 января и стало устойчивым 01 февраля. Наибольшая глубина промерзания составила под естественным покровом 27 см 02 февраля по опорным данным МР № 6 и 17 см 18 февраля по данным дополнительного прибора МД № 7.



Рисунок 3.3 – Ход изменений глубин промерзания и оттаивания грунта в 2011-2012 гг. в МГУ по данным обоих приборов на участке под естественным покровом.

Примечательно, глубин обоих что качественное соотношение по данным мерзлотомеров – то же, что и на участке под обнажённой поверхностью в предыдущем сезоне 2010-2011 гг.: значения по прибору МД существенное отстают от данных МР как в процессе роста глубины, так и при её уменьшении в дальнейшем. Поскольку на промерзание под естественной поверхностью в значительной мере влияет снежный покров, вполне естественно, что наибольшая глубина промерзания была отмечена при сильных морозах в конце января – начале февраля, когда высота снежного покрова была ещё сравнительно небольшой. С увеличением же этой высоты, начавшимся в середине в феврале (см. раздел 4), промерзание здесь начало быстро сходить на нет. Последний отсчёт глубины промерзания по опорному прибору № 6 был получен 18 марта (5 см), а по дополнительному прибору № 7 – днём позже, 19 марта (2 см). Соответственно, датой исчезновения промерзания следует считать по опорным данным MP 19 марта, а по дополнительным данным МД – 20 марта. В силу малости значений глубины промерзания под естественным покровом оттаивание здесь зачастую не прослеживается вовсе. Единственным наблюдением оттаивания на этом участке явились отсчёты 13 и 14 марта, однако в последние дни существования слоя с промерзанием оттаявший слой над ним уже не прослеживался.

3.4 Общие выводы.

Приведённые выше данные кратко обобщены в Таблице 3.1. Основной особенностью сезона 2011-2012 гг. явилось сравнительно недолгое существование устойчивого промерзания, образовавшегося очень поздно вследствие тёплой погоды в ноябре и декабре. Тем не менее, наибольшая глубина промерзания под обнажённой поверхностью (120 см) оказалась близка к среднемноголетним значениям вследствие очень быстрого роста этой глубины в течение морозного января.

Интересными особенностями рассматриваемого сезона явились многократное (не менее шести раз) попеременное образование и исчезновение слоёв с временным промерзанием до образования устойчивого промерзания, а также продолжительная стабилизация значений его глубины в конце холодного сезона в продолжение целых 35 дней (вплоть до 23 марта). Сходные особенности наблюдались и в динамике снежного покрова. В целом за весь сезон промерзание существовало на участке под обнажённой поверхностью 111 дней, а на участке под естественным покровом – 61 день.

	Обнажённ	ый участок	Участок под ест	гественным покровом
	Опорные данные (MP)	Дополнительные данные (МД)	Опорные данные (МР)	Дополнительные данные (МД)
Дата начала промерзания:	06 / XI	07 / XI	23 / XI	30 / I
				(возможно, раньше)
Дата начала устойчивого	11 / I	31 / XII	20 / I	01 / II
промерзания:				
Дата достижения	25 /II - 15 /III	нет данных	02 / II	18 / II
наибольшей глубины:				
Наибольшая глубина:	120	нет данных	27	17
Дата начала оттаивания:	10 / III	не позднее 12 / IV	13 / III	не было
Дата начала устойчивого	18 / III	не позднее	13 / III	не было
оттаивания:		12 / IV		
Дата исчезновения	16 / IV	не ранее	19 / III	20 / III
устойчивого		22 / IV		
промерзания:				
Дата окончательного	16 / IV	не ранее	19 / III	20 / III
исчезновения		22 / IV		
промерзания:				

Таблица 3.1 – Основные показатели промерзания грунта в МГУ в 2011-2012 гг.

Интересными особенностями рассматриваемого сезона явились многократное (не менее шести раз) попеременное образование и исчезновение слоёв с временным промерзанием до образования устойчивого промерзания, а также продолжительная стабилизация значений его глубины в конце холодного сезона в продолжение целых 35 дней (вплоть до 23 марта). Сходные особенности наблюдались и в динамике снежного покрова. В целом за весь сезон промерзание существовало на участке под обнажённой поверхностью 111 дней, а на участке под естественным покровом – 61 день.

Подтвержден сделанный ранее в обзоре (Локощенко, 2012) вывод о запаздывании изменений глубины промерзания по данным мерзлотомеров Данилина по сравнению с мерзлотомерами Ратомского. Это подтверждает обоснованность выбора последних в качестве опорных приборов в наблюдениях за промерзанием в МГУ.

Литература.

Локощенко М.А. Сезонное промерзание и оттаивание почвы. Справочник экологоклиматических характеристик Москвы (по наблюдениям Метеорологической обсерватории МГУ), Том 2, раздел 13, стр.261-273. Под редакцией А.А.Исаева. М., Географический факультет МГУ, 2005, 410 с.

Локощенко М.А. Промерзание грунта. Летопись погоды, климата и экологии Москвы (по наблюдениям Метеорологической обсерватории МГУ). 2001 год. СПб., Гидрометеоиздат, 2003, глава 2, раздел 2.4, стр.39-45.

Локощенко М.А. Промерзание грунта. В сб.: Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2011 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ, раздел 3, стр.30-37. М., МАКС Пресс, 2012, 230 с., электронное издание, под редакцией Н.Е.Чубаровой. ISBN: 978-5-317-04010-9.

4. Снежный покров

Локощенко М.А.

4.1 Общие сведения о методике измерений.

Общие вопросы наблюдений за снежным покровом были подробно освещены автором в аналогичном разделе сборника за предыдущий 2011 год (Локощенко, 2012). В Метеорологической обсерватории МГУ, в соответствии с Наставлениями Росгидромета (в прошлом Госкомгидромета CCCP), измерения высоты снежного покрова осуществляются ежедневно в утренний срок наблюдений по трём основным рейкам М-103, а также по дополнительной четвёртой рейке вблизи реечного помоста вытяжных почвенно-глубинных термометров. Однако средняя высота, следуя существующему стандарту, рассчитывается как среднее из показаний только по трём основным рейкам. В МГУ традиционно сложилась линейная схема расположения снегомерных реек. В продолжение одного или двух лет в конце 2000-х годов рейки устанавливались в треугольном согласно рекомендациям В наставлении (Наставление порядке гидрометеорологическим станциям и постам, 1969), однако в последние годы было восстановлено их линейное расположение на прежних местах площадки. Возвращение к обычной схеме обеспечивает однородность накопленных рядов данных о снежном покрове. Впрочем, различия в отсчётах между отдельными рейками крайне малы (обычно не превышают 1-2 см) и не направлены, так что даже временная перестановка второй рейки не могла повлечь сколько-нибудь заметных изменений в средних значениях. Наблюдения за состоянием поверхности производятся ныне три раза в сутки – в 04, 10 и 16 ч по летнему Московскому времени.

Измерения высоты снежного покрова, так же как и конструкция рейки М-103, отличаются предельной простотой, что также способствует надёжности данных и их сравнимости в разные годы. Возможное завышение отсчётов высоты вследствие налипания на рейках снега и образования вблизи них сугробов на практике совершенно исключено с учётом контроля наблюдений. Пожалуй, единственным источником систематической погрешности в сторону небольшого занижения высоты служит подчас недостаточно низкое положение наблюдателя при производстве отсчётов. В соответствии с действующими Наставлениями «нужно держать глаз возможно ближе к поверхности снежного покрова» – разумеется, на практике это выполняется не всегда. Как следствие,
фактические данные о высоте снежного покрова могут быть занижены на 1-2 см. Ещё одним источником погрешностей в конце холодного сезона может быть запаздывание на один или два дня даты наблюдения окончательного схода снежного покрова. Причина заключается в том, что наблюдатель может иногда ошибочно принять за остатки снежного покрова не растаявшие снежные насыпи на обочинах дорог (Локощенко, 2005) (весной 2012 году при очень быстром сходе снежного покрова данная погрешность в результатах наблюдений заведомо отсутствует). Тем не менее, в целом наблюдения за снежным покровом и его высотой отличаются высокой степенью надёжности.

4.2 Показатели снежного покрова в Москве (по станции МГУ) в 2011-2012 гг.

Впервые твёрдые осадки в холодном сезоне 2011-2012 гг. были отмечены 15 октября: в этот день выпала снежная крупа. Первое недолгое залегание снежного покрова произошло днём 08 ноября. Однако устойчивый снежный покров появился лишь 18 декабря, что является очень поздней датой его образования. В промежутке между этими событиями произошло семь залеганий и последовавших за ними сходов снежного покрова в течение 40 дней (08-09 ноября, 10-11 ноября, 11-18 ноября, 20-25 ноября, 27-29 ноября, 01-04 декабря и 09-16 декабря), так что устойчивый покров стал только восьмым по счёту залеганием в этом сезоне. Заметим, что окончательное установление снежного покрова очень редко происходит в Москве в столь поздний срок. За последние годы только в сезоне 2006-2007 гг. оно было отмечено ещё позднее, когда снежный покров окончательно установился лишь 20 января. Ещё один раз, в середине января 2005 г., устойчивый снежный покров также едва не сошёл на нет. С 14 по 17 января в тот год значения высоты были нулевыми по всем четырём рейкам, а степень покрытия сократилась в те дни до семи баллов. Наконец, в холодном сезоне 2008-2009 гг. устойчивый снежный покров образовался приблизительно в то же время, что и в 2011-2012 гг. – 17 декабря. Во все же остальные годы в недавнем прошлом его появление происходило существенно раньше.

Как видно на рисунке 1 (голубые ромбы на рисунке – средние значения за каждый день в 1954-2003 гг.), динамика высоты снежного покрова в сезоне 2011-2012 гг. отличалась значительным своеобразием по сравнению с другими годами. Вплоть до середины февраля, за исключением только двух коротких эпизодов, высота была заметно меньше среднемноголетних значений. Кроме того, следует отметить крайне неровный её ход в рассматриваемом сезоне с резкими скачкообразными изменениями. Так, начавшаяся



26 декабря очень сильная оттепель с температурой воздуха выше +6 °C едва не привела к очередному сходу снежного покрова: высота его в продолжение последующих двух дней

Рисунок 4.1 – Ход средней высоты снежного покрова в холодном сезоне 2011-2012 гг. в сравнении со среднемноголетними значениями.



Рисунок 4.2 – Ход высоты снежного покрова в холодном сезоне 2011-2012 гг. по данным измерений на отдельных рейках.

сократилась более чем на 20 см и составила накануне Нового года лишь 8 см. Спустя неделю, после небольшого снегопада и последовавшей за ним новой оттепелью, высота снежного покрова вновь опустилась до значения 8 см. Только к 16 января, после прохождения очередного циклона и связанного с ним снегопада, высота во второй раз превысила средние значения, составив 30 см. Однако с 18 до 25 января она вновь уменьшилась на 7 см (до 23 см). Причиной на этот раз явилась не оттепель, а гравитационное и ветровое уплотнение снега в условиях морозной погоды. Лишь начиная с 16 февраля, высота снежного покрова снова превысила обычные для этих дней значения, причём существенно и уже вплоть до конца холодного сезона. В начале весны она, напротив, была уже значительно больше среднемноголетних значений, причём это превышение возрастало день ото дня. В течение всего марта и даже первой недели апреля высота снежного покрова оставалась стабильной в диапазоне примерно от 40 до 45 см. Даже 07 апреля она составляла целых 40 см (!), что является совершенно удивительным значением. За все 59 лет метеорологических наблюдений в МГУ ещё более высокий снежный покров в этот день был отмечен лишь один раз – в 1963 году. Наибольшее в течение холодного сезона среднее значение высоты снежного покрова составило 48 см 26 марта; наибольшие значения по отдельным рейкам составили в этот же день 50 см (рис.2). Сами по себе эти значения наибольшей высоты довольно велики по сравнению со средними (около 35 см), однако далеки от рекордно больших.

Лишь начавшееся 07 апреля потепление и повышение среднесуточной температуры воздуха до значений выше +3 °C, привело, наконец, к началу очень быстрого схода снежного покрова. В продолжение последующих девяти дней высота его стремительно сокращалась ото дня ко дню – вплоть до 7 и даже 10 см за сутки. Утром 14 апреля впервые были отмечены проталины, и степень покрытия сократилась до 9 баллов. В последний раз отсчёты высоты были произведены 16 апреля и составили 0 см в окрестностях всех четырёх реек; степень же покрытия в этот день достигала ещё семи баллов. Однако уже утром на следующий день снежный покров совершенно исчез – и вблизи реек, и даже в окрестностях станции. Таким образом, датой окончательного схода устойчивого покрова следует считать 16 апреля. После этого снежный покров в сезоне 2011-2012 гг. больше не образовывался.

Число дней со снежным покровом составило 141 по данным всех трёх опорных реек и 144 по данным дополнительной рейки у термометров. В последний раз твёрдые осадки –

мокрый ливневый снег и снежная крупа – были отмечены 07 апреля, за девять дней до схода снежного покрова. Заметим, что дата его схода почти всегда наступает раньше даты последнего наблюдения твёрдых осадков в воздухе.

Календарные даты событий, связанных со снежным покровом в холодном сезоне 2011-2012 гг., обобщены в Таблице 4.1. Как видно, в целом все они, за исключением только даты последних твёрдых осадков, произошли существенно позднее по сравнению с обычными сроками.

Таблица 4.1 – Календарные даты динамики снежного покрова в Москве (МГУ) в холодном сезоне 2010-2011 гг. и в сравнении со средними значениями за период 1954-2003 гг. (Локощенко, 2005).

	Первое	Появление	Образование	Исчезновение	Достижение	Появление	Сход	Последнее	Последнее
	выпадение	первого	устойчивого	последних	наибольшей	первых	устойчивого	залегание	выпадение
	твёрдых	снежного	снежного	проталин	высоты	проталин	снежного	снежного	твёрдых
	осадков	покрова	покрова				покрова	покрова	осадков
Средняя	8 / X	22 / X	21 / XI	6 / XII	22 / II	25 / III	8 / IV	17 / IV	28 / IV
дата за									
40 лет									
Дата в	15 / X	08 / XI	18 / XII	18 / XII	26 / III	14 / IV	16 / IV	16 / IV	07 / IV
2011-	10 / 11	007111	10, 111	10 / 111	207 111	11/11	10/11	10/11	07717
2012 гг.									

Заметим, что средняя разность отсчётов по 1-й и 2-й станционным рейкам за весь холодный сезон составила –2,2 см; между 2-й и 3-й рейками +0,7 см; между 3-й и 4-й рейками –1,7 см. Наибольшая разность между значениями по отдельным рейкам (между 1-й и 4-й) составила 12 см. Столь большие различия возможны лишь в конце холодного сезона при наибольшей высоте снежного покрова.

На рисунке 7.3, помимо средней высоты снежного покрова, приведены также значения её накопленного прироста. Этот нестандартный показатель сводится к измерению высоты свежевыпавшего снега на плоской поверхности (обычно для этого используется поверхность круга ледоскопа) дважды в сутки после каждого снегопада. Данные измерения были начаты в последние годы по просьбе сотрудников Гидрометеорологического бюро Москвы и представляют по сути потенциально возможную максимальную высоту снежного покрова без учёта процессов таяния и уплотнения. Как видим, накопленный прирост к концу холодного сезона составил 180,5 см.



Рисунок 4.3 – Ход средней высоты и её накопленного прироста в холодном сезоне 2011-2012 гг.

Накопленная за весь сезон высота снежного покрова (показатель, предложенный в (Локощенко, 2005)), составила по средним данным 3598, а по данным отдельных реек – от 3428 до 3879. Такие значения вполне типичны, поскольку позднее установление снежного покрова было в значительной мере уравновешено его поздним сходом.

Таким образом, основными особенностями снежного покрова в сезоне 2011-2012 гг. явились:

- 1. Необычно большое число залеганий и сходов временного снежного покрова до установления устойчивого покрова – восьмого по счёту.
- 2. Очень позднее его установление во второй половине декабря и поздний сход в середине апреля;

- 3. Смещение хода высоты вперёд во времени: малая высота до середины февраля и очень большая высота впоследствии, вплоть до середины апреля.
- Необычно резкие скачкообразные изменения высоты во времени, отсутствие устойчивого и поступательного увеличения в начале и в середине холодного сезона. Причина – сильные оттепели, перемежавшиеся снегопадами.
- 5. Стабилизация высоты и отсутствие её направленных изменений в течение всего марта и даже в начале апреля.
- 6. Очень быстрый сход в середине апреля.
- 7. Наблюдение последних в сезоне твёрдых осадков до схода устойчивого снежного покрова.

Литература

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

Локощенко М.А. Снежный покров (раздел 4, стр.38-45) в сб.: Экологоклиматические характеристики атмосферы в 2011 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ. М., МАКС Пресс, 2012, 230 с., электронное издание, под редакцией H.E.Чубаровой. ISBN: 978-5-317-04010-9.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3, часть 1. Л., Гидрометеоиздат, 1969, 308 с.

5. Атмосферные осадки

Константинов П.И.

Согласно проведенным ранее исследованиям режима атмосферных осадков в столице, авторы (Исаев, 2003) выделяют следующие закономерности:

- в холодный период года преобладают длительные обложные дожди и снегопады, в теплый – кратковременные осадки ливневого характера. Поэтому, по климатическим данным, годовой ход числа дней с осадками и продолжительности осадков, в общем, противоположен годовому ходу атмосферных осадков.

- наиболее дождливым (снежным) в Москве является декабрь – 21,6 дней с с осадками. Климатический минимум числа дней с осадками отмечается в мае – 11,4 дня.

- среднее суммарное число дней с осадками за год составляет 177 дней, суммарная продолжительность 2074 часа. Таким образом, осадки в Москве выпадают в среднем почти каждый второй день.

Изменение климата в Москве также заметно сказывается на внутригодовом режиме осадков. Если исследовать соотношение между собой норм 1961-1990 и 1981-2010 года, то можно отметить, что по-прежнему самым сухим месяцем остается март (36 и 38 мм соответственно), а вот в теплый период самым влажным месяцем стал июнь. Статистически, это скорее всего, связано с чередой чрезвычайно сухих июлей, наблюдавшихся в последние 10 лет – их влияние и привело к более «сухой» июльской норме (Таблица 5.1).

К примеру, можно вспомнить экстремально сухой июль 2010 года, когда за месяц выпало лишь 7мм осадков. В остальные месяцы режим осадков заметно не изменился.

Тем не менее, при рассмотрении таблицы 5.1 можно увидеть, что в течение последних трех лет июль устойчиво является более сухим, нежели положено по климатической норме, и это соотношение не меняется вне зависимости от того, был ли год в целом относительно влажным или относительно сухим.

43

А ведь июль, согласно климату самый богатый на осадки московский месяц - по норме в июле выпадет 91 мм осадков.

Из графика 5.1 и таблицы 5.1 видно, что режим увлажнения в отчетном году был чрезвычайно неравномерным. В первые четыре месяца режим был засушливым, а, к примеру, в октябре, сумма осадков почти в два с половиной раза превысила климатическую норму (рис 5.2).



Рисунок 5.1 - Сравнение месячных сумм осадков в 2012 году с климатической нормой.

	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII	Год
месячная сумма осадков,мм 2012 год	56	42	60	54	49	90	62	89	46	142	84	46	820
месячная сумма осадков,мм 2011 год	33	37	23	48	33	62	72	58	75	47	40	72	600
месячная сумма осадков,мм 2010 год	17	68	19	32	64	65	7	69	66	43	70	87	607
климатическая норма,мм 1961-1990	43	36	35	44	51	77	91	78	62	57	56	55	684

Таблица 5.1 - Месячные суммы осадков (мм) в 2010-2012 годах и климатическая норма.



Рисунок 5.2 - Режим облачности и атмосферных осадков в октябре 2012 года.

Это произошло во многом благодаря высокой повторяемости атлантических циклонов в осенний период, а 28 октября Москва оказалась в самом центре событий, связанных с выходом активного циклона — бывшего тропического урагана «Рафаэль». Влияние вихря охватывало огромную территорию, от Ладожского озера до Балканского полуострова и от Южной Франции до Центральной России (рис.5.3). Исключительно сильные осадки наблюдались в зоне теплого фронта, который во второй половине ночи пересекал Москву. Всего за 6 часов в городе выпало 18 мм снежных осадков, что составляет декадную норму. На утро метеостанция ВВЦ отметила 12 см первого в сезоне снежного покрова. В течение дня в виде дождя выпало еще 19,6 мм, что в итоге принесло 37,6 мм осадков.

В итоге, год оказался на 20% влажнее, нежели положено по норме.

Подводя итог, режим осадков 2012 года вкратце можно охарактеризовать следующим образом:

- По режиму увлажнения 2012 год оказался заметно влажнее обычного количество осадков составило 820 мм при норме 684 мм, что на 20% выше нормы.
- Начало года было гораздо влажнее обычного с января по апрель положительная аномалия осадков составила 54 мм.
- Только в мае, июле и декабре количество осадков не превышало месячную норму, остальные 9 месяцев были гораздо влажнее обычного. А в октябре количество осадков составило 249% от нормы, и таким образом, октябрь 2012 года вошел в историю как второй в ряду самых дождливых за всю историю наблюдений в МетеоОбсерватории МГУ.



Рисунок 5.3 - Прогностическая карта на 12:00 по Гринвичу 28 октября 2012 г. © DWD | Wind.met.fu-berlin.de

Литература

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

6. Атмосферное давление

Константинов П.И.

В средней полосе России особенность годового хода давления состоит в наличии двух ярко выраженных максимумов – главного, наблюдающегося в феврале и вторичного – наступающего в октябре (Исаев, 2003). В терминах синоптической климатологии этим максимумам соответствуют периоды ясной и сухой погоды – «настоящей русской зимы» в феврале и «бабьего лета» в октябре соответственно.

Локальные минимумы давления приходятся на июль (самый влажный месяц в московском климате) и декабрь.



Рисунок 6.1 - Сравнение среднемесячных значений атмосферного давления в 2012 году с климатической нормой.

Однако, в 2012 году распределение давления (см. рис.6.1) заметно отличалось от климатического. Максимумы были достигнуты в феврале и декабре и достигли очень высоких значений – 1000 гПа. В декабре это значение на 9 гПа превысило норму.

Причиной таких отклонений стал стационарный характер антициклональных

вихрей, наблюдавшийся в эти месяцы. Февральский антициклон вообще поставил несколько абсолютных рекордов атмосферного давления на ЕТР (Рис.6.2), и благодаря нему в течение 40 дней (с 14 января по 23 февраля) не наблюдалось ни единой оттепели, температура воздуха также значительно опустилась ниже климатической нормы.



Рисунок 6.2 - Рекордные значения атмосферного давления на ЕТР 26 января 2012 года. Звездочкой обозначено расположение МО МГУ (Москва).

Местами в центре антициклона над Белым морем давление достигало 1060 гПа.

Таблица 6.1 - Среднемесячные значения атмосо	рерного давления	в 2012 году и климатическая
норма.		

	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII	Год
средние за 2012 год	997,1	1000,4	986,4	986,6	993,5	988,6	992,3	990,6	991,0	990,7	994,7	1000,0	997,1
климатическая норма 1961-1990	993,4	995,1	993,8	991,8	993	989,9	989,1	990,9	992	993,7	992,1	990,9	992,1
аномалия,% 2012 год	3,7	5,3	-7,4	-5,2	0,5	-1,4	3,2	-0,3	-1,0	-3,1	2,6	9,1	0,5

Резюмируя, следуем отметить что в целом за 2012 год фон давления оказался заметно выше нормы – положительная аномалия составила 0,5 гПа за год, в отдельные месяцы (декабрь) аномалия составила 9,1 гПа. Максимальное давление за 2012 год на уровне станции составило 1025, 6 гПа 7 февраля в 12-00.

Литература

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

7. Ветровой режим в нижнем 500-метровом слое

Локощенко М.А., Ахиярова К.И.

7.1 Общие сведения о состоянии содарной аппаратуры.

В 2012 году, впервые за всё время работы в Метеорологической обсерватории МГУ доплеровского содара «MODOS», удалось обеспечить бесперебойное зондирование с его использованием в непрерывном режиме времени. Как видно из Таблицы 7.1, за весь год содар работал полных или неполных все 366 дней, то есть 100 % (!) всего календарного времени, в том числе 344 дней (94 % времени) – без перерывов дольше одного часа. Таким образом, в отчётном году не было ни одного дня с полностью пропущенными данными о ветре. Лишь в течение 22 дней наблюдались короткие перерывы в рядах содарных данных, в большинстве случаев – продолжительностью не более 2-3 часов, и то – вследствие не поломок содарной аппаратуры, а лишь в редкие периоды очень слабой термической турбулентности или при обильных снегопадах. Так, за первые четыре месяца, вплоть до начала мая, единственным днём с перерывами в данных о ветре, составившими в общей сложности около трёх часов, оказалось 2 февраля. Самые длинные перерывы 6-7 сентября и 29-30 ноября были вызваны, в первом случае, отключением в Обсерватории электропитания, а во втором – исключительно обильным снегопадом. Поломок же аппаратуры как таковых не было вовсе – впервые с 2004 года. Этот результат явился счастливым следствием ремонта локатора, проведённого в 2011 году с помощью приглашённых специалистов.

Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII	Всего:
31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	366
(31)	(28)	(31)	(30)	(29)	(29)	(28)	(29)	(26)	(29)	(26)	(28)	(344)

Таблица 7.1 – Продолжительность содарных измерений в 2012 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, включая перерывы не дольше 1 ч.

К сожалению, в 2012 году не удалось возобновить зондирование с помощью старого вертикального содара «ЭХО-1» производства ГДР. Этот содар, работавший в

Метеорологической обсерватории МГУ с ноября 1988 г. до марта 2009 года, ныне временно выключен.

7.2 Годовой и суточный ход скорости ветра.

На рисунке 7.1 приведён годовой ход средней за каждый месяц скорости ветра в слое воздуха от 40 до 200 м в 2012 году (розовые ромбы) в сравнении с другими годами по данным содара «MODOS». В дополнение к этому, на рисунке 7.2 те же самые данные за 2012 год сопоставлены со среднемноголетними значениями за период 2004-2010 гг.



Рисунок 7.1 - Годовой ход среднемесячных значений скорости ветра в слое воздуха от 40 до 200 м за период 2004-2012 гг. По горизонтали – время, месяцы; по вертикали – скорость, м/с.

Как видно, в целом 2012 год выдался ветреным. Большинство среднемесячных значений скорости ветра в остальные годы либо совпадают с данными 2012 года, либо

меньше. Сам по себе годовой ход характеризовался в 2012 году наибольшими значениями в период климатического предзимья – в ноябре и в декабре. В ноябре 2012 года среднемесячное значение скорости оказалось близко к рекордному: 7,0 м/с. За все годы содарных измерений скорость ветра в этом слое в среднем за месяц лишь трижды оказывалась ещё большей. Самым же тихим месяцем в 2012 году оказался июль, когда средняя скорость составила 4,7 м/с. Ветреный характер этого года в целом наглядно показывает рисунок 7.2 – как видим, значения в марте, мае, сентябре, ноябре и декабре даже выходят за пределы доверительной вероятности 0,95 по выборкам шести первых лет наблюдений.



Рисунок 7.2 - Годовой ход среднемесячных значений скорости ветра в слое воздуха от 40 до 200 м в 2012 году и в среднем за первые шесть лет измерений. По горизонтали – время, месяцы; по вертикали – скорость ветра, м/с. Доверительные интервалы построены с уровнем значимости 5 %.

Суточный ход скорости ветра на разных высотах в слое от 40 до 340 м приведён на рис. 7.3. Данный рисунок подтверждает известную закономерность противоположного суточного хода в приземном слое воздуха и в вышележащих слоях. Как видно, на самых нижних уровнях измерений, особенно на 40 и 60 м, прослеживается максимум скорости ветра в середине дня, тогда как, начиная со 140-160 м и всюду выше, наибольшие значения наблюдаются в вечерние и ночные часы. Чем выше уровень измерений, тем больше амплитуда суточного хода. Уменьшение с высотой размера выборки реальных содарных данных приводит к неупорядоченным скачкообразным изменениям в верхней части высотного диапазона, что заставляет ограничить рассмотрение уровнями, на которых ещё прослеживается чётко выраженная тенденция закономерных изменений.

Высоту обращения, то есть уровень отсутствия суточного хода, приблизительно характеризуют промежуточные уровни измерений – от 80 до 120 м. Однако идеализированное понимание этой высоты далеко от реальности. Совершенно одинаковых значений в разные часы суток скорость ветра не обнаруживает ни на одном из уровней; суточный ход, пусть и сглаженный, существует всюду и характеризуется рядом дополнительных особенностей. Говоря же о высоте обращения, следует понимать под ней лишь отсутствие наиболее общей тенденции к повышению или понижению скорости в середине дня и ночи.



Рисунок 7.3. Суточный ход среднемесячных значений скорости ветра в слое воздуха от 40 до 340 м в 2012 году. По горизонтали – время, часы; по вертикали – скорость ветра, м/с.

7.3 Наибольшие значения скорости ветра и связь ветрового режима с погодными явлениями.

В Таблице 7.2 приведены наибольшие в среднем за 10 минут значения скорости ветра в разные месяцы 2012 года. Как видно, скорость ветра достигла или превысила 30 м/с в нижнем полукилометровом слое воздуха лишь дважды: в 09.00 28 сентября и в 01.10 04 декабря. Оба эти случая приведены на рисунке 7.4 в виде высотно-временной развёртки скорости ветра. В обоих случаях отмеченные значения были получены в средней части диапазона. Таким образом, возможно, на уровне 500 м скорость ветра была в эти часы ещё больше. Следует заметить, что столь большие значения обычно наблюдаются в зонах интенсивных градиентных потоков на периферии общирных барических образований – как

Таблица 7.2. Наибольшая скорость ветра в Москве по содарным данным в среднем за 10 минут в слое воздуха от 40 до 500 м в отдельные месяцы.

	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2012	27,3	28,7	25,9	23,5	22,1	28,3	28,5	27,8	30,0	28,0	25,0	33,0



Красным цветом показаны значения 30 м/с и более.

Рисунок 7.4 - Скорость ветра по содарным данным утром 28 сентября 2012 г. (слева) и ночью 04 декабря 2012 г. (справа). Время – зимнее.

правило, глубоких циклонов и, обычно, при циклонической кривизне изобар. Кроме того, рекордно высокие значения скорости, как правило, наблюдаются при устойчивой стратификации атмосферы в ночные или утренние часы и при наличии низкоуровневых струй (т.е. локальных максимумов) в профиле скорости ветра. Заметим, что наибольшие из достоверных значений скорости ветра по содарным данным за всё время акустического зондирования с помощью содара «MODOS» в МГУ лишь ненамного больше, чем в приведённых здесь примерах – около 35 м/с.

Отдельный интерес представляют связи скорости ветра с опасными погодными явлениями. Рассмотрим здесь в качестве примера таких связей случай очень сильной и опасной грозы, произошедшей в Москве вечером 13 июля 2012 года, следствием которой стали человеческие жертвы.



Рисунок 7.5 - Скорость ветра по содарным данным 13 июля 2012 года. По горизонтали – зимнее время, часы; по вертикали – высота, м.

Особенностью этого дня явилось очень раннее образование и быстрый рост облаков вертикального развития: уже в 13 ч летнего Московского времени наблюдались кучевые облака Cu, а к 16 ч – кучево-дождевые (Cb). Уже в 12.10 начался умеренный ливневый дождь, продолжавшийся с небольшими перерывами вплоть до 21.12. Очевидно, быстрый и

интенсивный рост облаков Сb был связан с развитием значительной энергии неустойчивости в условиях приближения холодного фронта. Следствием этого явилось опасное явление грозы, наблюдавшееся в МГУ трижды. Гроза была впервые отмечена с 13.29 до 13.33, затем с 14.07 до 14.35 и, наконец, с 18.26 до 19.12 летнего Московского времени.





Рисунок 7.6 - Фрагмент станционной барограммы в МГУ 13 июля 2012 г.

Рисунок 7.7 - Карта приземного анализа за 16 ч 13 июля 2012 г.; Москва показана звёздочкой.

Как видно по содарным данным на рисунке 7.5, направление ветра многократно и резко изменялось в продолжение всего дня. Последний по времени сравнительно быстрый правый поворот в направлении произошёл в промежутке с 16 до 19 ч. Как известно, подобные повороты часто бывают связаны с прохождением атмосферных фронтов. Действительно, как видно на станционной барограмме на рисунке 7.6, резкий рост атмосферного давления в этот день начался в 18 ч. Такой вид записи барографа означает наблюдений. фронта Это прохождение холодного над местом подтверждается станционными данными в МГУ. Температура воздуха Т после 18 (19) ч быстро уменьшилась до 15,3 °C в 22 ч, тогда как накануне в этот срок T составляла 25,6 °C. В течение ночи 14 июля, в тылу циклона, Т понизилась до 14 °C, тогда как предыдущей ночью она достигала 20-23 °C. О прохождении холодного фронта вечером 13 июля говорит и резко уменьшившаяся упругость водяного пара в последующие часы: если до фронта она составляла 20-24 гПа, то уже к 21 ч уменьшилась до 15,2 гПа. Прохождение холодного фронта вечером 13 июля подтверждается и синоптической картой приземного анализа на рисунке 7.6. Таким образом, очевидно, что атмосферная неустойчивость на фоне обычного суточного хода температуры была усилена холодной адвекцией в зоне холодного фронта. Это и привело к сильной грозе в вечерние часы. Примечательно, что на высотновременной развёртке скорости ветра по содарным данным на рисунке 7.5 прослеживается значительное увеличение скорости ветра с 19.30 (в 20.30 летнего времени). Как видно, на уровне 500 м в МГУ в 19.50 зимнего времени, вскоре после окончания грозы, скорость ветра достигла 19,6 м/с.



Рисунок 7.8 - Поле верхней границы облаков в 19.30 летнего Московского времени 13 июля 2012 г. по радиолокационным данным. Границы Москвы показаны белой линией.

Как видно на рисунке 7.8, верхняя граница облаков вскоре после окончания в МГУ грозы составляла в северной части города от 10 до 12 км (зелёный цвет), а в отдельных очагах достигала даже 14 км (фиолетовый цвет). Как известно, столь большие значения верхней границы облаков Сb по данным радиолокации отмечаются в средних широтах исключительно редко и часто бывают связаны с опасными погодными явлениями.

Таким образом, прохождение над местом зондирования аномально мощных облаков вертикального развития и связанной с ними грозы выразилось в резком усилении скорости ветра в нижнем 500-метровом слое. Подытоживая сказанное, следует подчеркнуть, что оперативное использование содарных данных о ветровом режиме в нижней тропосфере может иметь определённое прогностическое значение, дополняя другие источники доступных данных.

7.4 Дополнительные показатели ветрового режима.

На рисунке 7.9 приведён средний профиль скорости ветра в слое от 6 до 450 м за 2012 год в МГУ. Он представлен в виде кусочно-линейной функции и рассчитан с использованием как содарных данных в слое от 40 до 450 м, так и результатов регулярных контактных измерений с помощью станционного анеморумбометра М-63 на уровне 15 м, а также анемометра на крыше поста ГПБУ «Мосэкомониторинг» на уровне 6 м над поверхностью земли.



Рисунок 7.9. Вертикальный профиль среднегодовых значений скорости ветра в Метеорологической обсерватории МГУ за 2012 год. Доверительные интервалы рассчитаны с уровнем значимости 5 %.

Объединение данных всех трёх источников позволяет исследовать изменчивость скорости ветра с высотой с наибольшей степенью подробности. Оба имеющихся датчика обеспечивают покрытие в слое воздуха ниже 40 м, то есть в пределах «мёртвой зоны» акустического локатора. Вместе с тем при анализе данного рисунка следует иметь в виду принципиальные методические различия в природе точечных данных (показаний анемометров) и значений скорости ветра по данным содара, представляющих собой осреднение в пространстве в пределах импульсного рассеивающего объёма. Последний имеет порядок десятков м³ в нижней части диапазона зондирования. Кроме того, следует помнить о наличии вертикальных препятствий (близлежащих зданий и отдельных деревьев в Ботаническом саду МГУ) в приземном слое воздуха в окрестности станционной анемометрической вышки и расположенного рядом с ней поста Мосэкомониоринга. Данные препятствия вносят определённые искажения в результаты измерений по сравнению с идеальной открытой местностью. Однако следует подчеркнуть, что представленный профиль среднегодовой скорости ветра отражает условия реальной городской застройки и с этой точки зрения имеет несомненное прикладное значение.



Рисунок 7.10 - Роза ветров по содарным данным в МГУ в слое воздуха от 40 до 500 м за 2012 год.

Приведённая на рисунке 7.10 сводная роза ветров за весь 2012 год по содарным данным в слое от 40 до 500 м отражает известные закономерности и в значительной мере согласуется с аналогичными розами ветров за прежние годы. Как видно, наиболее часто (синий и чёрный цвета в цветовой палитре повторяемостей) наблюдается юго-западный ветер умеренной силы со скоростью от 5 до 10 м/с. Особенности синоптических условий 2012 года проявились в некоторых дополнительных особенностях представленного распределения. Так, помимо основной моды юго-западного направления, прослеживается также дополнительная мода восточно-северо-восточных ветров со скоростями в диапазоне от 15 до 20 м/с.



Рисунок 7.11 - Гистограмма значений скорости ветра по содарным данным в МГУ в слое воздуха от 40 до 500 м за 2012 год.

Как видно на рисунке 7.11, распределение скорости ветра характеризуется положительной асимметрией и наличием единственной моды в диапазоне от 4 до 5 м/с. Повторяемость штилевых условий сравнительно мала, также крайне редко отмечаются значения более 20 м/с.

Авторы сердечно благодарят Ю.И.Юсупова за любезно предоставленные синоптические карты, Н.И.Серебряник – за радиолокационные данные, А.П.Попикова – за данные о ветре поста ГПБУ «Мосэкомониторинг» в МГУ.

8. Особенности облачного покрова и продолжительности солнечного сияния Горбаренко Е.В.

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, а так же по наземным (круглосуточным) визуальным наблюдениям в основные метеорологические сроки.

В таблице 8.1 представлены средние месячные значения ПСС, балла облачности в 2012 году, за период 1961-1990 гг. (норма ВМО) и период 1999-2009 гг (в этот период проводились актинометрические измерения по всему комплексу приборов). Экстремальные значения выбраны за период с начала наблюдений до 2011 года.

В 2012 году продолжительность солнечного сияния (ПСС) была близка к климатической норме и превысила ее всего на 3%, что составило 39.5 % от возможного ПСС. В течение 7 месяцев года ПСС превышала норму (табл.8.1, рис.8.1). Всего было отмечено 100 дней без Солнца, а в течение 152 дней в году суточные суммы ПСС за отдельные дни превысили средние многолетние значения (рис.8.2). Выдающимися по продолжительности солнечного сияния в 2012 году стали зимние месяцы: январь и декабрь. В январе ПСС на 64 %, а декабре на 146 % превысила норму. Три дня в январе (24, 28, 29) и три дня в декабре (12, 17, 20) суточное значение ПСС превысило максимальное для этого дня за весь период наблюдений (рис.8.2). Несмотря на то, что в марте месячное значение ПСС ниже нормы, для двух мартовских дней (7, 26) отмечены максимальные суточные значения ПСС, также многолетний максимум ПСС превысили суточные значения в апреле (6, 27) и мае (2, 26). Пасмурными месяцами года стали октябрь и ноябрь (ПСС на 49 % и 48 % ниже нормы соответственно). Теряет репутацию «ясного» месяца февраль, как в прошлом и позапрошлом годах, ПСС в феврале ниже нормы на 24%.

Значения средней многолетней месячной ПСС в 2012 изменялись от 16.5 ч. в ноябре до 312.4 ч. в июле, что не соответствует теоретическому и климатическому распределению экстремумов: минимальное значение в декабре, максимальные в июне. Вариации месячных значений продолжительности солнечного сияния обусловлены астрономическими факторами, определяющими длину дня (наибольшую в июне, наименьшую в декабре), а

63

так же изменчивостью метеорологических условий, прежде всего режима облачности. Отклонения от теоретического распределения ПСС в 2012 году вызвано особенностями режима облачности 2012 г.



Рисунок 8.1 - Годовой ход: а- продолжительности солнечного сияния; б - % от возможного



Рисунок 8.2 - Ход суточных значений ПСС за каждый день года

В целом за год балл нижней облачности ниже на 0.2, а общей выше на 0.4 среднего значения за период 1965-2010 гг. Среднее годовое значение балла общей облачности соответствует максимальному значению, отмеченному в прошлые годы (табл.8.1, рис.8.3). Годовой ход отклонений ПСС в 2012 от нормы полностью согласуется с внутригодовым распределением нижней облачности. Пять месяцев балл нижней и 2 месяца общей облачности в 2012 году был ниже нормы. Значительное увеличение ПСС в декабре,

связано с малооблачной погодой, балл нижней облачности на 1.6, а общей облачности на

0.6 ниже нормы.

	Ι	II		IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII	Год
I II III IV V VI VII VII IX X XI XII Год ПСС час. ПСС час. 19910 33 72 128 170 285 286.9 312.4 226.6 163.2 39.6 16.5 44.3 1777 19910 33 72 128 170 285 279 271 238 147 78 32 18 1731 1990 33 72 128 170 285 279 271 238 147 78 32 18 1731 1990 1961 1976 1986 1980 2003 1993 1960 1982 1976 1988 1976 1988 1980 1976 1988 1980 1981 1976 1988 1980 1981 1976 1988 1980 1981 1976 1988 1980 1981 1980 <td< td=""></td<>													
2012	54	54,7	119,7	175,1	285	286,9	312,4	225,6	163,2	39,6	16,5	44,3	1777
1961- 1990	33	72	128	170	265	279	271	238	147	78	32	18	1731
d%	64	-24	-6	3	8	3	15	-5	11	-49	-48	146	3
1999- 2009	25,5	59,4	148,2	210,9	288,8	290,1	304,9	245,9	181,5	75	30,9	16,9	1878
МИН	7.6	22.7	65.0	02.4	123.3	150.0	101 7	130.6	573	18	7.0	0	1478
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	396,4	347,8	226,5	148,7	81,1	55	2126
год	1973	1969	1996	1965	2002	1999	2010	1955	1974	2005	1958	2002	2002
					ПС	СС % от е	возможно	ГО					
2012	23	21	33	41	57	55	60	48	42	12	7	20	39,5
1961- 1990	14	27	35	40	53	53	52	51	38	24	13	8	38
Δ	9	-6	-2	1	4	2	8	-3	4	-12	-6	12	1,5
1999- 2009	11	22	40	50	57	55	58	53	47	23	12	8	42
					чис	сло дней	без Солн	іца					
2012	18	13	8	4	1	1	0	3	1	14	20	17	100
					бал	л общей	облачно	сти					
2012	8,1	9,4	8,3	8,7	7,6	7,9	7,8	8,2	8,7	9,7	9,5	8,5	8,5
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	-0,6	1,2	0,4	0,8	0,3	0,4	0,5	1,0	0,7	1,0	0,4	-0,6	0,4
1999- 2009	9,3	8,7	8	7,8	7,5	7,7	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	5,1	4,8	6,5	7,2	7,4	7,3	7
год	1973	1969	1969	1965	1970	1999	2010	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	9,9	10	8,5
год	2004	2002	1988	1973	1980	2005	1993	1987	1990	2006	2010	2000	2008
2012					бал	л нижней	облачно	ости					
2012 1965-	6,5	5,6	5,9	5,2	4,1	4,9	4,3	5,4	5,5	7,8	8,7	6,3	5,8
2010	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	-0,6	-0,6	0,4	0,1	-0,5	-0,1	-0,6	0,5	-0,2	0,8	0,6	-1,6	-0,2
1999- 2009	8	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, 201	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	1 <u>97</u> 8	1 <u>98</u> 6	1 <u>98</u> 0	2003	1979	1 <u>98</u> 0	1990	1982	2003	2000	1990
				06	ілачность	в метео	рологиче	ские сро	ки				
2012 общ.	8	9,5	8.1	8.5	7.5	7.6	7,6	8	7.9	9.6	9.5	8.6	8,6
2012 ниж	6,3	5,4	5,8	5,1	3,9	4,6	4,2	5,1	5,2	7,9	8,7	6,3	5,7

Таблица 8.1 Продолжительность солнечного сияния и облачность

В соответствие с синоптическими ситуациями, характерными для нашего региона, наибольшие значения балла облачности приходятся на осенний - зимний период, наименьшие на летний. Такое внутригодовое распределение количества облачности повторяется каждый год (рис.8.3).



Рисунок 8.3 - Годовой ход балла облачности в сравнении с нормой. Данные за светлое время суток.

Среднемесячные значения балла облаков, полученные осреднением за светлое время суток и по метеорологическим срокам, согласуются между собой, отражая внутригодовую изменчивость облачности. Значения балла облаков по общей и нижней облачности отличаются между собой в среднем на 0.3 балла. Исключение в этом году отмечено в сентябре, для общего балла облачности разность составила 0.8 балла. При подробном рассмотрении облачности за каждый день, выявлено, что основные расхождения приходятся на дни с верхней облачностью, когда в течение дня дается балл 10, а в ночной период 0.





б)

Рисунок 8.4 - Многолетние изменения: а – ПСС, б – общей и нижней облачности за светлое время суток

В сравнении с нормой ВМО в 2012 году продолжились тенденции увеличения годовых значений ПСС и уменьшения количества нижней облачности, для общей облачности сохранилась незначимая тенденция к увеличению (рис. 8.4), при этом по сравнению с предыдущим годом, ПСС уменьшилась, а балл общей и нижней облачности увеличился.

9. Характеристика прозрачности атмосферы и составляющих радиационного баланса

Горбаренко Е.В.

Наблюдения за составляющими радиационного баланса подстилающей поверхности и их обработка в Метеорологической обсерватории МГУ производятся строго по наставлению гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям (Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям, 1973).

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, Горбаренко, 2008).

В 2012 году была проведена поверка актинометров №45, №61 с Российским эталоном (Главной Геофизической Обсерватории им. А.И.Воейкова (ГГО)).

Показатели прозрачности атмосферы в течение всего года свидетельствуют о продолжение в 2012 году тенденции увеличения прозрачности атмосферы (табл.9.1, рис.9.1, рис.9.2). Коэффициент прозрачности атмосферы в 2012 г. на 8% выше нормы.

				Коэфф	оициен	т проз	рачнос	ти атм	осферн	Ы			
	1	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII	год
2012	0,8	0,789	0,749	0,775	0,754	0,752	0,729	0,735	0,761	-	-	0,804	0,765
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%*	6	5	2	12	9	7	5	6	7			4	8
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													
2012	0,04	0,09	0,16	0,09	0,13	0,12	0,16	0,14	0,13	-	-	0,02	0,11
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	-55	-27	-68	-54	-50	-36	-46	-43			-48	-55
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
d%	-20	-8	20	-54	-14	-4	-12	-25	-35	-	-	-89	-19
макс 1958- 2011	0,47	0,44	0,44	0,54	0,51	0,39	0,35	0,9	0,64	0,38	0,34	0,44	0,33
год	1968	1985	1992	1983	1983	1981	1972	2010	2002	1984	1965	1966	1983
мин 1958-													
2011	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
						2004,				> 3		2007,	1997,
год	2009	1989	1997	1997	1997	1994	1980	2000	2003	лет	2003	1999	2003

Таблица 9.1 - Характеристики прозрачности атмосферы

*-d%=(Y2011-Yнорма)/Yнорма*100%

Годовое значение АОТ550 равно абсолютному минимуму за весь период наблюдений, который наблюдался так же в 1997 и 2003 годах. Это в 2 раза ниже нормы, и на 19% ниже среднего годового значения последнего десятилетия, когда почти ежегодно отмечались значения АОТ на 20-40% ниже нормы.

В течение всего года АОТ550 существенно ниже нормы, в апреле отмечен абсолютный месячный минимум АОТ за весь период наблюдений, больше половины месяца лежал снежный покров и естественный аэрозоль поступал в атмосферу в меньшем количестве. В годовом ходе АОТ наблюдался характерный для Москвы годовой ход, с двумя максимумами (рис.9.1). Весенний максимум определяется естественными факторами: сходом снежного покрова и перестройкой синоптических процессов, затоком южных воздушных масс.



Рисунок 9.1 - Годовой ход аэрозольной оптической толщины на 550 нм



Рисунок 9.2 - Многолетняя изменчивость аэрозольной оптической толщины на 550 нм

	1	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
	Ν	Іесячн	ые су	ммы с	уммај	эная ра д	циация	я Q (М	ІДж/м	2)			
2012	70	133	268	386	602	588	635	449	293	105	43	45	3617
1961-1990	64	136	277	390	578	612	582	480	293	147	61	40	3660
d%	9	-2	-3	-1	4	-4	9	-6	0	-29	-30	13	-1
1999-2009	52	122	285	423	590	599	604	468	311	140	54	34	3682
мин 1958-2011	42	75	197	272	400	458	482	336	194	86	34	22	3346
год	1989	1990	1979	1986	1980	2003	1993	1960	1990	1970, 1986	2003	1960	1990
макс 1958-2011	83	186	371	485	719	769	742	565	371	192	94	61	4065
год	1973,2010	1969	1996	1963	2002	1968	2010	1971	1974	1987	1967	2002	1963
Доля рассеянной радиации в суммарной D/Q (%)													
2012 64 79 67 55 43 48 47 50 58 81 91 73 43													53
1961-1990	81	69	62	58	51	51	53	54	59	58	79	88	57
Δ%	-17	10	5	-3	-8	-3	-6	-4	-1	23	12	-15	-4
1999-2009	85	73	58	51	47	49	49	52	54	69	80	88	53
Отраженная радиация Rk (МДж/м ²)													
2012	44	87	177	116	119	120	124	89	57	20	10	26	989
1961-1990	40	87	131	68	117	126	117	96	58	32	24	22	918
d%	10	0	35	70	1	-5	6	-7	-2	-37	-58	19	8
1999-2009	31	74	136	79	116	116	109	85	58	26	17	17	863
мин 1958-2011	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
макс 1958-2011	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
	Me	сячнь	ые сум	мы ра	диаци	онного	балан	ca B (МДж/і	m ²)			
2012	-16	2	18	170	316	320	338	215	116	25	-8	-35	1461
1961-1990	-34	-26	30	159	267	299	284	212	99	19	-20	-31	1258
d%	59	58	-40	7	18	7	19	1	17	32	65	52	16
1999-2009	-15	-11	39	182	289	302	321	224	122	31	-9	-16	1461
мин 1958-2011	-65	-72	-34	115	201	224	237	140	61	-5	-38	-56	1117
год	1972,1973	1969	1970	1983	1980	2003	1993	1960	1990	1976	1975	1962	1980
макс 1958-2011	4	11	97	206	354	373	374	279	141	42	4	-4	1631
год	2006	2002	2002	2009	2002	1999	2010	2004	2007	2007	2009	2000	2011
		Аль	бедо г	юдсти	лаюш	ей пове	рхнос	ти А*	(%)				
2012	64	65	66	30	20	20	20	20	20	19	23	58	27
1961-1990	63	64	46	17	20	21	20	20	20	21	39	56	25
Δ%	1	1	20	13	0	-1	0	0	0	-2	-16	2	2
1999-2009	60	59	47	<u>1</u> 9	20	19	18	18	19	18	31	48	<u>2</u> 5
мин 1958-2011	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
макс 1958-2011	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

Таблица 9.2 - Составляющие радиационного баланса.

Примечание: *- А рассчитано по месячным суммам радиации.

В 2012 весенний максимум отмечен в марте. Весь март в Москве сохранялся снежный покров и максимум, по-видимому, определяется синоптическими условиями, мартовское значение АОТ на 27% ниже нормы. Летний июльский максимум ниже нормы на 36%, в остальные летние месяцы отклонения от нормы еще больше. В 2012 году

выпадение осадков существенно превысило норму, лето было дождливое, аэрозоль вымывался из атмосферы. Минимальные значения АОТ в декабре -0.02, надо отметить, что это значение получено не по единственному измерению (как часто бывает в ноябре, декабре), что связано с условиями облачности, декабрь 2012 был сравнительно малооблачный, наблюдений было 11 в течение 3 дней. В октябре и ноябре не было условий для расчета параметров атмосферы.

Приход суммарной интегральной солнечной радиации в 2012 году ниже нормы на 1% и составил 3617 мДж/м². Внутригодовое изменение суммарной радиации полностью отражает изменения ПСС и облачности в 2012 г. В течение пяти месяцев года месячные суммы Q незначительно ниже нормы или равны норме (сентябрь). Существенное уменьшение суммарной радиации, в соответствие с ПСС и облачностью отмечено в октябре и ноябре (на 29% и 30% ниже нормы соответственно). Превышение нормы отмечено в январе, мае, июле и декабре. В зимние месяцы эти превышения существенны: 9% в январе, 13% в декабре. Режим облачности в 2012 году определил отклонение прихода суммарной солнечной радиации от теоретически возможного, определяемого астрономическими факторами. Экстремальные значения Q в 2012 не соответствуют продолжительности светлого времени суток: минимальное значение наблюдается не в декабре, а в ноябре, максимальное не в июне, а в июле (табл.9.2, рис.9.3а).



Рисунок 9.3 - Годовой ход: а- суммарной радиации, б – отношения D/Q

Тенденция увеличение доли прямой радиации в суммарной отмеченная в последние годы, проявилась и в 2012 году. Значения D/Q≤50% отмечены с мая по август 2012 г, что не характерно для средних данных (рис.9.3.б).



Рисунок 9.4 - Годовой ход суточных сумм суммарной интегральной радиации

Средние суточные значения суммарной радиации (ΣQ_c) изменяются ото дня к дню в соответствии с ПСС и облачностью. ΣQ_c в январе, мае, июле и декабре превысили норму и средние многолетние значение (рис.9.4). Для 5 дней года отмечен абсолютный максимум суммарной суточной суммы интегральной радиации в эти дни за весь период наблюдений (рис.9.5). Максимальные и минимальные средние суточные суммы ΣQ_c 2012 года не перекрыли максимальных и минимальных значений за период 1958 -2011 гг. Максимальное ΣQ в декабре (3.21 МДж/м²) приблизилось к абсолютному максимуму, отмеченному в 2002 году (3.29 МДж/м²).



Рисунок 9.5 - Суточные суммы суммарной радиации за каждый день года
Месячные суммы коротковолнового баланса Вк (МДж/м ²)													
	I	П	111	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
2012	26	46	91	270	483	468	511	360	236	85	33	19	2628
1961-1990	24	48	147	321	461	487	465	383	234	115	37	17	2738
d%	9	-4	-38	-16	5	-4	10	-6	1	-26	-10	10	-4
1999-2009	21	48	149	344	474	483	495	383	253	115	37	17	2819
мин 1958-2011	14	26	82	235	327	368	380	259	163	65	22	9	2484
год	2009	1959	1966	1986	1980	2003	1962	1960	1990	1982	1969	1959	1962
мак 1958-2011	36	81	223	406	567	598	612	458	301	155	68	33	3164
год	1973	1972	2002	1960	2002	1999	2010	2005	1974	1987	1967	2002	2002
	Mecs	ячные	сумм	ы дл	иннов	олнов	вого ба	аланса	а Вд (Г	ИДж/	м ²)		
2012	-42	-44	-73	-100	-167	-148	-173	-145	-120	-60	-41	-54	-1167
1961-1990	-58	-74	-116	-163	-194	-188	-181	-171	-135	-97	-57	-48	-1482
d%	41	20	32	18	17	3	-7	13	25	32	5	37	16
1999-2009	-36	-59	-109	-161	-185	-181	-174	-159	-131	-83	-46	-33	-1358
мин 1958-2011	-101	-125	-170	-213	-243	-239	-250	-215	-175	-131	-100	-75	-1726
год	1973	1969	1996	1960	1993	1995	1992	1992	1974	1987	1958	1962	1967
мак 1958-2011	-22	-39	-62	-104	-126	-144	-110	-113	-93	-55	-23	-17	-1210
год	2004	1990	1966	1973	1980	2003	2000	1958	1958	1970	2003	2007	2004

Таблица 9.3 - Месячные и годовые значения коротковолнового и длинноволнового баланса

Величина альбедо подстилающей поверхности в среднем за 2012 г на 2 % больше нормы. Наибольшие отклонения от нормы отмечено в месяцы установления и схода снежного покрова. В марте и апреле альбедо на 20% и 13% выше нормы, снежный покров в 2012 г.г. сошел только в середине апреля.



Рисунок 9.6 - Годовой ход: а- отраженной радиации, б- альбедо подстилающей поверхности.

Наибольшее уменьшение альбедо от нормы в ноябре (на 16 %) связано с отсутствием снежного покрова, что не соответствует климатической норме (табл.9.2, рис.9.6.б).

Изменчивость отраженной радиации связана как с приходом суммарной радиации, так и с состоянием подстилающей поверхности. Месячное значение Rk в марте на 35%, а в апреле на 70% превысило норму. Существенное увеличение отраженной радиации в эти месяцы связано с большим поступлением суммарной радиации и сохранением высоких отражательных свойств поверхности. В ноябре Rk на 58% ниже нормы, что связано с уменьшением Q и низким альбедо (отсутствие снежного покрова) (табл.9.2, рис.9.6.а). В среднем за год отраженная радиация на 8% выше нормы.



Рисунок 9.7 - Годовой ход : а- общего радиационного баланса, б- длинноволнового баланса

Во все месяцы года, кроме апреля месячные суммы радиационного баланса выше нормы (табл.9.2, рис.9.7а). Годовая сумма радиационного баланса на 16 % выше нормы и составила 1461 МДж/м², что продолжило тенденцию увеличения В. (рис.9.8).

Большую часть года (9 месяцев) земная поверхность больше получала тепла, чем отдавала. Наибольшие изменения в тепловом режиме земной поверхности произошли в холодное время года (осень и зима), в месяцы с отрицательными значениями радиационного баланса увеличение относительно нормы больше, чем на 50% (табл.9.2). А в феврале баланс поменял значение на положительное, месячное значение В составило 2МДж/м², при норме -26 МДж/м². Только в марте произошло существенное уменьшение

В (-40%) отклонение от нормы. Снежный покров сохранялся до середины месяца, значения расходной части, отраженной радиации велики и, следовательно, уменьшился радиационный баланс подстилающей поверхности.



Рисунок 9.8 - Многолетние изменения радиационного баланса и отклонения годовых значений от нормы

Увеличение значений В происходит как за счет роста месячных сумм коротковолнового баланса, так и за счет роста месячных сумм длинноволнового баланса земной поверхности (табл.9.3). Отклонение от нормы в сторону увеличение больше в длинноволновой части радиационного баланса. Годовое значение В_к в 2012 году стало **абсолютным максимумом** за весь период наблюдений.

Годовой ход суточных сумм В повторяет годовой ход месячных сумм В. В течение 10 месяцев средние суточные суммы в 2012 превысили норму (рис. 9.9). Для 21 дня значения суточной сумм В превысило максимальные значения для этих дней из выборки 1955-2007гг. (рис.9.10).



Рисунок 9.9 - Годовой ход суточных сумм общего радиационного баланса



Рисунок 9.10 - Суточные суммы радиационного баланса за каждый день года

Таблица 9.4 - Годовые значения характеристик прозрачности атмосферы и составляющих радиационного баланса

	P ₂	AOT550	A%	Sгор.	D	Q	Rk	В
2012	0,765	0,11	27	1682	1935	3617	989	1461
1961-1990	0,709	0,24	25	1584	2073	3660	918	1258
d,%	8	-54	8	6	-7	-1	8	16

Таким образом, в 2012 году отмечены следующие тенденции (табл.9.4):

- увеличение прозрачности атмосферы
- увеличение прямой солнечной радиации
- уменьшение рассеянной радиации
- уменьшение суммарной интегральной радиации
- увеличение отраженной радиации
- увеличение общего радиационного баланса и его коротковолновой и длинноволновой составляющих

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.

10. Особенности режима фотосинтетически активной радиации

О.А.Шиловцева

Раздел посвящен анализу режима солнечной радиации в видимом участке спектра в интервале длин волн 400-700 нм, которая играет ведущую роль в процессе фотосинтеза. С середины XX века сложилась традиция называть ее фотосинтетически активной радиацией или ФАР (Ничипорович,1961). 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).

В 2012 году в МО МГУ продолжались наблюдения за суммарной ФАР по прибору LI-190SL № 40631. Градуировка регистратора ФАР проводилась в теплый период (апрельоктябрь) по контрольному прибору LI-190SL № 27953.

Сравнение данных наблюдений 2012 г. проводились со средними величинами ФАР, полученными за период 1999-2009 гг. Сопоставление годовой суммы суммарной ФАР (Q_f) за 2012 год со средней многолетней величиной показала, что они практически близки – разница между ними 0,5%.

Многолетние изменения суммарной ФАР в целом повторяют ход суммарной интегральной радиации, совпали и экстремумы за 1999-2011 гг.: наибольшая годовая сумма Q_f и Q наблюдалась в 2002 г. (1633 и 3916 МДж/м² соответственно), а минимум – в 2008 г. (1393 и 3386 МДж/м² соответственно). Сумма ФАР в 2012 году находится как раз посередине ранжированного ряда $\sum_{r} Q_f$, а сумма ИР – четвертая от минимума (рис. 10.1, 10.2).



Рисунок 10.1- Многолетнее изменение годовых сумм суммарной ФАР и ИР.



Рисунок 10.2 - Ранжированный ряд относительных аномалий годовых сумм суммарной интегральной (IR)и фотосинтетически активной (FAR) за период 1999-2012:

$d=(Q-Q_{mean})/Q_{mean.}$

Сезонные суммы суммарной ФАР зимой 2011- 2012 гг. продолжили тенденцию предыдущих двух лет и превысили средние значения за 1999-2009 гг. на 12%. Это превышение статистически значимо и несколько больше средней естественной изменчивости суммы ФАР зимой (коэффициент корреляции $V_{3имa}=\pm10\%$). Столь значительное увеличение зимней суммы Q_f объясняется тем, что зимний сезон 2011-2012 года, так же, как и в 2009-2010 гг. и в 2010-2011 гг., характеризуется самым значительным ростом продолжительности солнечного сияния, в частности в январе (см. табл. 8.1). В результате зима 2011-2012 гг. в ранжированном ряду сезонных сумм ФАР - десятая по счету за период 1999-2011 гг., как и в случае интегральной радиации (рис. 10.3 зима).

Весной и летом 2012 года сезонные суммы Q_f близки к средним значениям, занимая в ранжированном ряду центральное положение (см. табл. 10.1, рис. 10.3). Осенью 2012 г., так же, как и в 2011 г., наблюдалось значительное уменьшение поступления радиации в видимой области спектра, чему способствовали изменения факторов, формирующих радиационный режим: рост общей и нижней облачности, уменьшение продолжительности солнечного сияния (см. табл. 10.1). Всё это привело к тому, что сезонная сумма Q_f 2012 года оказалась в тройке минимальных сумм, а сумма интегральной радиации минимальна за период с 1999 г. (см. рис. 10.3, осень).

			-	
	3има *	Весна	Лето	Осень
	Q _f ,МДж/	′M ²		
2012 г.	90	524	720	186
1999-2009 гг. ± ДИ***	80±5	530±24	714±36	202±9
δ**, %	+12	-1	+2	-7
	Q, МДж/	′M ²		
2012 г.	229	1256	1672	441
1999-2009 гг.	209	1298	1676	505
δ**, %	+10	-3	0	-13
Коэффицие	нт прозрачно	ости атмосф	оеры Р2	
2012 г.	0,795	0,759	0,739	0,761
1999-2009 гг.	0,789	0,743	0,727	0,751
δ**, %	1	2	2	1
Аэрозольна	я оптическая	толщина А	OT550	
2012 г.	0,065	0,127	0,14	0,13
1999-2009 гг.	0,062	0,161	0,165	0,127
δ**, %	5	-21	-15	2
	ПСС, ча	ac		
2012 г.	119	580	825	219
1999-2009 гг.	102	648	841	287
δ**, %	+17	-11	-2	-24
Доля	а от возможн	ой ПСС, %		
2012 г.	16	44	54	20
1999-2009 гг.	13	49	56	28
Ođ	бщая облачно	сть, балл		
2012 г.	9,1	8,2	8,0	9,3
1999-2009 гг.	9,1	7,8	7,6	8,6
δ**, %	0	5	5	+8
Ни	жняя облачно	ость, балл		
2012 г.	7,0	5,1	4,9	7,3
1999-2009 гг.	7,8	4,9	4,9	6,8
δ**, %	-10	4	0	+7
Альбедо по	дстилающей	поверхнос	ти, А%	
2012 г.	57	39	20	21
1999-2009 гг.	56	28	19	23
δ**. %	2	+37	8	-9

Таблица 10.1 - Суммарная ФАР, интегральная радиация и факторы, определяющие их приход, по сезонам 2012 года и в среднем за период 1999-2009 гг.

*При расчетах взят декабрь предыдущего года.; **δ=(2012-Среднее₁₉₉₉₋₂₀₀₉)/ Среднее₁₉₉₉₋₂₀₀₉ ***ДИ – доверительный интервал с уровнем значимости α=0,05

Месячные суммы суммарной ФАР в течение 2012 года изменялись от 17,8 Мдж/м² в декабре до 271,5 Мдж/м² в июле, главным образом, следуя за годовым ходом облачности и продолжительности солнечного сияния (рис. 10.4, см. табл. 8.1). Только в четырех месяцах из двенадцати сумма 2012 года оказалась больше средней (табл. 10.2).



Рисунок 10.3- Многолетние изменения сезонных сумм суммарной ФАР и интегральной солнечной радиации за период 1999-2012 гг.



Рисунок 10.4 - 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 2011 году

Основной вклад в отмеченное выше значительное увеличение зимней суммы ФАР внес январь. В этот месяц сумма Q_f - вторая по величине после сумм 2010 г. Различие между суммой 2012 г. и средней за 1999-2009 гг. превысило среднее квадратическое отклонение (СКО) Q_f . Такое значительное поступление суммарной ФАР в этом месяце связано с ростом ПСС и прозрачности атмосферы (см. табл. 8.1, 9.1).

Период	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII	Год
2012 г.	26	50	107	<i>165</i>	252	256	271	<i>192</i>	123	45	18	18	1525
1999-2009	20	47	110	172	247	255	254	197	125	55	21	13	1516
*±ДИ	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
**V%	14	16	13	8	12	13	8	13	7	18	20	31	5
δ 2012,%	17	-4	-3	-4	2	0	7	-3	-2	-19	-11	37	1
Максимум	32	60	129	191	303	315	316	249	140	78	30	22	1633
Год	2010	2007	1999	2002	2002	1999	2010	2005	2001	2005	1999	2002	2002
Минимум	16	35	77	147	216	192	211	164	112	44	15	9	1393
Год	2007	2002	2008	2003	2005	2003	2000	2008	2011	2002	2003	2006	2008
			Доли	ФАР в с	уммарн	ой интег	ральной	і радиац	(%)				
2011 г.	38	38	40	43	42	44	43	43	42	43	43	39	42
1999-2009	39	39	40	41	42	43	42	42	40	39	39	38	41

Таблица 10.2 - Месячные и годовая сумма суммарной ФАР (400-700 нм, МДж/м²)

* ДИ – доверительный интервал средней суммы ФАР с уровнем значимости α=0,05; ** V% - коэффициент вариации месячных сумм ФАР

Наиболее значительный рост месячной суммы ФАР в 2012 году относительно средних отмечен в декабре, чему способствовало увеличение положительности солнечного сияния почти в 3 раза по сравнению со средним значением за 1999-2009 гг. и соответствующее уменьшение нижней облачности, столь редкое для декабря (см. табл. 10.2, 8.1).

Уменьшение осенней суммы ФАР в 2012 г. произошло за счет того, что в октябре и ноябре поступление ФАР было значительно меньше нормы (см. табл.10.2, рис.10.4). Особенностью прошедшего года можно считать почти равенство сумм ФАР за ноябрь и декабрь.

Вклад ФАР в годовую сумму суммарной интегральной радиации составил 42%, изменяясь в месячных суммах в пределах 38-44% (см. табл.10.2).

Средние суточные суммы суммарной ФАР в течение 2012 года менялись от 0,57 Мдж/м² в декабре до 8,76 Мдж/м² в июле (табл.10.3). Приход суммарной ФАР может колебаться в широких пределах ото дня ко дню. Это хорошо видно при анализе

Месяц	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII
						2012	2 год					
Средняя, МДж/м ²	0,85	1,72	3,45	5,50	8,14	8,55	8,76	6,20	4,10	1,44	0,61	0,57
Максимум, МДж/м ²	1,89	3,08	7,07	9,7	11,65	12,7	12,05	10,57	6,69	4,11	1,38	1,17
Дата	30	20	26	27	25	21	8	8	12	2	11	23
Минимум, МДж/м ²	0,19	0,20	1,21	1,17	3,73	2,35	4,19	0,86	1,05	0,19	0,14	0,17
Дата	7	2	12	13	9	7	11	29	23	31	30	26
σ, МДж/м ²	0,56	0,54	1,49	2,54	2,64	2,47	1,70	2,81	1,67	0,94	0,37	0,32
						1999-2	009 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
Максимум 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	26/200 7	30/200 4	30/200 6	25/200 7	3/2007	7/1999	9/2007	3/2007	1/2005	1/2005	1/2002
Минимум, 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	7,12/2007	8/2008	16/2001	19/2005	25/2008	25/2009	17/2000	14/2004	28/2002	31/2004	30/2008	8/2008
σ, 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

Таблица 10.3 - Суточные суммы суммарной фотосинтетически активной радиации в 2012 г. и в среднем за 1999-2009 гг.



Рисунок 10.5 - Годовой ход средних за месяц и экстремальных суточных сумм суммарной ФАР в 2012 г. и за период 1999-2009 гг.

среднеквадратического отклонения суточных сумм ФАР и их экстремальных величин (табл.10.3, рис. 10.5).

В 2012 году были перекрыты «рекорды» минимальных суточных сумм в феврале и октябре. Максимальные суммы ФАР "устояли".

Сопоставление годового хода коэффициентов вариации суточных сумм суммарной Φ AP (V_f) в 2012 г. и в среднем для периода 1999-2009 гг. показало, что V_f в 2012 г. больше средних величин в январе, апреле и августе. Изменчивость суточных сумм в феврале оказалась на 23% меньше по сравнению с V_f для 1999-2009 гг. в силу, возможно, стабильных циркуляционных условий (см. раздел «Температура»).

Анализ погоды в дни, когда отмечены как максимальные суточные суммы ФАР, так в дни, когда наблюдалась максимальная энергетическая освещенность ФАР (табл. 10.3-10.4), показал, что в холодное время, как правило, это наблюдается при сплошном покрове облаков верхнего и среднего яруса при небольшом количестве слоисто-кучевых облаков. В теплое время года максимумы наблюдаются при наличии высоко-кучевой и кучевой облачности.

Месяц	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII
ФАР, КВт/м ²	0,12	0,24	0,37	0,44	0,50	0,54	0,52	0,46	0,41	0,28	0,17	0,10
День	31	29	13	23	23	1 15 27	10	31	1	2	13	5
Время*	1205	12 ¹⁵	1249	11 ³¹	11 ⁴⁶	$ \begin{array}{r} 12^{06} \\ 12^{27} \\ 10^{24} \\ \end{array} $	11 ⁵⁷	12 ⁰⁴	13 ⁰¹	1211	11 ⁵¹	11 ⁵⁶
Характер погоды	☆ 4/2 Ci Cc Sc	☆ 8/6 Ac Sc	☆ [10]/7 Ac Sc	☆ [10]/6 Ci Ac Cb Cu Sc	☆ [10]/5 Cc Cs Ac Sc Cu	 ☆ [10]/8 Ac Cu Sc [10]/6 Ci Ac Cb Cu [10]/7 Ac Cb Cu Sc 	☆ [10]/6 Ci Ac Cu Sc	☆ 6/6 Sc	☆ 6/6 Sc	☆ [10]/3 Ci Cc Ac Sc Cu	☆ [10]/6 Ci Ac Sc	☆ 4/4 Sc

Таблица 10.4 - Максимальная энергетическая освещенность суммарной ФАР в 2012 г.

*Время истинное солнечное

Поскольку наибольший интерес информация о ФАР представляет для биологов, отдельно были рассчитаны декадные 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 была рассчитана длительность вегетационного периода (ВП) и соответствующие ему суммы суммарной ФАР, температуры воздуха и осадков для периодов с устойчивыми средними за сутки температурами воздуха выше 0°С (ВП0), 5°С (ВП5), и 10°С (ВП10). Рассмотрены 5 лет -2008-2012 гг. - т.к., согласно (Доклад..., 2012) 2008 год был высокоурожайным, а 2010 год, наоборот, в силу экстремальных засушливых условий – неурожайным (табл. 10.5). Эти 2 года служат «граничными условиями», относительно которых удобно проводить сравнительный анализ.

Продолжительность периода с положительными температурами в 2012 г. составила около 7 месяцев, а в течение более полугода температура за сутки не опускалась ниже +5°C, при этом 90% от этого периода среднесуточная температура была выше 10°C. Из 5 анализируемых лет длительность ВП0 в 2012 г. была самой непродолжительной, тогда как в 2008 году она максимальна. Наоборот, продолжительность ВП10 в 2012 году наибольшая, в то время как в 2008 г. она минимальна. Т.е. в течение последних пяти лет различия в продолжительности ВП с разными температурными уровнями уменьшалась.

Таблица 10.5 – Характеристика вегетационных периодов в 2008-2012 гг.

			t>0°C					t>5°C					t>10°C	1		
	ВП		∑t	$\sum Q_{f}$	∑R	ВП		∑t	$\sum Q_{f}$	∑R	ВП		∑t	$\sum Q_{f}$	∑R	гит
	период	дни	°C	МДж ∕м ²	ММ	период	дни	°C	МДж/м ²	ММ	период	дни	°C	МДж/м ²	ММ	IKI
2008	22.II - 9.XII	292	3133	1339	749	1.IV – 2.XI	216	2954	1230	587	26.IV- 10.IX	138	2257	986	410	1.8
2009	28.III- 04.XII	252	2922	1347	480	23.IV- 28.X	189	2751	1190	390	26.IV- 29.IX	157	2542	1103	275	1.1
2010	26.III- 20.XI	240	3517	1377	383	30.III- 11.X	196	3310	1230	305	30.IV- 28.IX	152	2972	1146	267	0.9
2011	2.IV - 4.XI	217	3156	1379	396	17.IV- 13.X	180	3000	1293	342	22.IV- 24.IX	156	2792	1220	297	1.1
2012	6.IV- 29.X	207	3064	1278	501	14.IV- 22.X	192	3035	1246	416	16.IV- 5.X	173	2880	1213	361	1.3

Расчёт суммы температур за соответствующие вегетационные периоды опять-таки показал, что в урожайном 2008 году они невелики, а для ВП10 – минимальны за 5 лет. Засушливый 2010 год характеризуется максимальными суммами температур для всех ВП, что и следовало ожидать.

Для характеристики режима увлажнения территории помимо суммы осадков за вегетационные периоды был также рассчитан гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) для ВП10 (табл.10.5). Он представляет собой отношение суммы осадков за месяц или за определенный период (в нашем случае это ВП10) к сумме активных температур (в данном случае, t>10°C) (Справочник, 2005). ГКТ характеризует влагообеспеченность агроэкосистем при естественном увлажнении. Согласно принятым градациям ГКТ, в Москве в 2008 году условия увлажнения были избыточными, 2010 г. характеризовался недостаточным увлажнением, а остальные года – оптимальным.

Соответствующие суммы ФАР в 2012 году оказались самыми небольшими для периода с положительными температурами, тогда как для ВП10, наоборот, они максимальны (см. табл. 10.5).

Таким образом, теплое полугодие 2012 г. с точки зрения условий произрастания и развития зеленых насаждений и агрокультур в целом можно считать вполне благоприятным и близки к средним климатическим.

Анализ средних суточных сумм за декаду в 2012 г. показал, что в годовом ходе наблюдается 2 максимума в приходе ФАР: в последнюю декаду мая и конец июля-начало августа (рис.10.6). Именно тогда отмечена наибольшая разница между средними многолетними величинами Q_f и суммами 2012 г. в летний период года: 22-31%.



Рисунок 10.6 - Годовой ход средних за декаду суточных сумм ФАР (Q_f) в 2012 году и за 1999-2009 г. (Qf 1999-2009).

Минимальное значение средней за декаду суммы Q_f (на треть меньше средней за 1999-2009 гг.) наблюдалось в первой декаде декабря, в результате значительной повторяемости пасмурной погоды и отсутствии постоянного снежного покрова.

В заключение следует отметить, что в 2012 году:

- режим прихода ФАР был близок к средним оценкам за период 1999-2009 гг.;
- зимой сезонная сумма значительно превысила среднее многолетнее значение Q_f (+18%). Летняя сумма также превысила среднюю (+12%), а осенняя, наоборот, была значительно меньше (-11%). Такая тенденция сохраняется уже третий год;
- наиболее значительные отклонения от средней многолетней месячной суммы ФАР (больше среднего квадратического отклонения) отмечены: в положительную сторону в январе (+17%) и декабре (+34%), в отрицательную – в октябре (-19%);
- максимальная суточная сумма ФАР наблюдалась 21 июня (12,7 МДж/м2). Особенностью 2012 г. является тот факт, что минимальная суточная сумма ФАР отмечена не в декабре, а 30 ноября (0,14 МДж/м²). В феврале и октябре 2012 г. «перекрыты» минимумы суточных сумм ФАР за период 1999-2009 гг. Максимальная энергетическая освещенность суммарной ФАР (0,54 МДж/м²) наблюдалась 1, 15 и 27 июня;
- температурно-влажностные и радиационные условия вегетационного периода 2012 г.
 в Московском регионе можно признать вполне благоприятными для произрастания растений. Особенность вегетационного периода 2012 г. уменьшение разницы в продолжительности периодов с заданными уровнями температуры, и. как следствие, небольшие разницы в соответствующих суммах ФАР и температур. Это свидетельствует о резком изменении температуры воздуха в весенний и осенний сезоны года. В 2012 году были в феврале и октябре «перекрыты» минимумы сумм ФАР за период 1999-2009 гг.

Литература

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации в 2011 г. 2012.//М.: Росгидромет. 83 с.

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

Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы. 2005 // Под ред. А.А. Исаева. М.: Изд-во геогр. ф-та МГУ. Т. 2. 412 с.

11. Режим естественной освещенности земной поверхности

О.А.Шиловцева

Раздел посвящен анализу режима естественной освещенности в 2012 году. Естественная освещенность земной поверхности характеризует солнечный свет с учетом восприятия его человеческим глазом.

Непрерывная регистрация суммарной и рассеянной освещенности проводится с 1964 года, поэтому текущий год сопоставляется с нормой, рассчитанной за период 1964-2003 гг. В течение всего 2012 года на записи суммарной освещенности стоял прибор LI-210SL №8917 американской фирмы LI-COR (www.licor.com). Регистрация рассеянной освещенности проводилась в январе и феврале с помощью люксметра ГГО № 6371 (Зачек и др., 1988), а с марта - оригинальным прибором РЕО-4 (регистратор естественной освещенности), сконструированному в метеообсерватории МГУ мастером по точным приборам А.В.Высоцким (Никольская и др., 1972). Контроль приборов, стоящих на регистрации, проводился ежемесячно: в январе и феврале - по РЕО-4, с марта 2012 г. - по LI-210SL №9498.

Естественная освещенность измеряется в фотометрических единицах – килолюксах (клк). Количество освещения в Метеообсерватории МГУ оценивается в килолюкс-часах или мегалюкс-часах (клк.ч или Млк.ч=10³.клк.ч). Световой эквивалент имеет размерность люмен на ватт (лм/Вт).

Годовое количество освещения суммарным светом (E_Q) в 2012 году - 112,6 Млк.ч, что превысило среднюю многолетнюю величину или норму (E_{Qep} = 109,7 Млк.ч) на 2,7%. Количество освещения рассеянным светом за год оказалась меньше (E_D = 62,8 Млк.ч) нормы (E_{Dep} = 64,8 Млк.ч) на 3%. Наоборот, годовая сумма освещения прямой радиацией (E_S = 49,8 Млк.ч) увеличилась на 11% по сравнению с нормой (E_{Sep} = 44,9 Млк.ч). Следует отметить, что для интегральной радиации тенденции и величины изменения в 2012 году относительно норм за тот же временной период оказались несколько иными: суммарная практически равна норме за 1964-2003 гг., прямая больше всего на 2%, и только рассеянная радиация меньше тоже на 3%.

Приход E_Q в календарные сезоны 2012 года был выше нормы в течение всех сезонов года, за исключением осени (табл. 11.1). В целом разница между суммами 2012 г. и

нормами не превысили средних квадратических отклонений (СКО) соответствующих сезонных сумм, поэтому можно считать, что уровень освещения суммарным светом был близок к норме. Наиболее значительный рост E_Q наблюдается летом (+5%) за счет значительного поступления световой энергии во второй половине июня и июле. Количество освещения рассеянным светом, наоборот, было меньше нормы во все сезоны года, но разница между ними немного превысила СКО только весной и летом, вполне вероятно, за счет значительного уменьшения прозрачности атмосферы (см. п.9).

Самый значительный рост сезонных сумм в 2012 г. наблюдался для количества освещения прямым светом, продолжая тенденцию, наметившуюся с 2010 года. Наиболее существенно сезонная сумма E_s выросла летом и весной (22%). Это также можно объяснить значительной прозрачностью атмосферы: согласно п.9, в годовом ходе AOT550 в апреле наблюдался минимум.

Осенью отмечено существенное уменьшение всех видов освещенности в силу значительной облачности в результате наблюдавшихся циркуляционных условий (см. табл. 11.1 и раздел 1).

Для сравнения в табл. 11.1 приведены также аналогичные изменения составляющих суммарной интегральной радиации. Практически все закономерности изменения и освещенности, и интегральной радиации одинаковы (см. табл. 11.1).

В течение 2012 года суммы E_Q за месяц изменялись от 1210 клк-ч в декабре до 20461 клк-ч в июле. Поступление суммарного освещения в течение 6-ми месяцев было больше нормы (табл. 11.2). Наибольшее положительное отклонение месячной суммы E_Q в 2012 году наблюдалось в декабре (+17,7%), значительными были превышения в январе и июле, следуя за годовым ходом продолжительности солнечного сияния и облачности (см. п. 8). Наиболее «темным» были октябрь и ноябрь: уменьшение E_Q составило более 20% от нормы. Значительный рост нижней облачности в осенние месяцы и обратный процесс в декабре привели к тому, что сумма E_Q за месяц в ноябре превышает декабрьскую всего на 4%. Это отличительная особенность 2012 г. Кроме того, практически одинаковы майская и июньская суммы E_Q , вероятнее всего, за счет того, что июнь был более облачным, чем май (рис. 11.1, табл. 11.2, см. п. 8).

Наоборот, суммы рассеянного освещения в десяти месяцах из двенадцати оказались

90

/					
		Зима *	Весна	Лето	Осень
Е _Q , клк∙ч	2012 г.	6186	38808	53964	13334
	1964-2003 гг.	6316	37452	51303	14628
	ДИ***	±279	± 870	±893	±452
	V,%	14	7	6	10
	δ**, %	-2	4	5	-9
Е _D , клк∙ч	2012 г.	4987	21044	27253	9428
	1964-2003 гг.	5109	22831	29478	10026.5
	ДИ	±178	±490	±596	±202
	V,%	11	7	6	6
	δ**, %	-3	-8	-7	-6
Е _S , клк•ч	2011 г.	1199	17765	26711	3906
	1964-2003 гг.	1207	14621	21824	4602
	ДИ	±165	± 988	±1082	±408
	V,%	44	21	15	27
	δ**, %	1	22	22	-14
Q, МДж/м ²	2011 г.	237	1314	1862	448
	1964-2003 гг.	230	1247	1675	493
	δ**, %	3	5	11	-9
D, МДж/м ²	2011 г.	178	598	777	303
	1964-2003 гг.	175	686	865	317
	δ**, %	2	-13	-10	-4
S', МДж/м ²	2011 г.	1468	19417	31119	4087
	1964-2003 гг.	55	561	809	176
	δ**, %	9	28	34	-18

Таблица 11.1 - Сезонные суммы интегральной радиации и количества освещения суммарным (E_Q), рассеянным (E_D) и прямым (E_S) светом в 2012 г. и в среднем за 1964-2003 гг. (норма).

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

ДИ – доверительный интервал среднего с уровнем значимости α=0,05

меньше нормы, причем в мае, июне, августе, октябре и ноябре разница между ними превысила СКО. Отличительной особенностью этого года является сдвиг максимума в годовом ходе E_D на июль, а также то, что в мае 2012 года был отмечен минимум за 40 лет наблюдений за рассеянной освещенностью.

Для годового хода месячных сумм $E_S 2012$ года характерной особенностью является, во-первых, бимодальность: первый максимум отмен в мае, второй – всего на 2% больше, чем в мае – в июле (см. рис. 11.2). Во-вторых, минимальная сумма E_S приходится на ноябрь, а в декабре сумма E_S оказалась больше в 3 с лишним раза. Кроме того, близки по величине и суммы E_S в январе и феврале.

Указанные особенности годового изменения прямого и рассеянного освещения в суммарном, наблюдавшиеся в 2012 г., нашли свое отражение и в величине E_D/E_Q. В целом в течение всего года в суммарной освещенности больше половины приходится на ее рассеянную составляющую (59% для периода 1964-2003 гг.). Вклад E_D в годовую сумму E_O

(1011) (1) (1) (1) (1) (1)	/ I . H D	ородис	m Ju II	сриод і		<i>J</i> U <i>J</i> II .						
Период	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII
				Суммар	ная осве	ценност	ь, EQ					
2012 г.	1.85	3.49	7.93	12.15	18.73	18.74	20.46	14.77	8.88	3.19	1.26	1.21
1964-2003гг.	1.67	3.62	8.20	11.64	17.60	18.64	18.05	14.64	8.73	4.20	1.69	1.03
ДИ	±0,1	±0,2	±0,3	±0,4	±0,7	±0,6	±0,6	$\pm 0,4$	±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 ^Q min 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 2012,%	10.6	-3.6	-3.2	4.3	6.4	0.5	13.4	0.9	1.7	-23.9	-25.2	17.7
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		•		•	Рассеян	ная осве	щенност	ь, ED				
2012 г.	1.29	2.91	5.59	6.92	8.53	9.58	10.08	7.59	5.57	2.68	1.18	0.91
1964-2003гг.	1.45	2.74	5.39	7.53	9.92	10.53	10.32	8.59	5.61	3.04	1.41	0.93
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 2012.%	-11.1	5.9	3.6	-8.1	-13.9	-9.0	-2.3	-11.7	-0.8	-11.8	-16.4	-1.7
					Прям	ая освеш	енность,	ES				
2012 г.	0.56	0.58	2.34	5,23	10.19	9.16	10.38	7.18	3.31	0.51	0.09	0.30
1964-2003гг.	0.22	0.87	2.80	4.11	7.69	8.10	7.73	6.05	3.11	1.16	0.28	0.10
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 2012,%	153.8	-33.7	-16.4	27,1	32.6	13.0	34.2	18.7	6.2	-55.8	-68.7	202.9
,				Доли рас	ссеянной	освещен	ности в	суммарн	ой (%)			
2012 г.	70	83	70	57	46	51	49	51	63	84	93	76
1964-2003гг	87	76	66	65	56	57	57	59	64	72	83	90
		•	Ce	етовые э	квивале	нты коли	чества о	свещени	я (лм/Вт)	•	
LE ₀ 2012	95	94	107	113	112	115	116	118	109	109	106	97
LE ₀ 1964-2003	99	101	106	108	109	110	111	110	108	105	104	95
LE _D 2012	104	100	112	116	118	122	121	123	119	114	108	101
LE _D 1964-2003	105	108	118	120	122	122	123	122	118	112	109	99
LE ₈ 2012	79	75	95	110	108	108	111	114	96	91	83	85
LE _s 1964-2003	73	84	90	90	97	98	98	97	95	90	84	68
				Отноше	ение сум	м освеще	ения к во	зможны	м (%)			
EQ2012/EQ0	76	66	62	67	75	68	77	73	63	35	34	64
EQ _H /EQ _o	69	69	64	64	70	68	68	72	62	46	46	54
ED ₂₀₁₂ /ED _o	86	120	124	109	116	131	132	99	104	81	66	78
ED _H /ED _o	97	113	120	119	135	144	135	112	105	92	79	79
ES ₂₀₁₂ /ES _o	60	20	28	44	58	46	55	57	38	9	5	40
ES _{H0} /ES _o	24	31	34	35	43	40	41	48	36	20	15	13

Таблица 11.2 - Количество освещения суммарным, рассеянным и прямым светом за месяц (Млк•ч) в 2010 г. и в среднем за период 1964-2003 гг.

в 2012 г. оказался всего на 3% ниже. В годовом ходе максимальный вклад E_D в суммарную освещенность отмечался в ноябре (93%), а минимальный – в мае (46%) (см. табл. 11.2).Как и следовало ожидать, в месяцы со значительной продолжительностью солнечного сияния





Рисунок 11.1 - Годовой ход месячных сумм количество освещения в 2012 г. и за период 1964-2003 гг.

наблюдалось уменьшение вклада рассеянного освещения в суммарный поток (январь, все летние месяцы, декабрь). И наоборот, в месяцы со значительной облачностью отмечался рост вклада Е_D что особенно проявилось в феврале, октябре и ноябре (см. табл. 11.2).

Отношение фактического количества суммарного освещения к возможному (которое имеет место при отсутствии облаков в течение всего месяца) показало, что в целом за 2012 год к земной поверхности поступило 68% от возможной суммы E_Q (что близко к средним оценкам этой величины для 1964-2003 гг. – 66%). Так как облачность приводит к росту рассеянной компоненты, то и отношение E_D/E_{Do} при фактических условиях облачности

больше, чем при безоблачном небе, поэтому в годовом выражении $E_D/E_{Do}=111\%$ для 2012 г. и $E_D/E_{Do}=115\%$ для периода 1964-2003 гг. В силу описанных выше особенностей годового хода и ПСС, и облачности, и АОТ в целом за год в 2012 г. сумма E_S на 4% больше нормы и составила 45% от E_{So} . Наиболее «темными» месяцам были, как уже отмечалось выше, октябрь и ноябрь (менее 35% от возможного количества E_Q , менее 80% от возможного количества E_D и менее 10% от возможного количества E_S). В эти месяцы наблюдалось уменьшение всех световых потоков по сравнению с ясным небом, даже рассеянного. Максимум от возможного количества E_D – в июне-июле, очевидно, в силу значительного рассеяния энергии кучевыми облаками. Максимум же величины E_S/E_{So} оказался сдвинут на январь (60%), но и в мае, июле-августе поступление E_S также было очень значительным (55-58%, см. табл. 11.2).

Световые эквиваленты средней за месяц интегральной суммарной радиации (LE_Q) колеблются в меньших пределах (101-114 лм/Вт), чем аналогичные величины отношения E_D к сумме за месяц рассеянной радиации (108-129 лм/Вт), и чем для E_S (79-114 лм/Вт), причем чем меньше вклад рассеянной освещенности в суммарную, тем разница между LE_Q и LE_D больше (см. табл. 11.2).

Таким образом:

- рост суммарного освещения в 2012 году на 2,7% по сравнению с нормой был обусловлен значительным ростом количества прямого освещения (11%). При этом количество рассеянного освещения уменьшилось на 3%;
- приход суммарного освещения в календарные сезоны 2011 года был выше нормы в течение всех сезонов года, за исключением осени, наиболее значительный рост наблюдался летом (+5%). Он обусловлен увеличением количества прямого освещения: на 22% больше нормы;
- в мае 2012 г. был перекрыт минимум E_D за период 1964-2010 гг.;
- Наиболее сильные отклонения от нормы всех трех видов освещенности в январе и декабре в сторону роста освещения и в октябре-ноябре – в сторону уменьшения поступления световой энергии.

Литература

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

12. Особенности режима УФ радиации 300-380 нм

Е.И.Незваль

Начиная с 1968 года, в Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) осуществляется непрерывная регистрация суммарной и рассеянной ультрафиолетовой радиации (УФР) в области спектра 300-380нм. До декабря 2008 года измерения проводились широкополосными 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 Yankee (www.yesinc.com/products/data/uvb1/index/html), Environmental Systems Inc. проградуированный в области спектра 300-380 нм. Возможность использования УФ пиранометра UVA-1 для измерения суммарной УФ радиации в области спектра 300-380нм показана в работах (Nezval'Ye.I, Chubarova N.Ye, 2007, 2008). Обоснование возможности сохранения однородности мониторинга суммарной УФ радиации 300-380 нм при использовании УФ пиранометра UVA-1 YES приводится в работе (Незваль, Чубарова, 2011). Доли рассеянной УФ радиации в суммарной получены по данным уфиметров.

12.1 Градуировка приборов.

В июле 2008 г. и в сентябре 2011 г. в Инсбруке проводилась градуировка контрольного УФ пиранометра UVA-1 №060902 по спектрорадиометру Bentham DTM-300 Медицинского университета в Инсбруке в области 300-380 нм. Там же в 2008 г. была определена кривая спектральной чувствительности контрольного прибора UVA-1 YES и его косинусная характеристика (отклонения показаний прибора от закона косинусов). На основании этих данных по модельным расчетам были определены спектральная и косинусная поправки для ясного и пасмурного неба, которые учитывались при обработке результатов измерений (Незваль, Чубарова, 2011). В 2011 г. вновь была определена кривая спектральности этого прибора, которая практически совпала с данными 2008 г. Переводный множитель контрольного прибора, полученный в 2011 г., оказался выше на 2.1% по сравнению с переводным множителем, принятым для обработки после градуировки 2008 г.

УФ пиранометр UVA-1 №031201, который был использован для непрерывной регистрации суммарной УФ радиации ($Q_{y\phi p}$), был откалиброван в области спектра 300-380 нм по контрольному прибору в 2008 г. Спектральная поправка регистратора была рассчитана по кривой спектральной чувствительности, приведенной в паспорте прибора. Косинусная поправка была взята такой же, как для контрольного прибора, так как в паспорте приборов UVA-1 YES косинусные характеристики не приводятся. Начиная с 2007 г., периодически проводится запись суммарной УФ радиации параллельно двумя приборами. На рис.12.1 представлены средние за периоды сравнений с мая 2009 г. по январь 2013 г. отклонения (d) показаний регистратора ($Q_{y\phi p, per}$) от данных контрольного прибора ($Q_{v\phi p, контр}$), выраженные в процентах:





Рисунок 12.1 – Отклонения показаний прибора UVA-1 - регистратора от показаний контрольного прибора UVA-1 с мая 2009 г. по январь 2013 г.

За исключением аномально жаркого лета 2010 г. различия в показаниях прибора колеблются в пределах от 1.8% в сентябре 2012 г. до -1.6% в январе 2013 года. Для июнясентября 2010 г. показания регистратора были приведены к показаниям контрольного прибора. Более подробно результаты сравнений регистратора и контрольного прибора с мая 2012 года по январь 2013 г. представлены в табл.12.1.

Период	Дата	Условия	d средн.	Среднекв.	Число	Доверит.
сравнений			%	отклонение	случаев	итервал
2012 год	10-24	Без Солнца	1.9	0.6	106	0.1
Май		Солнце	1.5	0.8	110	0.2
		Все случаи	1.7	0.8	175	0.1
2012 год	17-24	Без Солнца	2.4	0.8	33	0.2
Сентябрь		Солнце	1.2	1.2	35	0.4
		Все случаи	1.8	1.2	68	0.3
2012 год	22.11-	Без Солнца	0.3	1.7	144	0.3
Ноябрь-	21.12	Солнце	-2.3	1.4	24	0.6
Декабрь		Все случаи	-0.1	1.9	168	0.3
2013 год	21-25	Без Солнца	-1.0	0.9	14	0.5
Январь		Солнце	-2.4	1.6	9	1.2
		Все случаи	-1.6	1.4	23	0.6

Таблица 12.1 - Отклонения показаний (d%) прибора UVA-1 – регистратора от данных контрольного прибора (высота Солнца h>5°).

Можно видеть, что отмечаются небольшие, но значимые различия в величине d для случаев, полученных при отсутствии прямой радиации («без Солнца») и при наличии прямой радиации («Солнце»). По-видимому, эти различия возникают из-за несоответствия косинусных характеристик регистратора и контрольного приборов.

В процессе сопоставления показаний регистратора и контрольного приборов выявилось также наличие азимутальной погрешности регистратора. Это следует из различий в величине d при одних и тех же высотах Солнца до и после полудня при наличии прямой радиации (рис.12.1 а). Наибольшие различия в величине d отмечаются при высотах Солнца $h=25^{\circ}-40^{\circ}$ и в среднем составляют примерно 2%. Аналогичные различия наблюдались и в другие годы. Однако в суточных суммах расхождения в величине d до и после полудня не должны проявляться. В пасмурные дни различия в величине d, полученные до и после полудня, отсутствуют (рис.12.1 б).





Рисунок 12.2 - Отклонения показаний прибора UVA-1 – регистратора от показаний прибора UVA-1 – контрольного в мае 2012 г. а – при наличии прямой радиации, б – при отсутствии прямой радиации.

В 2012 г. в виду небольших величин средних значений d, а также учитывая расхождения в величие d при наличии и отсутствии прямой радиации и в солнечные дни до и после полудня, данные регистратора к показаниям контрольного прибора не

приводилось. Случайная ошибка показаний регистратора и контрольного приборов UVA-1 составляет в среднем ±2%.

Учитывая ничтожные различия в показаниях регистратора и контрольного приборов с октября 2010 г. по сентябрь 2011 г. (примерно 0.5% до и после градуировки контрольного прибора в Инсбруке в августе -сентябре 2011 г., см. рис. 12.1) переводный множитель регистратора с октября 2010 г. также был увеличен на 2.1%.

12.2- Результаты.

В целом за 2012 год приход суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм соответственно на 4.0% и 2.1% выше по сравнению со средней величиной за 40 лет (1967-2007 гг. - норма) и за период с 1999 г. по 2009 г. (табл. 12.2). В отличие от средних многолетних данных, максимум в годовом ходе месячных сумм суммарной УФ радиации (Q_{vdp}) в 2012 г. приходится не на июнь, а на июль. Приход суммарной УФ радиации в июле 2012 года соответственно на 11% и 9% выше, чем за периоды 1968-2007 гг. и 1999-2009 гг. Существенная положительная аномалия имела место в декабре 2012 года (приход Q_{vdp} на 10% и 19% выше, чем в 1968-2007 гг. и 1999-2009 гг.). Однако на протяжении 46 лет наблюдений (с 1967 г.) в 30% случаев отмечались более высокие месячные суммы Q_{vфp} в декабре. В отличие от интегральной суммарной радиации минимум в годовом ходе суммарной УФ радиации в 2012 г. как и во все годы наблюдений в результате очень низких высот Солнца приходится на декабрь. В 2012 г. значимые положительные отклонения от нормы отмечаются также в январе, апреле, мае и сентябре. Положительные отклонения месячных сумм Q_{уфр} в апреле и сентябре по отношению к месячным суммам за период 1999-2009 гг. оказались небольшими и лежат в пределах доверительного интервала. В 2012 г. очень большие отрицательные аномалии отмечались в октябре и ноябре (см. табл. 12.2). В остальные месяцы отклонения оказались незначимыми.

Таблица 12.2 -	Месячные и годовые с	суммы суммарно	й УФ радиации	1 300-380 н	м за 2012
год и за период	ы 1968-2007 гг. и 1999-2	2009 гг. МО МГ	У.		

Период, Месяцы параметры, Ц. Ц. Ц. У. У. У. У. У. У. У. К. К. К.													
параметры,	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	XI	XII	Год
	М	есячны	е и годо	овые су	ммы су	ммарно	й УФ р	адиаци	и 300-3	80 нм, 1	МДж/м	2	
2012 г.	2.53	4.87	10.7	16.0	24.5	25.2	26.8	19.0	12.2	4.74	2.04	1.73	150.3
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.													
Д.И.	0.10	0.23	0.44	0.50	0.68	0.75	0.58	0.58	0.42	0.26	0.13	0.08	2.35
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.													
Д.И.	0.17	0.31	0.76	0.57	1.50	1.62	0.84	1.19	0.59	0.38	0.29	0.21	3.88
Ман	сималь	ные и м	линима.	льные м	иесячнь	іе и год	овые су	уммы за	а перио;	ı 1968-	2011гг.	, МДж/	M ²
Q макс	2.93	6.23	13.6	18.1	27.3	30.5	29.6	23.4	13.5	7.19	3.62	2.22	160.3
Год	1972	1968	1996	1968	2002	1968	2010	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
Отклонения	месячні	ых суми	ии год	овой су	ммы У	Ф радиа	ции за	2012год	, от сре,	дних мн	юголет	них вел	ичин, d%
d ₁₉₆₈₋₂₀₀₇	7.3	-3.5	-0.4	7.3	9.2	2.3	11	-2.2	6. 7	-16	-13	10	4
d ₁₉₉₉₋₂₀₀₉	10	-0.8	-3.1	1.9	7.2	1.6	8.6	-3.3	1.7	-14	-12	19	2.1
Доли месячи интегральной	ных и й радиа:	годовы ции, %.	іх суми	и сумм	арной	УФ ра	диации	в мес	ячных	и годо	овых с <u>э</u>	уммах	суммарной
2012 г.	3.6	3.7	4.0	4.1	4.1	4.3	4.2	4.2	4.2	4.5	4.7	3.8	4.2
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.													
	Д	оли мес	ячных	и годов	ых сум	м рассе	янной У	УФ ради	иации в	суммар	оной, %)	1
2012 г.	97	97	90	82	73	73	74	77	82	97	100	100	79
1068-	98	94	87	84	78	78	79	80	85	92	97	99	81
2007 гг.													

Примечание: Д,И. – доверительный интервал с доверительной вероятностью α=0.05. Красным и синим цветом отмечены месяцы, для которых суммы за 2012 г. выходили за пределы доверительных интервалов.

На рис.12.3 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_н) облачности за светлую часть суток и продолжительности солнечного Положительные аномалии в приходе суммарной УФ радиации сияния $(d_{\Pi CC}).$ сопровождаются отрицательными аномалиями нижней облачности (при этом знак изменения общей облачности в отдельных случаях может быть противоположным, например, в мае, июле) и положительными аномалиями продолжительности солнечного сияния и наоборот. Именно сплошной покров плотных облаков нижнего яруса приводит к резкому уменьшению в приходе солнечной радиации. Наибольшая доля в общем количестве облаков верхнего и среднего ярусов в указанные месяцы приходилась на перистые и перисто-кучевые облака. Ослабление суммарной УФ радиации облаками верхнего яруса в теплое время года составляет в среднем 6-7% для перистых облаков и их сочетаний с перисто-кучевыми облаками и 16% для перистых и перисто-слоистых облаков (Абакумова и др., 2012). В 2012 г. в месяцы, для которых отмечались значимые аномалии Q_{vфp}, как правило, знак аномалий для суммарной УФ и интегральной радиации совпадает. В холодный период величина аномалии Q_{ир} больше, чем для Q_{уфр}. Это объясняется бо́льшим вкладом прямой радиации в суммарную радиацию для всего солнечного спектра по сравнению с УФ областью спектра. Более того, в УФ области спектра при высотах Солнца h<10° прямая УФ радиация в общем приходе УФ радиации 300-380 нм полностью отсутствует. Как было показано в разделе 8, в январе и, особенно, в декабре 2012 г. были отмечены очень большие положительные аномалии ПСС. В декабре 2012 г. величина ПСС по сравнению со средней многолетней величиной за период 1968-2007 гг. возросла почти на 140%. Однако в результате ничтожного вклада прямой УФ радиации в суммарную в декабре из-за низких высот Солнца приход суммарной УФ радиации не был чрезмерно высоким, а доля рассеянной радиации в суммарной составила практически 100% (см. табл.12.2). Большие отрицательные аномалии в приходе суммарной УФ радиации, обусловленные ростом облачности и уменьшением продолжительности солнечного сияния, отмечались в октябре и ноябре. В октябре доля рассеянной радиации выросла до 97 % при норме 92%, а в ноябре достигла практически 100% при норме 97%. Напротив, с мая по июль доля рассеянной УФ радиации в суммарной снизилась на 5% по сравнению с нормой.

Доля суммарной УФ радиации в суммарной интегральной радиации в течение года колебалась незначительно (см. табл.12.2). Исключение составляют октябрь и ноябрь 2012 г. В эти месяцы при существенном увеличении облачности в общем приходе УФ радиации преобладала рассеянная радиация. Как было показано ранее (Справочник экологоклиматических характеристик г. Москвы. Т.1.Под ред. А.А.Исаева, 2003), доля рассеянной УФ радиации в месячных суммах рассеянной интегральной радиации значительно выше, чем доля суммарной УФ радиации в месячных суммах суммарной интегральной радиации.



Рисунок 12.3 - Отклонения (d%) от нормы (1968-2007 гг.) месячных значений суммарной УФР (dQ_{уфр}), суммарной интегральной радиации (dQ_{ир}), общей (dN₀) и нижней (dN_H) облачности за светлую часть суток и продолжительности солнечного сияния (d_{ПСС}) за 2012 год.

В целом за зиму, весну и лето сумма суммарной УФ радиации в 2012г. превосходит соответствующие значения за 1967-2007 гг. (табл.12.3). Наибольшая положительная аномалия отмечена весной. В целом для осени несмотря на существенные отрицательные аномалии в октябре и ноябре, отклонение от нормы оказалось незначимым и составило всего -2.1%.

Таблица 12.3 - Суммы суммарной УФ радиации за сезоны 2012 г. и за период 1968-2007 гг., МДж/м².

Период	Характе-	Зима	Весна	Лето	Осень
	ристики				
2012 г.		8.62	51.19	70.98	19.01
1968-2007	Средняя	9.00	48.09	68.12	19.42
ΓГ.	Доверит.	0.32	1.09	1.19	0.53
	интервал,				
1968-2011	Максимум	10.88	54.82	76.13	23.16
ΓГ.	Год	1968, 1996	2000	2011	1994
	Минимум	6.83	40.20	60.75	16.67
	Год	1990	1980	1984	1982
d %		4.2	6.4	4.2	-2.1

Примечание: в сумму за зиму входит сумма за декабрь предыдущего года.

В 2012 г. максимальные и минимальные за месяц суточные суммы соответственно ниже и выше максимальных и минимальных суточных сумм за все предыдущие годы (табл.12.4, рис.12.4). Однако для отдельных дней года были зарегистрированы самые высокие и самые низкие суточные суммы за весь период наблюдений (рис.12.5). Максимальные суточные суммы отмечались для 6 апреля (97), 2 мая (123), 24 мая (145), 17 июня (169), 21 июня (173) и для 3 августа (216). В скобках указан номер дня года. В эти дни наблюдалась или малооблачная погода, или облачность верхнего яруса, или переменная облачность. Для 28 и 29 августа (241 и 242) в 2012 г. при 10 баллах мощных кучево-дождевых, разорвано-дождевых и слоисто-кучевых облаков были зафиксированы минимальные суточные суммы суммарной УФ радиации.

	Месяцы											
	Ι	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средние, максимальные, минимальные суточные суммы за 2012 г., средние квадратические отклонения (σ), кДж/м ² и коэффициенты вариации (V),%.												
Q _{средн}	82	168	346	533	789	840	864	688	408	153	68	56
Q _{макс}	149	269	629	858	1084	1183	1124	986	638	392	130	87
Число	31	20	26	27	25	17	8	2	5	2	11	5
Q _{мин}	25	86	146	157	408	297	481	124	131	30	19	24
Число	7	2	12	13	9	7	11	29	23	18	30	26
σ	40	41	116	206	207	216	141	242	137	85	34	21
V	49	24	34	39	26	26	16	35	34	56	49	38
Средние суточные суммы за 1968-2007 гг. и 1999-2009 гг., кДж/м ² и коэффициенты вариации V%.												
1968-2007 гг.												
Q _{средн}	76	179	347	496	723	821	776	627	382	181	78	51
V	41	41	40	39	31	29	29	32	41	54	54	43
1999-2009 гг.												
Q _{средн}	74	174	357	523	737	827	796	640	401	177	77	47
V	43	42	41	36	31	29	27	29	36	54	53	44
Максимальные и минимальные суточные суммы за период 1968-2011 гг., кДж/м 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 12.4 - Суточные суммы суммарной УФ радиации 300-380 нм.



Рисунок 12.4 - Годовой ход средних суточных сумм суммарной УФ радиации за 2012 год и за период 1968-2007 гг. (норма) и максимальных и минимальных величин за 2012 г. и период 1968-2011 гг.



Рисунок 12.5 - Изменение суточных сумм суммарной УФ радиации в течение 2012 г.

Для большинства месяцев изменчивость суточных сумм близка к средней многолетней величине (рис.12.6). Исключение составляют низкие значения коэффициента вариации для февраля и июля.



Рисунок 12.6 - Годовой ход коэффициента вариации суточных сумм суммарной УФ радиации в 2012 г. и в различные периоды наблюдений.

Характер многолетних изменений в приходе суммарной УФ радиации, как в целом за год, так и за теплый период (май-сентябрь) представлен на рис. 12.7. В целом ход многолетних изменений прихода суммарной УФ радиации достаточно хорошо согласуется с изменениями суммарной интегральной радиации. Высокие положительные аномалии отмечены в начале периода наблюдений. Существенное снижение в приходе радиации приходится на конец 70-х – начало 90-х годов, что обусловлено ростом облачности. Повышение радиации отмечается со второй половине 90-х годов до 2002 годов. Начиная с 2003 г. имело место понижение в приходе солнечной радиации, достигшее наибольшей величины в 2008 г., что обусловлено заметным ростом облачности в эти годы (см. раздел 8).

В последние годы - с 2008 г. по 2011 г. - отмечался постоянный рост прихода суммарной УФ радиации как в целом за год, так и за теплый период. В 2011 г. годовой приход УФ радиации достиг очень больших значении (третья по величине годовая сумма), а приход УФ радиации в теплое время года являлся наибольшим за весь период наблюдений и превысил норму на 10% (по уточненным данным). За эти же годы максимум суммарной интегральной радиации приходился на 2011 г. только для теплого периода, а в целом за год отмечался в 2010 г. В 2012 г. приход суммарной УФ радиации по сравнению с 2011 г. снизился на 4% как в целом за год, так и за теплый период, а соответствующее уменьшение суммарной интегральной радиации составило 6%.



Рисунок 12.7 - Отклонения (d%) от нормы (1968-2007 гг.) суммарной УФ и интегральной радиации. а – суммы за год, б – суммы за теплый период (май-сентябрь).

Таким образом, приход суммарной УФ радиации в области спектра300-380 нм в 2012 г. был выше нормы на 4%, в то же время он был на 4% ниже по сравнению с предыдущим годом.

Литература

Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В., Незваль Е.И., Шиловцева О.А. Климатические ресурсы солнечной энергии в Московском регионе. Изд. МГУ, географический факультет, URSS, Москва, 2012, 310 с.

Незваль Е.И. Особенности прихода УФ радиации 300-380 нм. «Экологоклиматические характеристики атмосферы в 2010 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ». М., Макс Пресс, 2011, CD-ROM 978-5-317-03592-1, с.107-114.
Незваль Е.И., Чубарова Н.Е. Разработка методики сохранения однородности ряда УФ радиации в диапазоне длин волн 300-380 нм при переходе на современную аппаратуру. «Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2010 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ». М., Макс Пресс, 2011, CD-ROM 978-5-317-03592-1, с.155-170.

Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы. Т1. Под ред. А.А. Исаева. М., издательство Московского университета, 2003, 303 с.

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

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.

Nezval' YE. I. and Chubarova N. YE. An applicability of the UVA-1 YES to the continuation of long-term monitoring of UV irradiance 300-380 nm in Moscow. Proceedings of the UV Conference "One Century of UV Radiation Research", 18-20 September 2007, Davos, Switzerland, p.51-52.

Nezval' YE. I. and Chubarova N. YE. Optimal conditions for longwave UV monitoring by a UVA-1 YES pyranometer. Препринт Российского научного центра «Курчатовский институт», IAE-6506.16, "Determination of NO₂ in the surface layer of the atmospere", Москва 2008, c.13-19.

www.yesinc.com/products/data/uvb1/index/html

13. Оценка биологически активной УФ радиации по уточненным данным измерений версии 3.

Чубарова Н.Е., Жданова Е.Ю.

13.1 Краткая характеристика приборов и методических аспектов измерений.

Измерения эритемной УФ-радиации в метеорологической обсерватории МГУ проводятся с 1999 года широкополосными пиранометрами UVB-1 YES. Последняя калибровка контрольного прибора №060904 была проведена по спектрорадиометру Bentham DTM-300 отделения биомедицинской физики австрийского медицинского университета в Инсбруке в сентябре 2011 года. Этот спектрорадиометр используется в качестве одного из калибровочных средств европейской ультрафиолетовой сети.

Для контроля качества мониторинга эритемной УФ-радиации параллельные измерения контрольного прибора (№060904) и регистрирующего прибора (№920602) осуществлялись в мае, сентябре и ноябре 2012 года. По результатам сравнений в мае величина отношения измерений по регистрирующему и контрольному прибору с учетом необходимых поправок (косинусной и спектральной), а также при условии соответствующей температурной стабилизации не ниже 45°С и высоте Солнца около 30° (27-34°) не изменяется и составляет 8% с ошибкой порядка 0-3%, что свидетельствует о стабильной работе приборов.

Дополнительно в сентябре и ноябре 2012 года для сравнения с приборами UVB-1 YES измерения радиации проводились новыми УФ-радиометрами UV-S-E-T №120056 и №120057 фирмы KIPP&Zonen. УФ радиометры UV-S-E-T также предназначены для измерения эритемной УФ-радиации. Они имеют термоэлектрическую стабилизацию на уровне 25°C вне зависимости от условий внешней среды. Косинусная ошибка приборов меньше 2.5% при солнечных зенитных углах в диапазоне 0-70°.

Спектральные кривые используемых приборов UVB-1 YES и UV-S-E-T KIPP&Zonen показаны на рис.13.1 в сравнении с кривой эритемного действия.



Рисунок 13.1 - Спектральные кривые контрольного UVB-1 YES №060904 УФ пиранометра, регистратора UVB-1 YES №920602, приборов UV-S-E-T №120056 и UV-S-E-Т №120057 фирмы KIPP&Zonen, а также кривая эритемного действия (ery).

Из рис.13.1 хорошо видно, что спектральные кривые приборов разных типов отличаются между собой, а также они отличаются от эритемной кривой действия.

При высотах Солнца, близких к 30°, отношение одновременных измерений контрольного прибора № 060904 и прибора КІРР &Zonen №120056 в среднем составило постоянную величину 6%. Однако при других условиях наблюдались большие различия, причина которых выясняется.

В ходе сравнений параллельных измерений контрольного прибора №060904 и регистратора №920602 было выявлено, что при определенных условиях между измерениями этих приборов может существовать значительная разница за счет остаточной температурной зависимости более регистрирующего прибора №920602. В связи с этим была проведена коррекция измерений регистрирующего прибора в зависимости от температуры воздуха для всего архива измерений версии 2 и был создан новый архив версии 3 (подробнее см. раздел 20 «Особенности архива данных биологически активной УФ радиации версии 3» настоящего издания).

Анализ биологически активной УФ-радиации в 2012 году проведен на основе данных архива версии 3.

13.2 Анализ данных измерений биологически активной радиации в 2012 г.

Годовая сумма эритемной УФ-радиации (Q_{er}) в 2012 году составила 448391 Дж/м²(эфф), что на 4% выше среднего значения за 1999-2009 гг. На рис.13.2 показан сезонный ход среднесуточных сумм Q_{er} в 2012 году, средние среднесуточные суммы Q_{er} за период 1999-2009 гг., а также разница между среднесуточными суммами в 2012 году и средними значениями. Некоторые статистики эритемной радиации в сравнении со средними многолетними значениями приведены в таблице 13.1.



Q_{er}, кДжм⁻²_{эф}

Рисунок 13.2 - Сезонный ход среднесуточных сумм Q_{er} в 2012 году, в среднем за период 1999-2009 гг.(левая ось) и относительные изменения Q_{er} по сравнению с средними значениями (правая ось).

Таблица 13.1 - Средние, минимальные, максимальные суточные суммы Q_{er} (Дж/м² эфф) в 2012 году, в период 1999-2009 гг. и максимальные УФ-индексы в 2012г, 1999-2009гг; относительные изменения Q_{er} в 2012 году.

	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Qer 2012	103	245	670	1440	2472	2902	3073	2059	1163	353	105	75
Qer (среднее) 1999-2009	111	296	812	1379	2261	2710	2732	2000	1176	431	145	73
Qer (максимум) 1999-2009	155	375	975	1635	2710	3332	3308	2471	1267	501	205	115
Qer (минимум) 1999-2009	89	251	643	1222	1949	1890	2517	1658	943	351	105	51
УФ-индекс (максимум) 2012	0.5	1.1	2.6	4.8	5.5	6.8	7.2	6.2	4.0	2.4	0.6	0.3
УФ-индекс (максимум) 1999-2011	0.8	2.7	3.8	4.9	6.4	7.7	7.2	6.2	4.6	2.5	1.2	0.5
Q _{er2012} /Q _{er1999-2009} -1, %	-7%	-17%	-18%	4%	9%	7%	13%	3%	-1%	-18%	-28%	2%

Из рис. 13.2 видно, что эритемная УФ-радиация испытывала в годовом ходе довольно сильную изменчивость от -28% в ноябре (абсолютный минимум за весь период наблюдений) до +13% - в июле. Пониженные величины Q_{er} наблюдались в период с января по март, с сентября по ноябрь. Абсолютные минимумы среднесуточных сумм Q_{er} были отмечены в феврале -17% и в октябре -18%. Повышенные величины Q_{er} наблюдались в апреле-августе, а также в декабре (+2%). Абсолютные максимумы среднесуточных сумм Q_{er} в 2012 году превышены не были.

Как и в 2011 году пониженные значения радиации, отмечавшиеся в зимний период, из-за низких высот Солнца и большой чувствительности этого спектрального диапазона к этому параметру (радиационный фактор усиления порядка 2 по сравнению с 1 для коротковолновой радиации) практически не оказали влияния на годовые суммы эритемной УФ-радиации.

Для выяснения причин вариаций Q_{er} в 2012 году была использована модель реконструкции УФР, позволяющая оценивать изменения радиации с месячным и более осреднением (Chubarova, 2008). Отметим, что модель учитывает вариации Q_{er} за счет оптической толщины облаков только за период май-сентябрь, поэтому сравнение измеренных и рассчитанных вариаций эритемной УФ-радиации приведено на рис.13.3 для теплого периода года. Вариации Q_{er} за период май-сентябрь в 2012 году относительно средних значений (1999-2009гг.) по данным измерений и по расчетам модели реконструкции хорошо согласуется между собой. Видно, что с мая по июль наблюдались несколько более высокие значения Q_{er} на 3-13% по сравнению со средними многолетними, в то время как в августе и сентябре они были близки е норме.



Рисунок 13.3 – Относительные изменения эритемной УФ-радиации по данным измерений и моделирования. Данные измерения версии 3.

На рис. 13.4 показан вклад различных факторов (общее содержание озона *(ozone)*, аэрозольная оптическая толщина *(AOT)*, эффективный балл облачности *(effective clouds)*, облачная оптическая толщина *(cloud opt.thickness)*) в наблюдаемые изменения Q_{er} .



Рисунок 13.4 - Относительные изменения эритемной УФ-радиации за счет различных факторов в 2012 г. относительно средней величины за 1999-2009 г. Модель реконструкции.

Согласно рис. 13.4 существенные положительные изменения Q_{er} в теплый период связаны, главным образом, с уменьшением общего содержания озона и эффективного балла облачности относительно средних значений (1999-2009гг). Обращает на себя внимание рост Q_{er} на 3% за счет уменьшение АОТ в сентябре.

Понижение величины Q_{er} в январе и феврале, скорее всего, связаны с изменениями оптической толщины облачности, а рост Q_{er} в декабре соответствует значительному уменьшению эффективного балла облачности и общего содержания озона. Заметим, что в декабре 2012 года наблюдалось минимальное среднемесячное значение общего содержание озона (277DU) за период 1999-2012 гг.

УФ-радиация оказывает существенное влияние на здоровье населения, как отрицательное, связанное с образованием эритемы, которая впоследствии может привести к развитию рака кожи, так и положительное, которое определяется образованием витамина D под действием УФ-В излучения.

В ежемесячном бюллетене Метеорологической обсерватории МГУ в качестве порогового значения УФ-радиации, необходимого для образования витамина D, принят порог, равный 25% от МЭД¹ (Holick, M.F., Jenkins M., 2003). Однако в зависимости от температуры окружающего воздуха открытость человеческого тела может меняться, поэтому для количественных оценок УФ-радиации, способствующей образованию витамина D, было предложено использовать порог, учитывающий открытость человеческого тела в зависимости от эффективной температуры воздуха (Чубарова, Жданова, 2012).

В 2012 году согласно подходу (Holick, Jenkins, 2003), реализованному в Бюллетене МО МГУ, уровень УФ-радиации в околополуденное время был ниже необходимого порога УФ-радиации для образования витамина D с 28 октября по 14 февраля, который был несколько короче периода, полученного по среднемноголетним оценкам за 1999-2011 гг (16 октября по 17 февраля).

Из рис. 13.5 видно, что использование порога, учитывающего открытость тела человека, увеличивает продолжительность периода, в течение которого не образуется

¹ МЭД - минимальная эритемная доза, МЭД равна 250 Дж/м²_{эф} для второго типа кожи человека

витамин D в коже человека в 2012 году, примерно на один месяц в зимне-весенний период. В 2012 году он наблюдался с **19 октября по 16 марта.** По количеству дней он был примерно равным (11 октября – 13 марта) среднему за 1999-2011 гг. Отметим также, что за счет вариации атмосферных параметров в отдельные дни могут наблюдаться условия УФ-дефцита и в период вне указанных временных диапазонов, главным образом, за счет плотной облачности и адвекции богатого озоном воздуха.



Рисунок 13.5 - Околополуденные часовые суммы Q_{er} и пороговые значения радиации, необходимой для образования витамина D: порог 25% МЭД (Holick, M.F., Jenkins M., 2003), и порог, учитывающий степень открытости человеческого тела, f(S).

Защита от опасного воздействия УФ-радиации согласно рекомендациям (WHO, 2002) необходима для человека со вторым типом кожи, если УФ-индекс превышает 3. В Москве опасные значения УФ-радиации в околополуденное время наблюдаются (по осреднению с 1999-2011 годы) в период с 22 апреля по 25 августа. В 2012 голу опасный период с значениями УФ-индексов больших 3 наблюдался с 20 апреля по 15 сентября.

На рис.13.6 показаны максимальные УФ-индексы в 2012 году и их абсолютные максимумы за 1999-2011 гг. В 2012 году абсолютные максимумы УФ-индексов для июля

и августа за весь период измерений наблюдались в околополуденное время 4 июля (УФ-индекс=7.23) и 8 августа (УФ-индекс=6.17), соответственно. В эти дни отмечались схожие атмосферные условия: пониженное относительно среднего значения общее содержание озона составляло 285 ед.Добсона, и трех балльная нижняя облачность, состоящей из высококучевых и кучевых облаков.



Рисунок 13.6 - Максимальные часовые значения УФ-индексов в 2012 году и абсолютные максимумы за 1999-2011 гг.

Таким образом, рост эритемной УФ-радиации в 2012 году составил 4% относительно среднего уровня (1999-2009 гг.), главным образом, за счет положительных аномалий в весенне-летний период, связанных с понижением общим содержанием озона и ростом облачного пропускания. В холодный период 2012 года наблюдались статически значимые отрицательные аномалии эритемной УФ-радиации. В феврале, октябре и ноябре были отмечены абсолютные минимумы эритемной УФ-радиации за весь период наблюдений. В то же время в июле и августе были зарегистрированы максимальные за весь период измерений значения УФ индексов.

Литература

Чубарова Н.Е., Жданова Е.Ю.. Ультрафиолетовые ресурсы при ясном небе на территории России. Вестник Московского университета. Серия 5. География, (6):9–19, 2012

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

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

Н.Е. Чубарова

14.1 Особенности аэрозольных измерений. проводимых в 2012 году

В метеорологической обсерватории МГУ, начиная с 2001 года, 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). 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 АОТ₂. Измерения рассеянного излучения в солнечном альмукантарате и в главной солнечной плоскости проводятся в 4 спектральных каналах: 440, 670, 870 и 1020 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 солнечного излучения. Погрешность измерений в видимом и ближнем ИК диапазоне составляет 0.01, в УФ области спектра для каналов 340 и 380нм – 0.02. На официальном сайте программы AERONET http://aeronet.gsfc.nasa.gov доступны данные нескольких уровней. Изначально данным присваивается уровень 1.0. Данные измерений проходят автоматический контроль качества: измерения, искаженные влиянием облаков, отбраковываются, а оставшимся результатам измерений присваивается уровень 1.5 (Smirnov et al., 2000). Далее, после вторичной калибровки фильтров и дополнительного контроля, данным присваивается уровень 2.0. В МО МГУ, в дополнение к основному алгоритму, принятому на сети AERONET, используются и дополнительные критерии, которые основаны на визуальных наблюдениях за облачностью (Улюмджиева, Чубарова, Смирнов, 2005), что позволяет проводить более качественный отбор измерений. Для обработки данных с учетом дополнительных критериев фильтрации было разработано программное обеспечение, которое также позволяет подготавливать ежемесячный электронный бюллетень основных аэрозольных характеристик атмосферы.

В настоящем анализе используются данные уровня 1.5 с дополнительной фильтрацией по облачности, поскольку солнечный фотометр, работавший в 2012 году, еще не прошел вторичную калибровку в США. Обычно различия за счет вариаций калибровочных констант не превышают погрешности 1%.

С января по начало мая 2012 года отмечались проблемы с автоматической наводкой солнечного фотометра, что привело к невозможности проведения стандартных триплетных измерений, которые необходимы для автоматической фильтрации измерений, искаженных влиянием облачности. Поэтому в этот период обработка данных осуществлялась вручную при визуальном контроле отсутствия облаков на Солнце. Рассеянная компонента излучения не измерялась, влагосодержание не восстанавливалось. В мае прибор был заменен. С 20 мая после замены прибора измерения аэрозольных характеристик проводились в штатном режиме. Для сравнений в мае обработка проводилась по первому (упрощенному) и второму (стандартному) методу. Показано, что для среднемесячных оценок аэрозольных характеристик в мае 2012 г. можно использовать период измерений после 20 числа, когда обработка шла уже по стандартной схеме, поскольку аэрозольные характеристики, полученные в мае до замены прибора статистически незначимо отличались от средних за период измерений после 20 мая.

Всего за год измерения аэрозольных характеристик проводились в течение 101-го дня, что на 25 дней меньше, чем обычно. Это связано как с погодными условиями, так и с указанными выше причинами.

14.2 Временные вариации аэрозольных характеристик атмосферы в 2012 г.

На Рисунке 14.1 показаны сезонные изменения среднемесячных значений аэрозольной оптической толщины (AOT) на разных длинах волн, полученные по данным измерений в 2012 г., а в Таблице 14.1 приведены основные статистики для некоторых AOT в ультрафиолетовом, видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра, а также статистики для волнового показателя Ангстрема (параметра Ангстрема) и содержания водяного пара. Для всех месяцев хорошо прослеживается закономерный рост AOT с уменьшением длины волны от ближней инфракрасной (λ =1020нм) до УФ области спектра (λ =340 нм), связанный с преобладанием рассеяния на мелкодисперсном аэрозоле. Отметим, что в 2012 году сезонный максимум AOT на разных длинах волн приходился на

разные месяцы: на март в ближнем инфракрасном спектре (0.11 на длине волны 1020нм) и на июль – в видимом и УФ диапазоне (0.23 и 0.35 соответственно на 500 нм и 340 нм), что связано с ростом влияния грубодисперсного аэрозоля, присутствие которого ведет к сглаживанию спектральных различий АОТ в весенний сезонный максимум. Это подтверждается и несколько меньшими значениями параметра Ангстрема (табл. 14.1). Хорошо прослеживается и ставший уже типичным вторичный минимум АОТ в июне. Анализ причин закономерностей сезонного хода АОТ был подробно рассмотрен в обзоре 2011 года в предыдущем выпуске сборника (Беликов и др., 2012).



Рисунок 14.1 - Вариации среднемесячных значений аэрозольной оптической толщины на разных длинах волн по данным AERONET в среднем за период 2001-2010 (а) и в 2012 году (б). Уровень 1.5. Москва.

При сравнении рис 14.1а и 14.16 хорошо видно меньшее содержание аэрозоля в 2012 году в теплый период года и, особенно, в августе и сентябре, когда уменьшение АОТ превышало 40-50%. Весенний (апрельский) максимум АОТ был также выражен слабее, чем обычно. В то же время в холодный период наблюдались близкие значения АОТ к средним за период 2001-2010 гг. При этом в январе и феврале заметно преобладало влияние грубодисперсного аэрозоля, что привело к росту значений АОТ на длине 1020 нм и более низким значениям параметра Ангстрема, полученным по диапазону длин волн 440-870 нм.

Поскольку функция плотности распределения среднемесячных значений АОТ имеет выраженную положительную асимметрию из-за влияния дымной мглы 2002 и 2010 гг., то

сравнения месячных значений АОТ 2012 года проводились и с медианными оценками, полученными за период 2001-2010 гг. Результаты сравнений АОТ для длины волны 500 нм приведены на Рисунке 14.2. Хорошо видно, что медианные оценки сезонных вариаций АОТ также выявляют два максимума, однако второй, условно летний максимум (августсентябрь), выражен не так сильно, как было получено по средним многолетним оценкам. В то же время оба сезонных максимума АОТ 2012 года ниже, хотя июльские значения АОТ500 и совпадают в целом со средними и медианными величинами. Отметим также, что в холодный период года значения АОТ были близки к средним многолетним и медианным оценкам.

В 2012 году наблюдались большие сезонные вариации АОТ в УФ диапазоне спектра (ΔАОТ340=0.14) по сравнению с видимым диапазоном (ΔΑΟΤ500=0.08) и ближним инфракрасным диапазоном спектра (ΔΑΟΤ1020=0.05). Это оказывает существенное влияние на большую изменчивость УФ излучения по сравнению с изменчивостью излучения более длинноволнового спектрального диапазона.



Рисунок 14.2 - Среднемесячные значения АОТ500 в 2012 году, а также средние многолетние и медианные значения АОТ500 за период 2001-2010 гг.

Особенности спектрального хода АОТ в разные месяцы года в линейном и логарифмическом масштабе показаны на Рисунке 14.3. Известно, что линейность связи

АОТ и длины волны в логарифмическом масштабе определяет качество определения волнового показателя Ангстрема. На Рисунке 14.36 видно, что логарифмическая зависимость АОТ в некоторые месяцы имеет нелинейный характер даже для диапазона 440-870нм, что объясняется более сложным распределением частиц по размерам, чем в законе Юнге, который используется при выводе формулы Ангстрема.



Рисунок 14.3 - Зависимость АОТ от длины волны для каждого месяца года в линейном (a) и логарифмическом (б) масштабах.

На Рисунке 14.5 приведена межгодовая изменчивость средних и медианных значений АОТ500 за весь период наблюдений. В этом случае 2001 г. не рассматривался, так как наблюдения были начаты лишь со второй половины года и годовые оценки могли быть смещены.



Рисунок 14.4 - Межгодовая изменчивость среднегодовых и медианных оценок АОТ500.

По сравнению со средними многолетними значениями 2012 год характеризовался несколько более низким уровнем аэрозольного содержания. Уменьшение АОТ500 составило 23%. Оно оказалось статистически значимым с доверительной вероятностью 95% по сравнению с периодом 2002-2012, а также при исключении 2002 и 2010 гг, когда наблюдалось воздействие нетипичного для московских условий дымового аэрозоля. В среднем АОТ500 составило 0.14 по сравнению с АОТ500=0.18 для всего периода наблюдений. Медианные значения соответственно равны АОТ500=0.12 и АОТ500= 0.16. В годовом ходе на Рисунке 14.4 хорошо видны максимумы АОТ в период дымной мглы 2002 и 2010 гг., которые хорошо проявились в средних значениях. В то же время максимумы медианных оценок АОТ наблюдаются в 2006 году. когда относительно высокие значения АОТ отмечались практически во все месяцы года.

Таблица 14.1 - Средние, минимальные, максимальные месячные значения и коэффициенты вариации (Cvar,%)* аэрозольных оптических толщин АОТ на 500нм, 340нм и 1020 нм, влагосодержания атмосферы (W,см), параметра Ангстрема α**, в 2012 году и их относительные разницы (R,%) со средними многолетними значениями за период 2001-2010г. Москва, МО МГУ. Уровень 1.5. Общее число дней измерений – 101.

й		AOT500				A	OT3 4	10			A	OT1020				,	W,см			Пар	амет	р Ан	гстре	ема, α		
Месяц	число дне	Среднее	Cvar, %	Min	Max	R.%	Среднее	Cvar,%	Min	Max	R.%	Среднее	Cvar,%	Min	Max	R.%	Среднее	Cvar,%	Min	Max	R.%	Среднее	Cvar,%	Min	Max	R.%
1	1	0.11	0	0.11	0.11	12%	0.16	0	0.15	0.16	-3%	0.06	0	0.06	0.06	34%	0.19	0	0.19	0.20	-34%	1.04	0.00	1.03	1.04	-24%
2	0																									
3	2	0.19	31	0.13	0.30	0%	0.25	24	0.19	0.39	-14%	0.11	47	0.06	0.21	51%						0.89				-36%
4	5	0.16	44	0.05	0.32	-34%	0.27	31	0.12	0.42	-35%	0.09	80	0.01	0.27	4%						0.98				-33%
5	8	0.18	26	0.11	0.28	-12%	0.27	30	0.15	0.46	-20%	0.07	35	0.04	0.14	-4%	1.32	38	0.66	1.98	2%	1.40	15.49	0.86	1.84	-5%
6	21	0.12	28	0.07	0.25	-25%	0.18	31	0.09	0.39	-32%	0.04	29	0.02	0.09	-21%	1.66	26	0.85	2.62	0%	1.60	7.96	1.09	1.87	0%
7	25	0.23	51	0.06	0.64	-6%	0.35	51	0.09	0.99	-13%	0.07	52	0.02	0.23	8%	2.40	24	1.28	3.72	10%	1.63	6.67	1.28	1.89	-5%
8	17	0.20	58	0.06	0.59	-43%	0.30	60	0.07	0.87	-43%	0.06	50	0.02	0.18	-44%	2.01	30	0.86	3.32	-1%	1.59	8.36	1.07	1.93	-1%
9	14	0.11	46	0.06	0.31	-59%	0.16	52	0.07	0.49	-60%	0.04	44	0.02	0.10	-58%	1.40	25	0.94	2.27	-9%	1.54	8.62	1.15	1.78	1%
10	3	0.09	41	0.05	0.15	-29%	0.14	52	0.05	0.25	-33%	0.03	21	0.02	0.06	-39%	0.84	39	0.43	1.08	-5%	1.51	35.62	0.54	1.85	9%
11	1	0.11	0	0.09	0.15	7%	0.14	0	0.11	0.19	-15%	0.05	0	0.04	0.06	1%	0.56	0	0.46	0.64	-16%	1.23	0.00	0.89	1.33	-10%
12	4	0.07	26	0.05	0.12	1%	0.12	29	0.08	0.20	3%	0.03	20	0.02	0.06	-25%	0.30	27	0.20	0.43	8%	1.63	2.97	0.64	1.82	18%
Среднее за год		0.14	32	0.08	0.29	-23%	0.21	33	0.11	0.44	-28%	0.06	28	0.03	0.11	-14%						1.37	9.52	0.95	1.71	-7%

*Cvar- коэффициент вариации. Он определяется как средняя из суточных вариаций АОТ.

**Параметр Ангстрема определяется как α=-ln(AOT_λ)/lnλ. 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.

14.3. Микрофизические, оптические и радиационные свойства аэрозоля в 2012 году

Наряду с аэрозольными характеристиками, которые рассчитываются по ослаблению прямого солнечного излучения, исследовательской группой AERONET были разработаны алгоритмы, позволяющие определять и другие важные микрофизические, оптические и радиационные характеристики аэрозоля по вариации диффузного излучения. Следует отметить, что статистика таких случаев гораздо меньше, чем случаев определения АОТ, поэтому говорить о сезонных особенностях вариации параметров нужно с осторожностью.

В Таблице 14.2 приведены осредненные за месяц значения наиболее важных оптических, радиационных и микрофизических характеристик аэрозоля.

Среднее за год альбедо однократного рассеяния на длине волны 675 нм (SSA675) составляло 0.87. При этом сезонные вариации этой величины были невелики. Отметим, что полученная величина несколько ниже среднего многолетнего значения SSA675=0.9 (Chubarova et al., 2011). В то же время величина SSA675=0.9 была получена для уровня 2.0, который исключает оценки альбедо однократного рассеяния при относительно низких AOT440<0.4, при которых погрешность восстановления этой величины возрастает. В свою очередь большие AOT связаны, главным образом, с адвекцией дымового аэрозоля и нетипичными для Москвы аэрозольными свойствами. Поэтому дополнительно была оценена средняя многолетняя величина альбедо однократного рассеяния на уровне 1.5, которая равна 0.865, что примерно соответствует полученной в 2012 году величине SSA675.

Оценки среднемноголетних значений комплексного показателя преломления на уровне 1.5 показали, что вещественная его часть близка к оценкам, полученным в 2012 году Однако его мнимая часть в 2012 году была несколько ниже средней на величину, равную 0.007, что лежит в пределах точности определения мнимой части показателя преломления. Фактор асимметрии индикатрисы рассеяния был несколько ниже, чем в среднем за период наблюдений 2001-2010 год (0.6 по сравнению с 0.64), что может быть связано с преобладанием роли мелкодисперсного аэрозоля.

127

Таблица. 14.2. - Среднемесячные микрофизические, оптические и раиационные аэрозольные характеристики атмосферы в 2012 г. Характеристики рассчитаны по среднедневным оценкам. Уровень 1.5. Москва.

	Число дней измерений	Число случаев	AOT500	Альбедо однократного рассеяния на длине волны 675 нм	Показатель преломления REFR для 675нм	Мнимая часть показателя преломления для 675нм	Фактор асимметриидля 675нм	Объемная концентрация, мкм3/мкм2	Эффективный радиус мелкодисперсной фракции, мкм	Эффективный радиус грубодисперсной фракции, мкм	доля объемного содержания мелкодисперсной фракции
1	N/A	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2	N/A	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
3	N/A	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
4	N/A	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
5	4	21	0.153	0.860	1.483	0.013	0.618	0.068	0.132	2.549	35%
6	12	44	0.117	0.844	1.491	0.018	0.610	0.036	0.138	2.360	43%
7	16	50	0.237	0.879	1.445	0.012	0.610	0.073	0.143	2.262	54%
8	16	38	0.199	0.892	1.486	0.012	0.608	0.057	0.143	2.430	57%
9	7	27	0.149	0.878	1.495	0.011	0.593	0.054	0.130	2.565	48%
10	3	4	0.205	0.828	1.517	0.020	0.609	0.083	0.131	1.968	31%
11	N/A	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
12	2	2	0.058	0.891	1.447	0.011	0.551	0.016	0.130	2.415	81%
Год	60	186	0.160	0.867	1.480	0.014	0.600	0.055	0.135	2.364	50%

Примечание: статистика по АОТ приведена в качестве индикатора соответствия полученных в Таблице 14.2. аэрозольных характеристик основной выборки АОТ Таблицы 14.1

На рис. 14.5 показано объемное распределение аэрозольных частиц по размерам в разные месяцы года. Отчетливо видно, что как и в 2011 году, весной и осенью 2012 года в целом преобладала грубодисперсная аэрозольная фракция. Модальный радиус крупных частиц в мае и июне был сдвинут в область 5 мкм, что более типично для весеннего периода (Chubarova et al., 2011). Более 50% мелкодисперсной фракции наблюдалось в июле и августе. Значительное повышение мелкодисперсной фракции более 80%, наблюдалось также и в декабре. В среднем для Москвы характерно незначительное преобладание мелкодисперсного аэрозоля (Chubarova et al., 2011). Однако в 2012 году доли грубодисперсной мелкодисперсной аэрозольной фракции были примерно равны. Этот вывод однако не согласуется с меньшими значениями фактора асимметрии индикатрисы рассеяния, полученными выше, что требует дальнейшего анализа.



Таким образом, 2012 год характеризовался меньшим аэрозольным содержанием по сравнению со средними значениями за 10-летний период наблюданий, что связано с менее выраженным весенним максимумом и пониженными значениями АОТ в августе-сентябре. Сезонный максимум АОТ в ближней инфракрасной области отмечался в марте, в то время как в УФ и видимом диапазоне спектра максимум АОТ был в июле. Альбедо однократного рассеяния соответствовало среднему многолетнему значению уровня 1.5.

В мае и июне преобладала грубодисперсная фракция с модальным радиусом около 5 мкм, что более характерно для весеннего периода. В июле, августе наблюдалось преобладание мелкодисперсного аэрозоля. В целом за год, доли мелкодисперсного и грубодисперсного аэрозоля были приблизительно равны в отличие от типичного для Москвы преобладания мелкодисперсной аэрозольной фракции.

Литература

Беликов И.Б., Горбаренко Е.В., Елохов А.С., Еремина И.Д., Иванов В.А., Константинов П.И., Локощенко М.А., Незваль Е.И., Постыляков О.В., Чубарова Н.Е., Шиловцева О.А., Шумский Р.А.. Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2011 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ, под ред. Чубаровой Н.Е. МАКС Пресс Москва, 2012. 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., Smirnov A., Holben B.N.: Aerosol properties in Moscow according to 10 years of AERONET measurements at the Meteorological Observatory of Moscow State University // Geography, Environment, Sustainability, 4, 1, 19-32, 2011

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. AERONET-A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. Remote Sens.Environ., 1998, 66, p.1-16.

Smirnov A., B. N. Holben, T. F. Eck, O. Dubovik and I. Slutsker, (2000) Cloud screening and quality control algorithms for the AERONET data base. Remote Sens. Environ., N 73, pp. 73,337-73349.

15. Химический состав атмосферных осадков

И.Д.Еремина

В 2012 г. были продолжены непрерывные наблюдения за химическим составом осадков и их кислотностью. Собрано и проанализировано 153 пробы твердых и жидких осадков, подвергнутых полному химическому анализу, и 14 проб, в которых было определено только значение кислотности (из-за малого количества образца). Собрано 88 проб дождя, 48 – снега и 17 проб – смешанных осадков. Общее количество полностью проанализированных осадков составило 814.0 мм (99,2% всех выпавших в этом году).

15.1 Кислотность осадков.

Среднее годовое значение pH составило 4,95 pH – выше прошлогоднего (4,69) и среднего многолетнего (4,88), т.е. средняя кислотность уменьшилась. Минимальное значение составило 3,75 pH (дождь 5 августа 2012 г.), максимальное – 7,85 pH (снег 26 ноября 2012 г.). По количеству проб кислотных осадков 2012 г. похож на предыдущие 5 лет - было около 30 % осадков с pH <5 (рис.15.1). В теплый период их выпало 47% от всех проб дождей, а в холодные месяцы кислотных осадков было 12%.



Рисунок 15.1 - Количество кислотных осадков в % от их годового количества.

Среднее значение pH осадков за теплый период года равно 4,87 (кислое), а для холодных месяцев 5,15 pH. Годовой ход pH осадков в 2012 г. примерно соответствует среднему многолетнему (рис.15.2), но в отличие от последнего, в 2012 г. минимальное значение средних pH наблюдалось в мае, а не в июле, как обычно. И по-прежнему половина месяцев в году (с марта по сентябрь) имела среднее значение кислотных осадков pH <5.



Рисунок 15.2 - Годовой ход рН осадков в 2012 г.

Распределение проб по градациям pH для проб теплого и холодного периодов в этом году представлено на puc.15.3 (а) и (б). Распределение проб снега 2012 г. соответствует среднему многолетнему (puc.15.3 г): как всегда больше всего проб имело значение от 6 до 7 pH. Выпадение дождей с pH в интервалах 4-5 и 5-6 pH в 2012 г. примерно равновероятно, а дождей с нейтральными значениями 6-7 pH было почти в 3 раза меньше, чем в среднем многолетнем распределении (puc.15.3 в), где максимум приходится на градацию 5-6 pH



Рисунок 15.3 - Распределение проб осадков по градациям рН в теплый (а) и холодный (б) периоды 2012г. и многолетние данные: (в) – теплый период, (г) – холодный.

15.2 Ионный состав осадков.

В табл.15.1 приведены осредненные данные химического состава осадков за 2012 г. по сравнению с прошлым годом и средними многолетними значениями. Видно, что и минерализация, и содержание отдельных ионов в 2012 г. ниже, чем в прошлом, а концентрации гидрокарбонатов, сульфатов, кальция и сумма ионов меньше, чем и средние многолетние. Возможная причина этого – большее количество осадков в этом году по сравнению с прошлым 2011 г., когда осадков выпало меньше нормы (814 и 588,5 мм соответственно). Эта обратная корреляция проявляется всегда – и в ежедневных пробах, и в годовом ходе, и в среднем многолетнем. Так, на рис.15.4. представлена зависимость средней годовой минерализации осадков от годовых сумм осадков. Как правило, в годы с малым количеством осадков минерализация выше, чем в годы, когда осадков больше нормы. Коэффициент корреляции -0,439, P=95 % при длине ряда 31(значимый, выше 0,349).

	Концентрация ионов, мг/л										
Сезон	pН	HCO ₃ -	SO4 ²⁻	Cl	NO ₃ -	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na^+	K^+	$\mathrm{NH_4}^+$	Сумма ионов
2012 г.											
Год	4,95	0,9	3,4	4,5	1,70	2,5	0,13	0,43	0,16	1,26	15,0
Тепл. (IV-X)	4,87	0,5	4,0	4,6	1,69	2,7	0,14	0,17	0,16	1,46	15,4
Хол. (I-III, XI-XII)	5,15	1,5	2,3	4,3	1,72	2,3	0,12	0,89	0,14	0,89	14,2
2011 г.											
Год	4,69	1,3	5,4	4,9	1,92	3,7	0,12	0,28	0,18	1,25	19,2
Тепл. (IV-X)	4,52	0,5	6,6	5,4	1,79	4,0	0,12	0,10	0,19	1,44	20,1
Хол. (I-III, XI-XII)	5,74	2,9	3,2	3,9	2,16	3,3	0,11	0,62	0,16	0,89	17,3
Многолетние данные (1982-2012 гг)											
Год	4,88	3,0	4,9	3,3	1,81	3,2	0,18	0,37	0,17	0,89	17,8
Тепл. (IV-X)	4,76	2,1	4,9	3,6	1,74	3,0	0,19	0,23	0,18	1,03	17,0
Хол. (I-III, XI-XII)	5,51	5,1	4,7	2,7	2,00	3,7	0,18	0,67	0,14	0,59	19,8

Таблица 15.1 - Средневзвешенные значения концентраций ионов в осадках в 2011, 2012 гг. и осредненные данные за все годы наблюдений.

Единственным компонентом, содержание которого выше в 2012 г. по сравнению с прошлым годом и средними многолетними, является катион натрия. По-видимому, когда противогололедные реагенты (содержащие в основном хлорид натрия) стали не только рассыпать, но и разбрызгивать, они стали попадать в атмосферные осадки в большем количестве. Это подтверждается и увеличением в последние годы содержания иона хлорида, как следует из табл.15.1 при сравнении с результатами многолетних наблюдений.



Рисунок 15.4 - Зависимость средней годовой минерализации осадков от годовых сумм осадков (1982-2012 гг.).

Распределение значений минерализации по градациям загрязненности осадков 2012 г. соответствует многолетнему, максимальное число проб имело значение суммы ионов в интервале 10 – 20 мг/л (рис.15.5). В 2012 г. в 2 раза было больше «чистых» проб с минимальными значениями минерализации (до 10 мг/л), чем в прошлом году и по многолетним данным, опять же, вероятно, благодаря большому количеству осадков. Проб с минерализацией более 20 мг/л по всем градациям в 2012 г. немного меньше, чем по многолетним данным.



Рисунок 15.5 - Распределение значений минерализации проб 2012 г. по сравнению с многолетним.

Сравнительное содержание всех компонентов осадков теплого и холодного периодов 2012 г. и многолетнего (1982-2012 гг.) представлено на рис.15.6. Видно, что в пробах и дождя, и снега среди катионов преобладает ион кальция. Однако, в пробах 2012 г (рис.15.6 (а)) его было больше в дождях в отличие от среднего многолетнего содержания (рис.15.6 (б)). В пробах обоих периодов среди анионов в 2012 г. преобладают ионы хлоридов, в отличие от многолетних данных, где ранее всегда преобладали сульфаты, а на второй позиции в дождях был анион хлорида, а в пробах снега – гидрокарбонат-ион. Вообще с 2005 г. хлорид является преобладающим анионом, кроме 2008 г., когда больше было сульфатов. Заметим также, что содержание одних ионов (нитратов, магния, калия) примерно одинаково в осадках в течение всего года, а других (гидрокарбонатов, ионов аммония) подвержено сезонному влиянию. Отметим, что в этом году содержание сульфатов выше в дождевых пробах почти в 2 раза по сравнению со снегом, хотя обычно его концентрации в снеге и дожде близки. По преобладающим ионам осадки 2012 г. относятся к хлоридно-кальциевому классу.



Рисунок 15.6 - Содержание анионов и катионов в пробах дождя и снега в 2012 г. (а) и многолетние данные (б).

В 2012 г. с атмосферными осадками на подстилающую поверхность выпало123,1 кг/га минеральных солей (среднее многолетнее значение составляет 127,9 кг/га в год). Из них 37,1 кг/га хлоридов (30,2%), 27,8 кг/га – сульфатов (22,6%) и 20,6 кг/га солей кальция (16,8%).

15.3 Сезонные пробы снежного покрова.

В марте 2012 г., как обычно, отбирались пробы сезонного снега по Москве и ближнему Подмосковью. Схема расположения точек отбора в Москве приводилась в книге «Эколого-климатические характеристики 2011 г.», раздел 22 (Беликов и др., 2012). Это пробы снега в пределах ТТК и на окраинах Москвы вблизи МКАД. По Подмосковью отбирали пробы снега по четырем направлениям на расстоянии примерно 5, 15, 25 и 40 км от МКАД.

Результаты анализа сезонных проб в центре Москвы в 2012 г. во многом похожи на результаты 2011 г. (табл. 15.2). Отличаются только концентрации натрия и нитратов - их меньше в 2012 г., а сульфатов больше.

Таблица 15.2 - Осредненный состав сезонных проб в центре Москвы в 2012 и 2011 гг.

	Концентрация ионов, мг/л										
год	pН	HCO ₃ -	SO4 ²⁻	Cl	NO ₃ -	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K^+	$\mathrm{NH_4}^+$	Сумма ионов
2011 г.	6,89	7,2	7,4	23,1	2,54	12,5	0,54	5,47	0,63	0,82	60,2
2012 г.	6,99	8,0	4,9	27,6	6,77	11,7	0,2	10,20	0,67	1,02	71,1

В пробах сезонного снега в различных районах Москвы и Подмосковья отличия есть, но средние значения минерализации по районам отбора в 2012 и 2011 гг. тоже довольно близки (табл. 15.3).

Таблица 15.3. Средняя минерализация сезонных проб снега в различных районах.

	Среднее значение минерализации (сумма ионов), мг/л									
Район сбора снега	Центр Москвы	Окраины Москвы	Подмосковье	МО МГУ						
2011 г.	60,2	19,6	16,1	12,8						
2012 г.	71,1	18,8	15,1	13,4						

Как и в прошлом году, самые чистые пробы собраны на площадке метеообсерватории МГУ, к ним по загрязненности близки пробы Подмосковья. А на окраинах Москвы

загрязненность выше, но по сравнению с центром города видно, что в центре мегаполиса снег грязнее в 3-4 раза.

Выводы.

- В 2012 г. кислотных проб осадков было собрано примерно столько же, как и в последние 5 лет – около 30%. По средним значениям pH отмечается, что кислотность дождя была меньше, а снежные пробы чуть более кислые, чем средние многолетние значения.
- В ионном составе 2012 г. заметно некоторое снижение концентраций отдельных ионов и общей минерализации, по сравнению и с прошлым годом, и со средними многолетними значениями (кроме ионов натрия и хлорида).
- Особенности химического состава снежного покрова в Москве и Подмосковье повторяют закономерности прошлого года – самые грязные пробы снега наблюдались в центре Москвы, самые чистые – в МО МГУ.

Литература

Беликов И.Б., Горбаренко Е.В., Елохов А.С., Еремина И.Д., Иванов В.А., Константинов П.И., Локощенко М.А., Незваль Е.И., Постыляков О.В., Чубарова Н.Е., Шиловцева О.А.,. Шумский Р.А. Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2011 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ. под ред. Чубаровой Н.Е. Москва, МАКС Пресс, 2012. ISBN:978-5-317-04010-9. 230с. с.221-230.

16. Малые газовые и аэрозольные примеси в приземном воздухе

И.Б. Беликов, Р.А. Шумский

16.1 Общие сведения

Малые газовые и аэрозольные примеси в приземном воздухе измеряются в МО МГУ на станции наблюдений состава атмосферы (далее - станция), созданной совместно Географическим факультетом МГУ им. М.В. Ломоносова и ИФА им. А.М. Обухова РАН в феврале 2002 года (Эколого-климатические характеристики атмосферы..., 2011).

Общие сведения о станции, характеристика ее положения в общей структуре экологического мониторинга в Российской федерации и фотографии внешнего вида станции приведены в п. 17 настоящего издания.

Из особенностей станции следует отметить, основой что ee является автоматизированный интегрированный комплекс аппаратуры для мониторинга параметров состава атмосферы (Беликов, 2004), укомплектованный измерительными приборами зарубежных производителей. производства ведущих отечественных и Комплекс обеспечивает наблюдения основных климатически и химически активных газовых и аэрозольных примесей атмосферы. Перечень наблюдаемых на станции параметров и применяемых измерительных приборов приведен в таблице 16.1. Все перечисленные параметры измеряются непрерывно и круглосуточно (кроме указанных в строках 5, 6, 11 и 14 таблицы).

Станция характеризуется также полной автоматизацией измерений. Обеспечивается постоянный контроль большинства технических параметров функционирования приборов, и дистанционное слежение за работой станции через сеть Intetnet. Также существенной особенностью станции является возможность измерения концентраций некоторых примесей (в частности, NO, NO₂ и CO) на фоновых уровнях, характерных для отсутствия источников загрязнения атмосферы.

Контроль функционирования приборов газового анализа производятся в соответствии с их инструкциями по эксплуатации по поверочным газовым смесям, поставляемым ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. В состав оборудования станции входит генератор "нулевого" (не содержащего примесей) воздуха. Все данные станции подвергаются как автоматизированной, так и ручной обработке с целью удаления недостоверных значений.

N⁰	Измеряемый параметр	Используемые приборы	Диапазон
1	Приземная концентрация О3	1008-RS, № 6394 (Dasibi Inc., CIIIA)	1 - 1000 ppb
		АРОА-360, № 8512250410 (Horiba Inc Япония)	0,5 - 1000 ppb
2	Приземная концентрация NO и NO ₂	M200AU, № 152 (Teledyne API Inc., CIIIA)	0,05 - 2000 ppb
3	Приземная концентрация СО	TE48S № 48S-54487-300 (Thermo Inc., CIIIA)	0,05 - 1000 ppm
4	Приземная концентрация CO ₂	LI6262, № IRG3-990 (LiCor Inc., CIIIA)	1 - 3000 ppm
		ЕТ20-200 (ООО "ЭТЭК", Россия)	1 - 1000 ppm
5	Приземная концентрация CH ₄	АРНА-360, № 8513510906 (Horiba Inc., Япония)	0,05 - 50 ppm
6	Приземная концентрация NMHC		
7	Приземная концентрация SO ₂	APSA-360, № 8512250410 (Horiba Inc Япония)	0,5 - 500 ppb
8	Приземная концентрация NH ₃	M201A, № 2779 (Teledyne API Inc., CIIIA)	1 - 2000 ppb
9	Содержание NO ₂ в вертикальном столбе	Спектрометр MS-260i, № 133 (Oriel Inc., США)	
	атмосферы		
10	Концентрация атмосферного аэрозоля PM2,5	TEOM 1400ab, № 140AB258010508 (Thermo Inc., CIIIA)	2,5 мкг/м ³ - 5 г/м ³
11	Распределение аэрозольных частиц по	1.108 № 8F090014 (Grimm, Германия)	0,3 - 10 мкм
	размерам		1 - 2 10 ⁶ 1/л
12	Приземные концентрации ЛОС	РТR-MS № (С16)07/С05 (Ionicon Inc., Австрия)	0,5 - 500 ppb
13	Вертикальный профиль температуры	МТП-5 № 28 (НПО "Аттех", Россия)	0 - 600 м
			-40 - 40 град.С
14	Параметры турбулентости в приземном слое	USA-1 № 0101011329 (Metek GmbH, Германия)	

Таблица 16.1 - Параметры состава атмосферы, измеряемые на станции, и используемые измерительные приборы

Общий анализ выявленных закономерностей вариаций концентраций газовых примесей в приземном слое атмосферы г. Москвы был выполнен, главным образом, в работах (Еланский, 2007; Шумский, 2009). В данной работе будут проанализированы, в основном, особенности поведения концентраций в 2012 году.

16.2 Ряды среднесуточных концентраций

Ряды данных концентраций основных наблюдаемых на станции газовых примесей в приземном слое атмосферы, полученные за 2012 год, показаны на рисунке 16.1. К сожалению, в 2012 г. из программы наблюдений были исключены измерения концентраций метана и неметановых углеводородов, что было связано с выходом из строя соответствующего прибора и переходу последнего в неремонтопригодное состояние, при отсутствии на станции резервного или дублирующего прибора. Место указанных примесей в программе наблюдений заняли концентрация аммиака и характеристика PM2,5 атмосферного аэрозоля.



Рисунок 16.1 - Ряды среднесуточных концентраций газовых примесей за 2012 г.

Как видно из графиков, ряды всех наблюдаемых малых газовых и аэрозольных примесей практически непрерывны (кроме ряда NH₃, постоянные наблюдения которого были начаты в феврале 2012 г.)

На графики нанесены значения среднесуточных предельно допустимых концентраций ПДКсс (ГН 2.1.6.1338-03, ГН 2.1.6.1983-05, ГН 2.1.6.2604-10) пересчитанные из единиц массовой концентрации в объемные, для стандартных условий.

Из сопоставления графиков видно, что среднесуточная наблюдаемая концентрация озона в существенном числе случаев находится выше значения ПДКсс, которое составляет всего 30 мкг/м³. При характерных концентрациях приземного озона в десятки мкг/м³, превышение его ПДК становится уже обычным явлением.

Превышение среднесуточной концентрации NO над значением ПДКсс имеет место преимущественно в зимний период. В п. 17 настоящего издания показано, что подобные превышения связаны с развитием интенсивных температурных инверсий.

Для концентрации NO₂ значение ПДКсс в единицах объемной концентрации для стандартных условий составляет около 20 млрд⁻¹. При характерных измеряемых концентрациях приземного NO₂ в десятки млрд⁻¹, превышение ее значения над уровнем ПДКсс также происходят весьма часто.

Прошедший 2012 год не характеризовался погодными аномалиями, имевшими место в 2002 и 2010 годах (Эколого-климатические характеристики атмосферы..., 2011), когда обширные торфяные и лесные пожары в Московской области привели к формированию в г. Москве дымной мглы и формированию рекордно высоких концентраций СО, существенно превышающих предельно допустимые. В 2012 году, как видно из рисунка 16.1, значения среднесуточных концентраций СО были существенно ниже соответствующего ПДКсс.

Также много ниже ПДКсс оказалась в 2012 году и концентрация аммиака. Концентрация атмосферного аэрозоля РМ2,5 преимущественно оказывалась ниже ПДК, за исключением нескольких эпизодов ее превышения, как в теплый, так и в холодный период года.

16.3 Среднемесячные характеристики

Особенности режима концентраций приземных газовых примесей, характерные для 2012 года, по сравнению со средними значениями за весь период работы станции показаны

на графиках рисунков 16.2 и 16.3, на которые нанесены также среднемесячные значения концентраций за 2002 - 2012 годы и отдельно за 2012 год.

По концентрации озона характер сезонных вариаций в 2012 году практически полностью совпадает со средним за 2002 - 2012 годы. Некоторое снижение концентрации в летний период по сравнению со средним ее значением может быть связано с вкладом в общее среднее отмеченных выше погодных аномалий в 2002 и 2010 годы, когда концентрация озона была повышенной.

Концентрации оксида азота NO в атмосфере в 2012 году были меньше средних значений за 2002 - 2012 годы во все месяцы года, кроме декабря. Максимум среднемесячной концентрации NO в сентябре в 2012 году был выражен весьма слабо.

Характер сезонных вариаций диоксида азота NO_2 за 2012 год так же, как и для озона, весьма близок к среднему за все годы наблюдений. Обращает на себя внимание превышение концентрации NO_2 над средней в декабре 2012 года, аналогично концентрации NO в этом же месяце.



Рисунок 16.2 - Среднемесячные приземные концентрации O₃, CO, NO и NO₂, осредненные за 2002 - 2012 годы (сплошные линии) и за 2012 год (пунктир).

Концентрации оксида углерода СО за 2012 год существенно меньше средних значений, аналогично, как и по рассмотренной выше концентрации NO. Практически не был выражен в 2011 году характерный максимум концентрации СО в августе. Это связано с тем, что в течение всего времени работы станции имели место случаи аномально высокого загрязнения, в частности, в 2002 и 2010 годы (Эколого-климатические характеристики атмосферы..., 2011). При не столь большой длине общего статистического ряда (11 лет) вклад этих аномалий в общее среднее значение оказывается существенным.

Непрерывное измерение концентраций NH₃ и PM2,5 было включено в программу наблюдений на станции только в 2011 и 2012 годах соответственно. На данный момент сравнение их с многолетними усредненными значениями пока невозможно. Сезонный ход концентрации NH₃ характеризуется более высокими значениями в теплый период, нежели в холодный. Особенности вариации концентрации PM2,5 будут рассмотрены ниже.



Рисунок 16.3 - Среднемесячные приземные концентрации CO₂, CH₄, NMHC и SO₂, осредненные за 2002 - 2012 годы (сплошные линии) и за 2012 год (пунктир).
По концентрации CO_2 наблюдается заметное превышение концентрации за 2012 год над средней за все года наблюдений, практически за все месяцы года. Если обратится к данным за 2011 год (Эколого-климатические характеристики атмосферы..., 2012), то можно заметить, что отмеченный рост начинается, примерно, с середины 2011 года, и продолжается в 2012 году. Более подробно этот аспект будет рассмотрен в данном пункте ниже. Общий характер сезонного хода концентрации CO_2 в 2012 году подобен среднему за все годы наблюдений.

Средние концентрации диоксида серы, SO₂, в прошлые годы наблюдений характеризовались повышенными уровнями в январе - феврале, что может объясняться сжиганием серосодержащего топлива в отопительных системах г. Москвы в периоды резких похолоданий (Локощенко, 2008). Подобный же характер сезонных вариаций концентрации SO2 показывают и данные за 2012 год. Также эти вариации подтверждают многократно отмеченный выше эффект снижения средней концентрации загрязнения в 2012 году по сравнению со средними за все годы наблюдений на станции.

16.4 Среднегодовые характеристики

На рисунках 16.4 и 16.5 показаны среднегодовые значения по всем измеряемым концентрациям. По этим значениям в дальнейшем будет возможно определить их долговременные тренды.

Как видно из представленных диаграмм, с 2002 по 2012 год практически ни по одному из измеряемых параметров не наблюдается устойчивого продолжительного тренда. Исключение составляет оксид углерода СО, концентрация которого в г. Москве от года к году заметно снижалась. Из этой общей тенденции выделяются 2002 и 2010 годы, в которые, как отмечалось выше, имели место аномальные экологические ситуации.

Среднегодовые концентрации NO и NO₂ варьируют от года к году, не обнаруживая устойчивой тенденции к росту или снижению. Для 2012 года среднегодовые концентрации этих примесей, а также озона и CO, находятся, примерно, на уровне 2011 года, с некоторым превышением этих значений в 2012 году для NO, и снижением для озона.

Для диоксида углерода ранее отмечалось, что рост его среднегодовой концентрации, продолжавшийся в течение ряда лет с начала работы станции, в 2007 году сменился снижением, также прекратившимся в 2010 году.



Рисунок 16.4 - Среднегодовые значения концентраций O₃, CO, NO и NO₂ за 2002 - 2012 годы.

Однако в 2012 году наблюдался рекордный за все годы наблюдений уровень среднегодовой концентрации CO₂, превысивший значение 400 млн⁻¹. Аналогичный факт был зафиксирован также и по данным зарубежных организаций, осуществляющих контроль состава атмосферы в глобальном масштабе. Сведения об этом факте проникли даже в средства массовой информации, как правило, не специализирующиеся на научных вопросах (http://www.rg.ru/2013/05/11/gaz-site-anons.html)

По уровням концентрации диоксида серы, как отмечалось выше, загрязнение атмосферы Москвы этой примесью в последние годы, включая и 2012, существенно снизилось.

Численные значения среднегодовых концентраций примесей и их среднеквадратичные отклонения представлены в таблице 16.2. Среднеквадратичные отклонения при осреднении за год оказываются весьма существенными, и по величине сравнимыми с самими средними значениями. Это объясняется характерными для крупного города значительными суточными и сезонными вариациями концентраций практически всех примесей.



Рисунок 16.5 - Среднегодовые значения концентраций NH₃, CO₂, PM2,5 и SO₂ за 2002 - 2012 годы.

Таблица 16.2 - Среднегодовые значения концентраций примесей M и их среднеквадратичные отклонения σ (значения в млрд⁻¹ для O₃, NO, NO₂, SO₂ и в млн⁻¹ для остальных примесей)

	03		NO		NO ₂		CO		CO ₂		CH ₄		NMHC		SO ₂	
год	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	-	-	I	-
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
2011	16,3	13,8	10,8	22,7	21,3	11,6	0,39	0,23	395	16	1,93	0,12	0,33	0,11	0,9	0,9
2012	13,9	14,2	12,9	25,1	21,1	10,9	0,38	0,21	402	21	-	-	-	-	0,9	0,9

16.5 Летучие органические соединения

На станции МО МГУ с 2008 года эксплуатируется уникальный прибор - протонный масс-спектрометр Compact PTR-MS производства компании Ionicon Corp. (Австрия). Непрерывные наблюдения концентраций летучих органических соединений на станции производятся с января 2011 года. За 2011 и 2012 годы с помощью этого прибора получены практически непрерывные ряды значений концентраций некоторых летучих органических соединений (ЛОС) в атмосфере.

Подобное описание принципа действия этого прибора и особенностей получаемых данных приведено в (de Gouw, 2007; Rinne, 2005).

Имеющийся на станции PTR-MS был адаптирован для непрерывного круглосуточного наблюдения ряда различных компонентов. Порог обнаружения и погрешность измерения объемной концентрации примеси составляли около 0,5 млрд⁻¹, Перечень измеряемых компонентов, с указанием значений их молекулярных масс m/z, приведен в таблице 16.3.

N⁰	m/z	Вещество
1	27	ацетилен
2	42	ацетонитрил
3	45	ацетальдегид
4	47	этанол
5	55	1,3-бутадиен
6	57	бутены
7	59	ацетон
8	61	уксусная кислота
9	69	изопрен
10	71	метил-винил-кетон
11	77	пероксиацетилнитрат
12	79	бензол
13	81	терпены
14	87	2-метилбутен-3-ол-2
15	93	толуол
16	95	фенол
17	105	стирол
18	107	ксилол, С8-бензолы
19	121	пропилбензол, С9-бензолы
20	137	терпены
21	163	трихлоруксусная кислота

Таблица 16.3 - Перечень веществ, измеряемых прибором PTR-MS

По полученным в течение 2011 и 2012 годов данным возможно провести сравнение уровней измеренных концентраций в эти два года, а также определить особенности сезонно-суточных вариаций этих примесей.

На рисунке 16.6 показан сезонно-суточный ход концентрации одного из наиболее характерных измеряемых прибором PTR-MS малых органических примесей атмосферы, а именно уксусной кислоты. Из диаграммы хорошо видно, что максимум концентрации этого компонента достигается по времени суток около 10 - 12 часов дня, а по сезону - в июле месяце. В остальные часы и месяцы концентрация снижается, достигая минимума в зимний период (декабрь - январь) и в ночное время суток. Подобные особенности сезонносуточных вариаций одинаково проявились как в 2011, так и в 2012 годах. Уровень концентрации уксусной кислоты в 2012 году, как видно из диаграммы, ниже, чем в 2011.





Рисунок 16.6 - Сезонно-суточный ход концентрации [млрд⁻¹] уксусной кислоты в 2011 г (слева) и в 2012 г. (справа)

Сходный характер сезонно-суточных вариаций, как показывают полученные данные, имеет еще целый ряд малых органических примесей атмосферы. На рисунке 16.7 показан сезонно-суточный ход концентрации ацетона в 2011 и 2012 годах. Вариации этой примеси имеют характер, аналогичный рассмотренным выше для уксусной кислоты. Уровень концентрации ацетона в 2012 году также ниже, нежели в 2011 г. Обращают на себя внимание более высокие концентрации ацетона в феврале 2012 года, по сравнению с тем же месяцем 2011 г. Более подробно этот аспект будет рассмотрен ниже



Рисунок 16.7 - Сезонно-суточный ход концентрации [млрд⁻¹] ацетона в 2011 г (слева) и в 2012 г. (справа)

Рисунок 16.8 иллюстрирует сезонно-суточные вариации ацетальдегида. Этот компонент также имеет сходный с рассмотренными выше примесями характер сезонносуточных вариаций, с максимумами в теплый период и в 10 -12 часов дня. Однако в 2012 году к этим особенностям добавился хорошо заметный рост концентрации в зимний период, в феврале, с сохранением особенности суточных вариаций в виде утреннего максимума. Это может быть связано с аномальной особенностью поведения атмосферного давления именно в феврале 2012 года, подробно описанного в п.6 настоящего издания.



Рисунок 16.8 - Сезонно-суточный ход концентрации [млрд⁻¹] ацетальдегида в 2011 г (слева) и в 2012 г. (справа)



Рисунок 16.9 - Сезонно-суточный ход концентрации [млрд⁻¹] этанола в 2011 г (слева) и в 2012 г. (справа)

Еще один компонент имеет характер сезонно-суточных вариаций, сходный с рассмотренными выше. Это этанол, результаты наблюдений концентрации которого показаны на рисунке 16.9. Также аналогично рассмотренному выше, характер сезонно-суточных вариаций в 2011 и 2012 годах одинаков, а уровень концентраций в 2012 году ниже, чем в 2011.



Рисунок 16.10 - Сезонно-суточный ход концентрации [млрд⁻¹] бензола в 2011 г (слева) и в 2012 г. (справа)

Ряд иных компонентов, измеряемых прибором PTR-MS, имеет также иной характер сезонно-суточных вариаций. В отличие от рассмотренных выше, максимум концентраций этих компонентов достигается в ночные часы, что может свидетельствовать об их накоплении в приземном слое при инверсионных условиях. Концентрации бензола (см. рисунок 16.10) в 2011 году имели именно такой характер сезонно-суточных вариаций, а в 2012 году наиболее ярко выраженным получился максимум концентраций в феврале, что также может быть связано с отмеченной выше аномалией атмосферного давления.



Рисунок 16.11 - Сезонно-суточный ход концентрации [млрд⁻¹] ксилола в 2011 г (слева) и в 2012 г. (справа)

Аналогичная картина наблюдается и для вариаций ксилола, показанных на рисунке 16.11. Февральский максимум хорошо выражен, также наблюдается рост концентрации в ночное время, причем с наступлением осени этот максимум явно смещается в сторону более позднего времени суток, как в 2011, так и в 2012 году.



Рисунок 16.12 - Сезонно-суточный ход концентрации [млрд⁻¹] толуола в 2011 г (слева) и в 2012 г. (справа)

Аналогичные особенности демонстрируют и результаты наблюдений концентрации толуола (рисунок 16.12). В летний период максимумы концентрации этого компонента достигаются в ночное время, с характерным максимумов от ночных часов к утренним, с наступлением осенних месяцев. Также хорошо заметен февральский максимум.



Рисунок 16.13 - Сезонно-суточный ход концентрации [млрд⁻¹] фенола в 2011 г (слева) и в 2012 г. (справа)

На рисунке 16.13 показан сезонно-суточный ход концентрации фенола. Концентрации фенола в атмосфере весьма низки, ПДКсс фенола в воздухе населенных мест составляет 153

всего 3 мкг/м³ (ГН 2.1.6.1338-03). На диаграммах хорошо заметен рост концентрации в зимний период 2011/2012 годов, в особенности, в феврале 2012 года.

Следует отметить, что все представленные измеренные характерные значения концентраций ЛОС весьма низки (по некоторым компонентам не превышают 1 - 2 млрд⁻¹), и весьма далеки от значений их предельно допустимых концентраций.

16.6 Атмосферный аэрозоль

Наблюдения атмосферного аэрозоля проводятся на станции непрерывно и круглосуточно с января 2011 года. Для наблюдений используется прибор типа TEOM 1400ab (<u>http://www.thermoscientific.com/...</u>) производства компании "Thermo Scientific Inc." (США). Принцип действия прибора основан на измерении собственной частоты механической колебательной системы, в которую входит фильтр, на который осаждается атмосферный аэрозоль.

По изменению частоты колебаний определяется абсолютное значение массы аэрозоля, осаждаемого на фильтре.

Описываемый прибор комплектуется, по крайней мере, двумя различными сепараторами частиц, позволяющими измерять (не одновременно) значения концентраций аэрозоля, известные как РМ10 и РМ2,5. Предельно допустимые концентрации этих величин приведены в (ГН 2.1.6.2604-10). Для применения на станции в МО МГУ в 2011 году прибор был адаптирован для измерения параметра РМ2,5.

За 2012 год был получен непрерывный ряд значений концентраций РМ2,5. Этот ряд был показан на рисунке 16.1 (см. выше).

На рисунке 16.14 представлены среднемесячные концентрации PM2,5 за 2011 и 2012 годы. Сезонные вариации PM2,5 в 2011 году демонстрировали достаточно плавную зависимость среднемесячной концентрации от сезона, с характерным максимумом в летний период. В 2012 году эта плавная зависимость была выражена в гораздо меньшей мере. Из характерных особенностей вариаций PM2,5 в 2012 году следует выделить возрастание его концентрации в феврале, что также может быть связано с многократно отмеченной выше аномалией атмосферного давления, а также некоторое снижение концентрации в июне 2012 года. По мере накопления данных наблюдений PM2,5 за последующие годы статистический анализ закономерностей его вариаций будет продолжен.



Рисунок 16.14 - Среднемесячные концентрации РМ2,5 в 2011 и 2012 годах

16.7 Заключение

Анализ вариаций малых газовых и аэрозольных примесей в приземном слое атмосферы на примере данных станции наблюдений состава атмосферы в МО МГУ в дальнейшем будет продолжен. Представляют большой интерес взаимные корреляции вариаций концентраций различных примесей, а также их корреляции с метеорологическими параметрами.

В последующие годы планируется развитие станции в направлении достижения максимально возможной непрерывности наблюдений. В пределах ожидаемых возможностей планируется обновление приборного парка станции. Также будут обновлены средства автоматизации наблюдений. Планируется внедрение программных средств автоматизации статистического анализа получаемых данных.

Литература.

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.

ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

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.

ГН 2.1.6.2604-10 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Дополнение N 8 к ГН 2.1.6.1338-03.

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.

Локощенко М.А., Н.Ф. Еланский, В.П Маляшова., А.В.Трифанова. Динамика приземного содержания двуокиси серы в Москве // Оптика атмосферы и океана, 2008, № 5. С. 441-449.

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.

Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2010 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ // 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 ред. Н.Е. Чубаровой. Электронное издание. ISBN:978-5-317-03592-1. Москва, МАКС Пресс, 2011.

Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2011 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ // И.Б. Беликов, Е.В. Горбаренко, А.С. Елохов, И.Д. Еремина, В.А. Иванов, П.И. Константинов, М.А. Локощенко, Е.И. Незваль, О.В. Постыляков, Н.Е. Чубарова, О.А. Шиловцева, Р.А. Шумский. Под ред. Н.Е. Чубаровой. Электронное издание. ISBN:978-5-317-04010-9. Москва, МАКС Пресс, 2012.

J. de Gouw, C. Warneke. Measurements of volatile organic compounds in the earth's atmosphere using proton-transfer-reaction mass spectrometry // Mass Spectrometry Reviews. 2007. Vol. 26. P. 223 – 257.

J. Rinne, T. M. Ruuskanen, A. Reissell, R. Taipale, H. Hakola, M. Kulmala. On-line PTR-MS measurements of atmospheric concentrations of volatile organic compounds in a European boreal forest ecosystem // Boreal Environmental Research. 2005. Vol.10. P.425 – 436.

http://www.rg.ru/2013/05/11/gaz-site-anons.html

http://www.thermoscientific.com/ecomm/servlet/productsdetail_11152_L10828_89579_119 60558_-1

ЧАСТЬ II

Некоторые результаты методических исследований и комплексного анализа некоторых атмосферных характеристик, выполненных в 2012 году

17. Оценки влияния характеристик температурных инверсий на загрязнение приземного воздуха

И.Б. Беликов, А.И. Скороход, А.А. Ремизов

17.1 Общие сведения

Для оценки влияния характеристик температурных инверсий на приземные концентрации газовых примесей атмосферы использовались данные действующей в МО МГУ с 2002 года станции наблюдений состава атмосферы, созданной совместно Географическим факультетом МГУ им. М.В. Ломоносова и ИФА им. А.М. Обухова РАН в феврале 2002 года (Эколого-климатические характеристики атмосферы..., 2011).

Место этой станции в общей структуре мониторинга состава атмосферы в России в настоящее время иллюстрирует рисунок 17.1. Как видно из рисунка, на общегосударственном уровне такой мониторинг осуществляется Росгидрометом, головной организацией по мониторингу в составе Росгидромета является ГГО им. А.И. Воейкова. Собственно мониторинг осуществляют региональные Управления гидрометслужбы (УГМС).

Кроме описанной сети Росгидромета, мониторинг состава атмосферного воздуха осуществляют ведомственные сети. В г. Москве это ГПБУ "Мосэкомониторинг", в г. С Петербурге - ГГУП СФ "Минерал". Свои сети экологического мониторинга имеют также крупные ведомства, например ОАО "Газпром".

Также. атмосферного мониторинг отдельных параметров состава воздуха осуществляют станции, создаваемые по инициативе некоторых академических и научных учреждений. В ряду отраслевых ИХ следует отметить Институт экспериментальной метеорологии (ИЭМ) НПО "Тайфун" (г. Обнинск), Институт оптики атмосферы СО РАН (г. Томск) и некоторые другие. Станция МО МГУ относится именно к категории подобных станций.

Представление о станции дает рисунок 17.2. Как видно из приведенных на этом рисунке фотографий, станция характеризуется существенным объемом установленной на ней измерительной аппаратуры, а также вспомогательного оборудования (компрессоры, трубопроводы, кабели, стойки) и вычислительных средств.

На станции осуществляются непрерывные круглосуточные круглогодичные наблюдения приземных концентраций следующих малых газовых примесей атмосферы:

озона, оксида и диоксида азота, оксида и диоксида углерода, метана и суммы неметановых углеводородов, аммиака и диоксида серы. Кроме этого основного набора параметров, измеряются также приземные концентрации атмосферного аэрозоля PM2,5, ряда летучих органических соединений, содержание O₃ и NO₂ в вертикальном столбе атмосферы, параметры турбулентности атмосферы в приземном слое (см. п.16 настоящего издания).

В состав оборудования станции входит метеорологический температурный профилемер МТП-5, производства компании "АТТЕХ" (Россия, г. Долгопрудный). Принцип действия прибора основан на измерении интенсивности собственного излучения атмосферы в микроволновом диапазоне, принимаемым последовательно с различных направлений. По данным измерений в реальном масштабе времени вычисляется профиль температуры воздуха на высотах от 0 до 600 м с разрешением по высоте 50 м и общей погрешностью измерения температуры 0,5 град.С. Временной интервал наблюдений составляет 5 минут (Кадыгров, 2009).

Совокупность выше перечисленных данных наблюдений концентраций приземных газовых примесей и профилемера МТП-5 была использована для статистического анализа влияния инверсий на загрязнение приземного воздуха.



Рисунок 17.1 - Общая схема структуры мониторинга состава атмосферы в России



Павильон станции



Метеорологический температурный профилемер МТП-5

> Прибор PTR-MS и аппаратура зондирования ионосферы





Общий вид измерительного комплекса



Рисунок 17.2 - Общий вид станции наблюдений состава атмосферы

17.2 Характеристики температурных инверсий в 2012 году

Для анализа температурных инверсий был выбран ряд параметров, характеризующих каждую инверсию. Перечень этих параметров приведен в таблице 17.1.

N⁰	Характеристика	Примечание				
1	Время начала инверсии	градиент температуры больше удвоенной погрешности профилемера				
2	Время окончания инверсии	градиент температуры меньше погрешности профилемера				
3	Продолжительность инверсии					
4	Интенсивность инверсии	максимальный градиент температуры в течение инверсии				
5	Высота нижней границы инверсии					

Таблица 17.1 - Параметры температурных инверсий

Время начала инверсии определяется по критерию превышения градиентом температуры значения удвоенной погрешности профилемера (2 х 0,5 град.С), а время окончания инверсии - по критерию, когда градиент температуры при разрушении инверсии становится менее погрешности профилемера (0,5 град.С). Продолжительность инверсии определяется как полное время от начала до окончания инверсии, а интенсивность инверсии - как максимальное значение температурного градиента за все время существования инверсии. Высота нижней границы инверсии определяется как минимальная высота, начиная с которой температура не убывает с высотой. При анализе используются только инверсии, продолжительность которых превышает 1 час (Методические рекомендации..., 2010).

По описанным критериям были выделены все инверсии, имевшие место в 2012 году, и построены статистические распределения этих инверсий по интенсивности, продолжительности и высоте.

На рисунках 17.3 представлены диаграммы распределения инверсий по интенсивности отдельно за зимний сезон (январь, февраль и декабрь 2012 года), весенний сезон (март, апрель и май 2012 года), летний сезон (июнь, июль и август 2012 года) и осенний сезон (сентябрь, ноябрь и декабрь2012 года). На диаграммах показано общее число инверсий, интенсивность которых лежит в соответствующем интервале, значение которого выбрано равным 1 град С.

161



Рисунок 17.3 - Распределения инверсий по интенсивности в различные сезоны 2012 года.

Как видно из диаграмм распределений, инверсии с интенсивностью, большей 4...5 град.С, имеют место, преимущественно в зимний период. В летний период диаграмма статистического распределения инверсий имеет характерный спад уже на уровнях интенсивности в 3...4 град.С, а инверсий с интенсивностями более 6 град.С летом 2012 года вообще не наблюдалось. Осень и весна являются переходными периодами между описанными режимами распределения инверсий, однако, и в эти периоды не наблюдается интенсивных инверсий, в отличие от зимнего сезона.

Распределения инверсий по продолжительности в различные сезоны 2012 года показаны на рисунке 17.4. Как видно из рисунка, наиболее продолжительные инверсии наблюдаются в зимний период, так же как и рассмотренные выше наиболее интенсивные. Дополнительный анализ показывает, что в зимних условиях продолжительность инверсий может достигать нескольких суток. В летний период 2012 года не наблюдались инверсии продолжительностью более 10 часов. Осенний и весенний периоды по характеру продолжительности инверсий являются переходными между летним и зимним режимами, инверсии продолжительностью более 18 часов не наблюдались.







Рисунок 17.5 - Распределения инверсий по высоте

Распределение инверсий по минимальной высоте нижней границы показано на рисунке 17.5. Как видно из приведенных диаграмм, в зимних условиях преобладают приподнятые инверсии с высотой нижней границы, лежащей в диапазоне 100...200 метров. В летний период возрастает доля инверсий, начинающихся непосредственно у земной поверхности. В осенний период число приподнятых инверсий возрастает, а весной - снижается.

17.3 Исследование инверсионных условий, отнесенных к суткам

Для оценки влияния инверсий на концентрации малых приземных газовых примесей необходимо прежде всего выбрать для использования параметр, характеризующий загрязнение атмосферы. Согласно РД 52.04.667-2005, одним из подобных параметров является среднесуточная концентрация малой газовой примеси. Для корректной оценки влияния инверсии, параметры последней также должны быть интерпретированы, как суточные. Для этого перейдем от рассмотрения инверсий к анализу инверсионных условий за каждые сутки периода исследования (2012 года). Под инверсионными условиями будем понимать соответствующий градиент температуры, превышающий по величине удвоенную погрешность профилемера, и продолжающийся более одного часа, по аналогии с рассмотренными выше условиями для инверсий.

На рисунке 17.6 показано распределение инверсионных условий за все дни 2012 года по максимальной интенсивности в течение суток. Как видно из диаграмм, характер полученного распределения подобен ранее рассмотренному для инверсий. В зимний период распределение интенсивности инверсионных условий простирается вплоть до значений в 9 град.С и более. В летний период преобладают инверсии с меньшей интенсивностью.

Рисунок 17.7 иллюстрирует распределение инверсионных условий по продолжительности. Как отмечалось выше, в зимний период инверсионные условия могут продолжаться без перерыва несколько суток. В распределении это отражается наличием ненулевой доли суточных инверсионных условий с продолжительностью 24 часа. В летний и весенний период 2012 года подобных случаев не наблюдалось.

Распределение инверсионных условий по высоте показано на рисунке 17.8. Характер этого распределения в целом аналогичен рассмотренному выше для инверсий, среди которых преобладают приподнятые в зимний период.







Рисунок 17.7 - Распределения инверсионных условий по продолжительности



Рисунок 17.8 - Распределения инверсионных условий по высоте

17.4 Среднесуточные нормы концентраций примесей

Для рассмотрения степени влияния инверсионных условий на загрязнение атмосферы, необходимо определить величину, с которой будет производиться сравнение концентраций примесей в инверсионных условиях. В качестве такой величины следует выбрать среднесуточную норму, определяемую как средняя концентрация за данные сутки, осредненная по всем годам наблюдений на станции с 2002 по 2012 год.

Общий вид графиков этих норм показан на рисунках 17.9 и 17.10. Ход получившихся сезонных зависимостей подобен приведенным в п.16 настоящего издания среднемесячным концентрациям. Для исключения влияния короткопериодных вариаций значения среднесуточных норм сглажены скользящим средним с прямоугольным окном и периодом в 30 суток.

На приведенных графиках хорошо заметны известные особенности сезонных вариаций наблюдаемых на станции газовых примесей (Еланский, 2007). Обращают на себя внимание высокие концентрации СО, приходящиеся на август, связанные с погодными аномалиями 2002 и 2010 годов (Эколого-климатические характеристики..., 2011).



Рисунок 17.9 - Среднесуточные нормы концентраций O₃, NO, NO₂ и CO



Рисунок 17.10 - Среднесуточные нормы концентраций CO₂, CH₄, NMHC и SO₂

17.5 Корреляции параметров инверсионных условий и концентраций газовых примесей

Вычислим отношение среднесуточной концентрации А каждой наблюдаемой газовой примеси к среднесуточной норме N и построим зависимость этого отношения от инверсионных условий, как-то: интенсивности и продолжительности. параметров Примеры подобных зависимостей для одной из наблюдаемых примесей, оксида азота NO, показаны на рисунках 17.11 и 17.12. Как видно из рисунков, рассматриваемая зависимость характеризуется существенным разбросом значений. По виду представленных графиков, вообще говоря, невозможно сделать однозначный вывод о влиянии величины параметров превышение среднесуточной инверсионных условий на концентрации NO над среднесуточной нормой. По представленным графикам хорошо заметно, что в некоторых случаях существенному превышению концентрации над нормой соответствует малая интенсивность или продолжительность инверсии, И наоборот. Как показывает дополнительный анализ, аналогичный характер имеют соответствующие зависимости и для других примесей.



Рисунок 17.11 - Зависимость от интенсивности инверсионных условий отношения среднесуточной концентрации NO к среднесуточной норме



Рисунок 17.12 - Зависимость от продолжительности инверсионных условий отношения среднесуточной концентрации NO к среднесуточной норме

Сходные результаты можно также найти в работе (Ячменева, 2008).

Для оценки влияния характеристик инверсионных условий на загрязнение приземного воздуха вычислим коэффициенты корреляции параметров инверсий и отношения среднесуточных концентраций к среднесуточной норме и ПДКсс (ГН 2.1.6.1338-03, ГН 2.1.6.1983-05), а также и отношения максимальной концентрации за сутки к ПДКмр.

Соответствующие диаграммы коэффициентов корреляции для интенсивности инверсионных условий показаны на рисунке 17.13. Обозначения отображаемых величин на диаграммах приведены в таблице 17.2.

Как видно из диаграмм, имеет место заметная отрицательная корреляция интенсивности инверсионных условий и концентрации озона. Это соответствует общепринятым представлениям, что в инверсионных условиях происходит накопление загрязняющих примесей в приземном слое, что приводит к разрушению озона и снижению его концентрации. Наиболее отчетливо этот эффект выражен в зимний период.

Таблица 17.2 - Обозначения величин на диаграммах рисунка 1	7.13
--	------

Обозначение			Величина					
	- корреляция	интенсивности	инверсионных	условий	И	отношения		
	среднесуточной концентрации к среднесуточной норме							
	- корреляция	интенсивности	инверсионных	условий	И	отношения		
	среднесуточной концентрации к ПДКсс							
	- корреляция	интенсивности	инверсионных	условий	И	отношения		
	максимальной концентрации в течение суток к ПДКмр							



Рисунок 17.13 - Коэффициенты корреляции интенсивности инверсионных условий и отношений концентраций примесей

Для концентрации NO наблюдается положительная корреляция интенсивности инверсионных условий и превышения как среднесуточных, так и максимальных разовых концентраций. Этот эффект наиболее отчетливо выражен в зимний период. Летом коэффициент корреляции весьма низкий и отрицательный.

Аналогичная картина корреляции интенсивности инверсионных условий и превышения концентрации над средними и ПДКмр имеет место и для NO₂.

Положительная корреляция интенсивности инверсионных условий и превышения концентраций в зимний сезон отчетливо выражена и для концентрации СО. В летний период величины корреляционных коэффициентов существенно снижаются.

Для концентрации CO₂ приведен только коэффициент корреляции для превышения среднесуточной концентрации над среднесуточной нормой, т.к. для этого компонента предельно допустимые концентрации не установлены. Практически для всех сезонов рост концентрации CO₂ показывает заметную корреляцию с интенсивностью инверсионных условий.

Для SO₂ наблюдалась положительная корреляция интенсивности инверсионных условий и превышения концентраций. На накопление SO₂ в зимний сезон могла повлиять работа отопительных систем в городе с использованием серосодержащего топлива в период резких похолоданий (Локощенко, 2008).

Наибольшая корреляция превышения максимальной разовой концентрации над ПДКмр и интенсивности инверсии проявляется только для NO и NO₂, и преимущественно в зимний период. Для остальных компонентов и периодов эта корреляция не столь велика, и, в общем случае, меньше, чем корреляция для среднесуточных значений.

На рисунке 17.14 показаны аналогичные диаграммы коэффициентов корреляции тех же параметров загрязнения воздуха с продолжительностью инверсионных условий. Обозначения отображаемых величин на диаграммах приведены в таблице 17.3.

Как видно из рисунка, характер зависимостей для этих коэффициентов корреляции во многом сходен с аналогичными для интенсивностей инверсионных условий. Наблюдается аналогичная отрицательная корреляция для концентрации озона, и положительная - для остальных загрязняющих компонентов. Следует отметить весьма слабую корреляцию параметров инверсий и загрязнения атмосферы в летний период, по сравнению с зимним. Статистическая значимость значений коэффициентов для лета, по-видимому, недостаточна, т.к. за все летние месяцы 2012 года наблюдалось всего 13 инверсий.

171

Таблица 17.3 - Обозначения величин на диаграммах рисунка 17.14

Обозначение	Величина						
	- корреляция продолжительности инверсионных условий и отношения						
	среднесуточной концентрации к среднесуточной норме						
	- корреляция продолжительности инверсионных условий и отношения						
	среднесуточной концентрации к ПДКсс						
	- корреляция продолжительности инверсионных условий и отношения						
	максимальной концентрации в течение суток к ПДКмр						



Рисунок 17.14 - Коэффициенты корреляции продолжительности инверсионных условий и отношений концентраций примесей

17.6 Заключение

В дальнейшем, по мере накопления объема экспериментальных данных по температурным инверсиям и концентрациям приземных газовых примесей, будет продолжен анализ взаимосвязи параметров инверсий и загрязнения приземного слоя атмосферы. Представляет интерес аналогичный анализ для других лет наблюдений, что позволило бы увеличить число анализируемых инверсий. Как отмечалось выше, в летний период 2012 года число дней с инверсионными условиями было не в полной мере достаточно для их полноценного статистического анализа.

Также представляет интерес исследование случаев превышения среднесуточных и максимальных разовых концентраций над средней нормой и соответствующими ПДК в условиях слабых инверсий или их отсутствия и поиск причин подобного превышения.

Литература

ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

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.

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.

Кадыгров Е.Н. Микроволновая радиометрия атмосферного пограничного слоя: метод, аппаратура, результаты измерений // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 7. С. 697-704.

Локощенко М.А., Н.Ф. Еланский, В.П Маляшова., А.В.Трифанова. Динамика приземного содержания двуокиси серы в Москве // Оптика атмосферы и океана, 2008, № 5. С. 441-449.

Методические рекомендации по использованию данных профилемеров МТП-5. ГУ "Центральная аэрологическая обсерватория". М. 2010. РД 52.04.667-2005. Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию (взамен РД 52.04.186-89 Часть 1, пункты 9.2-9.5, 9.7).

Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2011 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ // И.Б. Беликов, Е.В. Горбаренко, А.С. Елохов, И.Д. Еремина, В.А. Иванов, П.И. Константинов, М.А. Локощенко, Е.И. Незваль, О.В. Постыляков, Н.Е. Чубарова, О.А. Шиловцева, Р.А. Шумский. Под ред. Н.Е. Чубаровой. Электронное издание. ISBN:978-5-317-04010-9. Москва, МАКС Пресс, 2012.

Ячменева Н.В., Гольвей А.Ю. Распределение инверсий и их влияние на уровень загрязнения атмосферного воздуха в городе Челябинске: [Электронный ресурс] // Методический кабинет Гидрометцентра России. ГУ "Челябинский ЦГМС". 2008. URL: http://method.hydromet.ru/exp/chelyab/chelyab.html

18. Результаты сопоставлений стандартных метеорологических измерений и данных автоматической станции Vaisala

Константинов П.И.

18.1 -Общие сведения

В августе 2010 года на территории Метеорологической Обсерватории в рамках программы по модернизации и техническому переоснащению наблюдательной сети Росгидромета был установлен автоматический комплекс Vaisala MAWS-301, с помощью которого в настоящий момент производятся измерения параллельно со стандартными метеорологическими наблюдениями на площадке МО МГУ. Автоматический комплекс оснащен датчиками, частота измерений которых достигает, в зависимости от типа, 50 Гц, но период осреднения одинаков для всего комплекса и составляет 1 минуту. Таким образом, максимальное временное разрешение данных MAWS-301 принимается равным 1 минуте. Принципиальная схема комплекса выглядит следующим образом:



Рисунок 18.1 Принципиальная схема комплекса Vaisala MAWS-301

Комплекс позволяет измерять следующие метеопараметры:

- Скорость и направление ветра
- Температура
- Относительная влажность
- Количество осадков
- Интенсивность осадков
- Температура почвы
- Температура внутри слоя почвы
- Атмосферное давление

Используемые в типовой комплектации датчики:

Температура и влажность вкл. радиационную защиту

- НМР45D(QMH110) датчик температуры и влажности.
- DTR радиационная защита

Подогреваемый датчик осадков, включая основание:

- Датчик осадков RG13 (приемная поверхность 400 см2)
- Подогрев
- DRW224903 Кабель данных и питания подогрева 10м
- ADC40V60 Блок питания подогрева (без защиты от скачков)

Датчики скорости и направления ветра

- Датчик скорости ветра WAA151
- Датчик направления ветра WAV151
- Траверса с преобразователем WAC
- Набор кабелей питания и данных

В качестве дополнительных установлены также датчики поверхности температуры почвы и температуры внутри почвенного покрова.

В прошлом, 2011 году, сравнению был подвергнут ноябрь как месяц с наиболее качественным рядом данных и вполне характеризующий холодный период года.

В 2012 году было принято решение подвергнуть анализу самый теплый месяц года – июль, чему благоприятствовала стабильная работа комплекса, а также желание оценить

работу MAWS-301 в условиях теплого периода года, когда большинство датчиков должно работать практически идеально.

<u>Сравнение данных стандартных метеорологических измерений с данными</u> автоматического комплекса MAWS-301 в июле 2012 года.

По разработанной еще в прошлом году для подобных сравнений технологии, для приведения двух рядов к сравнению, сначала было произведено осреднение почасовых данных MAWS-301 за каждые два часа – за предшествующий и последующий час стандартному времени наблюдений на метеоплощадке, что было вызвано необходимостью избежать неопределенности, связанной с естественной погрешностью между реальным временем наблюдений и временем к которому оно отнесено (один из 8-ми сроков). Сравнение приводилось с данными регулярных 8-ми срочных наблюдений, что было вызвано необходимостью использовать наиболее точные из имеющихся наблюдений. Кроме того, методика сравнений должна быть одинаковой для всех метеорологических параметров, а более точные по временному разрешению данные (1 час) имеются лишь для температуры и влажности воздуха.

18.2- Температура воздуха.

Данные сравнения температуры воздуха, измеренной с помощью стандартных метеорологических измерений в психрометрической будке и MAWS-301 приведены на рис.18.2 и 18.3



Рисунок 18.2 - Сравнение двух способов измерения температуры воздуха (на графике изображена разность между показаниями АМС и стандартным способом измерения на метеорологических станциях).



Рисунок 18.3 - Линейная связь между показаниями температуры воздуха по AMC и по стандартным измерениям в МО МГУ.

Видно, что в общем случае MAWS-301 немного завышает температуру воздуха, в отдельные сроки такое превышение достигает 1,5 градуса. Средняя ошибка измерений АМС равняется 0,2 градуса. Связь между рядами наблюдений линейна, и коэффициент

корреляции R2 составляет 0,988. Исходя из этого, представляется возможным оценить точность измерения температуры MAWS-301 как удовлетворительную.

18.3- Относительная влажность воздуха.

Данные сравнения относительной влажности воздуха, измеренной с помощью стандартных метеорологических измерений в психрометрической будке и MAWS-301 приведены на рис.18.4 и 18.5



Рисунок 18.4 - Сравнение двух способов измерения относительной влажности воздуха (на графике изображена разность между показаниями АМС и стандартным способом измерения на метеорологических станциях)

В летний период, как и в случае с температурой воздуха отмечается небольшое превышение данных стандартных наблюдений. Максимальные отклонения не превышают 15%. Средняя ошибка равняется 2%, что является весьма неплохим результатом.

Таким образом, представляется возможным оценить точность измерения относительной влажности MAWS-301 как удовлетворительную. Коэффициент корреляции между двумя рядами составляет 0,95.



Рисунок 18.5 - Связь между показаниями относительной влажности по AMC и по стандартным измерениямв МО МГУ.

Таким образом, представляется целесообразным подвести краткие итоги автоматизированных измерений температуры и относительной влажности воздуха с помощью MAWS-301 в летний период. Наблюдается устойчивое, но статистически не превышающее точность измерения датчиков завышение обоих параметров. Напомним, подобная картина наблюдалась для температуры воздуха и в ноябре 2012 года.
19. Результаты экспериментальных исследований микроклиматических различий в температуре грунта на разных глубинах в МГУ

М.А. Локощенко, И.А. Корнева

19.1 Экспериментальные исследования различий в температурном режиме грунта на старой и новой площадках под естественным покровом в МО МГУ.

Как уже было показано в главе 2, регулярные измерения температуры грунта в метеорологической обсерватории МГУ были начаты в 1955 году одновременно на двух участках: с естественной поверхностью и на оголённом участке. С тех пор и поныне пространственное расположение оголённого участка не изменилось (рис. 19.1). Участок же с естественной поверхностью в 1965 году был перенесён на 50 м к северу (цифры 3 и 4 на рис. 19.1) вместе со всем комплексом наземных метеорологических измерений. Перенос участка был связан со строительством корпуса «А» - Института физико-химической биологии им. Белозерского. Поэтому ряд данных о температуре грунта на глубинах под естественным покровом нельзя а priori считать статистически однородным. При перенесении площадки в 1965 г. в МО МГУ, по свидетельству бывших сотрудников, проводились одновременные сравнительные измерения, однако результаты их не были опубликованы и в настоящее время, к сожалению, утеряны.

В связи с этим в начале февраля 2012 года был начат эксперимент по сравнению данных о температуре грунта на двух площадках: старой (не действующей с 1966 года) и новой (действующей в настоящее время). Задачей данного эксперимента является выявление различий в температурных значениях на двух площадках, определение поправочного коэффициента к ряду наблюдений на старом участке и последующее формирование однородного долговременного температурного ряда за период с 1955 по 2012 год.

Проведению эксперимента благоприятствовало то, что старый участок с естественной поверхностью и основные скважины на нём сохранились до настоящего времени. Лучше всего сохранились скважины на глубинах 20, 160 и 320 см, причём их глубина и сейчас с точностью до ±1-2 см соответствует уровню измерений. Они и были выбраны для проведения эксперимента, поскольку охватывают весь диапазон измерений, включая его середину. На этих уровнях на старой площадке были установлены вытяжные термометры: № 667 (глубина 20 см), № 1895 (глубина 160 см) и № 807 (глубина 320 см). Весной 2012

181

года в связи с поломкой термометры на 20 и 160 см были заменены соответственно термометрами № 321 и № 672.





Рисунок 19.1 - Территория Метеорологической обсерватории МГУ: 1 - здание метеорологической обсерватории МГУ; 2 - участок для измерения температуры грунта под обнажённой поверхностью; 3 - участок для измерения температуры грунта под естественной поверхностью с 1955 по 1965 гг.; 4 - участок для измерения температуры грунта под естественной поверхностью, действующий с 1966 г. по настоящее время.

Стоит отметить, что при установке термометров возникли некоторые проблемы. Например, самая глубокая скважина на уровне 320 см была вначале не полностью свободна (в ней находился остаток старой штанги), из-за чего установка термометра на этом горизонте была несколько задержана. В дальнейшем, спустя несколько недель после начала наблюдений за температурой на этой глубине, в ходе очередного эксперимента не удалось извлечь из скважины штангу с термометром с новой площадки. Видимо, защитная оправа здесь подверглась частичной деформации, и скважина имеет небольшой изгиб. Впоследствии, в целях безопасности, было решено на эту глубину на старой площадке штангу с новой площадки не погружать, так что синхронные измерения на данном горизонте были ограничены лишь перестановкой одного термометра (№ 807) старой площадки. На остальных же двух глубинах всегда имелись две пары синхронных отсчётов. Лишь один раз, 3 апреля, на глубине 320 см было выполнено полное попарное сравнение с риском утери термометра, как и в других двух местах (единственный розовый квадрат на рис.19.2).

Ещё одна сложность заключалась в том, что на новой площадке измерений незадолго до начала эксперимента (в 2010 году) был установлен комплект новых трубок из ПНД (на всех скважинах кроме только самой глубокой – 320 см). Новые деревянные штанги для этих труб имеют больший диаметр по сравнению с традиционными, их диаметр равен внутреннему диаметру старых защитных трубок. В связи с этим новые деревянные штанги не удалось погрузить в старые эбонитовые трубки на старой площадке. Поэтому для проведения эксперимента на скважинах 20 и 160 см новой площадки пришлось временно поменять штанги на старые (с меньшим диаметром), оснастив их более широким уплотнительными кольцами для теплоизоляции. Кроме того, новый материал защитных трубок (ПНД) обладает большим коэффициентом теплопроводности по сравнению с эбонитом, в связи с чем возникла необходимость проверки влияния материалов защитных трубок на данные измерений (подробные результаты сравнения см. в разделе 19.2).

Заметим, что, несмотря на прошедшие полвека, скважины старой площадки находятся в удовлетворительном состоянии – отсутствует течь воды и нет трещин в эбоните. Заводские паспорта термометров в этих скважинах были утеряны, однако в июне-июле эти термометры успешно прошли поверку в МосЦГМС-Р. Полученные инструментальные поправки были введены а posteriori ко всем измерениям, проведённым до февраля 2013 г.

Эксперимент проводится с февраля 2012 года по настоящее время с периодичностью 1-2 раза в неделю. Обычно измерения в разных местах производятся разными приборами с введением инструментальных поправок к их показаниям. В соответствии с действующими стандартами Росгидромета, все термометры МО МГУ проходят регулярную поверку в бюро поверки МосЦГМС-Р. Поверка заключается в контроле показаний в условиях нулевой температуры, то есть при помещении термометров в слой тающего снега. Однако из практики известно, что точность значений с учётом инструментальной поправки находится зачастую в пределах $\pm 0,2-0,3$ °C. Это обстоятельство ограничивает реальную точность производимых сравнений. Особенностью же нашего эксперимента являются попеременные одновременные измерения на разных площадках посредством одних и тех же термометров. Термометры каждой из площадок одновременно переносились на

соседнюю, в результате чего на каждой из глубин производилось две пары перекрёстных отсчётов – попеременно на каждой из площадок. Отсчёты производятся сначала на новой действующей площадке на глубинах 20, 160 и 320 см, затем сразу же на тех же глубинах на старом участке, после чего термометры меняются местами. В среднем через час, с учётом необходимой выдержки термометров, берутся повторные отсчёты на обоих участках, и термометры возвращаются обратно. Такой способ проведения измерений позволяет исключить возможную погрешность, связанную с неточной поверкой и особенностями разных приборов. В принципе подобные сравнения даже не нуждаются во введении инструментальной поправки. Например, 27 марта 2012 г. в 15:43 был взят отсчёт на старой площадке старыми термометрами: на глубине 20 см значения температуры составили +0,6 °С, на 160 см +4,0 °С, на 320 см +6,8 °С. После этого были взяты отсчёты на новой площадке по новым термометрам: на 20 см +1,0 °C, на 160 см +3,3 °C, на 320 см +5,2 °C. Затем старые термометры были установлены на новую площадку, а новые соответственно на старую кроме глубины 320 см. В 16:48 были взяты повторные отсчёты на новой площадке: 20 см – 0,3 °C, 160 см – 3,2 °C, 320 см – 5,4 °C. Значения на старой площадке по новым термометрам составили: на 20 см -1,2 °C, на 160 см -4,1 °C. Таким образом, и по старым и по новым термометрам разность между температурами на новом и старом участке на 3-х глубинах отрицательная, т.е. старая площадка была устойчиво теплее (см. табл. 19.1). Практически всегда отсчёты производятся в 15.40 по московскому времени, что позволяет сравнить их со станционным отсчётом наблюдателя, который производится в 15.35. Примеры различных отсчётов в рамках эксперимента приведены в таблице 19.1.

Период выдержки термометров (1 час) был определён экспериментальным путём как время установления показаний вытяжных термометров с учётом их инерции. После нескольких первых экспериментов с периодом выдержки меньше часа (15, 30 и 45 мин), путём анализа полученных различий в температурах грунта эти измерения были отбракованы, и наиболее оптимальным временем выдержки термометров принято было считать один час. Следует отметить, что в летнее время года, когда температура воздуха была выше +25 °C, на глубине 20 см прослеживался явный суточный ход, поэтому время выдержки термометров для этой глубины было сокращено до 30-40 мин. В зимнее время в периоды морозной погоды, время выдержки термометров для глубины 20 см наоборот было увеличено до 1 часа 20 мин, чтобы исключить погрешности из-за возможного охлаждения термометров во время перестановки.

Таблица 19.1 - Разности значений температуры на новом и старом участках по данным сравнительного эксперимента в МО МГУ по показаниям старых термометров и новых термометров (значения в скобках).

		Глубина, см			
Номер			-		
Эксперимента	Дата	20 см	160 см	320 см	
1	24.02.12	-0,3 (-0,3)	-0,7 (-0,9)	-1,6	
2	28.02.12	-0,3 (-0.4)	-0,8 (0,2)	-1,3	
3	02.03.12	-0,3 (-0,3)	-0,7 (-0,7)	-1,5	
4	06.03.12	0,4 (-0,3)	-0,7 (-1,3)	-1,4	
5	13.03.12	0,8 (-1,0)	-0,8 (-0,8)	-1,5	
6	16.03.12	-0,3 (-0,3)	-0,7 (-0,8)	-1,5	
7	20.03.12	-0,4 (-0,2)	-0,7 (-1,0)	-1,4	
8	27.03.12	-0,3 (-0,2)	-0,8 (-0,8)	-1,4	
9	10.04.12	-0,4 (-0,2)	-0,7 (-0,7)	-1,4	
10	23.04.12	2,4 (1,6)	-0,1 (-0,2)	-1,1	
11	04.05.12	2,9 (1,0)	0 (0,2)	-0,8	
12	12.05.12	2,0 (1,6)	0,5 (0,1)	-1,5	
13	15.05.12	1,6 (0,4)	0,3 (0,1)	-0,4	
14	21.05.12	3,3 (2,1)	0,3 (0,3)	0,1	
15	26.05.12	1,9 (0,9)	0,3 (0,2)	-0,2	
16	31.07.12	2,0 (1,1)	0,0 (0,0)	0,0	
	02.08.12	1,1 (1,1)	0,0 (0,0)	0,2	
18	03.08.12	1,7 (0,7)	0,3 (-0,1)	0,2	
19	07.08.12	2,0 (0,9)	-0,1 (0,3)	0,1	
20	08.08.12	1,8 (0,9)	0,1 (0,0)	-0,4	
21	20.08.12	-0,1 (-0,2)	0,0 (-0,1)	0,2	
22	05.10.12	0,3 (0,1)	-0,2 (-0,3)	-0,2	
31	10.10.12	-0,5 (-0,6)	-0,3 (-0,2)		
32	12.10.12	-0,3 (-0,9)	-0,3 (-0,2)	-0,3	
33	14.10.12	-0,6 (-0,7)	-0,3 (-0,4)	-0,3	
34	16.10.12	0,0 (-0,1)	-0,4 (-0,5)	-0,2	
35	21.10.12	0,0(-0,2)	-0,4(-0,4)	-0,4	
36	24.10.13	-1,0(-0,8)	-0,4(-0.3)	-0,5	
37	09.11.13	0,0(-0,4)	-0,5(-0,5)	-0,6	
38	15.11.13	0,0(-0,2)	-0,6		
39	20.11.13	-0,4(-0,6)	-0,6(-0,6)	-0,8	
40	23.11.13	-0,7(-0,5)	-0,6(-0,4)	-0,8	
41	07.12.13	-0,2(-0,2)	-0,6		
42	14.12.13	-0,3(0,7)		-1,2	
43	21.12.13	-0,4(-0,3)	-0,6(-0,8)	-1,4	
44	25.12.13	-0,2(-0,2)	-0,8(-0,5)	-1	
45	28.12.13	-0,2(-0,2)	-0,8(-0,8)	-1,2	
46	08.01.13	-0,3(-0,2)	-0,8(-0,9)	-1,4	
47	23.01.13	-0,2(-0,1)	-0,7(-0,7)		
48	24.01.13	-0,2(-0,1)	-0,7(-0,8)	-1,2	
49	27.01.13	-0,2(-0,5)	-0,5(-0,8)	-1,5	
50	02.02.13	-0,2(-0,1)	-0,7(-0,7)	-1,7	
51	09.02.13	-0,2(-0,3)	-0,7(-0,7)	-1,5	
52	12.02.13	-0,2(-0,2)	-0,7(-0,6)	-1,4	

Предварительные результаты эксперимента для каждой глубины и отдельно за тёплый и холодный период года приведены на рис. 19.2 и 19.3. Из рис. 19.3 а) видно, что значения температуры на глубине 20 см в тёплый период года были устойчиво выше на новом участке, чем на старом (в среднем на 1,3 °C). В холодный же период года (рис. 19.2 а) разность значений температуры на новом и старом участке отрицательна (в среднем за период по показаниям обоих термометров -0,2 °C), т.е. температура грунта, наоборот, выше на старом участке, чем на новом. На глубине 160 см в тёплый период года разность значений температуры на новом. На глубине 160 см в тёплый период года разность значений температуры на новой и старой площадках по показаниям обоих термометров составила с точностью до десятых долей градуса 0,0 °C, а в холодный период года в среднем -0,7 °C. Иначе говоря, уже на глубине 160 см смены знака разности температур не наблюдается, однако в холодный период старый участок по-прежнему показывает более высокие значения. На глубине 320 см в течение всего года по показаниям термометра старой площадки № 807 разность отрицательна, в тёплый период она составила $-0,3^{\circ}$ С, а в холодный $-1,4^{\circ}$ С, т.е. старый участок устойчиво теплее новой площадки, причём в холодный сезон это проявляется сильнее.

Возможной причиной такого различия в температуре на двух участках могут являться подземные коммуникации (отопительные трубы), проходящие вблизи старого участка. Для проверки этой гипотезы был проведён ещё один небольшой эксперимент в рамках всего исследования. Были организованы измерения температуры грунта на глубине 20 см вдоль линии новая площадка (точка № 1) – старая площадка (точка № 2) – забор площадки рядом с обочиной улицы академика Хохлова, вдоль которой проходит теплотрасса (точка № 4). Для этого на расстоянии 6 м и 12 м соответственно от скважины 20 см на старой площадке в направлении улицы академика Хохлова были пробурены ещё 2 скважины №№ 3 и 4 и установлены термометры на глубине 20 см.

Было проведено 5 экспериментов в октябре-ноябре 2012 г., в ходе которых термометры попеременно переставлялись в разные скважины на глубине 20 см. Результаты измерений показали, что явного однозначного градиента температуры грунта по направлению к предполагаемому внешнему источнику тепла на этой глубине не наблюдается. В разных экспериментах многочисленные перестановки термометров показали ненаправленные разности в несколько десятых долей °С между разными точками. В частности, промежуточная точка № 3 между старой площадкой и забором оказалась приблизительно на 0,3 °С холоднее всех прочих мест, что явилось неожиданным



Рисунок 19.2 - Сравнение значений температуры грунта на участке с естественной поверхностью и оголённой поверхностью за холодный период года (28.02.2012-10.04.2012 и 09.11.2012-12.02.2013): а – на глубине 20 см; б – на глубине 160 см; в – на глубине 320 см. Розовые квадраты – значения температуры по термометрам новой площадки, синие ромбы – по термометрам старой площадки.

Вероятно, даже на столь малых расстояниях проявляются микроклиматические различия, связанные с неоднородностью как почвеннного профиля, так и подстилающей поверхности и травяного покрова. Таким образом, однозначного влияния отопительных коммуникаций на температуру грунта в самом верхнем пахотном слое не выявлено. Однако, этот вывод не позволяет полностью исключить возможное их влияние на температуру нижележащих слоёв.



Рисунок 19.3 - Сравнение значений температуры грунта на участке с естественной поверхностью и оголённой поверхностью за тёплый период года (23.04.2012-05.10.2012): а) – на глубине 20 см; б) – на глубине 160 см; в) – на глубине 320 см. Розовые квадраты – значения температуры по термометрам новой площадки, синие ромбы – по термометрам старой площадки.

По предварительным результатам эксперимента (за период 7.02.2012- 12.02.2013) была определена среднегодовая поправка к значениям температуры грунта на старом участке под естественным покровом. На глубине 20 см она составила +0,5 °C, на глубине 160 см -0,3 °C, на горизонте 320 см -0,8 °C. Эти предварительные значения поправки были введены в ряд температуры грунта для данных глубин за период с 1955 по 1965 г. Исходные ряды температуры грунта и ряды с учётом поправочного коэффициента приведены на рис. 19.4.



Рисунок 19.4 – Исходные ряды температура грунта под естественным покровом и ряды температуры грунта с учётом поправки, полученной в ходе сравнительного эксперимента, на глубинах 20 см, 160 см, 320 см за период с 1955 по 2012 гг.

19.2 - Экспериментальные исследования различий в материалах защитных трубок почвенно-вытяжных термометров

Как vже было главе 2, температура грунта измеряется сказано В на метеорологических станциях на глубинах от 20 до 320 см с помощью вытяжных почвенноглубинных термометров (Наставление гидрометеорологическим станциям, 1969). Классическим и наиболее распространённым до сих пор способом является погружение обычных жидкостных термометров (как правило, ртутных) на заданную глубину в специальной трубке из материала с малой теплопроводностью. Данный прибор стандартизован Росгидрометом (в прошлом – Госкомгидрометом СССР) и известен как термометр почвенный вытяжной ТПВ-50 (Кедроливанский, 1937) (рис. 19.5). Он состоит



из почвенно-глубинного термометра ТМ-10 (рис. 19.5), защитной трубки с наконечником и деревянной палки (Справочник по гидрометеорологическим приборам, 1971).

Различная длина деревянных стержней и защитных трубок обеспечивает измерение температуры почвы на разных глубинах. Следует отметить, что на протяжении всей истории измерений, начиная с конца XIX века (Быховец, 2007), общепринятым материалом защитных внешних трубок был эбонит благодаря своей малой теплопроводности. Использование эбонитовых трубок (рис.19.6 слева) обеспечивает возможность достоверных измерений на разных глубинах, поскольку теплопередача в вертикальном направлении крайне мала. Исключением служила только станция Никольское-Горушки, где на заре наблюдений

использовались не эбонитовые, а деревянные трубки (Справочник по климату СССР, 1984).

Рисунок 19.5 - Внешний вид термометров ТПВ-50 и ТМ-10.

В самые последние годы на станциях Росгидромета начали применяться также полиэтиленовые защитные трубки из ПНД (полиэтилена низкого давления, рис.19.6 справа). В настоящее время материалом трубок служит как эбонит, так и ПНД: в МО МГУ ныне используются как те, так и другие. Заметим, что коэффициент теплопроводности обычного эбонита составляет 0,16, древесины – 0,15, а полиэтилена – 0,36-0,43 Вт/(м · K). Таким образом, традиционные материалы близки по своим свойствам теплопередачи, тогда как у новых трубок теплопередача больше.



Рисунок 19.6 - Внешний вид защитных трубок (футляров) вытяжных почвенно-глубинных термометров: слева – традиционные эбонитовые, справа – новые из ПНД.

Заметим попутно, что толщина стенок стандартных трубок из эбонита составляет 5-6 мм, внутренний их диаметр – 26 мм, внешний – 37 мм. Новые же трубки из ПНД, установленные в самые последние годы, значительно тоньше (толщина стенок – лишь 3 мм), но более широкие: внутренний диаметр составляет 35 мм, внешний – 41 мм. Изменился и диаметр деревянной штанги в комплекте с защитной трубкой: если в прошлом он составлял 22 мм, то ныне он увеличен до 26 мм. Таким образом, в трубках новой конструкции, производимых ОАО «Эколог», возросла и величина зазора между штангой и внутренней поверхностью защитной трубки.

В качестве вытяжных почвенно-глубинных термометров используется ртутный метеорологический термометр TM-10 (рис.19.5). Он представляет собой стеклянный ртутный термометр с цилиндрическим резервуаром и стеклянной шкалой. Для лучшего теплового контакта пространство между резервуаром термометра и стенками наконечника заполнено медными или латунными опилками, а отверстие залито воском. Это сделано для искусственного увеличения инерции термометра. Благодаря медным опилкам термометр сохраняет свои показания в течение нескольких минут, что даёт возможность произвести достоверный отсчёт, поднимая термометр к поверхности и вынимая его из защитной трубки. Погрешность измерения температуры по данному термометру в диапазоне от 0°C до +40°C составляет \pm 0,2°C, а в диапазоне отрицательных температур от 0° до -20°C : \pm 0,3°C.

Для проверки возможной погрешности, связанной с изменением материала защитных трубок, в Метеорологической обсерватории МГУ зимой 2012-2013 гг. были

проведены специальные методические сравнения измерений температуры грунта в футлярах старого и нового образца. Для сравнения был выбран горизонт 160 см – достаточно глубокий для надёжных измерений, поскольку ход температуры здесь сглаженный и суточная изменчивость отсутствует. С этой целью 02 декабря 2012 г. рядом со стандартной скважиной на глубине 160 см, оснащённой с 2011 года новым полиэтиленовым футляром, была пробурена новая скважина до той же глубины и установлен эбонитовый футляр старого образца. Глубина нахождения резервуаров обоих термометров составила ровно 160 см в обоих местах с возможной погрешностью измерений не более ±1 см (измерение длин наземной части обеих трубок с помощью стандартной рулетки было проведено 02 декабря 2012 г.). Расстояние между скважинами (рис.19.7) составило 36 см с учётом необходимого хода ручки бура.

Заметим, что сравнения подобного рода предпочтительно производить в сезоны, когда вертикальный температурный градиент в грунте особенно велик. Именно при большом значении этого градиента могут проявиться различия в показаниях, связанные с разным коэффициентом теплопередачи. С этой точки зрения выбранное время эксперимента представляется исключительно удачным, поскольку зима 2012-2013 гг. выдалась холодной: среднемесячная температура воздуха в декабре 2012 г. составила –8,6 °C, в январе –8,3 °C. В отдельные же дни температура понижалась до –20 °C и даже ниже (вплоть до –22,6 °C). На горизонте же 160 см, как видно из таблицы 19.2, температура составляла около +5 °C. Таким образом, если искажающее влияние футляров из нового материала и существует, то наиболее сильно оно должно было проявиться именно в эти месяцы.



Рисунок 19.7 - Синхронные измерения на глубине 160 см на участке под естественным покровом в МГУ.

Сравнение данных в условиях разных трубок было проведено двояко. На первом этапе сравнивались показания разных термометров, установленных в обеих трубках, с учётом их инструментальных поправок. Оба термометра проходят регулярную поверку в МосЦГМС-Р. Всего было проведено 50 парных синхронных отсчётов в дневной срок измерений в период с 14 декабря 2012 года по 15 февраля 2013 г. Результаты приведены в таблице 19.2. На рисунке 19.8 приведено графическое представление результатов с учётом введённых поправок. Красной линией показан линейный тренд, чёрной – линия связи «один к одному». Как видно, связь чрезвычайно тесная, линейный коэффициент корреляции составляет 0,997, однако наблюдается систематическое смещение данных в сторону их завышения в полиэтиленовом футляре (или занижения в эбонитовом). Заметим, что следствием большей теплопроводности в футляре нового образца должно было быть смещение оценок в противоположном направлении. Обратим внимание также на тот факт, что средняя величина смещения оценок по всему ряду составляет около 0,2 °C – значение, очень близкое к величине поправки термометра в эбонитовом футляре (Таблица 19.2). Нельзя исключить, что причиной смещения служит неточная поправка к одному из термометров (или к обоим).

Рассмотрим также рисунок 19.8, на котором те же самые результаты приведены уже в исходных значениях, без введения поправок. Как видно, при той же высокой степени связи (значение коэффициента корреляции осталось таким же с точностью до 0,001) смещения оценок уже не отмечается, линейный тренд практически совпадает на рисунке 6 с биссектрисой (линией СВЯЗИ «один к одному»). Таким образом, возникает неопределённость в интерпретации результатов. Если поправки определены неточно, то наши данные свидетельствуют об отсутствии статистически значимого искажающего влияния полиэтилена низкого давления на достоверность отсчётов.

Более корректное сравнение заключается в попеременной перестановке термометров из одного футляра в другой. В нашем случае было возможно переставить из одной скважины в другую только одну штангу – старого образца для эбонитового футляра, поскольку диаметр новой штанги больше и практически совпадает с внутренним диаметром эбонитового футляра. Поэтому вторая часть сравнений заключалась в специальных экспериментах по попеременным измерениям в обеих скважинах с помощью одного и того же термометра. Идея заключается в том, что, независимо от точности инструментальной поправки, она заведомо одна и та же при измерениях одним и тем же

193

прибором. Следует оговорить, что нам приходилось помещать термометр на штанге старого образца в новый футляр с большим поперечным сечением (на 9 мм). Таким образом, зазор между штангой и футляром превышал обычный стандарт. Однако штанга была оснащена дополнительным термоизоляционным кольцом из плотного войлока, что предотвращало возможную погрешность в измерениях вследствие стока вниз вдоль профиля холодного приповерхностного воздуха. Таких экспериментов было проведено восемь, результаты их обобщены в таблице 19.3. Приведём один пример. Двадцать второго января в 17.14 исходные отсчёты по термометрам $N \ge N \le 1955$ и 1051 соответственно в новом полиэтиленовом и в старом эбонитовом футлярах совпали, составив +4,6 °C. С учётом поправок отсчёты равны соответственно +4,5 °C и +4,3 °C. Кажется, что в старом футляре температура ниже, однако термометр $N \ge 1051$ был переставлен из эбонитового в полиэтиленовый футляр и спустя полтора часа, в 18.44, показал то же самое значение: +4,6 °C (с учётом поправки +4,3 °C), после чего термометры были вновь установлены на их обычных местах.



Полиэтиленовая трубка

Рисунок 19.8 - Сравнение температуры грунта на глубине 160 см в полиэтиленовом и эбонитовом футляре с учётом инструментальных поправок за период 14 декабря 2012 г. – 15 февраля 2013 г.

Заметим, что в условиях морозной погоды даже быстрый отсчёт ведёт к остыванию термометра и к затоку холодного воздуха в глубь скважины, так что требуется значительная по времени выдержка с учётом инерции прибора и необходимого времени для восстановления теплового равновесия. Для большей надёжности вывода в 19.58 были произведены повторные отсчёты по обоим термометрам, которые снова совпали с предыдущими. Таким образом, термометр № 1051 показал одно и то же значение +4,6 °C (с поправкой +4,3 °C) как в новом полиэтиленовом футляре в 18.44, так и в старом эбонитовом - причём как до, так и после перестановки.

На рисунке 19.10 значение температуры в полиэтиленовой трубке (горизонтальная ось) сопоставлено со средним значением из двух отсчётов в эбонитовой трубке. Как видно из таблицы 19.3 и рис.19.10, в шести случаях из восьми значение температуры грунта в полиэтиленовом футляре совпало со значениями в эбонитовом футляре, полученными как до, так и после перестановки. В третьем эксперименте 12 января 2013 г. значение в полиэтиленовом футляре оказалось на 0,1 °С меньше, чем в эбонитовом и до, и после перестановки (+4,5 °C и +4,6 °C соответственно). Ещё один раз, во втором эксперименте 11 января, значение в полиэтиленовой трубке совпало со вторым отсчётом в эбонитовой (+4,6 °С), но оказалось на 0,1 °С больше первого отсчёта там до перестановки прибора. Таким образом, среднее из двух значений в эбонитовой трубке (+4,55 °C) оказалось ниже на (0,05 °C). Как видно на рис.19.10, линейный тренд (красная линия) совершенно совпал с линией связи «один к одному» (тонкая чёрная линия), так что коэффициент в уравнении регрессии равен 1. Коэффициент же линейной корреляции данных составил 0,997. Проведённые сравнения с перестановкой прибора доказывают, таким образом, полную идентичность термических условий на горизонте 160 см в обоих футлярах. Видимо, небольшое смещение оценок при сравнении синхронных измерений разными термометрами на рис.5 объясняется неточным определением инструментальной поправки к одному из них (или к обоим). Примечательно почти полное совпадение исходных данных синхронных измерений в обеих трубках и в Таблице 19.3, что подтверждает сомнения в точности поправок. Заметим, что сравнение было проведено в середине холодного сезона, когда вертикальный градиент температуры грунта наибольший, так что возможные различия в теплопередаче по вертикали материалом футляра должны были бы проявиться особенно сильно. Таким образом, полученный результат тем более доказывает независимость результатов измерений от материала футляра.

Таблица 19.2 - Сводные результаты сравнений температуры грунта в футлярах из разного материала на горизонте 160 см.

N⁰	Дата	Полиэтиленов ый футляр, термометр ТМ-10 № 1955	Эбонитовый футляр, термометр ТМ-10 № 1051	Nº	Дата	Полиэтилено вый футляр, термометр ТМ-10 № 1955	Эбонитовый футляр, термометр ТМ-10 № 1051
1	14 дек	6,4+0,0=6,4	6,5-0,2=6,3	26	15 янв	4,8-0,1=4,7	4,8-0,3=4,5
2	15 дек	6,4+0,0=6,4	6,4-0,2=6,2	27	17 янв	4,7-0,1=4,6	4,6-0,3=4,3
3	16 дек	6,3+0,0=6,3	6,3-0,2=6,1	28	18 янв	4,7-0,1=4,6	4,7-0,3=4,4
4	17 дек	6,2+0,0=6,2	6,3-0,2=6,1	29	20 янв	4,6-0,1=4,5	4,6-0,3=4,3
5	18 дек	6,2+0,0=6,2	6,3-0,2=6,1	30	22 янв	4,6-0,1=4,5	4,6-0,3=4,3
6	19 дек	6,1+0,0=6,1	6,1-0,2=5,9	31	23 янв	4,5-0,1=4,4	4,5-0,3=4,2
7	20 дек	6,1+0,0=6,1	6,1-0,2=5,9	32	24 янв	4,5-0,1=4,4	4,5-0,3=4,2
8	21 дек	6,0+0,0=6,0	6,0-0,2=5,8	33	28 янв	4,4-0,1=4,3	4,4-0,3=4,1
9	22 дек	6,0+0,0=6,0	5,9-0,2=5,7	34	29 янв	4,5-0,1=4,4	4,4-0,3=4,1
10	24 дек	5,8+0,0=5,8	5,6-0,2=5,4	35	30 янв	4,4-0,1=4,3	4,3-0,3=4,0
11	25 дек	5,8+0,0=5,8	5,8-0,2=5,6	36	1 фев	4,4-0,1=4,3	4,4-0,3=4,1
12	26 дек	5,8+0,0=5,8	5,8-0,2=5,6	37	2 фев	4,3-0,1=4,2	4,3-0,3=4,0
13	27 дек	5,6+0,0=5,6	5,6-0,2=5,4	38	3 фев	4,3-0,1=4,2	4,3-0,3=4,0
14	29 дек	5,5+0,0=5,5	5,5-0,2=5,3	39	4 фев	4,3-0,1=4,2	4,3-0,3=4,0
15	31 дек	5,4+0,0=5,4	5,4-0,2=5,2	40	5 фев	4,3-0,1=4,2	4,2-0,3=3,9
16	1 янв	5,2+0,0=5,2	5,2-0,2=5,0	41	6 фев	4,3-0,1=4,2	4,2-0,3=3,9
17	3 янв	5,2+0,0=5,2	5,2-0,2=5,0	42	7 фев	4,3-0,1=4,2	4,2-0,3=3,9
18	4 янв	5,2+0,0=5,2	5,2-0,2=5,0	43	8 фев	4,3-0,1=4,2	4,2-0,3=3,9
19	5 янв	5,2+0,0=5,2	5,0-0,3=4,7	44	9 фев	4,2-0,1=4,1	4,1-0,3=3,8
20	8 янв	5,0-0,1=4,9	5,0-0,3=4,7	45	10 фев	4,2-0,1=4,1	4,2-0,3=3,9
21	9 янв	5,0-0,1=4,9	5,0-0,3=4,7	46	11 фев	4,2-0,1=4,1	4,1-0,3=3,8
22	10 янв	4,9-0,1=4,8	4,9-0,3=4,6	47	12 фев	4,2-0,1=4,1	4,1-0,3=3,8
23	11 янв	4,9-0,1=4,8	4,9-0,3=4,6	48	13 фев	4,2-0,1=4,1	4,2-0,3=3,9
24	12 янв	4,9-0,1=4,8	4,8-0,3=4,5	49	14 фев	4,1-0,1=4,0	4,1-0,3=3,8
25	13 янв	4,9-0,1=4,8	4,8-0,3=4,5	50	15 фев	4,1-0,1=4,0	4,1-0,3=3,8



Рисунок 19.9 - Сравнение температуры грунта на глубине 160 см в полиэтиленовом и эбонитовом футляре по исходным отсчётам (без учёта инструментальных поправок) за период 14 декабря 2012 г. – 15 февраля 2013 г.



Рисунок 19.10 - Результаты попеременных измерений термометром № 1051 в двух скважинах за период с декабря 2012 до февраля 2013 гг.

Таблица 19.3 - Сводные результаты сравнений температуры грунта с попеременной перестановкой термометров в футлярах из разного материала на горизонте 160 см.

N⁰	Дата	Время	Полиэтиленовый	Эбонитовый
		_	футляр, футляр,	
			термометр термометр	
			TM-10 № 1051	TM-10 № 1051
1	24 дек	16:50	№ 1955	№ 1051
			5,8+0,0 = 5,8	5,7-0,2 = 5,5
		18:10	№ 1051	
		10.40	5,8-0,2=5,6	No. 1051
		19.40	59+00=59	59 - 02 = 57
2	11 янв	15.44	<u> </u>	<u> </u>
2		10.11	48-01 = 47	48-03 = 45
		16:56	<u>Nº 1051</u>	1,0 0,5 1,0
		10.00	4,9-0,3 = 4,6	
		18:06	№ 1955	№ 1051
			4,9-0,1 = 4,8	4,9-0,3 = 4,6
3	12 янв	16:47	№ 1955	№ 1051
			4,9-0,1 = 4,8	4,9-0,3 = 4,6
		18:15	№ 1051	
		20.29	4,8-0,3=4,5	No. 1051
		20:28	1001933	1031
Δ	13 дир	16:36	4,9-0,1 - 4,0 No 1955	4,9-0,5 - 4,0 No 1051
-	ТЭЛПВ	10.50	4.9-0.1 = 4.8	4.8-0.3 = 4.5
		18:07	<u>№</u> 1051	.,
			4,8-0,3 = 4,5	
		20:18	№ 1955	№ 1051
			4,8-0,1 = 4,7	4,8-0,3 = 4,5
5	22 янв	17:14	№ 1955	Nº 1051
		10.44	4,6-0,1 = 4,5	4,6-0,3 = 4,3
		18:44	Nº 1051	
		10.59	4,0-0,5=4,5	No 1051
		19.38	1933	1031
6	28 янв	16.53	<u>4,0-0,1 = 4,5</u> № 1955	<u>4,0 ° 0,3 − 4,5</u> № 1051
Ŭ	20 1110	10.55	4.5-0.1 = 4.4	4.4-0.3 = 4.1
		18:01	№ 1051	
			4,4-0,3 = 4,1	
		19:46	№ 1955	Nº 1051
_	10.1	16.40	4,5-0,1 = 4,4	4,4-0,3 = 4,1
1	10 фев	16:40	Nº 1955	Nº 1051
		17.45	4,2-0,1=4,1	4,2-0,3 = 3,9
		17.45	42-03 = 39	
		19.40	<u>+,2-0,5 5,5</u> № 1955	№ 1051
		17.10	4,3-0,1 = 4,2	4,2-0,3 = 3,9
8	22 фев	17:17	Nº 1955	Nº 1051
	, î		4,0-0,1 = 3,9	4,0-0,3 = 3,7
		18:25	№ 1051	
		20.02	4,0-0,3=3,7	Nr 1071
		20:02	$N^{\circ} 1955$	$\mathbb{N}^{\underline{0}} = 1051$
			4,0-0,1=3,9	4,0-0,3 = 3,7

Следствием вышесказанного является сохранение однородности накопленных рядов о температуре грунта на станциях с произведённой заменой эбонитовых футляров на полиэтиленовые.

Общие выводы:

- Выявлены существенные различия в температуре грунта на старой и новой площадках под естественным покровом; причиной этого могут служить микроклиматические различия в почвенном профиле и влияние подземного источника тепла (теплотрассы) на температуру на старом участке;
- Профильные измерения на территории МО МГУ в пахотном слое не выявили значительного горизонтального градиента температуры по направлению к предполагаемому источнику тепла;
- По предварительным результатам сравнительного эксперимента определён поправочный коэффициент к среднегодовым значениям температуры на старой площадке под естественным покровом на глубинах 20 см, 160 см и 320 см за период с 1955 по 1965 гг.;
- Внедрение на сети защитных футляров вытяжных почвенно-глубинных термометров нового образца из ПНД не влияет на точность измерений температуры грунта, несмотря на больший по сравнению с эбонитом коэффициент теплопроводности у материала ПНД;
- Инструментальные заводские поправки к термометрам ТМ-10 могут быть неточными и нуждаются в тщательной проверке в подразделениях Росгидромета.

Литература

Быховец С.С., Сороковиков В.А. и др. История наблюдений за температурой почвы на сети метеорологических станций России. Криосфера Земли, 2007. Т. XI, № 1. С. 7–20.

Кедроливанский В.Н. Метеорологические приборы. М., издательство ГУГМС, 1937, 318 стр.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1. Л., Гидрометеоиздат, 1969.

Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам. Л., Гидрометеоиздат, 1971.

Справочник по климату СССР. Вып. 8. Москва, Гидрометеоиздат, 1964.

20. Особенности архива данных биологически активной УФ радиации версии 3 *Жданова Е.Ю., Чубарова Н.Е.*

Измерения эритемной УФ-радиации в Метеорологической Обсерватории МГУ осуществляются с 1999 года приборами типа UVB-1 YES, которые отличаются высокой стабильностью и удобством при проведении мониторинга УФ-радиации, и поэтому широко используются в мире (Чубарова, 2002). UVB-1 YES является широкополосным прибором с кривой спектральной чувствительности близкой к эритемной кривой действия. Важной конструктивной особенностью прибора является его температурная стабилизация при T=45°C. Главными источниками погрешностей измерения УФ-радиации приборами данного типа служат различия между спектральной кривой прибора и эритемной кривой действия, а также отклонения от закона косинуса. Поэтому согласно рекомендациям ВМО и разработанным в МО МГУ методам (Чубарова, 2002) при обработке данных регистрации широкополосных приборов вводятся необходимые поправки.

Последовательность обработки данных эритемной УФ-радиации в МО МГУ такова: на первом этапе формируются стандартные таблицы с часовыми дозами эритемной УФрадиации (Q_{er}), полученными с помощью переводного множителя при высоте Солнца 30° и общем содержании озона 300 DU (данные версии 1). Далее вводится поправочный коэффициент, учитывающий спектральную погрешность приборов, зависящий от высоты Солнца и общего содержания озона. Информацию по общему содержанию озона позволяют получить данные спутникового радиометра ОМІ. Кроме того, учитывается косинусная поправка, которая вводится при часовой сумме прямой радиации выше 1 МДж/м². В результате создается база данных измерений эритемной УФ-радиации версии 2 с часовым разрешением (Chubarova 2008).

В ходе дополнительных исследований, выполненных в 2012 году, было показано, что температурная стабилизация старой модели UVB-1 YES 90-х годов (к которой относится, в частности, регистратор UVB-1 №920602), не осуществляется в полном объеме и наблюдается остаточная температурная зависимость, которая может оказывать существенное влияние на измерения прибора.

На рис.20.1 показаны отношения между измерениями контрольного (№060904) и регистрирующего (№920602) приборов, полученные по минутным данным измерений в

сентябре и ноябре 2012 г. В показания приборов дополнительно были введены косинусная и спектральная поправки. Видно, что при низких высотах Солнца, которые в ноябре соответствовали пониженным значениям температуры воздуха, различия между показаниями приборов могли составлять 20-30%. Вследствие этого была дополнительно исследована зависимость температуры прибора №920602 от температуры воздуха.



Рисунок 20.1 - Соотношения минутных измерений приборов №920602 и №060904 в сентябре, ноябре 2012 года.

На рис.20.2 представлена зависимость температуры UVB-1 YES №920602 от температуры воздуха на высоте 2 м.



Рисунок 20.2 - Зависимость температуры прибора (Т №920602) от температуры воздуха (T air) в 2012 г.

Из рис.20.2 хорошо видно, что при уменьшении температуры воздуха до 15° и менее, происходят значительные изменения температуры прибора, что сказывается на качестве измерений УФ-радиации.

Для того чтобы ввести необходимые поправки в измерения регистрирующего прибора, используя данные одновременных измерений контрольного прибора в 2012 году (рис.20.3), было получено эмпирическое выражение для расчета скорректированной величины эритемной УФ-радиации Q(v3) в зависимости от температуры прибора:

$$Q(v3) = Q(N_{2}920602) / (0.000358 * T^{2} (N_{2}920602) - 0.014366 * T (N_{2}920602) + 0.86008)$$
(20.1)

где Q(№920602) - суммарная эритемная УФ-радиация, измеренная регистратором №920602, T (№920602) – температура прибора №920602.



Рисунок 20.3 - Отношение минутных одновременных измерений приборов в мае, сентябре и ноябре в зависимости от температуры прибора №920602 в 2012 г.

Поскольку в течение периода измерений с 1999 года не всегда велась регистрация температуры прибора, то коррекция измерений эритемной УФ-радиации осуществлялась по температуре воздуха. Для этого дополнительно использовалась регрессионная связь между температурой регистрирующего прибора и температурой воздуха (рис.20.4).

Зависимость температуры прибора №920602 от температуры воздуха (T air< 15°) аппроксимировалась линейной функцией:

$$T (N_{2}920602) = 0.834 * Tair + 35.20, \tag{20.2}$$

где Т (№920602) – температура прибора №920602,

Tair – температура воздуха на высоте 2 м, °С.

В результате была проведена коррекция всего архива наблюдений версии 2 и создан новый архив суммарной эритемной УФ-радиации версии 3 - Q_{er} (v3), скорректированный на температуру прибора.



Рисунок 20.4 - Зависимость температуры прибора №920602 от температуры воздуха.

На рис.20.5 показаны месячные суммы эритемной УФ-радиации средние за период 1999-2012 гг. в соответствии с архивом версии 2 и новым архивом версии 3. Разница между месячными суммами эритемной УФ-радиации старого и нового архивов изменяется от 0-1% летом до 20-30% зимой.



Рисунок 20.5 - Месячные суммы эритемной УФ-радиации, осредненные за 1999-2012 годы в соответствии с архивом версии 2 и архивом версии 3 с доверительным интервалом 95% (левая ось). Delta – относительная разница между данными архива версии 2 и версии 3 (правая ось).

Таким образом, получены эмпирические зависимости, позволяющие скорректировать данные измерений старой модели прибора UVB-1 с остаточной температурной зависимостью. При этом возможно два варианта действий: если доступны измерения температуры прибора, то для коррекции можно использовать непосредственно эти измерения. Если по каким-то причинам температура прибора неизвестна, то можно использовать температуру окружающего воздуха. Видно, такую ЧТО коррекцию необходимо вводить при температуре менее 15°С. Наибольшая погрешность измерений наблюдается в зимние месяцы года. В летние месяцы оба архива практически идентичны, хотя в холодные дни с температурой порядка 10°С поправка может достигать 10%.

Литература:

Чубарова Н.Е. Мониторинг биологически активной УФ радиации в Московском регионе. Известия РАН «Физика атмосферы и океана» т.38,№3, 2002, стр. 354-365

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