



**ЭКОЛОГО - КЛИМАТИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ В 2011 г.
ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ МГУ**

Москва, МАКС-Пресс, 2012
ISBN 978-5-317-04010-9

**Environmental and climate characteristics
of the atmosphere in 2011
according to the measurements
of the Meteorological Observatory
of Moscow State University**



MOSCOW – 2012

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

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ имени А.М. ОБУХОВА РАН

**ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ В 2011 г.
ПО ДАННЫМ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ МГУ**

Коллектив авторов:

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 редакцией Н.Е. Чубаровой



МОСКВА – 2012

УДК 551.5
ББК 26.237
Э40

Коллектив авторов:

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 редакцией Н.Е. Чубаровой

**Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2011 г. по
Э40 данным метеорологической обсерватории МГУ/ Беликов И.Б. и др.;**
Под ред. Чубаровой Н.Е. – М.: МАКС Пресс, 2012. – 230 с.
ISBN 978-5-317-04010-9

В данной публикации приведены основные закономерности изменения различных характеристик атмосферы в 2011 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 маршрутных съемок 2011 г., на основании которых получены закономерности пространственного распределения аэрозольных характеристик и солнечной радиации в нескольких спектральных диапазонах. Анализируются пространственные особенности химического состава снежного покрова в Москве и Подмосковье.

УДК 551.5
ББК 26.237

Authors:

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

Edited by N.Ye. Chubarova

**Environmental and climate characteristics of the atmosphere in 2011 according to
the measurements of the Meteorological Observatory of Moscow State University. –
Moscow, MAKS Press, 2012. – 230 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 field experiment, fulfilled in 2011, which were used to evaluate spatial distribution of aerosol characteristics and solar irradiance in several spectral ranges. The spatial characteristics of snow cover chemical composition in Moscow and in Moscow region are also studied.

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 978-5-317-04010-9

© Коллектив авторов, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Об издании. <i>Н.Е. Чубарова</i>	7
Часть I. Оценка эколого-климатических характеристик в Москве	
в 2011 г. по данным метеорологической обсерватории (МО) МГУ	9
<i>А. Метеорология</i>	
1. Температура воздуха и её аномалии. <i>П. И. Константинов, М.А. Локощенко</i>	10
2. Температура грунта на глубинах до 320 см. <i>И.А. Корнева</i>	22
3. Промерзание грунта. <i>М.А. Локощенко</i>	30
4. Снежный покров. <i>М.А. Локощенко</i>	38
5. Влажность воздуха и атмосферные осадки. <i>П. И. Константинов</i>	46
6. Атмосферное давление. <i>П. И. Константинов</i>	52
7. Особенности ветрового режима в нижнем 500-метровом слое воздуха над Москвой. <i>М.А. Локощенко</i>	55
8. Особенности облачного покрова и продолжительности солнечного сияния. <i>Е.В. Горбаренко</i>	65
9. Первые результаты сопоставлений стандартных метеорологических измерений и данных автоматической станции Vaisala. <i>П. И. Константинов</i>	71
<i>Б. Атмосферная радиация</i>	
10. Характеристики прозрачности атмосферы и составляющие радиационного баланса. <i>Е.В. Горбаренко</i>	78
11. Особенности режима фотосинтетически-активной радиации. <i>О.А. Шиловцева</i>	91
12. Особенности режима естественной освещенности. <i>О.А. Шиловцева</i>	111
13. Особенности режима УФ радиации 300-380нм. <i>Е.И. Незваль</i>	123
14. Характеристика режима биологически-активной эритемной радиации. <i>Н.Е. Чубарова</i>	136

15. Режим нисходящей длинноволновой радиации.

Е.И. Незваль, Н.Е. Чубарова 146

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

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

Н.Е. Чубарова 155

17. Химический состав осадков. *И.Д. Еремина* 165

18. Малые газовые и аэрозольные примеси в приземном воздухе. *И.Б. Беликов, Р.А. Шумский* 172

19. Интегральное содержание NO₂ в пограничном слое атмосферы. *В.А. Иванов, И.Б. Беликов, А.С. Елохов, О.В. Постыляков* ... 189

Часть II. Некоторые результаты маршрутных измерений по территории Москвы и

Подмосковья весной 2011 г. 198

20. Оценки пространственных вариаций аэрозольной оптической толщины атмосферы. *Е.И. Незваль, Н.Е. Чубарова, Е.В. Горбаренко, М.А. Локощенко* 199

21. Пространственные особенности распределения солнечной радиации в различных спектральных интервалах в условиях городской застройки.

Н.Е. Чубарова, О.А. Шиловцева, Е.В. Горбаренко, В.А. Розенталь, П.И. Константинов 208

22. Оценка пространственных закономерностей химического состава снежного покрова в Москве и Подмосковье. *И.Д. Еремина* 221

Об издании

Мы продолжаем серию публикаций результатов измерений эколого-климатических 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 2011 году, их анализе, сопоставлении с результатами измерений в предшествующие годы и выявлении наиболее интересных тенденций в изменении различных метеорологических, радиационных, экологических параметров атмосферы.

Кроме того, в 2011 году сотрудниками МО МГУ были проведены интересные экспериментальные исследования по выявлению особенностей пространственного распределения некоторых важных экологических и радиационных характеристик атмосферы. Анализ этого материала приводится во второй части издания.

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

Работа выполнялась в рамках федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" по лоту "Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы" (шифр "2010_1.1_220_037", государственный контракт № 02.740.11.0676).

Программа наблюдений МО МГУ.

Метеорологическая обсерватория МГУ ($\varphi = 55^{\circ}42'$ с.ш., $\lambda = 37^{\circ}30'$ 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 AERONET. 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 доплеровского содара “MODOS”. С 2008 года в рамках сотрудничества со швейцарским институтом ETH и Давосской обсерваторией PMOD/WRC начаты прецизионные измерения нисходящей длинноволновой радиации. Более подробную информацию о наблюдениях, проводимых в метеорологической обсерватории, можно найти на сайте <http://momsu.ru>.

Все измерения 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 I.

Оценка эколого-климатических характеристик в Москве в 2011 г. по данным метеорологической обсерватории (МО) МГУ

Температура воздуха и ее аномалии в 2011 году.

П.И. Константинов, М.А. Локощенко

Предваряя непосредственно обсуждение аномалий температуры воздуха, необходимо сказать несколько слов относительно климатических значений, с которыми и сравниваются термические характеристики воздуха. В настоящий момент в отечественной гидрометеорологии, традиционно, согласно отдельным рекомендациям ВМО, «современным климатом» считаются осредненные метеорологические характеристики за 1961-1990 годы. Тем не менее, на фоне современных изменений климата, формально, согласно тем же руководящим документам возможно использование климатических данных за последние 30 лет, то есть за период 1981-2010 годы. Поэтому в данном обзоре, несмотря на формальное сравнение с нормами первого из вышеописанных периодов, также будет рассмотрено как климатические нормы соотносятся между собой.

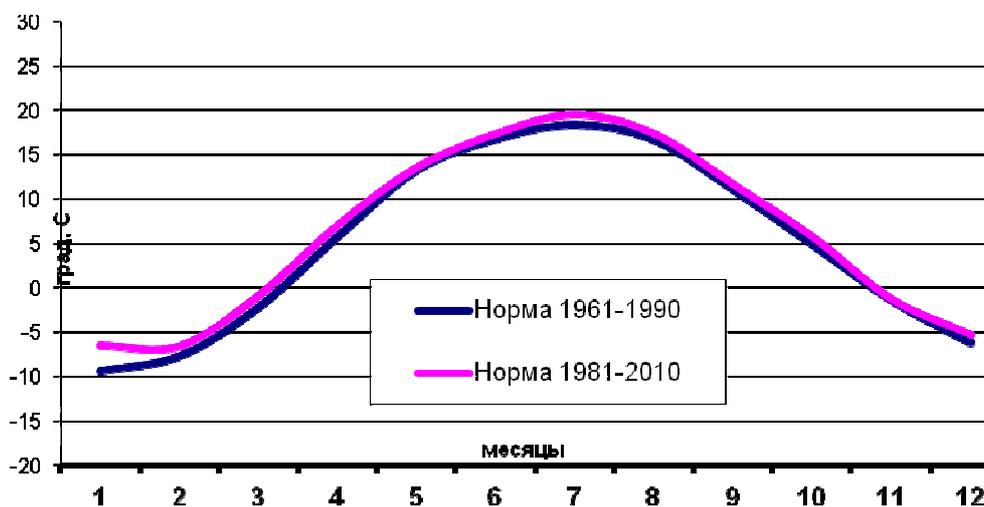


Рис 1.1 Сравнение между собой климатических норм 1961-1990 и 1981-2010 годов соответственно (Справочник..., 2003)

На рис.1.1. показано сравнение средних месячных значений температур для «старой» и «новой» климатической нормы. По данным наблюдений в период 1981-2010 годов в

обсерватории МГУ самым холодным месяцем года в Москве является февраль (его средняя температура составляет $-6,6^{\circ}\text{C}$), ранее это был январь, но за счет теплых зим последних лет основной период морозов чаще наблюдался в конце календарной зимы. Самым тёплым — июль(средняя температура $+19,5^{\circ}\text{C}$).

Таблица 1.1 Сравнение климатических норм 1961-1990 и 1981-2010 годов

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средне-сячная температура (климатическая норма 1981-2010)	-6,5	-6,6	-0,9	7,0	13,5	17,3	19,5	17,3	11,6	5,7	-1,3	-5,3	5,9
Средне-сячная температура (климатическая 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
Аномалия нормы 1981- 2010 год	2,9	1,2	1,3	1,2	0,2	0,3	1,2	0,6	0,5	0,8	0,1	0,9	0,9

В среднем, год стал теплее на 0,9 градуса, что по-видимому связано с чередой экстремально жарких лет, наблюдавшихся в последние 10-15 лет.

Теперь перейдем непосредственно к обсуждению изменений температуры воздуха за 2011 год.

Мониторинг температуры воздуха за прошедший год представляет собой довольно заметный интерес, поскольку лето 2011 года в столичном регионе оказалось жарким, хотя и не таким как одиозное лето 2010 года.

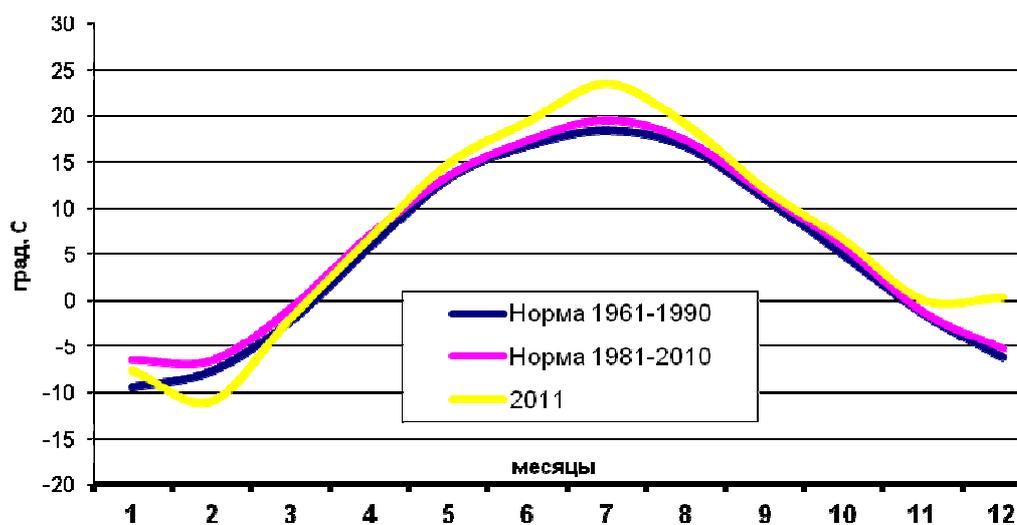


Рисунок 1.2 Среднемесячная температура воздуха в 2011 года в сравнении с климатическими нормами за 1901-2000 и 1961-1990 годы.

Рассмотрим среднемесячную температуру воздуха, приведенную на рис.1.2. Самым ярким летним событием явилось превышение средней температуры июля на 5,3 (!) градусов - +23,6 градуса против климатических +18,3 С. Впрочем, превышены были климатические нормы практически всех месяцев теплого периода. Холодный же период выдался далеко не таким однозначным. К примеру, февральская температура оказалась ниже нормы на 3,1 градуса. А вот последний квартал оказался заметно более теплым, нежели обычно. Декабрь оказался заметно теплее нормы (почти на 6 градусов), что хорошо видно на рис. 1.2 – , а в ноябре среднемесячная температура оказалась положительной.

Таблица 1.2 Среднемесячная температура воздуха в 2011 году и климатическая норма.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Абсолют-ный максимум, 2011	1,0	1,3	8,1	22,9	27,6	30,8	33,9	31,7	20,9	20,9	8,2	7,5	33,9
Абсолют-ный минимум, 2011	-16,9	-23,9	-15,2	-5,1	1,6	10,3	15,0	9,8	4,9	0,0	-9,7	-7,7	-23,9
Средне-сячная температура воздуха 2011 год	-7,6	-10,9	-1,9	6,7	14,9	19,4	23,6	19,9	12,1	6,5	0,1	-0,4	6,9
Средне-сячная температура (климатическая 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
Аномалия 2011 год	1,8	-3,1	0,3	0,9	1,6	2,4	5,3	3,2	1,0	1,6	1,5	5,8	1,9

В среднем же, год оказался более теплым, чем обычно (положительная аномалия составила $+1,9^{\circ}\text{C}$ – за счет экстремально теплого лета. Годовая амплитуда температуры, характеризующая различия средних месячных температур в течение года в 2011 году не превысила 25°C ($+24,5$), в то время, как ее климатическое значение, рассчитанное за период 1961-1990 гг. составляет $27,8^{\circ}\text{C}$. Абсолютная амплитуда температур за 2011 год составила, согласно таблице 1.2, $57,6^{\circ}\text{C}$

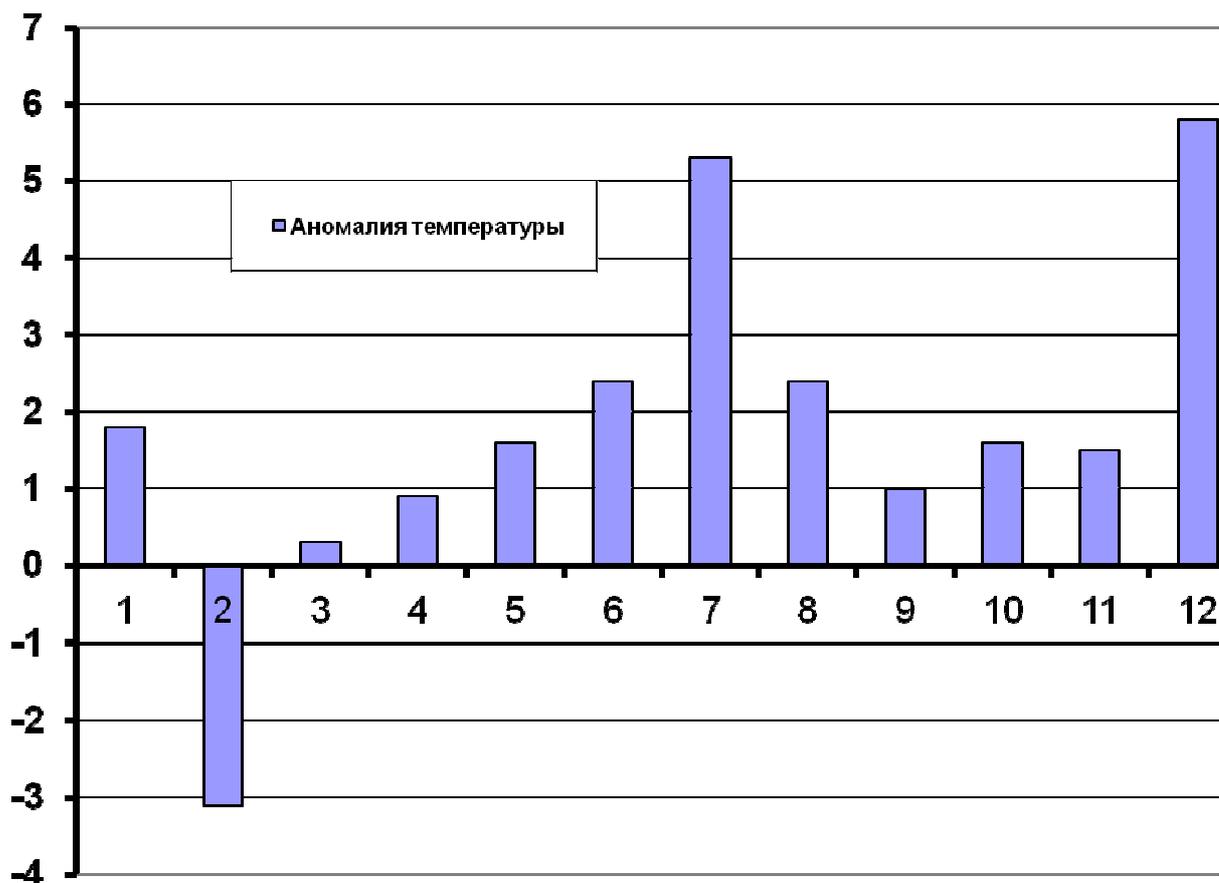


Рисунок 1.3. Среднемесячная аномалия температура воздуха в 2011 году

Наиболее высокие среднесуточные значения температуры в 2011 году колеблются в интервале от +28 до +31,5 градуса. По климатическим же нормам, самая высокая среднесуточная температура наблюдается 13 июля, и составляет +19,4 градуса.

Новые термические показатели

Переходы через 0 градусов. Согласно СНИП 23-01-99, один из важных параметров строительной климатологии. 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 2011 году количество таких переходов составило 83, что, по-видимому, связано с отсутствием майских возвратов холодов и длинной и теплой осенью.

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

Таблица 1.3 Среднемесячная температура воздуха в 2011 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

Рекордные показатели лета 2011 года

Лето 2011 года в целом выдалось очень жарким. Как видно из Таблицы 1.4, Т в течение всех трёх месяцев была заметно выше, чем в среднем за 30 лет. При этом наибольшее отклонение от нормы – на 5,2 °С – пришлось на центральный месяц сезона (июль). В июне же и в августе превышение нормы в целом за месяц составило около двух с половиной °С. В целом же, прошедшее лето оказалось теплее обычного на 3,4 °С.

Таблица 1.4. Средние значения температуры воздуха летом 2011 года
и в сравнении с климатической нормой 1961-1990 гг, °С.

Период:	1961-1990 гг.	2011 г.
Июнь:	16,8	19,4
Июль:	18,4	23,6
Август:	16,7	19,1
Всё лето:	17,3	20,7

Заметим, что вплоть до недавнего времени температурные условия летних месяцев в Москве оставались устойчивыми во времени. Так, математическое ожидание средней летней температуры воздуха T по выборке 1961-1990 гг. составляет $+17,34$ °С, тогда как по выборке 1780-2010 гг., охватывающей результаты всех известных нам регулярных наблюдений, – очень близкое значение $+17,24$ °С. Заметное потепление в летние месяцы началось лишь в последние десятилетия и лишь частично отражено в действующей до сих пор климатической норме 1961-1990 гг. Заметим также, что стандартное отклонение средней летней T за отдельный год составляет одно и то же значение $\pm 1,4$ °С (с точностью до сотых долей) по обеим выборкам. Это даёт представление о том, насколько большим оказалось отклонение T в целом за лето 2011 года по сравнению со средними значениями для этого сезона: около $(2,4 \cdot \sigma)$. Действительно, за всю 230-летнюю историю регулярных измерений лето 2011 года оказалось на четвёртом месте (рис.1.4) в ряду самых жарких лет – после лишь 2010-го ($+22,57$ °С), 1784-го ($+21,33$ °С) и 1972-го ($+21,3$ °С) годов. Заметим, что данные измерений в 1784 году менее надёжны по сравнению с остальными приведёнными выше вследствие методической неопределённости условий их проведения, в частности – отсутствия сведений о способе затенения термометра. Не исключено, что они могли быть немного завышены. Следующее, пятое лето в порядке убывания средней температуры, наблюдалось в Москве лишь в 1841 году ($+20,5$ °С).

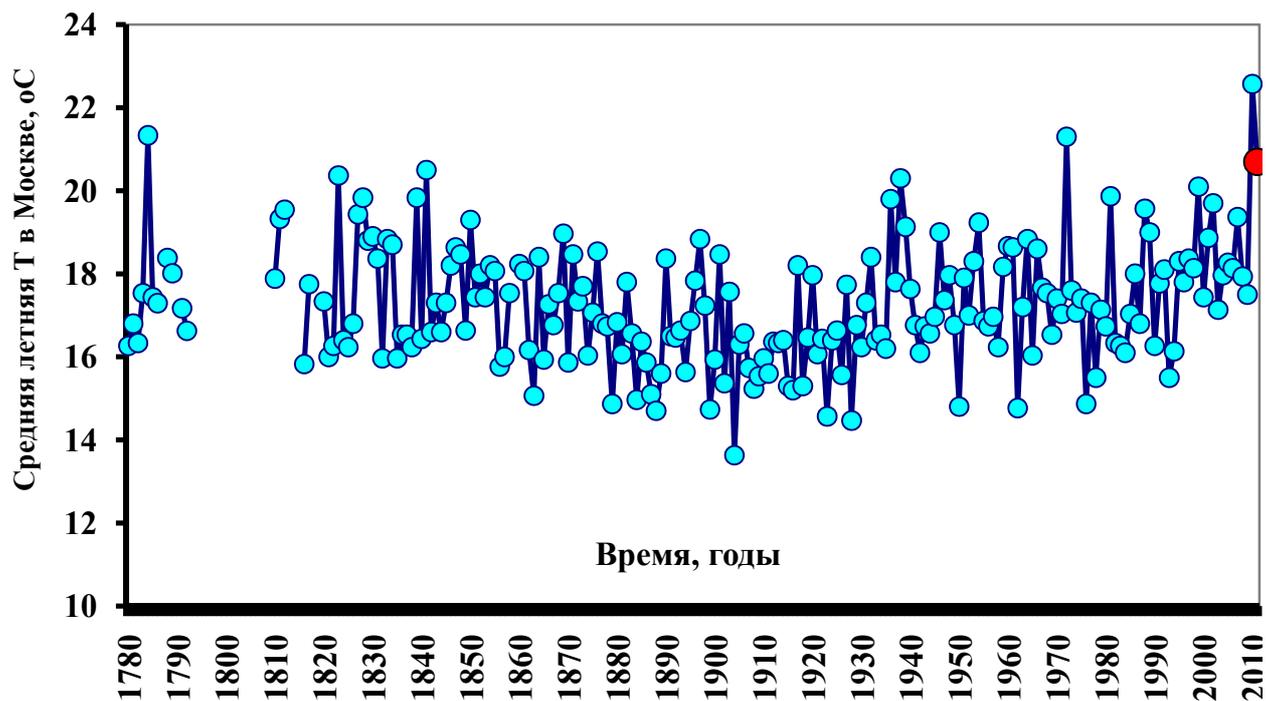


Рисунок 1.4 - Вековой ход средней летней температуры в Москве. Значение 2011 года показано красным кружком.

Июнь и август, хотя и выдались очень тёплыми месяцами, оказались, тем не менее, далеки от рекордных значений в температуре воздуха. Аномально жаркий характер лета 2011 года в целом объясняется, прежде всего, необычно жарким июлем. Этот месяц оказался почти рекордным по температуре воздуха, превысив среднемесячное значение июля 2002 года (+23,4 °С) и оказавшись на втором месте в ряду самых жарких лет за всю историю метеорологических наблюдений в столице после только июля предыдущего 2010 года (+26,4 °С). Заметим, что следующий, четвёртый по счёту в порядке убывания T июль (+23,3 °С) наблюдался в Москве по данным ТСХА (ныне – Обсерватория имени Михельсона) в далёком 1938 году. Как видим, три самых жарких июля за последние 230 лет (и четыре из пяти с учётом 2001 года) наблюдались в столице за последние 11 лет уже в XXI веке, что наглядно подтверждает действие современного потепления климата.

Как видно на рис.1.5, среднесуточная температура воздуха $T_{\text{ср}}$ летом 2011 года превышала климатическую норму для данного дня в течение целых 80 дней (!), и лишь 12 дней оказались отмечены значениями ниже нормы. Редкие перерывы в жаре пришлись на 7-е, 14-е, 17-е и 21-е июня, а также на периоды со 2-го по 5-е, с 10-го по 11-е, 21-е и 24-е августа. Примечательно, что, начиная с 22-го июня и по 1-е августа включительно, в

течение 41 дня, среднесуточная температура превышала климатическую норму этого показателя непрерывно, в том числе – в течение всего июля.

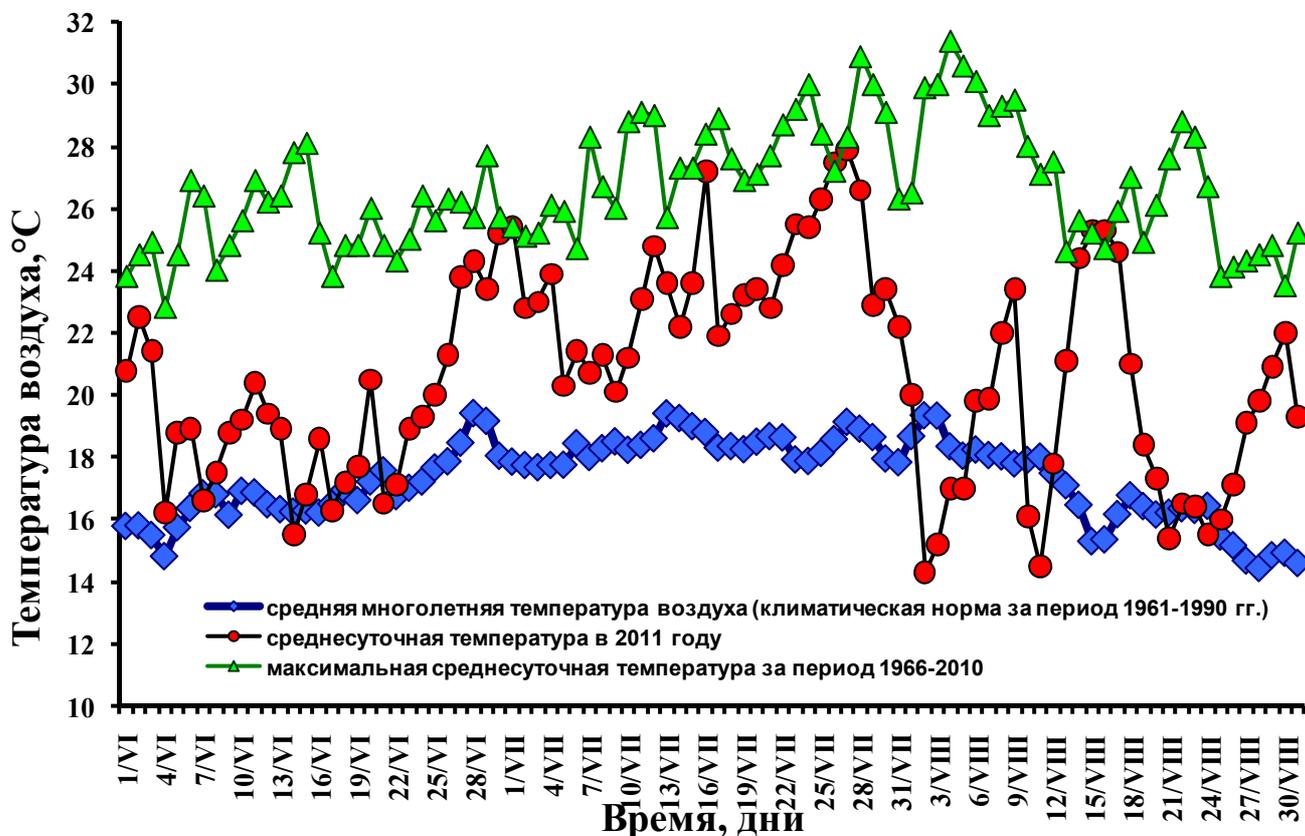


Рисунок 1.5 - Ход среднесуточной температуры летом в Москве в 2011 году и в среднем за последние десятилетия.

Самыми жаркими днями летом 2011 года явились 16-е, а также 26-е и 27-е июля. В течение этих трёх дней среднесуточная температура воздуха превышала +27 °С, а 27-го июля достигла максимума за 2011 год: +27,9 °С.

Интересно заметить, что среднесуточная температура воздуха T_{cp} в продолжение лета 2011 года трижды – 26 июля, 15 и 16 августа – превысила абсолютный максимум этого показателя по станции МГУ за период с 1966 по 2010 гг., включая даже аномальную жару 2010 г., а ещё один раз – 1 июля – повторила прежний рекорд (+25,4 °С). Если же исключить из рассмотрения аномально жаркое лето 2010 г., то, по сравнению с периодом 1966-2009 гг., наблюдалось шесть превышений и ещё два повторения прежних рекордов в среднесуточной температуре воздуха. Самое большое превышение прежнего рекорда T_{cp} наблюдалось 16 августа, когда T_{cp} составила в 2011 году +25,3 °С. Это – на 0,6 °С больше

прошлогоднего значения $T_{\text{ср}}$ в этот день и на целых $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ больше рекордно высокого для этого дня значения $+23,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ за период с 1966 по 2009 гг.

Если самым жарким днём лета 2011 года в значениях $T_{\text{ср}}$ было 27-е июля, то максимальная температура воздуха $T_{\text{МАХ}}$ достигла своего максимума на следующий день 28-го числа, составив $+33,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. На рис.1.6 приведён ход значений $T_{\text{МАХ}}$ за каждый отдельный день. Как видно, в течение 14 дней в 2011 году $T_{\text{МАХ}}$ достигала в Москве $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше. На этом же рисунке для сравнения с условиями 2011 года приведены абсолютные рекорды максимальной температуры воздуха за каждый отдельный день по данным наблюдений за период 1879-2010 гг. и, отдельно, за период 1879-2009 гг. Как видно, в самый жаркий день минувшего лета 28-го июля значение $T_{\text{МАХ}}$ не стало рекордным, поскольку в этот же день в 2010 году максимальная температура воздуха была ещё выше: $+37,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Единственное рекордное значение $T_{\text{МАХ}}$ в 2011 году было отмечено значительно позднее – 15 августа, когда она составила $+31,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. До сих пор рекордно высоким значением максимальной температуры воздуха для этого дня, начиная с 1879 года, оставалось значение $+30,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

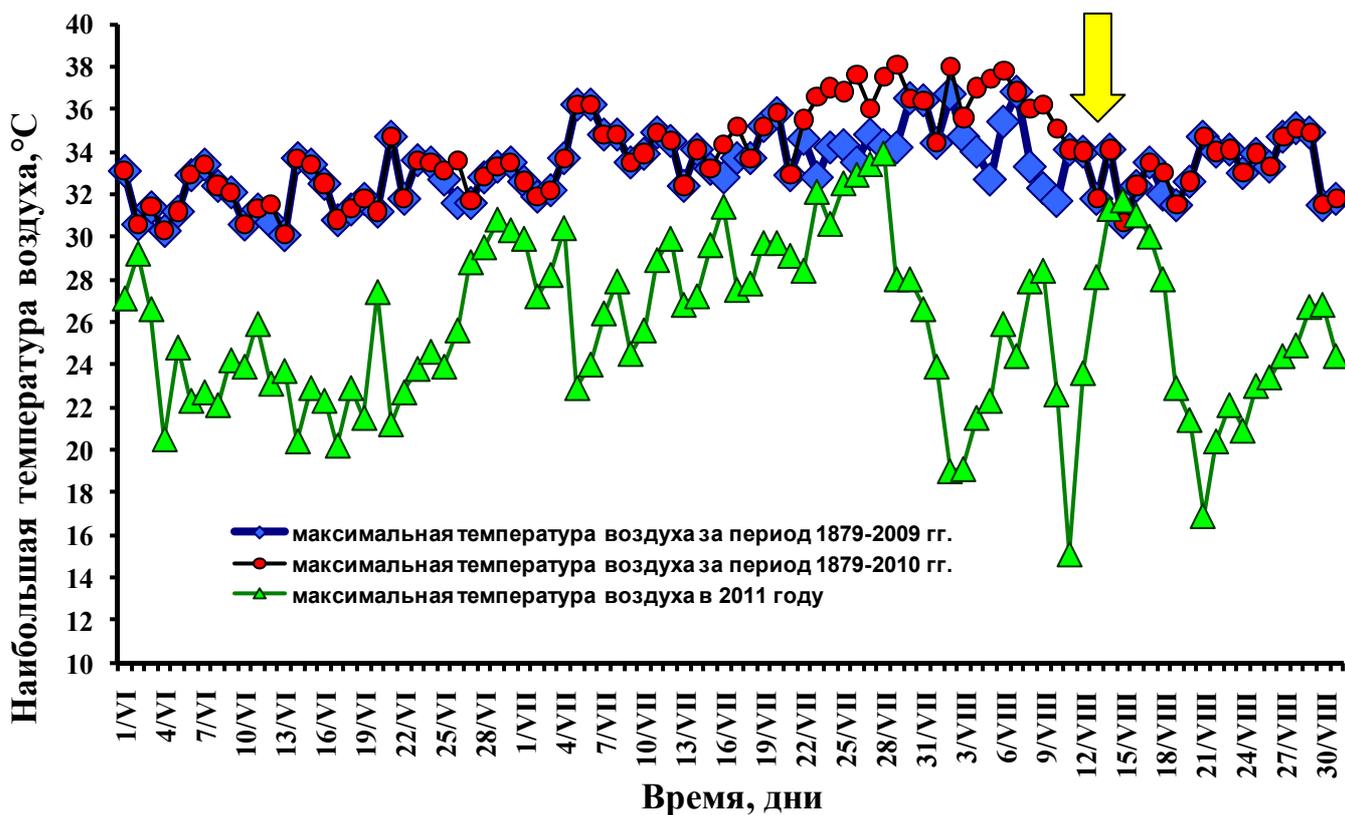


Рисунок 1.6 - Ход максимальной температуры летом в Москве в 2011 году и за последние 133 года. Новый рекорд показан жёлтой стрелкой.

Исходя из изложенных результатов метеорологических наблюдений, температурный режим 2011 года можно охарактеризовать следующим образом:

1. Среднегодовая температура воздуха превысила норму на 1,9 градуса, причем в основном за счет теплого периода года. В феврале среднемесячная температура воздуха была ниже климатической нормы.
2. Несмотря на менее засушливое лето, нежели в 2010 году, 2011 год стал теплее 2010 года (на 0,1 градуса)
3. Минувшее лето 2011 года оказалось исключительно жарким. За всю историю метеорологических наблюдений в Москве средняя температура воздуха за все три летних месяца лишь трижды оказывалась ещё выше, чем в 2011 году. В значениях среднесуточной температуры воздуха было отмечено три новых суточных рекорда за последние 46 лет, а в значениях максимальной температуры воздуха – один новый суточный рекорд за последние 133 года.

Литература

СНИП 23.01.1999

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.

2. Температура грунта на глубинах до 320 см.

И.А. Корнева

2.1 – Общие сведения об измерениях температуры грунта в МГУ.

Большое значение в климатологии имеют измерения температуры не только воздуха на стандартной высоте 2 м над подстилающей поверхностью, но и грунта на различных глубинах. Данные о температуре почвы и грунта необходимы для решения многих прикладных задач: они используются в сельском хозяйстве, для разработки и уточнения строительных норм и правил (в частности, для определения оптимальной глубины заложения фундаментов зданий), при эксплуатации дорог и подземных коммуникаций, а также в других сферах деятельности.

В Метеорологической обсерватории МГУ с 1954 года ведутся непрерывные наблюдения за температурным режимом почвы и грунта на одиннадцати различных глубинах. Ежедневно проводятся следующие виды наблюдений:

- измерения срочной, максимальной и минимальной температуры поверхности почвы в стандартные сроки наблюдений (через каждые 3 часа);
- измерения температуры на глубинах 5, 10, 15, и 20 см коленчатыми термометрами Савинова на открытом участке в тёплое время года в стандартные сроки наблюдений;
- измерения вытяжными почвенно-глубинными термометрами на глубинах 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. 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 обнажённом участке). В тёплое время года так бывает всегда, однако 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. Участок с оголённой поверхностью площадью 12×20 м (рисунок 2.1) в МГУ не предусмотрен действующими Наставлениями Росгидромета и является долгосрочным научным экспериментом, начатым ещё в 1954 году – одновременно с основанием Метеорологической обсерватории. Такие

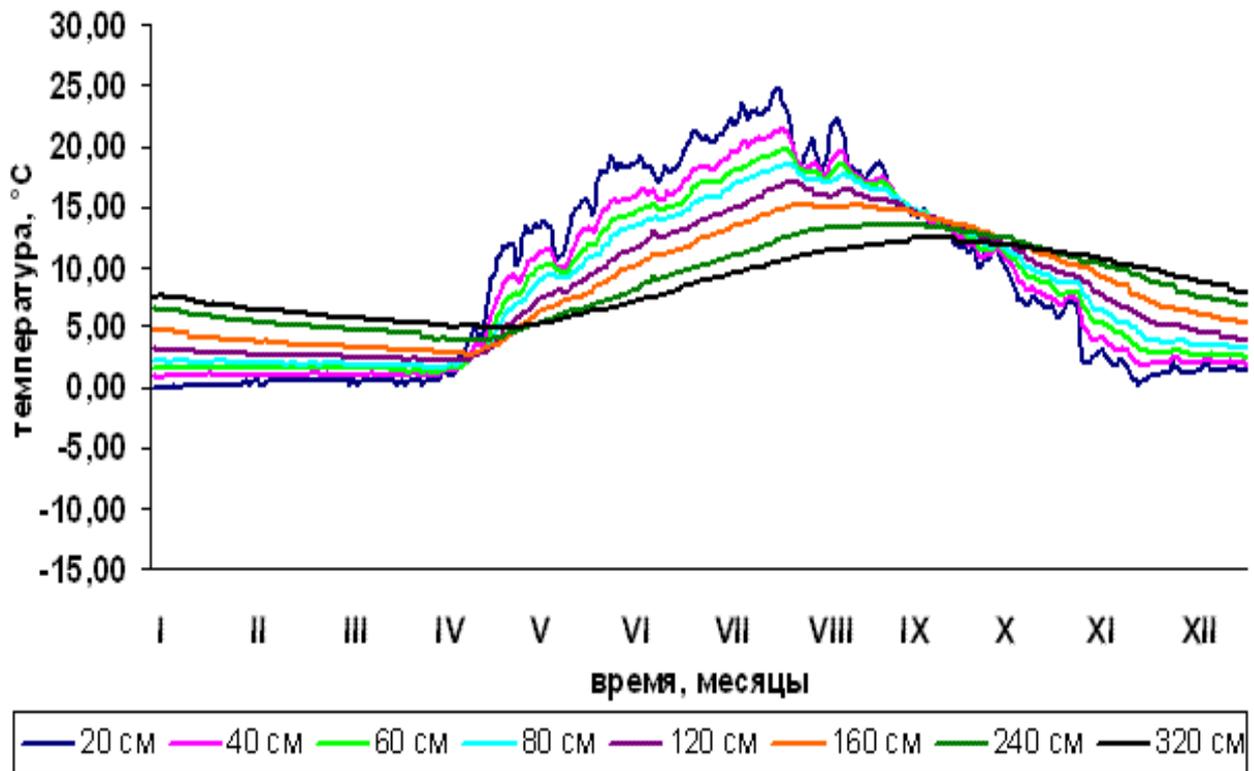
одновременные измерения температуры грунта на глубинах на двух различных участках являются, по-видимому, уникальными на всей территории России.



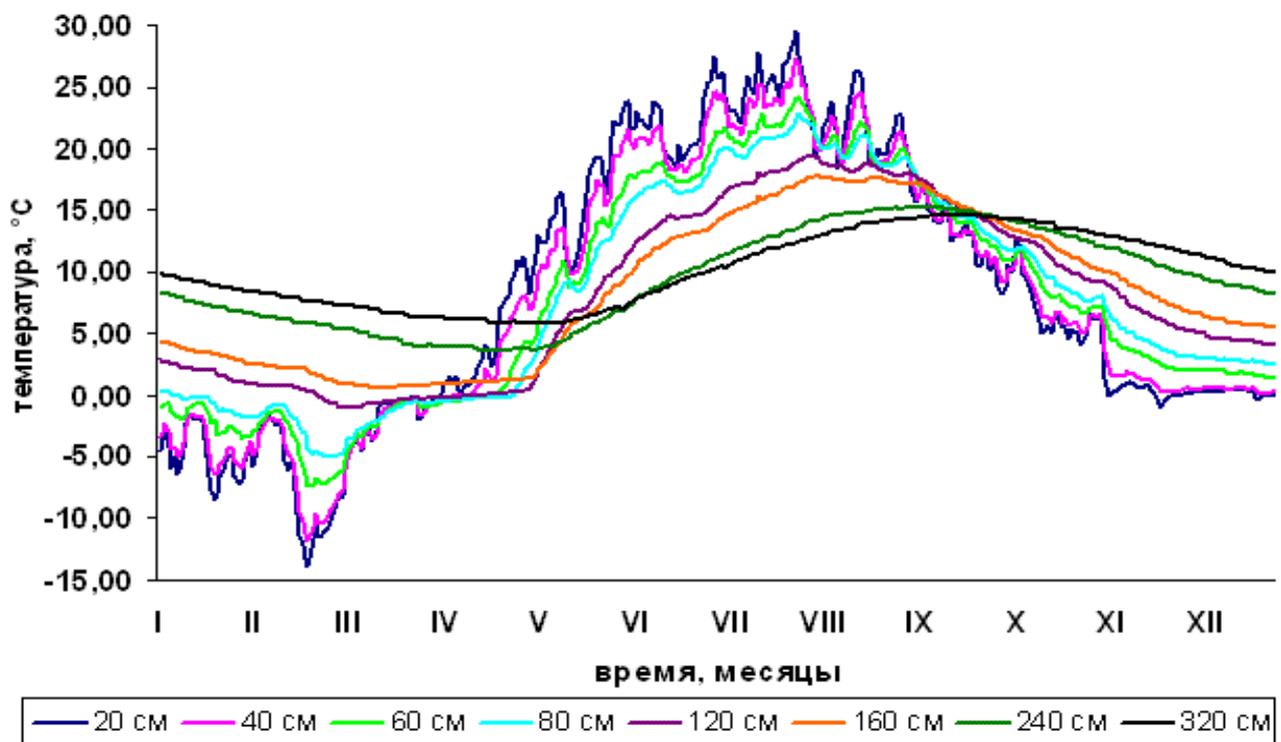
Рисунок 2.1. Участок с оголённой поверхностью в Метеорологической обсерватории МГУ.

2.2 – Основные особенности термического режима грунта в 2011 году.

Для анализа динамики температурного режима почвы и грунта в 2011 году рассмотрим на рис.2.2 годовой ход температуры на различных глубинах. Согласно законам Фурье амплитуда с глубиной постепенно уменьшается и, кроме того, происходит последовательное запаздывание любых температурных изменений пропорционально глубине, т.е. с ростом глубины максимумы и минимумы наступают позднее. Как видно из рисунка, точного соответствия законам Фурье не наблюдается. Так, минимумы в годовом ходе температуры грунта на глубине 20 и 40 см под обнажённой поверхностью наступили в один день - 19 февраля. Правда, выявление экстремумов в годовом ходе на столь малых глубинах не всегда однозначно и показательно, поскольку ход температуры грунта здесь сильно изрезан и характеризуется кратковременными (с периодами порядка несколько дней) изменениями, связанными с синоптическими условиями. Лишь на больших глубинах годовой ход становится более сглаженным, и его анализ – более надёжным.



а) под естественным покровом;



б) под обнажённой поверхностью.

Рисунок 2.2 - Годовой ход температуры на глубинах грунта за 2011 год по данным Метеорологической обсерватории МГУ.

Тем не менее, даже там запаздывание во времени отнюдь не всегда пропорционально глубине: так, на уровне 160 см минимум в годовом ходе (+0,6 °С) наступил 14 марта; на 240 см (+3,7 °С) – 20 апреля; на 320 см (+5,8 °С) – 1 мая. С учётом минимума температуры поверхности почвы в 2011 году (-24,11 °С), отмеченного 18 февраля, видно, что запаздывание с глубиной с последовательным шагом 80 см оказывается различным в разных слоях грунта (от 11 до 37 дней). К возможным причинам отклонения от закона Фурье можно отнести не только влияние синоптических условий, искажающих вид годового хода вблизи поверхности, но и термическую неоднородность почвы и грунта с глубиной.

Особенности годового хода на разных участках существенно различны. Во-первых, амплитуда колебаний температуры на всех глубинах под естественным покровом составляет около 25 °С, а под оголённым участком – уже 45 °С. Это можно объяснить большей передачей тепла в глубь почвы под обнажённой поверхностью, и соответственно, бóльшим откликом здесь на изменения температуры воздуха и поверхности, нежели на участке под естественным покровом (травяной покров и приповерхностный слой дернины в тёплое время года задерживает передачу тепла в более глубокие слои почвы, а снег зимой уменьшает охлаждение нижележащих слоёв). Этой же причиной объясняются и более резкие колебания в годовом ходе температуры почвы под обнажённой поверхностью по сравнению с естественным покровом.

Различия в температурном режиме грунта на обоих участках наглядно проявились и в средних значениях на одних и тех же глубинах. Под естественным покровом среднегодовая температура за 2011 год практически не меняется с глубиной, уже начиная с уровня 40 см. Наибольшее значение соответствует глубине 20 см. Под оголённым же участком, начиная с уровня 40 см, наблюдается тенденция к увеличению температуры с глубиной, достигая максимального значения на уровне 320 см (таблица 2.1).

На рисунке 2.3 значения температуры грунта в течение 2011 года на примере двух глубин (самой малой 20 см и самой большой – 320 см) сопоставлены со средним многолетним годовым ходом температуры на этих же глубинах за 45 лет. Заметим, что прошедший 2011 год характеризовался довольно холодной зимой и аномально жарким летом, что подтверждается наблюдениями за температурой воздуха. Температурный режим почвы, очевидно, должен отражать погодные условия 2011 года. На глубине 20 см

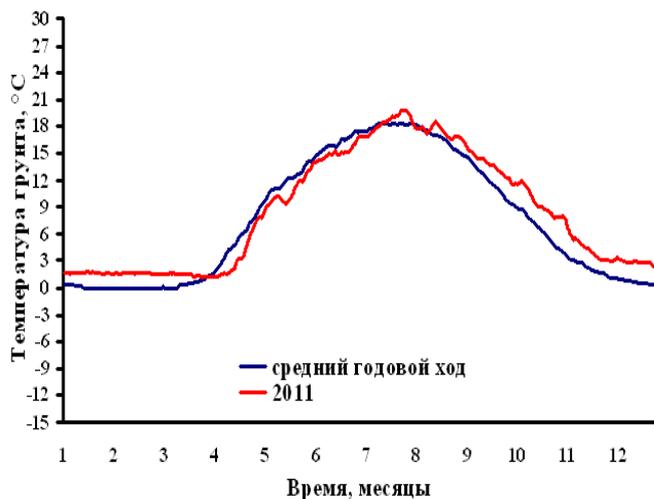
под естественным покровом (рисунок 2.3 а) температура грунта была ниже среднегодовой температуры весной и в начале лета, а в остальные месяцы - выше средних значений.

Таблица 2.1 Среднегодовая температура грунта на разных глубинах в 2011 г.

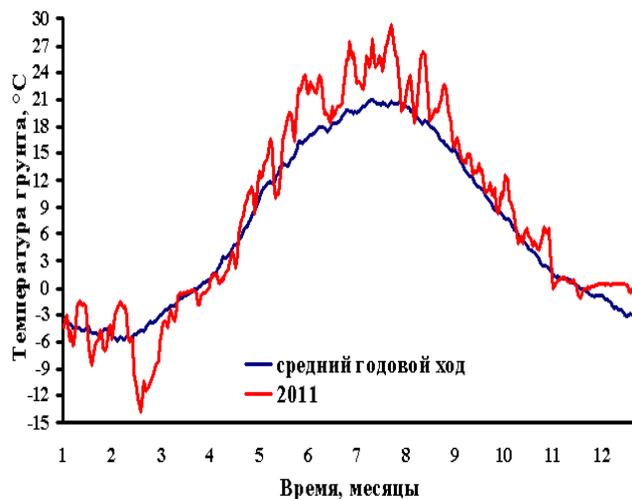
Глубина, см	Среднегодовая температура под естественным покровом, °С	Среднегодовая температура под обнажённой поверхностью, °С
20	8,9	8,1
40	8,5	7,8
60	8,5	7,8
80	8,5	7,9
120	8,4	8,1
160	8,5	8,5
240	8,5	9,4
320	8,5	10,1

Вероятно, сравнительно высокие зимние температуры здесь объясняются отепляющим влиянием снежного покрова, который в 2011 году был очень высоким (см. раздел 4) и держался довольно долго. По этой причине влияние холодной зимы 2011 года проявилось на данной глубине только лишь к весне. Под оголённым участком из-за большей теплопроводности зимние температуры 2011 года в среднем были ниже среднегодовых. В летние и осенние месяцы, как под оголённым, так и под естественным участком температура грунта на 20 см в 2011 году в связи с жарким летом превышала средние многолетние значения. На глубине 320 см (рисунок 2.3 в, г) температуры грунта на обоих участках в течение всего года оставались выше среднегодовых. На этом самом глубоком уровне, вероятно, зимнее похолодание не проявилось ввиду исключительно жаркого предыдущего лета 2010 – даже на участке под

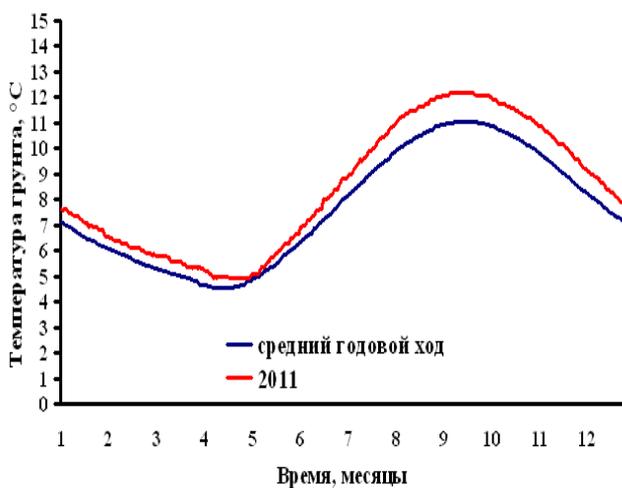
оголённой поверхностью. Аномально высокие значения температуры грунта после окончания жары у поверхности сохранялись на глубине 320 см на оголённом участке



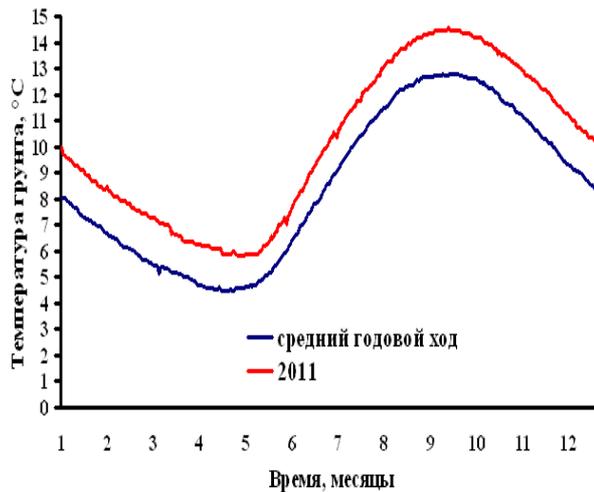
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.3 - Средний годовой ход температуры грунта за период с 1966 по 2010 и годовой ход за 2011 год: а) на 20 см под естественным покровом; б) на 20 см под обнажённой поверхностью; в) на 320 см под естественным покровом; г) на 320 см под обнажённой поверхностью.

вплоть до декабря 2010 года. Очевидно, что повышенный в целом фон температурных значений к началу зимы 2011 года определил превышение температуры здесь по сравнению со среднемноголетними значениями в продолжение всей зимы – несмотря на довольно морозную погоду и отсутствие здесь снега. В среднем за весь календарный год разность температуры грунта на глубине 320 см за каждый отдельный день в 2011 году и за предыдущие 45 лет составила +1,6 °С. В течение года эта разность менялась в пределах лишь от +2,0 °С до +1,0 °С. На участке же под естественной поверхностью, с учётом высокого снежного покрова, температура зимой 2011 года тем более была выше средней многолетней. Средняя разность температуры в 2011 году и в среднем за период 1966-2010 гг. составила под естественным покровом на глубине 320 см, по выборке 365 значений, +0,8 °С. Наименьшей эта разность оказалась 03 мая, составив чуть менее 0,1 °С. Заметим также, что отклонение от средних многолетних значений в 2011 году оказалось в целом существенно больше на оголённом участке, нежели на участке с естественным покровом.

2.3 – Многолетние изменения температуры грунта в Москве.

Как видим, значения температуры грунта на глубине 320 см были выше средних многолетних за все без исключения дни 2011 года – прежде всего, вследствие аномальной жаркой погоды летом и 2010, и 2011 годов. Высокие значения температуры на глубине 320 см видны и на графике многолетней динамики среднегодовых значений с 1957 года (рисунок 2.4). Как видно из рисунка, температура в 2011 году находится в ряду максимальных температур для естественного участка, и имеет также довольно высокое значение и для обнажённой поверхности. За весь период, представленный на графике, коэффициенты в уравнениях линейной регрессии на этом уровне измерений для обоих участков положительные, причём под оголённой поверхностью этот коэффициент (+0,03 °С/год) в 3 раза больше, чем под естественным покровом. Следовательно, на этой глубине общая тенденция к потеплению появляется сильнее.

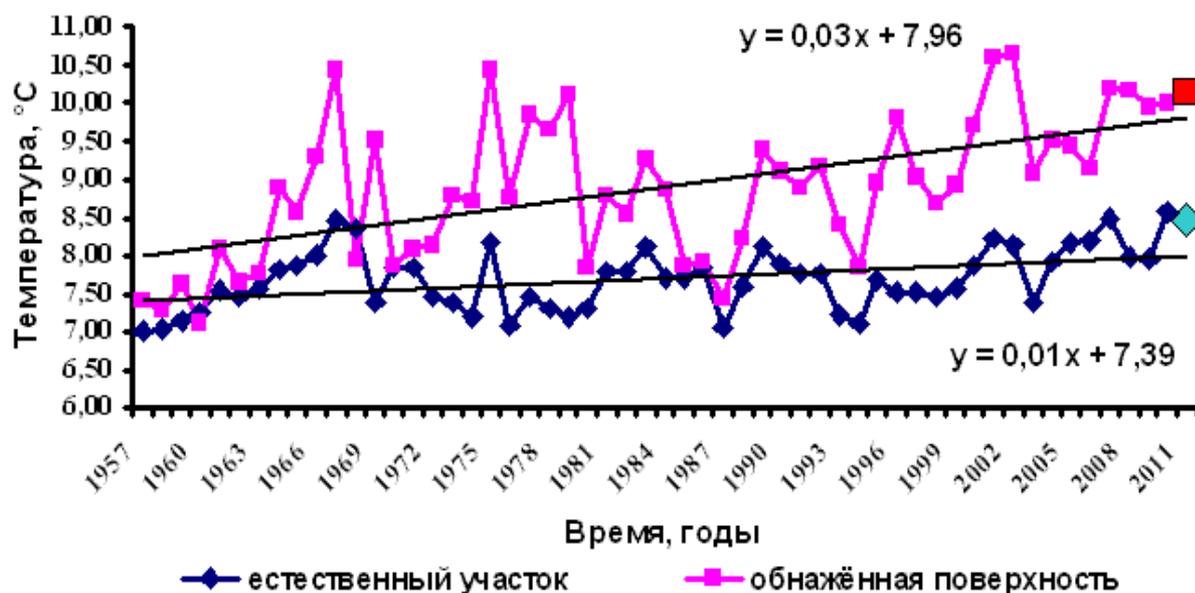


Рисунок 2.4. Динамика среднегодовых значений температуры грунта на глубине 320 см за период с 1957 по 2011 год по данным МО МГУ.

Аналогичная тенденция по данным Метеорологической обсерватории МГУ наблюдается и на других глубинах – как под естественным, так и под оголённым участком.

Таким образом, анализ термического режима почвы и грунта в 2011 году показал, что в целом особенности погодных условий этого года отразились и в распределении температур на различных глубинах. На уровне 20 см влияние холодной зимы и жаркого лета проявилось более отчётливо, в то время как на самом глубоком уровне- 320 см- более существенными оказались летние условия. На примере 2011 года также ярко выражены отличия в температурном режиме грунта под различными поверхностями: меньшая амплитуда и разброс температур под естественным покровом по сравнению с оголённым участком. В многолетнем ряду температур грунта 1957-2011 годов среднегодовое значение 2011 года на фоне общей тенденции к потеплению для обоих участков является довольно высоким.

3. Промерзание грунта

М.А. Локощенко

3.1 – Краткие сведения о наблюдениях за промерзанием в МГУ.

Промерзание грунта в холодном сезоне 2010-2011 гг., как и прежде, измерялось в Метеорологической обсерватории МГУ с помощью пяти мерзлотометров двух типов: тремя приборами системы Ратомского (МР) и двумя – системы Данилина. Три из пяти мерзлотометров (два МР и один АМ-21-1/II с прозрачной полихлорвиниловой трубкой) установлены на специальном оголённом участке площадью 12×20 м, ещё два (третий МР и один мерзлотометр Данилина марки АМ-21-1/II) – на участке под естественным покровом. Опорными в наблюдениях МГУ традиционно считаются данные мерзлотометров Ратомского, показывающие действительную глубину промерзания влажного глинистого грунта с учётом реальной солёности грунтовых вод. Мерзлотометры этого вида стандартизированы (ГОСТ 24847-81); данный стандарт был разработан НИИ оснований и подземных сооружений им. Н.М.Герсеванова Госстроя СССР. Они используются, в частности, в грунтоведении и мерзлотоведении. На наземной сети Росгидромета стандартными считаются мерзлотометры другого типа – Данилина, хотя их показания отражают, по сути, не промерзание как таковое, а глубину нахождения нулевой изотермы. Столь подробных, как в МГУ, синхронных наблюдений за промерзанием и оттаиванием грунта с помощью приборов разных типов не производится ни на одной другой метеорологической станции.

3.2 – Особенности промерзания под обнажённой поверхностью в сезоне 2010-2011 гг.

На рис.3.1 синими ромбами показан ход глубины промерзания и оттаивания на обнажённом участке по данным опорного мерзлотометра МР № 1 в течение всего холодного сезона 2010-2011 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 видим, промерзание началось в этом году несколько позднее обычного – во всяком случае, первый отсчёт (20 см) был произведён лишь 29 ноября. Довольно большое уже значение в этот день наводит на мысль, что промерзание, возможно, уже образовалось ранее. Однако значения температуры воздуха и поверхности

почвы оставались в МГУ положительными или, по меньшей мере, нулевыми вплоть до последних дней осени (во всяком случае, максимальная температура поверхности). Таким образом, промерзание грунта никак не могло образоваться ранее 28 ноября, когда впервые установилась устойчивая морозная погода. Из рисунка видно, что в течение первой недели декабря промерзание довольно быстро росло с глубиной, достигнув к седьмому числу почти полуметра. Однако в дальнейшем мороз ослабел, и глубина промерзания на обнажённом участке стала заметно меньше средней многолетней.

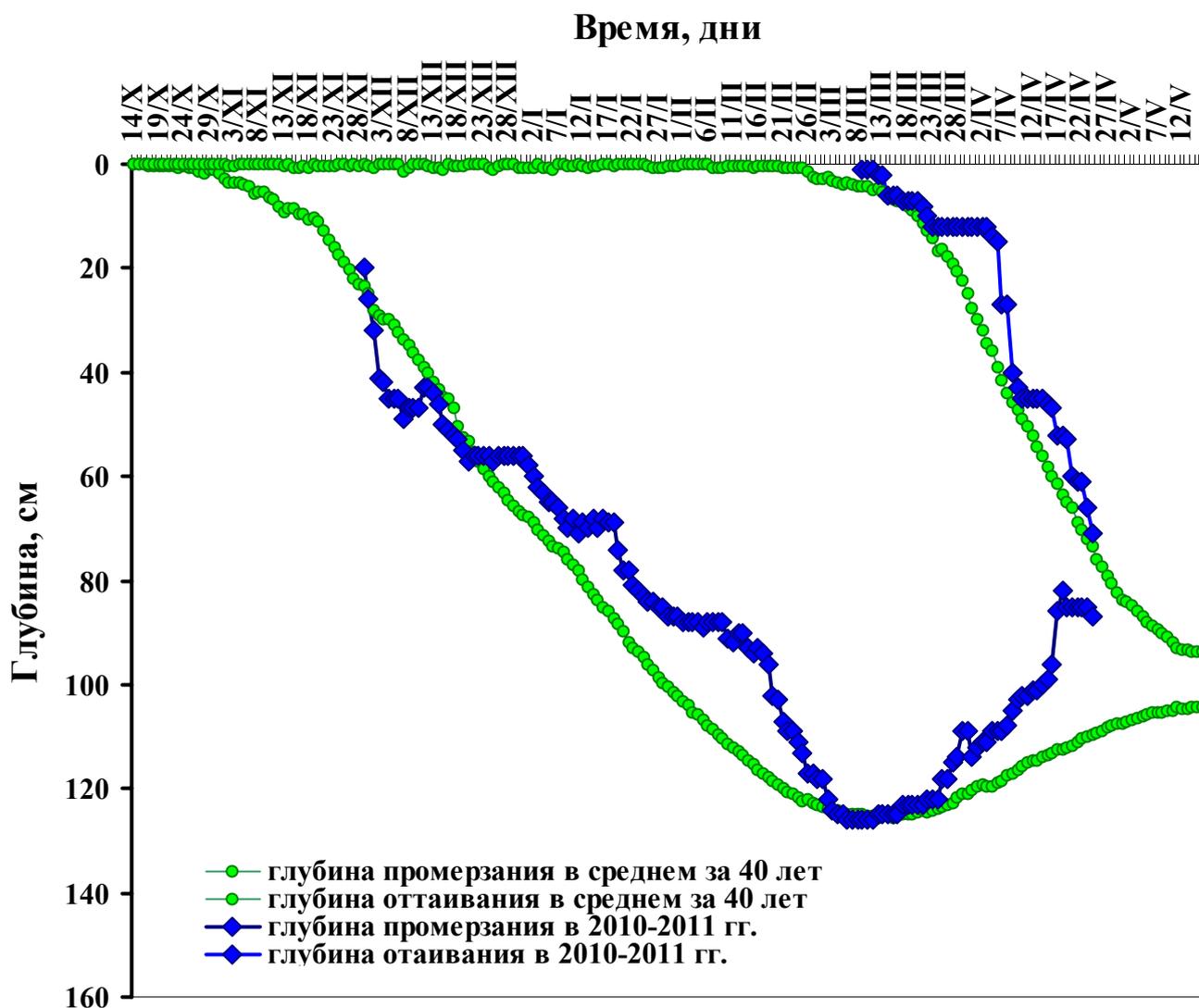


Рисунок 3.1 – Сравнение глубин промерзания и оттаивания грунта в 2010-2011 гг. со средними многолетними значениями на оголённом участке по данным.

В продолжение всей зимы периоды последовательного роста этой глубины несколько раз сменялись недолгими остановками её роста и даже уменьшениями после оттепелей. Лишь к первым дням марта 2011 года глубина промерзания здесь вновь достигла среднегодовых значений, превысив 120 см. Наибольшее значение за сезон по данным опорного прибора МР № 1 составило 126 см и наблюдалось шесть дней подряд – с 06 по 11 марта. В те же дни запасной мерзлотомер Ратомского № 2 показал очень близкий отсчёт наибольшей за сезон глубины – 125 см. Затем глубина промерзания начала довольно быстро уменьшаться – после прекращения морозов у поверхности и под действием потока тепла из нижележащих слоёв грунта. Одновременно, начиная с 09 марта, началось оттаивание в приповерхностном слое почвы. Оно также довольно быстро росло вглубь, навстречу глубине промерзания – впрочем, всё-таки запаздывая по сравнению с обычными значениями вследствие холодной погоды в марте и в апреле. Последнее в сезоне измерение по опорному мерзлотомеру было произведено 24 апреля, когда промерзание оставалось лишь в тонком слое от 71 до 87 см. На следующий день промерзания здесь уже не было вовсе.

Интересно проследить сезонный ход глубин промерзания и оттаивания на обнажённом участке по данным синхронных измерений на всех трёх приборов в их сравнении друг с другом. На рис.3.2 глубины промерзания и оттаивания по данным первого (опорного) прибора МР так же, как и на рис.3.1, показаны синими ромбами; по данным второго (запасного) МР – сиреневыми треугольниками; по данным третьего мерзлотомера АМ-21-1/II – красными кружками.

Как видим, промерзание по данным всех трёх приборов началось в один и тот же день – 29 ноября 2010 г. Изменения глубины ото дня ко дню оставались довольно согласованными во времени – во всяком случае, вплоть до середины марта. Заметим, что уровень замерзания дистиллированной воды в мерзлотомере системы Данилина по мере роста значений (до начала марта) оставался устойчиво меньше глубины промерзания в столбе влажной глины, несмотря на солёность содержащейся в глине воды. В конце же сезона соотношение глубин стало обратным, и уже мерзлотомер Данилина показывал на 10-20 см большие значения глубины по сравнению с обоими мерзлотомерами системы Ратомского. Вероятной причиной служит некоторая инерция мерзлотомера Данилина. Примечательно в этой связи, что и наибольшее значение по данным этого прибора (АМ-21-1/II),

составившее 127 см, было отмечено немного позднее, нежели по опорному мерзлотомеру МР № 1: три дня подряд, с 12 по 14 марта.

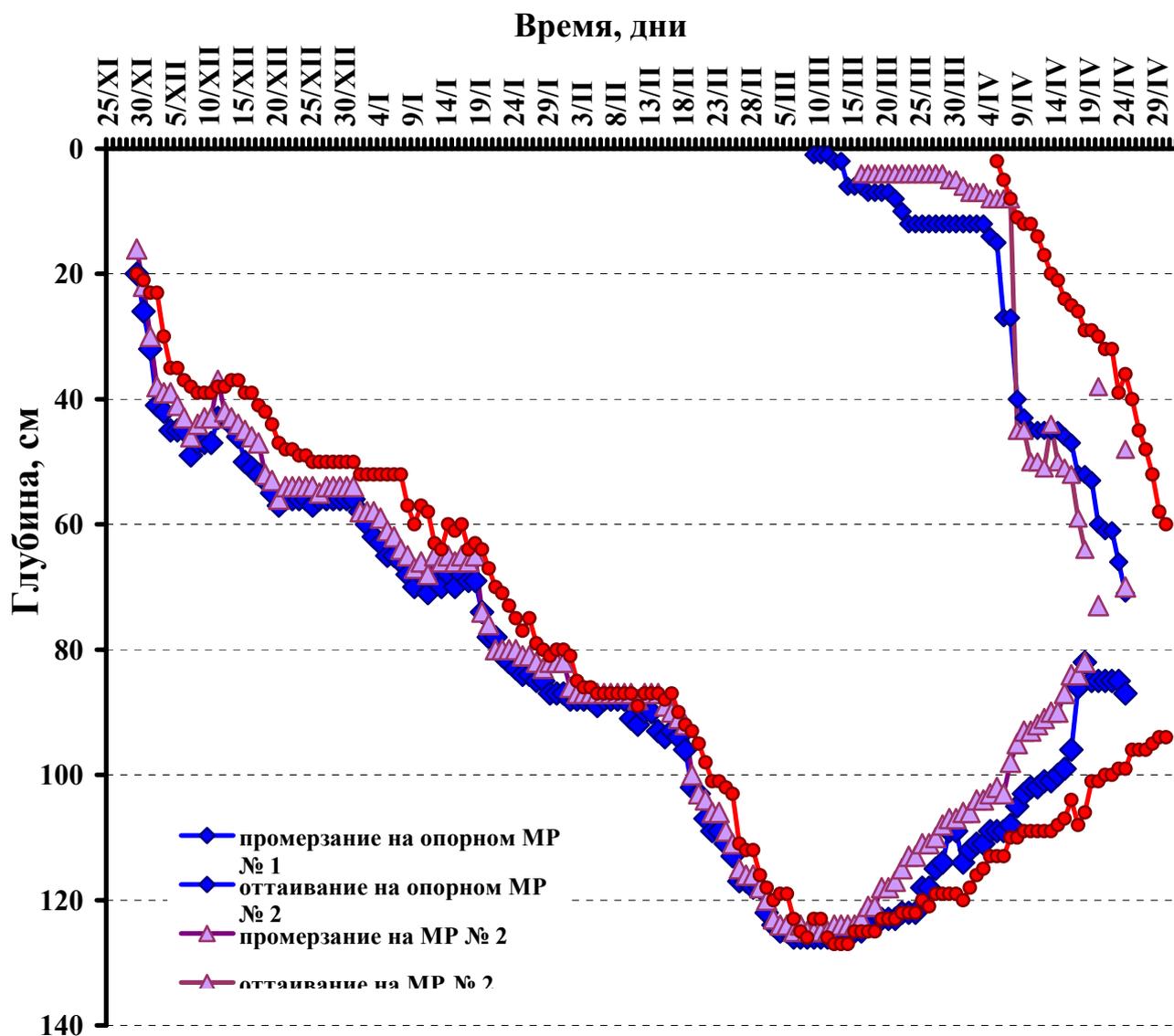


Рисунок 3.2 – Ход изменений глубин промерзания и оттаивания грунта в 2010-2011 гг. в МГУ по данным всех трёх приборов на оголённом участке.

Показания же обоих мерзлотометров Ратомского в целом очень близки между собой: в среднем за весь сезон на опорном приборе глубина промерзания была лишь на 3,5 см больше, чем на запасном. Последний достоверный отсчёт на запасном МР № 2 был получен 18 апреля; в этот день глубина промерзания здесь составила 82 см, а глубина оттаивания – 64 см (для сравнения: на опорном МР в этот же день – 82 и 52 см

соответственно). На следующий день в исходных материалах наблюдений в ряду значений на запасном приборе был пропуск и рукописная пометка: «оборван», то есть трубка с влажной глиной упала в скважину. В последующие дни, после её извлечения, было сделано ещё два измерения, но достоверность их уже сомнительна ввиду смещения шкалы упавшей трубки относительно слоя с реальным промерзанием. Как бы то ни было, последний отсчёт по запасному МР был сделан, как и по опорному, 24 апреля.

Что же касается мерзлотомера Данилина № 3, то промерзание здесь отмечалось вплоть до 30 апреля, когда оно ещё было отмечено в слое от 60 до 94 см. Бланк за следующий месяц в архиве отсутствует, так что остаётся неясным – исчезло ли промерзание по данным прибора № 3 уже на следующий день, 01 мая, или же последние отсчёты потеряны. Маловероятно, чтобы замёрзшая вода в столь протяжённом ещё слое мощностью 34 см оттаяла всего за один день. Как бы то ни было, если экстраполировать на рис.3.2 ход обеих глубин во времени вперёд, очевидно, что даже здесь, на этом последнем приборе, промерзание едва ли оставалось после 05 мая. После окончательного исчезновения устойчивого сезонного промерзания грунта никаких повторных эпизодов промерзания под обнажённой поверхностью весной 2011 года больше не было ни по одному из трёх приборов.

3.3 – Особенности промерзания под естественным покровом в сезоне 2010-2011 гг.

На участке же под естественным покровом, как видно на рис.3.3, промерзание в сезоне 2010-2011 гг. отмечалось сравнительно недолго. Началось оно по данным опорного МР, как и на обнажённом участке, 29 ноября. По данным же мерзлотомера Данилина замерзание началось тремя днями позднее – 02 декабря, хотя довольно большое уже первое значение по этому прибору – 15 см – позволяет усомниться в столь поздней дате. Наибольшей за весь сезон глубины – 26 см по данным опорного мерзлотомера МР – промерзание достигло очень быстро, уже 06-07 декабря 2010 г. Быстрый рост этой глубины вполне закономерен, поскольку при очень сильных морозах в первые дни декабря, достигавших даже -23°C , снежный покров ещё практически отсутствовал (высота его в те дни составляла лишь 1 см). По данным же мерзлотомера Данилина наибольшая за сезон глубина – 22 см – впервые была отмечена тоже 06 декабря, но отсчёт этот продержался здесь целых двенадцать дней подряд.

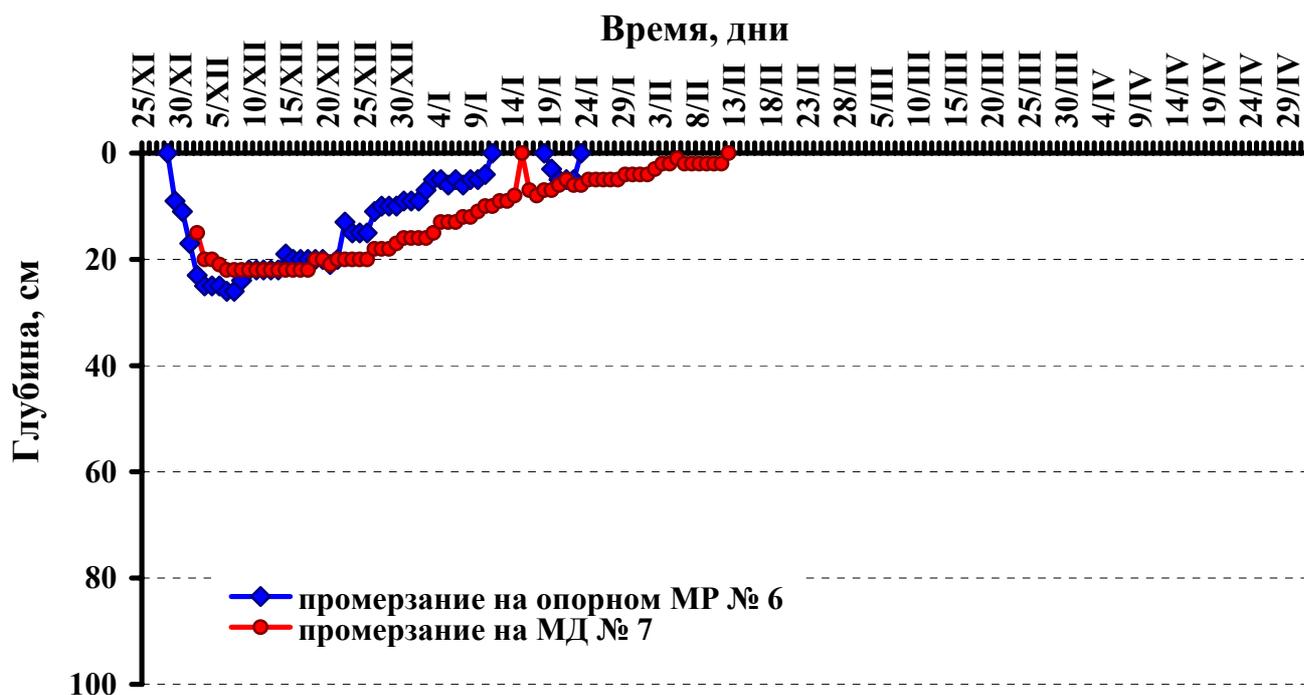


Рисунок 3.3 – Ход изменений глубин промерзания и оттаивания грунта в 2010-2011 гг. в МГУ по данным обоих приборов на участке под естественным покровом.

Начиная с конца первой декады декабря 2010 года по данным МР (и с конца второй декады по данным АМ-21-1/II), глубина промерзания начала неуклонно уменьшаться, сойдя полностью на нет к 11 января 2011 года по данным опорного мерзлотомера (к 15 января – по данным мерзлотомера Данилина). Это вполне естественно с учётом быстрого роста высоты снежного покрова, начавшегося ещё в декабре. Правда, после недельного перерыва, промерзание на участке под естественным покровом вновь ненадолго образовалось 19 января. Однако, едва достигнув глубины 5 см, через четыре дня оно исчезло здесь уже окончательно. Последний в сезоне отсчёт по опорному мерзлотомеру был сделан 22 января. По данным же дополнительного прибора АМ-21-1/II, перерыв в наблюдении этого явления составил лишь один день. Возобновившееся уже 16 января промерзание через день достигло глубины 8 см, а затем постепенно сходило на нет. Последний отсчёт по этому прибору составил 2 см 11 февраля 2011 года. Столь раннее исчезновение промерзания под естественным покровом, несмотря на морозную погоду и в феврале, и даже в марте, неудивительно с учётом очень снежной второй половины зимы (см. раздел 4).

Общие выводы:

Приведённые выше данные кратко обобщены в Таблице 3.1. Как видно, особенностью сезона 2010-2011 стало довольно раннее исчезновение промерзания под естественным покровом – вследствие снежной зимы, а также довольно близкое соответствие динамики промерзания на оголённом участке средним многолетним закономерностям. Устойчивое промерзание

Таблица 3.1 – Основные показатели промерзания грунта в МГУ в 2009-2010 гг.

	Оголённый участок		Участок под естественным покровом	
	Опорные данные (МР)	Дополнительные данные (МД)	Опорные данные (МР)	Дополнительные данные (МД)
Дата начала промерзания:	29 / XI	29 / XI	29 / XI	02 / XII (не ранее 29/XI и не позднее 02/XII)
Дата начала устойчивого промерзания:	29 / XI	29 / XI	29 / XI	не позднее 02 / XII
Дата достижения наибольшей глубины:	06-11 / III	12-14 / III	06-07 / XII	06-17 / XII
Наибольшая глубина:	126	127	26	22
Дата начала оттаивания:	09 / III	05 / IV	не было	не было
Дата начала устойчивого оттаивания:	09 / III	05 / IV	не было	не было

Дата исчезновения устойчивого промерзания:	25 / IV	не ранее 01/V мая и не позднее 05/V	11 / I	15 / I
Дата окончательного исчезновения промерзания:	25 / IV	не ранее 01/V мая и не позднее 05/V	23 / I	12 / II

стало здесь единственным промерзанием в сезоне – ни до его образования, ни после исчезновения никаких других эпизодов промерзания не было. Сравнительно небольшое по глубине промерзание под естественным покровом исчезло без отрыва от поверхности – ни одного отсчёта глубины оттаивания на этом участке за весь сезон не было сделано.

Следует заметить также, что данные мерзлотометров Ратомского, при всей их близости к показаниями мерзлотомера Данилина, обладают в целом меньшей инерцией и отражают происходящие изменения в режиме промерзания быстрее. Наглядным подтверждением этого вывода служит рис.3.2. Данное соображение подтверждает правомерность традиционного использования в МГУ данных именно мерзлотометров Ратомского в качестве опорных – несмотря на грязную работу, связанную с их установкой в начале холодного сезона, а также возникающую в отдельных случаях неопределённость (с точностью до нескольких см) в отсчёте глубины с их помощью.

4. Снежный покров.

М.А. Локощенко

4.1 – Общие сведения о наблюдениях за снежным покровом.

Данный раздел охватывает временной промежуток наблюдений с октября 2010 по апрель 2011 г. Использована база данных наблюдений за атмосферными явлениями, состоянием поверхности и снежным покровом, а также измерений его высоты в Метеорологической обсерватории МГУ.

Наблюдения за наличием снежного покрова, степенью его покрытия, а также за состоянием поверхности производятся визуально. Измерения высоты снежного покрова, в соответствии с Наставлениями Росгидромета, осуществляются один раз в сутки, в утренний срок наблюдений, с помощью четырёх стационарных снегомерных реек М-103 [Справочник..., 1971]. При этом за высоту принимается среднее значение по данным трёх основных реек; четвёртая же дополнительная рейка устанавливается вблизи вытяжных почвенно-глубинных термометров. Три основные снегомерные рейки расположены в МО МГУ линейно в один ряд. Заметим, что Действующими Наставлениями гидрометеорологическим станциям и постам (Наставление...1969) рекомендовано расположение реек на метеорологической площадке в виде равностороннего треугольника. Однако данное предложение со стороны Росгидромета (и прежнего Госкомгидромета СССР) для мониторинга снежного покрова можно считать лишь рекомендательным и необязательным с учётом своеобразия условий окружающей площадку местности. Линейная схема расположения реек в МГУ сложилась традиционно, ввиду сравнительной закрытости краёв площадки зелёными насаждениями Ботанического сада МГУ. Необходимость обеспечения однородности рядов данных о высоте снежного покрова требуют сохранения этой схемы и в будущем.

4.2 – Основные календарные и высотные показатели снежного покрова в Москве (по станции МГУ) в 2010-2011 гг.

Первое выпадение твёрдых осадков в сезоне 2010-2011 гг. произошло 12 октября, когда в течение шести минут шёл слабый мокрый ливневый снег. Разумеется, в условиях

положительной температуры как воздуха, так и подстилающей поверхности снежный покров при этом не образовался. Первое же залегание снежного покрова было очень недолгим – оно отмечено в наблюдениях днём 29 октября и продлилось лишь несколько часов. Затем, после трёхнедельного перерыва, снежный покров образовался вторично лишь ночью 21 ноября (вероятно, даже поздним вечером 20 ноября) и продержался уже четверо суток. Заметим, что обильный снегопад привёл к довольно высокому для первых дней значению высоты – целых 6 см в среднем по трём рейкам (рис.4.1). Наконец, третье по счёту залегание осенью 2010 года ознаменовало собой появление устойчивого снежного покрова. Образовался он 27 ноября, а на следующий день, 28-го числа, окончательно стал сплошным.

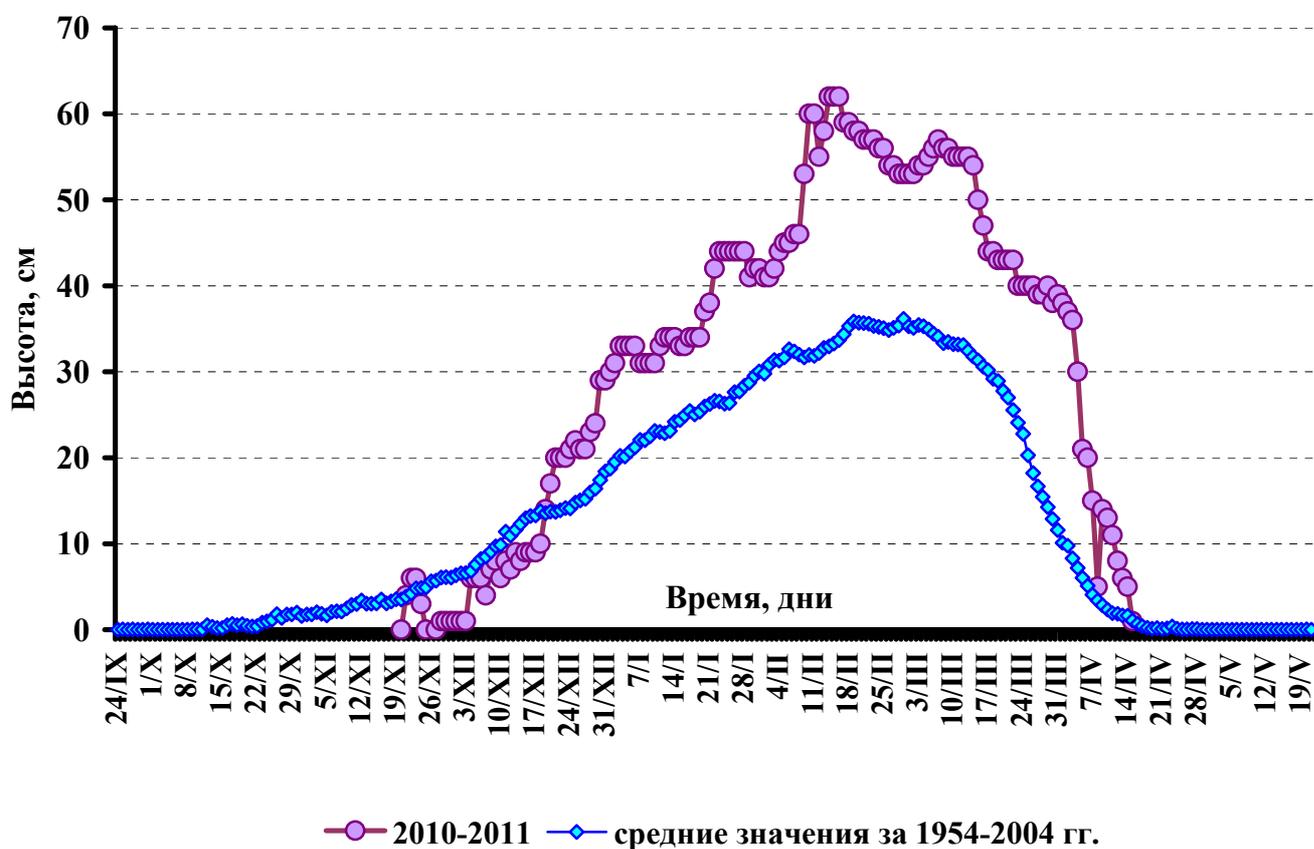


Рисунок 4.1 – Ход средней высоты снежного покрова в холодном сезоне 2010-2011 гг. в сравнении со среднегодовыми значениями по данным (Локощенко, 2005).

Как видно из Таблицы 4.1, даты и первого выпадения твёрдых осадков, и первого залегания снежного покрова, и образования устойчивого покрова были отмечены в холодном сезоне 2010-2011 гг. на несколько дней позднее обычного (Локощенко, 2005).

В течение последующих месяцев, вплоть до середины февраля, высота снежного покрова возрастала в целом динамично и почти монотонно. Этому в немалой мере способствовала очень холодная зима 2010-2011 гг. – особенно декабрь и февраль,

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 выпадение твёрдых осадков	Появление первого снежного покрова	Образование устойчивого снежного покрова	Исчезновение последних проталин	Достижение наибольшей высоты	Появление первых проталин	Разрушение устойчивого снежного покрова	Последнее залегание снежного покрова	Последнее выпадение твёрдых осадков
Средняя дата за 40 лет	8 / X	22 / X	21 / XI	6 / XII	22 / II	25 / III	8 / IV	17 / IV	28 / IV
Дата в 2010-2011 гг.	12 / X	29 / X	27 / XI	28 / XI	14-16/II	5 / IV	18 / IV	18 / IV	19 / IV

среднемесячная температура которых оказалась соответственно на 1,3 и 3,1 °С меньше действующей климатической нормы 1961-1990 гг. На протяжении всей зимы отрицательные температуры как воздуха, так и подстилающей поверхности отмечались почти неизменно. Так, в период с 10 декабря 2010 г. и вплоть до 03 февраля 2011 г. наблюдалась лишь одна очень слабая оттепель 10-11 января. Результатом этого явился устойчивый во времени рост высоты снежного покрова. Лишь ветровое и, частично, гравитационное уплотнение в отдельные дни с ярко выраженными антициклональными условиями приводили порой к очень небольшому – лишь на 1-2 см – уменьшению этой высоты. В результате, уже 20 декабря высота снежного покрова превысила среднемноголетние значения и в дальнейшем ни разу не опускалась ниже этих значений вплоть до окончательного его схода в апреле. К концу 2010 года средняя высота снежного покрова достигла уже 29 см, а наибольший отсчёт по отдельной рейке – 31 см. Четвёртая по счёту в течение зимы (после 4 декабря, 9-10 декабря и 10-11 января) оттепель с 3-го по 6-е февраля также оказалась очень слабой, с наибольшей температурой лишь +1,3 °С, и сменилась новым похолоданием с обильными снегопадами 8-го и 9-го февраля (выпало 15,1 мм осадков за двое суток). В результате высота снежного покрова возросла с 8-го по

10-е февраля на целых 14 см. Наибольшее же значение средней по трём рейкам высоты – 62 см – наблюдалось трижды подряд, с 14 по 16 февраля. В эти дни отсчёты на двух рейках из трёх достигли даже 64 см. Столь большие значения наблюдаются в МГУ уже второй год подряд (в 2009-2010 гг. высота в среднем по трём рейкам достигла 68 см, а единичный отсчёт – даже 75 см (Локощенко, 2011)), хотя являются довольно редким событием в практике наблюдений. Очевидно, что столь снежные зимы возможны при совпадении, по меньшей мере, двух независимых условий: отсутствия оттепелей и большого количества осадков. Действительно, декабрь оказался очень снежным месяцем: количество осадков на 60 % превысило климатическую норму. Правда, в последующие месяцы количество осадков было либо близким к норме (в феврале), либо даже меньше (в январе и марте). Однако необычно устойчивые морозы определили накопление снежного покрова почти в два раза выше обычных значений.

Довольно затяжной характер весны в 2011 г., выразившийся в долгом отсутствии интенсивной тёплой адвекции (температура воздуха впервые достигла +10 °С лишь в апреле), а также необычно высокий снежный покров, достигнутый к концу зимы, привели к существенному запаздыванию в сроках его схода. Уменьшение высоты снежного покрова ускорилось во время оттепели 13-15 марта. Однако, начиная с 23-го марта, в результате очередного похолодания, это уменьшение практически прекратилось на целых 10 дней. В течение всего этого времени высота стабилизировалась на уровне значений от 40 до 38 см. Очень медленное уменьшение высоты снежного покрова не превышало 1 см в сутки, и было связано лишь с гравитационным и ветровым уплотнением. Лишь начиная с 3-го апреля, снежный покров начал быстро сходить – в среднем на 5-6 см в день, уменьшившись к 8-му числу до 5 см. Пятого апреля впервые появились проталины, и степень покрытия снегом окрестностей станции составила девять баллов, уменьшившись к 8-му апреля уже до семи. Однако окончательный его сход был вновь остановлен начавшимся вхождением холодного воздуха – предположительно, арктической воздушной массы из северного сектора Атлантики, сопровождавшимся новым снегопадом. В результате, ночью с 8-го на 9-е апреля высота снежного покрова вновь возросла в среднем с 5 до 14 см, и он снова покрыл всю поверхность. Лишь 12 апреля устойчивый покров окончательно перестал быть сплошным, а уже спустя несколько дней полностью сошёл на нет. Последний отсчёт высоты был сделан 15 апреля только на одной из четырёх реек, а 17 апреля степень покрытия составила лишь один балл. Это было последнее в сезоне

наблюдение, связанное со снежным покровом; 18 апреля он уже совершенно отсутствовал. Заметим, что большинство связанных со снежным покровом календарных показателей в сезоне 2010-2011 гг. были смещены в годовом ходе вперёд: как осенью при его установлении, так и весной при сходе (Таблица 4.1). Так, даты и появления первых проталин, и окончательного схода устойчивого снежного покрова наступили в сезоне 2010-2011 гг. приблизительно на десять дней позднее обычного. После 18 апреля никаких повторных залеганий снежного покрова в Москве больше не было, так что последнее наблюдение за снежным покровом почти точно совпало со средней за 40 лет датой наступления этого события.

Последнее в сезоне выпадение твёрдых осадков произошло 19 апреля 2011 года – на следующий день после окончательного схода снежного покрова, когда трижды, каждый раз недолго, шёл слабый мокрый ливневый снег.

Таким образом, устойчивый снежный покров явился третьим по счёту залеганием в сезоне 2010-2011 гг. Он существовал непрерывно в течение 139 дней – с 28 ноября до 15 апреля. В продолжение этих четырёх с лишним месяцев, вплоть до появления первых проталин 5 апреля, состояние поверхности по станции МГУ, в зависимости от погодных условий, неизменно определялось либо как слежавшийся мокрый снег, равномерно покрывающий всю поверхность, либо как сухой снег, покрывающий всю поверхность.

4.3 – Сравнение показаний по отдельным снегомерным рейкам в 2010-2011 гг.

Рассмотрим также ряды данных измерений высоты снежного покрова по отдельным снегомерным рейкам. Эти данные обобщены графически на рисунке 4.2 и, в виде цифровых значений, – в Таблице 4.2. Как видно, качественный ход изменений высоты сходен по данным всех четырёх мест измерений. Вплоть до середины февраля значения были очень близкими, но в течение последующего месяца высота стала заметно большей по данным 1-й и 3-й реек и меньшей по данным 2-й и дополнительной 4-й рейки. Причина этого – общая пространственная неоднородность снежного покрова, проявляющаяся даже в локальном масштабе. В среднем различия в одновременных отсчётах высоты по отдельным рейкам в течение всего сезона составили $\pm 2-3$ см; наибольшие отличия между

разными рейками в отдельные дни достигли $\pm 10-12$ см. Среднемесячные значения высот по отдельным рейкам, как видно из Таблицы 4.1, различаются до 5-7 см.

Таблица 4.2 – Обобщение данных измерений высоты снежного покрова по отдельным рейкам в холодном сезоне 2010-2011 гг.

	1-я рейка	2-я рейка	3-я рейка	4-я рейка у термометров
Число дней со снежным покровом	139	142	143	141
Накопленная за сезон высота снежного покрова, см	4864	4468	5000	4618
Средняя высота снежного покрова, см				
Ноябрь	3	3	4	5
Декабрь	14	12	13	13
Январь	38	34	36	36
Февраль	55	50	55	50
Март	48	44	51	46
Апрель	18	17	20	19

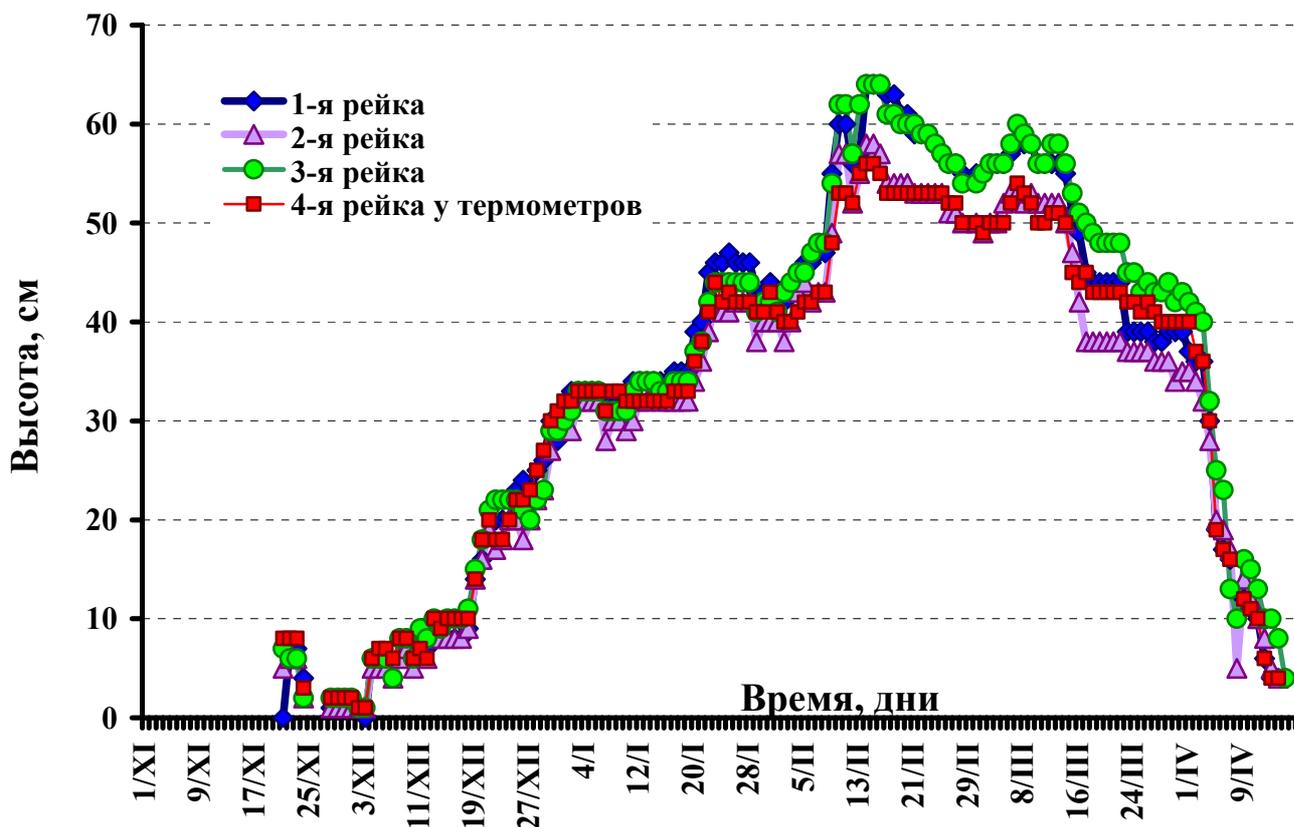


Рисунок 4.2 – Ход высоты снежного покрова в холодном сезоне 2010-2011 гг. по данным измерений на отдельных рейках.

Среднеквадратическое отклонение высоты снежного покрова по выборке измерений на четырёх рейках в начале сезона составляло порядка 0,5 см, затем вполне закономерно возросло до 4-5 см к середине февраля при наибольшей высоте и вновь уменьшилось до значений 1-2 см в конце холодного сезона. Разумеется, достоверность оценок стандартного отклонения здесь ограничена крайне малым размером выборки.

В отдельные дни в начале и в конце сезона снежный покров может отсутствовать вблизи одной или нескольких рек. Поэтому общее число дней с измерениями колеблется в пределах от 139 до 143, включая и период предпоследнего залегания с 21 по 24 ноября.

Заметим также, что накопленная за весь сезон высота снежного покрова (показатель, предложенный автором в [1]), составила по средним данным 4784, а по данным отдельных рек – от 4468 до 5000. Столь большие значения накопленной высоты (более 4700)

наблюдались за первые полвека наблюдений лишь пять раз [1]. В предыдущем холодном сезоне 2009-2010 гг., когда наибольшая высота снежного покрова была даже больше, значение накопленной высоты оказалось существенно меньше нынешнего: лишь 3867 по средним данным. Причина столь большого значения этого показателя в сезоне 2010-2011 гг. – очень долгое существование устойчивого снежного покрова и большая его высота. Таким образом, прошедший холодный сезон в целом был отмечен в Москве необычно продолжительным и высоким снежным покровом.

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 и промерзание почвы (раздел 2, стр.31-44) в сб.: Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2010 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ. М., МАКС Пресс, 2011, 180 с., электронное издание, под редакцией Н.Е.Чубаровой. ISBN: 978-5-317-03592-1.

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

Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам. Л., Гидрометеиздат, 1971, 372 с.

5. Влажность воздуха и атмосферные осадки

П.И. Константинов

Относительная влажность воздуха является консервативной характеристикой в приземном слое атмосферы. Поэтому с ее помощью довольно удобно судить о насыщенности влагой воздуха не только на уровне 2 метров, но и на более высоких уровнях, особенно в теплый период года.

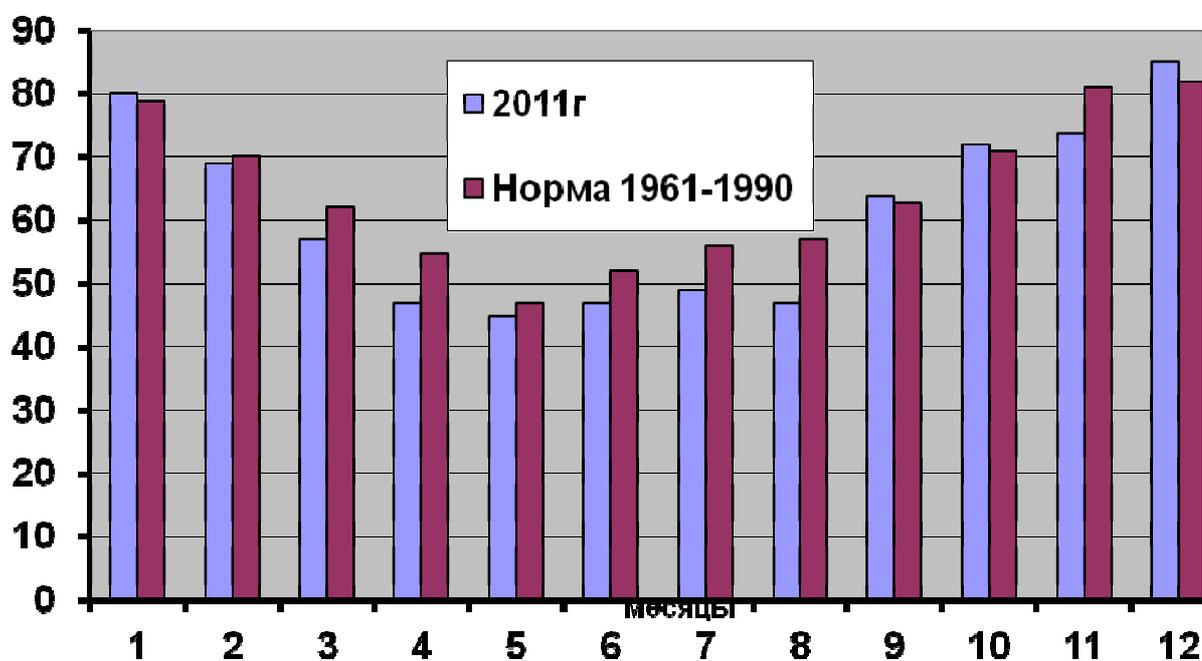


Рисунок 5.1 Сравнение среднемесячной относительной влажности воздуха в 2011году с климатической нормой

Таблица 5.1 Среднемесячная относительная влажность воздуха в 2011 году и климатическая норма

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
относительная влажность воздуха, % 2010 год	80	69	57	47	45	47	49	47	64	72	74	85	69
климатическая норма, % 1961-1990	79	70	62	55	47	52	56	57	63	71	81	82	74

На рис. 5.1 видно, что во многие месяцы (кроме января, сентября, октября и декабря) относительная влажность в 2011 году была меньше климатических значений (Справочник..., 2003). Иначе говоря, в течение всего года воздух был суше, чем обычно. Особенно сухо было в июне, когда влажность в отдельные дни понижалась до 23%. (при температуре воздуха +21С). Над Московским регионом в этот период преобладали не очень жаркие, но сухие воздушные массы. Это отчасти подтверждается и рис. 5.2 Упругость водяного пара не показала значительных превышений по сравнению с прежними рекордными значениями, несмотря на довольно высокую температуру воздуха.

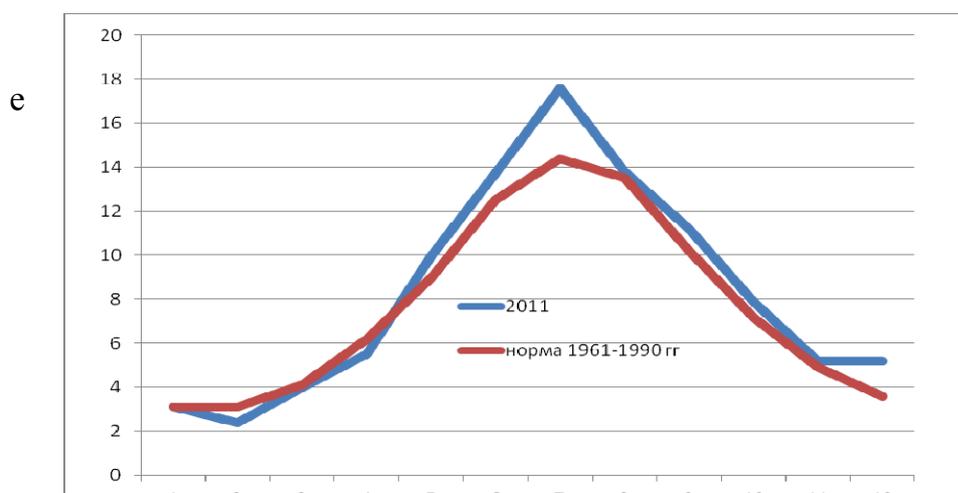


Рисунок 5.2 Сравнение среднемесячной упругости водяного пара в 2011 году с климатической нормой.

Таблица 5.2 Среднемесячная упругость водяного пара в 2011 году и климатическая норма

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Упругость водяного пара, гПа 2011 год	3,1	2,4	4,0	5,5	10,0	13,7	17,6	13,8	11,2	7,9	5,2	5,2	8,3
климатическая норма, гПа 1961-1990	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
Аномалия	0	-0,7	-0,1	-0,7	1,0	1,2	3,2	0,3	1,0	0,7	0,3	1,6	0,6

Здесь, 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. Весной, напротив, преобладали воздушные массы из более прохладных регионов, нежели обычно.

Атмосферные осадки

Если исследовать частоту выпадения осадков в столице, то можно отметить следующие закономерности:

- в холодный период года преобладают длительные обложные дожди, 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 в Москве является декабрь – 21,6 дней 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.

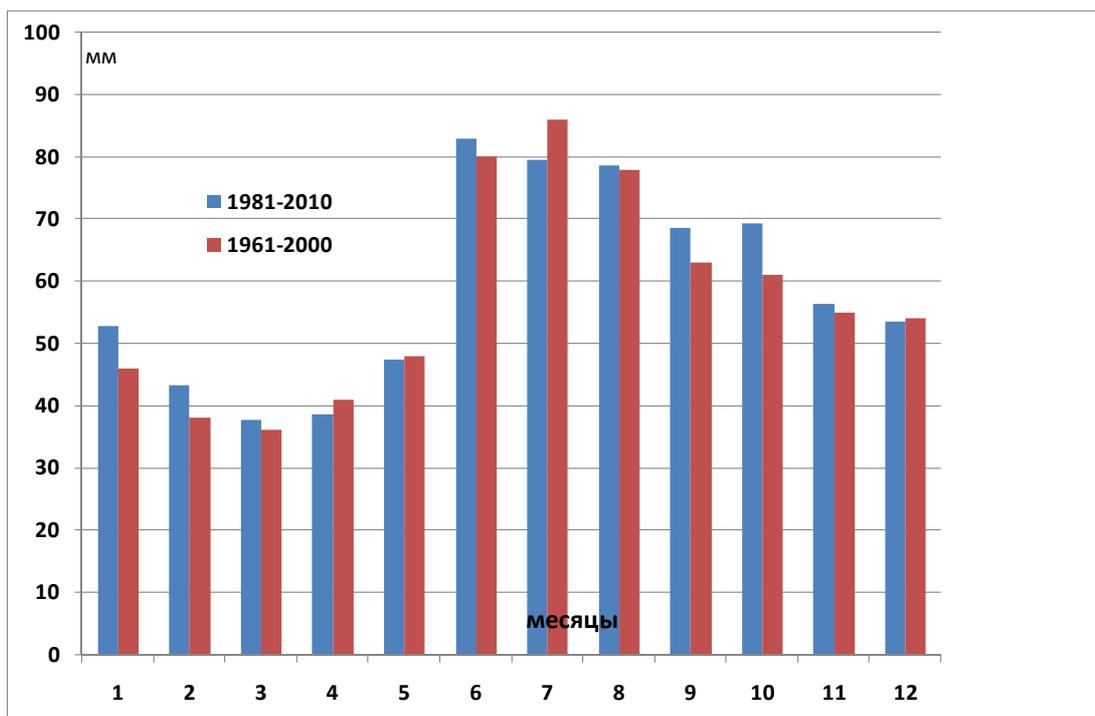


Рисунок 5.3 Среднемесячные суммы осадков – климатические нормы за период 1981-2010 и 1961-2000.

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, что, возможно, связано с чередой более сухих июлей, наблюдавшихся в последние 10 лет.

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

Таблица 5.3. Среднемесячные суммы осадков – климатические нормы за период 1981-2010 и 1961-2000 и среднегодовые значения.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Москва (1961-2000)	46	38	36	41	48	80	86	78	63	61	55	54	688
Москва 1981-2010	53	43	38	39	47	83	79	79	69	69	56	53	708

В 2011 году лето было несколько суше обычного, но засухи, подобной предыдущему году не наблюдалось. Однако, в итоге год оказался более сухим, нежели 2010й (см. рис табл 5.4)

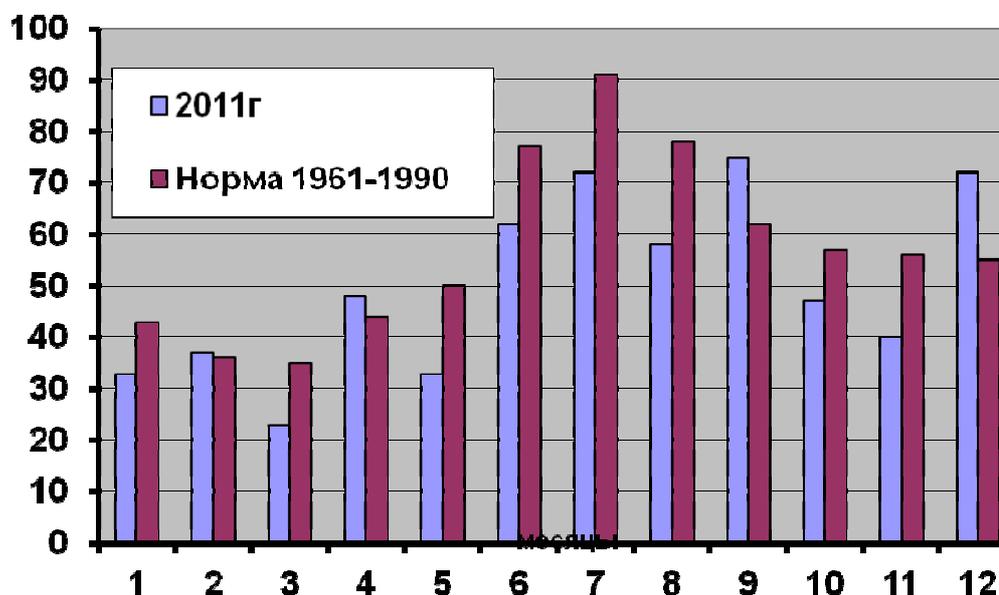


Рисунок 5.4 Сравнение месячных сумм осадков в 2011 году с климатической нормой

Таблица 5.4 Месячные суммы осадков в 2011 году и климатическая норма

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
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

Из этого показательного графика и таблицы 5.4 видно, что режим увлажнения в отчетном году был чрезвычайно неравномерным. В летние и весенние (за исключением апреля и сентября) месяцы режим был засушливым, а, к примеру, в декабре, сумма осадков статистически значимо превысила норму. В итоге, год оказался на 12% суше, нежели положено по норме.

Таким образом, по режиму увлажнения 2011 год оказался заметно суше обычного – количество осадков составило 600 мм при норме 684 мм, что на 12% ниже нормы. Несмотря на менее засушливое лето (по количеству выпавших осадков) по сравнению с 2010 г., в целом 2011 год стал суше предыдущего (за год выпало на 7 мм осадков меньше). Среднемесячная относительная влажность воздуха 9 из 12-ти месяцев оказалась ниже климатической нормы. Среднемесячная упругость водяного пара заметно превысила норму в теплый период года.

Литература

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

6. Атмосферное давление

П.И. Константинов

Анализ хода атмосферного давления в 2011 году разумно начать с летнего периода, когда в его ходе наблюдались широко освещенные в СМИ аномалии, связанные с повторением, хоть и в более слабом варианте по сравнению с 2010 годом, синоптической ситуации антициклонического блокинга.

В силу особенностей атмосферной циркуляции, преобладавшей в течение летнего периода над Московским регионом (периодическое установление блокирующего антициклона в июле и августе), атмосферное давление в середине периода было несколько выше нормы в эти два месяца - на 0,9 гПа в июле и на 1 гПа в августе.

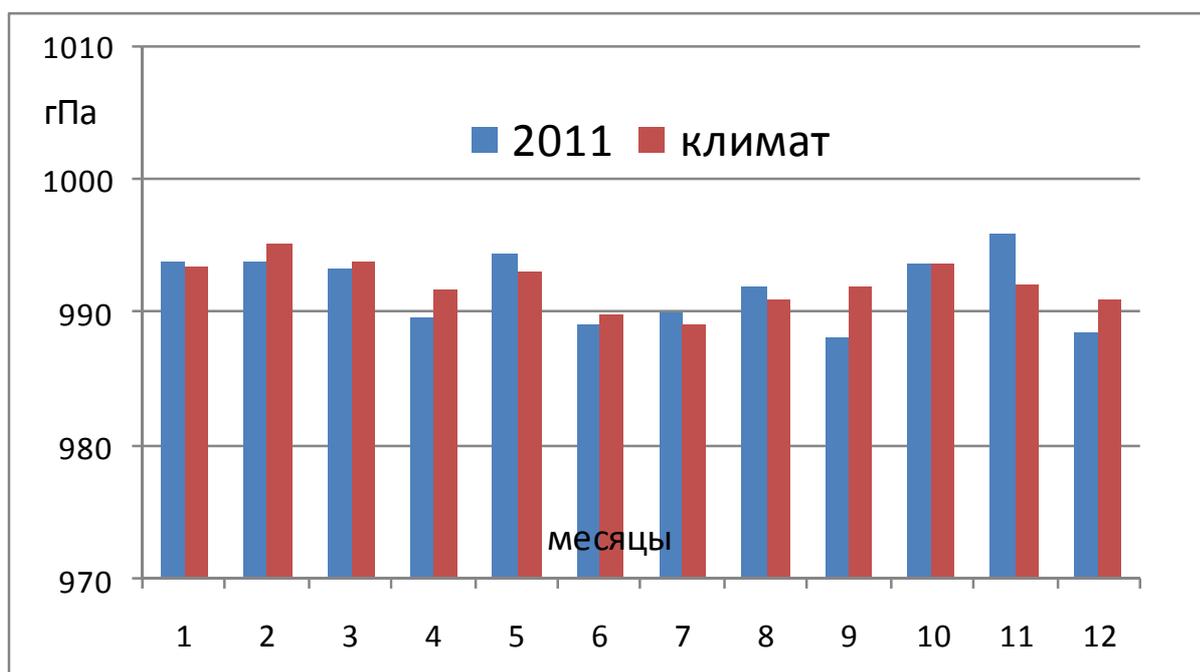


Рисунок 6.1. Сравнение значений атмосферного давления за отчетный период по данным измерений МО МГУ с климатической нормой (1961-1990).

Таблица 6.1 Среднемесячное атмосферное давление на уровне станции в 2011 году и климатическая норма

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Минимальное атмосферное давление воздуха , гПа 2011 год	969,5	958,7	962,4	947,8	983,4	977,3	974,9	979,5	969,9	975,4	961,6	967,8	
Максимальное атмосферное давление воздуха , гПа 2011 год	1008,5	1019,3	1014,9	1007,4	1006,2	1004,2	997,4	1003,3	1001,1	1010,6	1012,3	1003,7	
Среднемесячное атмосферное давление воздуха , гПа 2011 год	993,8	993,8	993,2	989,6	994,5	989,1	990	991,9	988	993,6	996	988,4	991,8
климатическая норма, гПа 1961-1990	993,4	995,1	993,8	991,8	993	989,8	989,1	990,9	992,0	993,7	992,1	990,9	992,1
СКО, климат, гПа 1961-1990	6,9	7,2	5,8	2,9	2,7	2,9	2,2	2,6	3,0	5,4	6,9	5,5	
Отклонение от климатической нормы	0,4	-1,3	-0,6	-2,2	1,5	-0,9	-0,9	1,9	-4,0	-0,1	3,9	-2,5	-0,3

Напротив, относительно более низкий фон атмосферного давления отмечался в июне 2011 года. А вот за счет сильного понижения давления во второй половине августа, в целом за месяц значение оказалось на 1 гПа ниже климатической нормы.

Кроме того, усиленная циклоническая деятельность, отмечавшаяся в сентябре, способствовала наиболее заметному за год отклонению атмосферного давления от климатической нормы – сразу на 4 гПа. Причем это значение на 1 гПа выше СКО средней месячной нормы для этого месяца (3,0гПа). Такая редкая ситуация проявилось и в количестве осадков – оно составило в сентябре 75 мм (при 63 положенных по норме).

Аналогичное по модулю, но противоположное по знаку отклонение отмечалось тоже осенью, но в ноябре – это проявилось влияние Азорского антициклона. Но в ноябре СКО средней месячной нормы для этого месяца гораздо выше, и поэтому отклонение не превысило значения σ . Тем не менее, осадков выпало меньше (40 мм при норме 57), и средняя температура ноября оказалась положительной (0.1 С) и превысила норму ровно на полтора градуса.

Максимум атмосферного давления был отмечен 15 февраля и составил 1019,3 гПа. Минимум – 9 апреля и составил 947,8 гПа, что было связано с прохождением центра атлантического циклона. За один тот день выпало 26 мм дождя.

По итогам обзора можно отметить, что во все месяцы, кроме сентября, отклонение среднего значения давления от климатической нормы не превысило СКО для данного месяца, а самые крупные аномалии (сентябрь и ноябрь) нашли свое проявление также в режиме осадков.

7. Особенности ветрового режима в нижнем 500-метровом слое воздуха над Москвой.

М.А. Локощенко

7.1 – Общие сведения о состоянии содарной аппаратуры.

В 2011 году акустическое зондирование атмосферы в МГУ с помощью нового доплеровского содара «MODOS» было нестабильным и сопряжено с рядом проблем технического свойства. В результате сложной поломки комнатного электронного блока содарной аппаратуры 22 декабря 2010 г. (выхода из строя блока питания) зондирование было временно прервано на три с половиной месяца и возобновилось лишь днём 15 апреля 2011 г. после возвращения комнатного блока из Германии, где его ремонт был осуществлён сотрудниками фирмы-изготовителя содара МЕТЕК. Заметим, что основной проблемой зондирования вплоть до конца 2010 года являлись частые самопроизвольные остановки содарной аппаратуры, не связанные с поломками, из-за неисправной микросхемы в комнатном электронном блоке. В Германии, помимо замены блока питания, данная микросхема была также заменена на исправную и, начиная с 15 апреля, беспричинные остановки в зондировании совершенно прекратились. Однако с этого момента в содарных данных о ветре стали проявляться значительные помехи и искажения, несмотря на автоматическую отбраковку шумов. Очевидно, это было связано с уменьшением отношения сигнала к шуму – возможно, вследствие механических повреждений при транспортировке электронного блока. Разумеется, содарные данные о скорости и направлении ветра с апреля по ноябрь 2011 в своей основе вполне достоверны и надёжны, однако для их полного статистического анализа требуется дополнительный критический контроль. Последовавший ремонт и наладка содарной аппаратуры продолжались всё лето и осень, так что лишь с 24 ноября 2011 года качество содарных данных о профилях ветра стало, безусловно, устойчиво хорошим. В период же ремонта, особенно с июля по сентябрь, высотный диапазон содарных данных был недостаточно высоким, составляя в среднем лишь 200-250 м. Это обстоятельство не влияет на достоверность средних оценок скорости ветра в пределах того или иного слоя воздуха при нормировании средних на число наблюдений в каждом отдельном высотном интервале. Качественный вид розы ветров также остаётся вполне достоверным, поскольку временное уменьшение высотного диапазона было равновероятным для любого направления ветра.

Однако это уменьшение могло проявиться в занижении модального значения в сводной гистограмме значений скорости в целом за 2011 год, а также в пропуске предельно высоких значений скорости ветра, которые, естественно, чаще отмечаются в верхней части высотного диапазона. Эти обстоятельства следует иметь в виду, приступая к анализу содарных данных 2011 года.

Как видно из Таблицы 7.1, в 2011 году акустическое зондирование проводилось, хотя бы недолго, в течение двух третей всего календарного времени. Число же имеющихся дней с непрерывными или почти непрерывными содарными данными о ветре составили почти ровно половину продолжительности года. Наиболее обеспеченными содарными данными оказались май, июнь, август, ноябрь и декабрь: в течение этих месяцев зондирование, хотя бы недолго, осуществлялось каждый день. В мае же и декабре зондирование было непрерывным в течение почти всего месяца.

Таблица 7.1 – Продолжительность содарных измерений в 2011 г.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Всего:
0	0	0	16	31	30	24	31	29	24	30	31	246
(0)	(0)	(0)	(13)	(30)	(24)	(19)	(21)	(17)	(12)	(16)	(28)	(180)

Примечание: 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.

Большинство перерывов в зондировании в период с июня по ноябрь 2011 г. были связаны с временным выключением аппаратуры в процессе её ремонта и тестирования. Залогом непрерывного зондирования в будущем стало прекращение после ремонта в Германии самопроизвольных остановок содарной аппаратуры, а также подключение к компьютеру источника бесперебойного питания, предотвращающее остановки в текущей записи содарных данных в случаях кратковременных выключений электропитания в Обсерватории.

К сожалению, в 2011 году не удалось возобновить зондирование с помощью старого вертикального содара «ЭХО-1» производства ГДР. Этот содар не работает в МГУ с марта 2009 года.

7.2 – Наибольшая скорость ветра по содарным данным.

В течение всего 2011 года скорость ветра над Москвой по содарным данным не достигала экстремально высоких значений. Так, ни разу не было отмечено даже значения 30 м/с. Напомним, что абсолютный максимум достоверных значений скорости в среднем за 10 минут составляет по данным с 2004 года около 35 м/с. Одной из причин отсутствия высоких значений может служить необычно долгая продолжительность антициклональных условий в июле-августе минувшего года. Вместе с тем, следует учесть перерыв в зондировании, продлившийся вплоть до середины апреля (хотя январь и февраль 2011 года, когда содар не работал, были также отмечены морозной и, в целом, маловетреной погодой). Наконец, сравнительно небольшой высотный диапазон содарных данных о ветре в процессе ремонта мог привести к потере реальных высоких значений скорости в верхней части 500-метрового слоя воздуха. Как бы то ни было, наибольшее достоверное значение скорости ветра в 2011 году составило лишь 26,5 м/с и было отмечено на уровне 420 м в 03.00 20 декабря (оно показано красной стрелкой на рис.7.1). Второе по величине в ряду наибольших значений скорости (25,8 м/с) было отмечено незадолго в эту же ночь: на уровне 440 м в 01.40; оно показано на рисунке белой стрелкой. Заметим, что последнее значение характеризует условия низкоуровневой струи в профиле ветра: в это же самое время на соседнем вышележащем уровне 460 м скорость составила лишь 25,6 м/с.

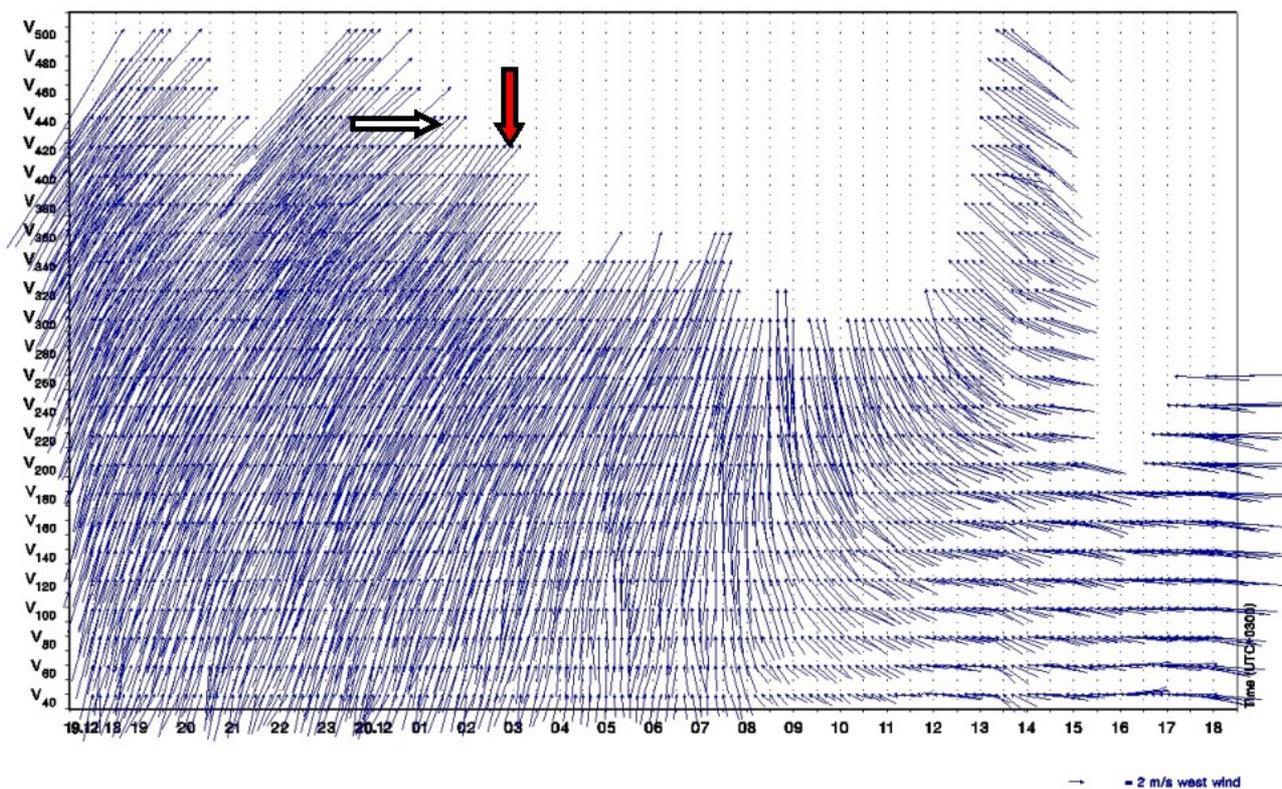


Рисунок 7.1. – Содарные данные о скорости и направлении ветра в МГУ в среднем за каждые 10 минут за период с 18 ч 19 декабря до 18 ч 20 декабря 2011 года в слое воздуха до 500 м. Длина каждой синей стрелки пропорциональна скорости ветра (масштаб указан справа внизу); направление стрелки соответствует направлению ветра. Красная и белая стрелки показывают наибольшие значения.

Достоверность столь высоких значений подтверждается и очень близким результатом измерений, полученным на уровне 440 м за предыдущие 10 минут, в 01.30: тоже 25,6 м/с. Примечательно, что данная струя существовала в профиле ветра сравнительно долгое время: так, в 00.50 её ось прослеживалась в содарных данных чуть выше, на уровне 460 м, где локальный максимум скорости ветра достиг 25,1 м/с, тогда как на уровнях 480 и 500 м значения были меньше: соответственно 24,9 и 24,8 м/с. Нельзя исключить, что наибольшее значение на 420 м в 03.00 также было отмечено на оси данной струи, поскольку выше в это время не имеется данных о скорости.

Синоптические условия данной ночи, оказавшейся самой ветреной в 2011 году (во всяком случае, за время надёжной работы содара), характеризовались нахождением

Москвы в градиентной зоне интенсивных южных потоков на восточной периферии глубокого циклона с центром над Балтийским морем и Скандинавским полуостровом и, одновременно, на дальней западной периферии антициклона с центром, предположительно, над Казахстаном. Как известно, общее усиление ветра, обусловленное крупномасштабными синоптическими условиями, обычно связано именно с периферией обширных циклонических образований, где горизонтальный барический градиент может достигать очень высоких значений.

7.3 – Закономерности распределения скорости ветра по содарным данным.

Интересным отдельным аспектом исследования данных о скорости ветра служит анализ структуры статистического распределения этого показателя. Как видно на рис.7.2, общий вид распределения за всё время доплеровских содарных измерений в МГУ с 2004 по 2011 гг. характеризуется положительной асимметрией и качественной близостью к логарифмически нормальному закону. Модальный интервал соответствует диапазону скорости от 3 до 4 м/с. Для сравнения на рис.7.3 и 7.4. приведены также общие гистограммы всех измерений скорости ветра за два последних месяца 2011 года.

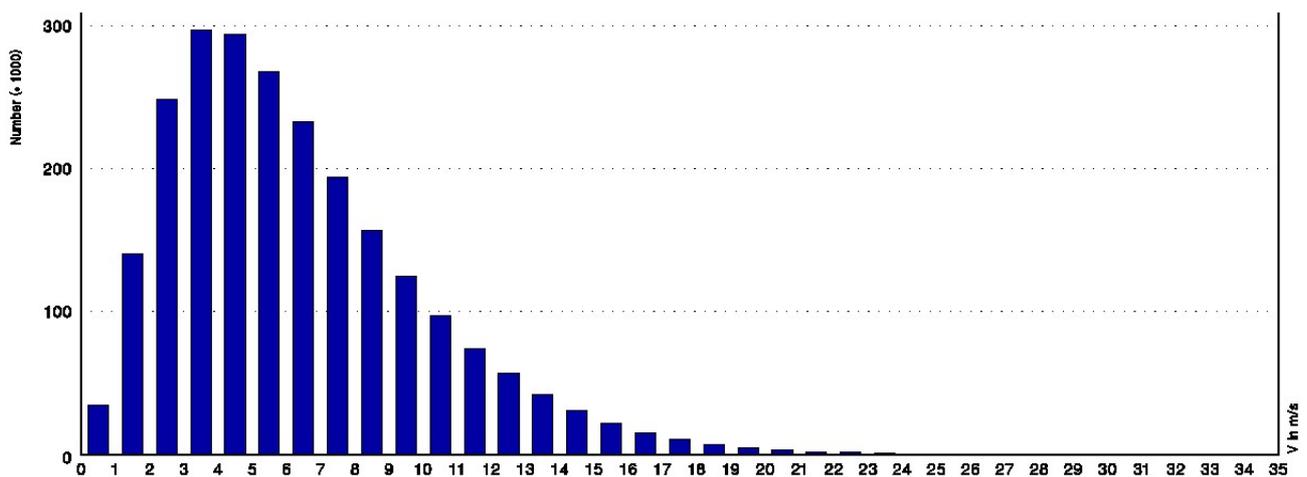


Рисунок 7.2. Гистограмма средних за каждые 10 минут значений скорости ветра в слое воздуха от 40 до 500 м за период с 11 ноября 2004 по 31 декабря 2011 г. По горизонтали – скорость ветра, по вертикали – число значений в тысячах единиц.

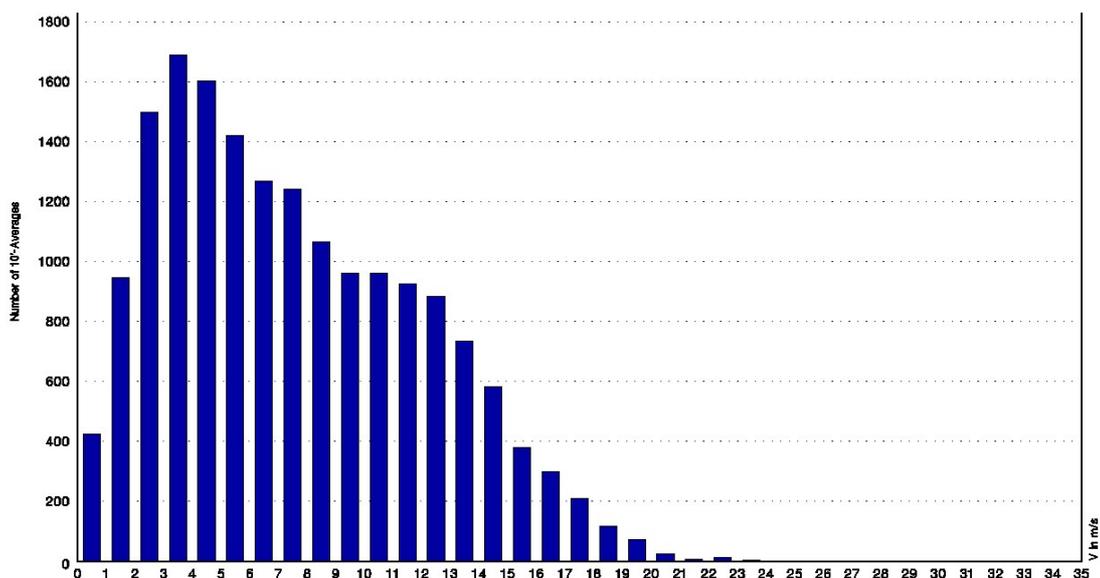


Рисунок 7.3. Гистограмма средних за каждые 10 минут значений скорости ветра в слое воздуха от 40 до 500 м за ноябрь 2011 года. По горизонтали – скорость ветра, по вертикали – число отдельных значений.

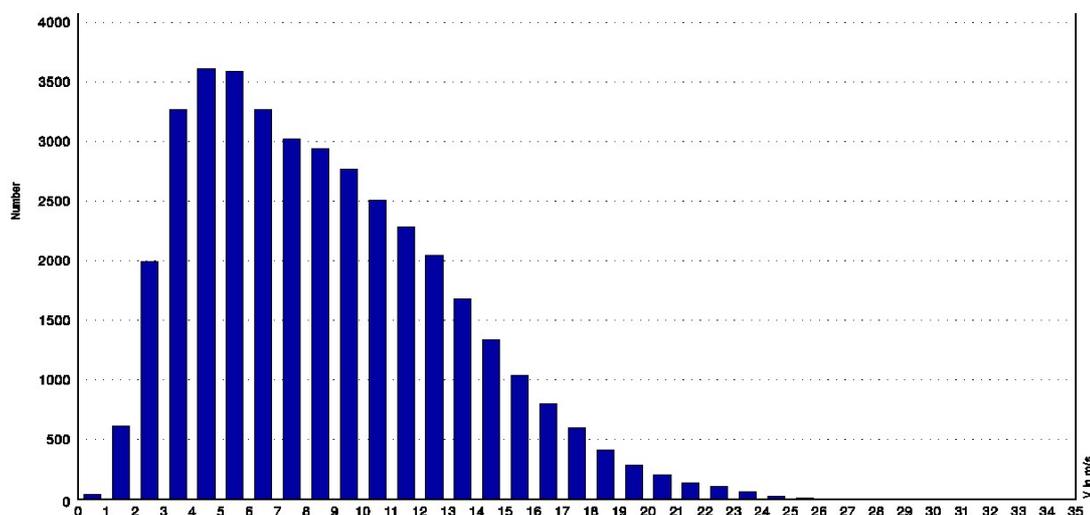


Рисунок 7.4. Гистограмма средних за каждые 10 минут значений скорости ветра в слое воздуха от 40 до 500 м за декабрь 2011 года. По горизонтали – скорость ветра, по вертикали – число отдельных значений.

Как видно, последние месяцы года были очень ветреными. В обеих последних гистограммах прослеживается деформация правого крыла распределения, связанная с резким увеличением повторяемостей значительных скоростей ветра: от 8-10 до 15 м/с. В

декабре даже модальный интервал оказался смещённым в сторону больших значений – от 4 до 6 м/с.

7.4 – Направление ветра.

На рис.7.5 приведена сводная роза ветров за весь 2011 год, а на рис.7.6 – также розы ветров за некоторые месяцы. Они рассчитаны по исходным содарным данным с шагом 10° по кругу азимута и, попутно, характеризуют повторяемость различных диапазонов скорости ветра в каждом отдельно взятом направлении в виде концентрических окружностей разного радиуса с шагом по скорости 5 м/с.

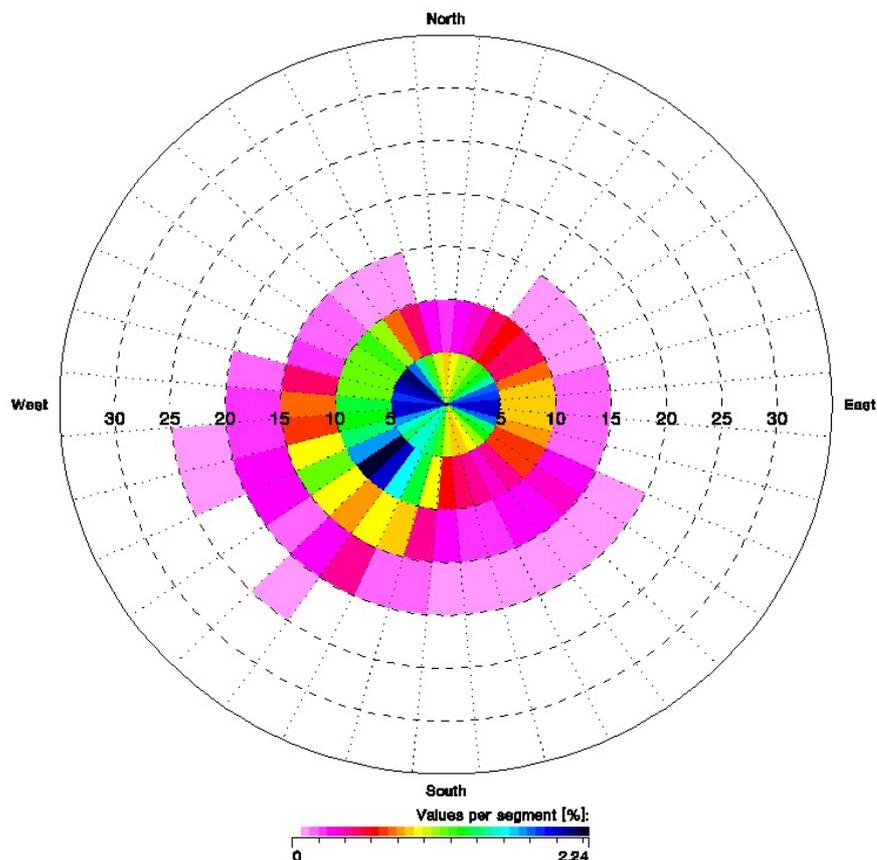
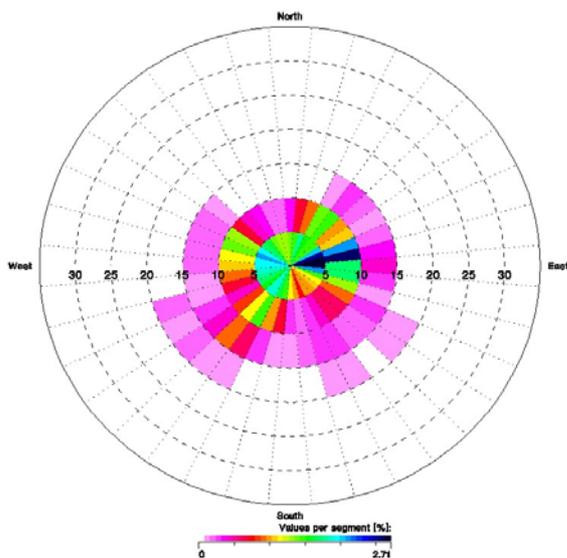


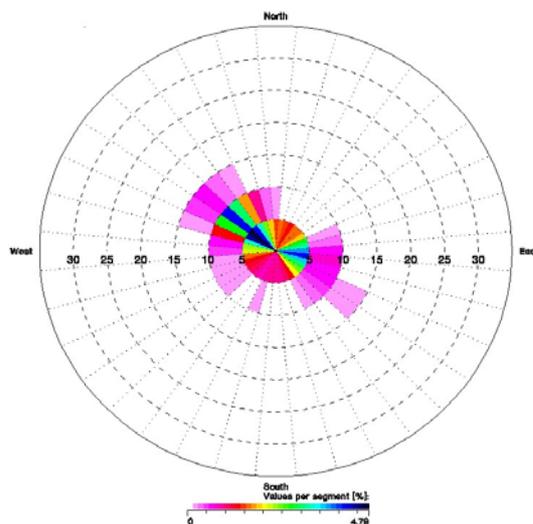
Рисунок 7.5 – Сводная роза ветров над Москвой по содарным данным в слое воздуха от 40 до 500 м за 2011 год.

Как видно, структура розы неоднородна. Основным направлением ветра в 2011 году, как и обычно, было юго-западное. Вместе с тем, прослеживается также вторичная, восточная мода – особенно, в диапазоне скоростей от полного штиля до 10 м/с.

Это свидетельствует об особенностях крупномасштабной атмосферной циркуляции над центром Европейской России в 2011 году: довольно частых периодах восточного переноса – преимущественно вдоль южной периферии антициклонов, особенно в период сильной жары в июле и августе. Чаще всего (чёрный и синий цвет в цветовой шкале повторяемости) над Москвой отмечался западный и юго-западный ветер – слабый и умеренный, со скоростями не более 10 м/с. Самый же сильный ветер, со скоростью до 25 м/с, также имел либо западно-юго-западное, либо западное направление – что

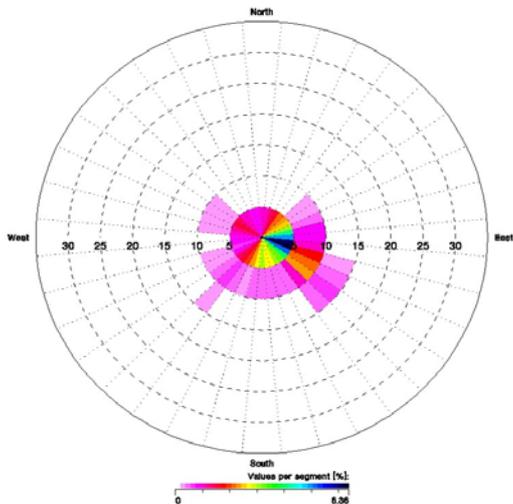


а) Май 2011 г. в слое от 40 до 500 м;

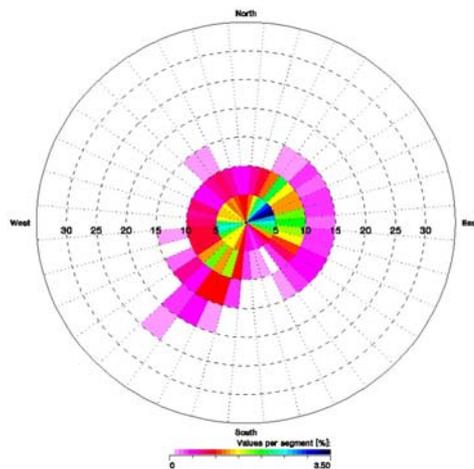


подтверждает также рис.7.1.

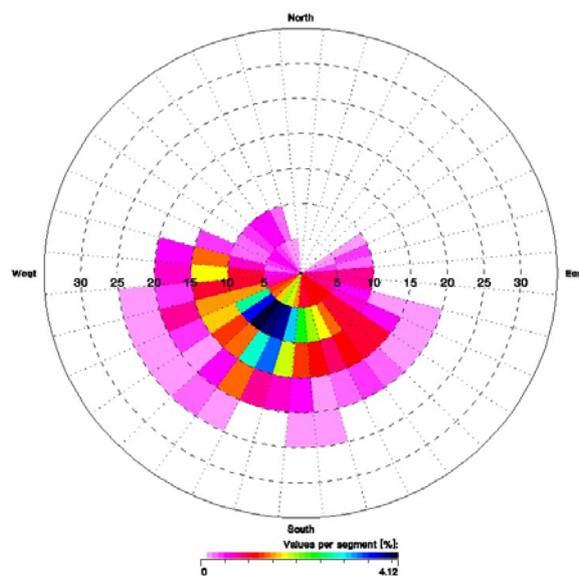
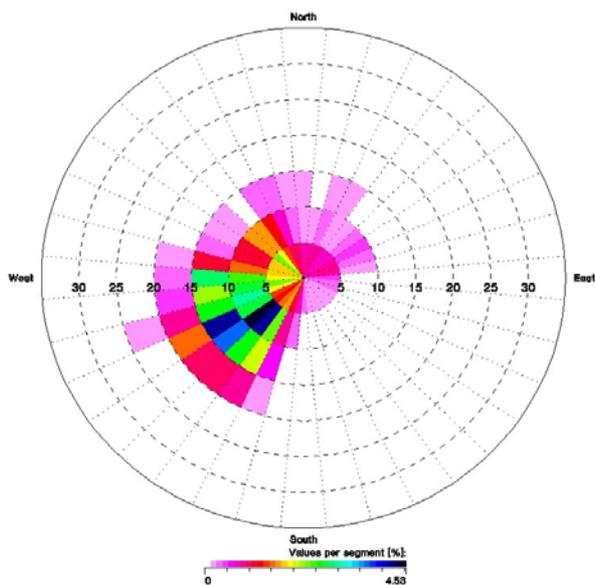
б) Июнь 2011 г. в слое от 40 до 500 м;



в) Июль 2011 г. в слое от 40 до 500 м;



г) Август 2011 г. в слое от 40 до 500 м;



д) Ноябрь 2011 г. в слое от 40 до 500 м;

е) Декабрь 2011 г. в слое от 40 до 500 м;

Рисунок 7.6 – Розы ветров над Москвой по содарным данным в слое воздуха от 40 до 500 м за отдельные месяцы 2011 года.

В отдельные месяцы распределение ветра по направлениям оказывается заметно различным. Так, в ноябре и декабре 2011 года наблюдался вполне обычный западный перенос – вероятно, отражение выноса воздушных масс вдоль юной периферии Исландской депрессии. Напротив, в июле в целом за месяц преобладало восточное направление ветра, что непосредственно связано с происходившей адвекцией тропических воздушных масс, определивших аномально жаркую погоду в Москву. В других же случаях (в июне, в августе) роза ветров характеризуется наличием двух мод, иногда даже равнозначных, что отражает вклад разных синоптических процессов в течение данного месяца.

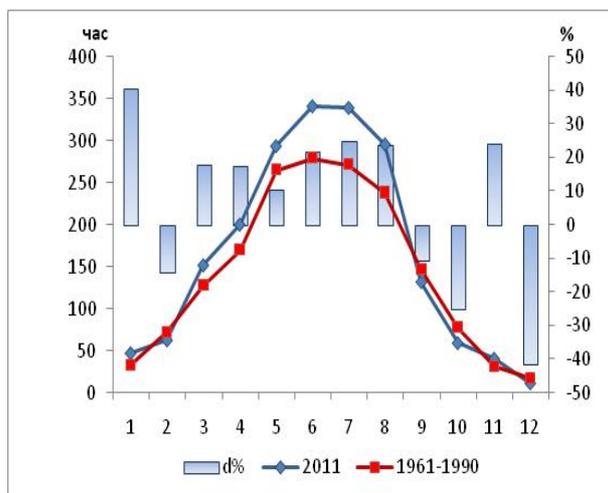
Как видим, обычный для средних широт западный и юго-западный перенос проявляется при осреднении данных за несколько лет и характеризует распределение ветра по направлениям, близкие к климатическим оценкам. В среднем же за отдельные месяцы, в зависимости от синоптических условий, подчас отмечаются значительные различия в общем виде розы ветра.

8. Особенности облачного покрова и продолжительности солнечного сияния

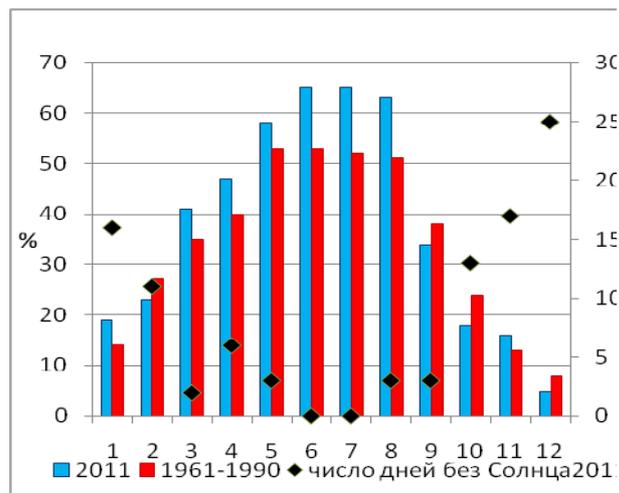
Е.В. Горбаренко

Информация о продолжительности солнечного сияния получена на основе записей гелиографа универсальной модели Кэмпбелла — Стокса. Анализ режима облачности представлен по ежечасным наблюдениям актинометрического отдела, проводимых в светлое время суток. В таблице 8.1 представлены также данные по баллу общей и нижней облачности по наземным (круглосуточным) визуальным наблюдениям в основные метеорологические сроки.

В 2011 году продолжительность солнечного сияния (ПСС) превысила норму на 13%, что составило 43.5 % от возможного ПСС. Всего было 99 дней в году без Солнца. В течение 8 месяцев года ПСС превышала норму (табл.8.1, рис.8.1). Всю весну и лето отмечались большие, относительно нормы и средних (за период 1999-2009 гг.) значения ПСС. Наибольший вклад в годовую сумму ПСС внесли летние месяцы. Для всех летних месяцев значения ПСС выше нормы, больше чем на 20%, что составляет более 60% от возможной ПСС. На 40% и 24% превышена норма ПСС в январе и ноябре. 23 ноября 2011 года суточное значение ПСС превысило максимальное для этого дня за весь период наблюдений (рис.8.2). Самым пасмурным месяцем года стал декабрь, ПСС на 42% ниже нормы (5% от возможной суммы). Теряет репутацию «ясного» месяца февраль, как и в прошлом году, ПСС в феврале ниже нормы на 14 %. Так же ниже нормы ПСС в сентябре и октябре. В таблице 8.1 представлены средние месячные значения ПСС, балла облачности в 2011 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 2010 года.



а)



б)

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

Таблица 8.1 Продолжительность солнечного сияния и облачность

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
ПСС час.													
2011	46,3	61,7	150,9	199,4	292,6	340,1	338,2	294,8	131,1	58,4	39,7	10,5	1964
1961 - 1990	33	72	128	170	265	279	271	238	147	78	32	18	1731
d%	40	-14	18	17	10	22	25	24	-11	-25	24	-42	13
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	65,9	92,4	123,3	159,9	191,7	130,6	57,3	18	7,9	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
% от ВОЗМОЖНОГО													
2011	19	23	41	47	58	65	65	63	34	18	16	5	43,5
1961 - 1990	14	27	35	40	53	53	52	51	38	24	13	8	38

1990													
Δ	5	-4	6	7	5	12	13	12	-4	-6	3	-3	7
1999 - 2009	11	22	40	50	57	55	58	53	47	23	12	8	42
число дней без Солнца													
2011	16	11	2	6	3	0	0	3	3	13	17	25	99
балл общей облачности													
2011	9,2	9,2	7,7	8,1	6,7	6,4	7,2	7,4	9	9,2	9,2	9,8	8,3
1965 - 2010	8,7	8,2	7,9	7,9	7,3	7,5	7,3	7,2	8	8,7	9,1	9,1	8,1
Δ	0,5	1	-0,2	0,2	-0,6	-1,1	-0,1	0,2	1	0,5	0,1	0,7	0,2
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
балл нижней облачности													
2011	7	5,3	5,5	4,8	4,1	3,8	3,5	3,9	6,8	7,6	7,8	8,8	5,7
1965 - 2010	7,1	6,2	5,5	5,1	4,6	5	4,9	4,9	5,7	7	8,1	7,9	6
Δ	-0,1	-0,9	0	-0,3	-0,5	-1,2	-1,4	-1	1,1	0,6	-0,3	0,9	-0,3
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, 2010	1974	1974	1987	1967	2002	1967
мак	9,1	8,8	7,4	7,3	7,7	7,2	6,6	7	8,6	9,3	9,4	9,7	6,8
год	1994	1990	1978	1986	1980	2003	1979	1980	1990	1982	2003	2000	1990
облачность (по метеорологическим срокам)													
2011 общ.	9,5	9,2	7,4	7,8	6,5	6,5	6,9	7,2	8,7	9,2	9,0	9,5	8,1
2011 ниж	7,3	5,4	5,2	4,8	3,9	3,6	3,3	3,8	6,5	7,7	7,9	8,7	5,7

Значения средней многолетней месячной ПСС в 2011 изменялись от 10.5 ч. в декабре до 340.1 ч. в июне. Амплитуда внутригодовых колебаний ПСС в Москве составила 329,6 часа. Вариации месячных значений продолжительности солнечного сияния обусловлены астрономическими факторами, определяющими длину дня, а так же изменчивостью метеорологических условий, прежде всего режима облачности.

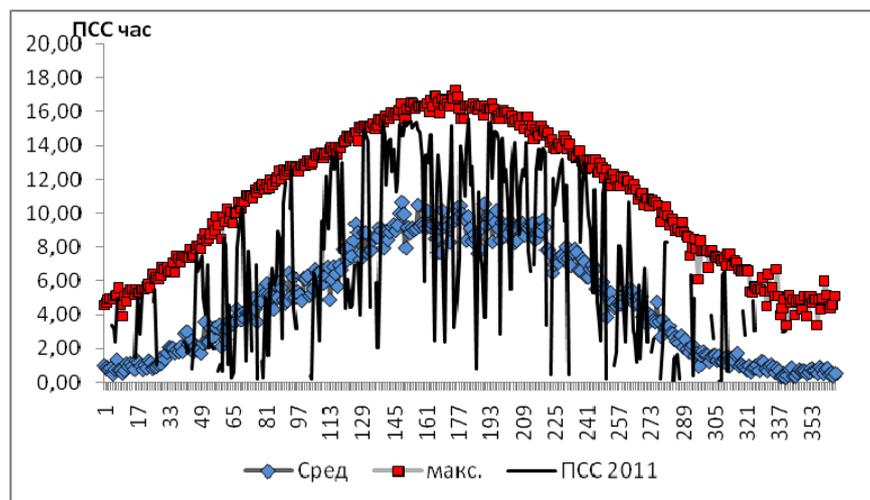
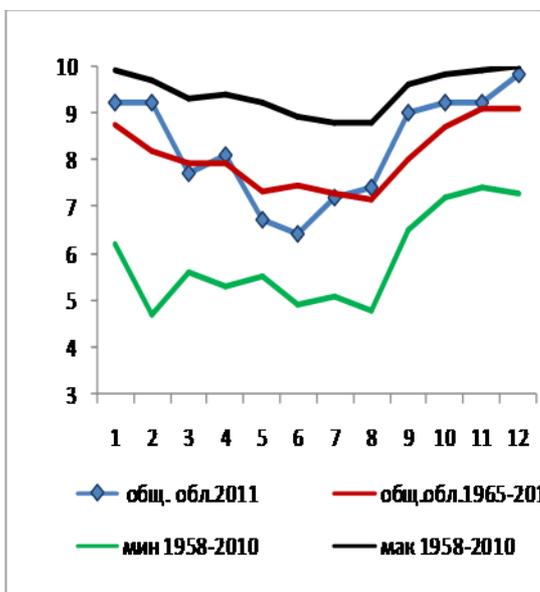
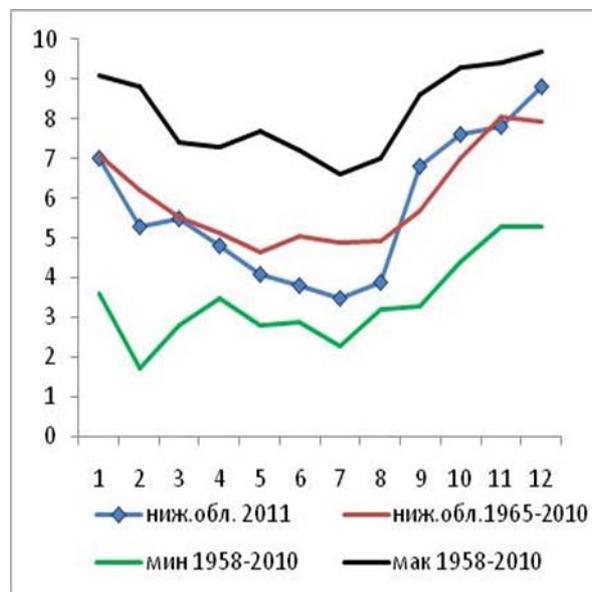


Рисунок 8.2. Ход суточных значений ПСС за каждый день года



а

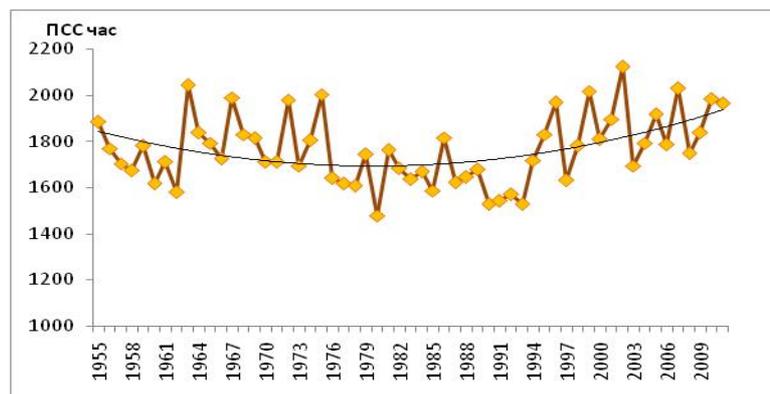


б

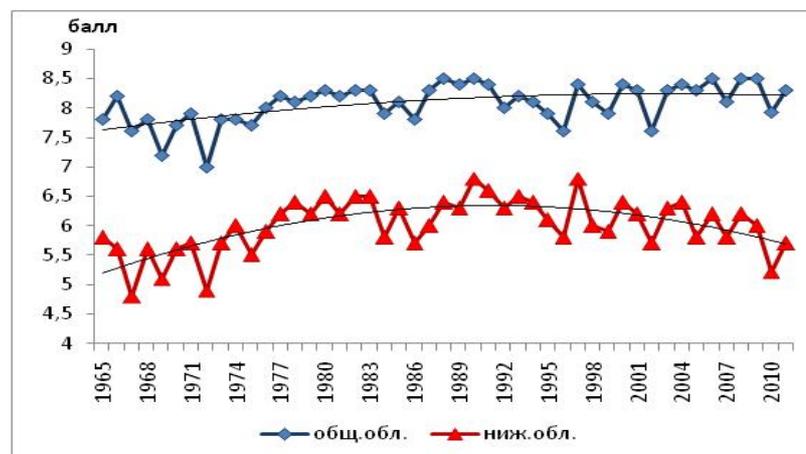
Рисунок 8.3. Годовой ход балла облачности (полученного за светлое время суток): а- общей, б- нижней облачности.

ПСС определяется прежде всего баллом нижней облачности. Восемь месяцев в 2011 году балл нижней облачности ниже нормы, общей 4 месяца (табл.8.1, рис.8.3). В целом за год балл нижней облачности ниже на 0.3, а общей выше на 0.2 среднего значения за период 1955-2010 гг. Уменьшение годового значения балла нижней облачности обусловлено, прежде всего, продолжительной малооблачной погодой с апреля по август. Во все летние месяцы балл нижней облачности меньше 4-х, что ниже средних многолетних значений более чем на 1 балл, количество общей облачности только в августе на 0.2 балла превысил норму.

Данные по баллу облаков, полученные за светлое время суток и по метеорологическим срокам, полностью согласуются между собой, отражая внутригодовую изменчивость облачности. Значения балла облаков по общей и нижней облачности отличаются между собой максимум на 0.3 балла.



а)



б)

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

В 2011 году продолжились тенденции увеличения годовых значений ПСС и уменьшения количества нижней облачности, для общей облачности сохранилась незначимая тенденция к увеличению (рис. 8.4).

9. Первые результаты сопоставлений стандартных метеорологических измерений и данных автоматической станции Vaisala.

П.И. Константинов

9.1. 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:

Комплекс позволяет измерять следующие метеопараметры:

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

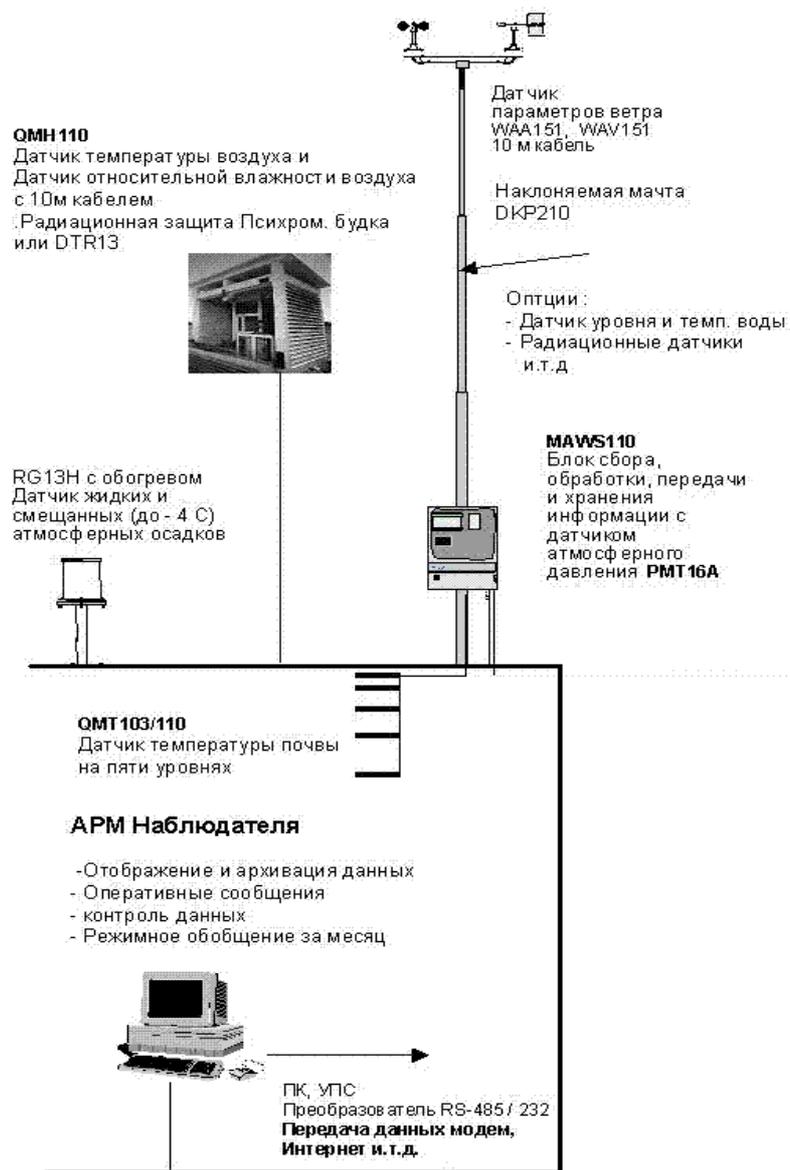


Рисунок 9.1. Принципиальная схема комплекса Vaisala MAWS-301

Используемые в типовой комплектации датчики:

Температура и влажность, включая радиационную защиту

- HMP45D(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.

Для сравнения был выбран ноябрь 2011 года, как месяц с наиболее качественным и ровным рядом наблюдений, не прерывавшимся по техническим причинам.

9.2. Сравнение данных стандартных метеорологических измерений с данными автоматического комплекса MAWS-301

Для приведения двух рядов к сравнению, сперва было произведено осреднение почасовых данных MAWS-301 за каждые два часа – за предшествующий и последующий час по стандартному времени наблюдений на метеоплощадке, чтобы 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.

Температура воздуха.

Данные сравнения температуры воздуха, измеренной с помощью стандартных метеорологических измерений в психрометрической будке и MAWS-301 приведены на рис.9.2.

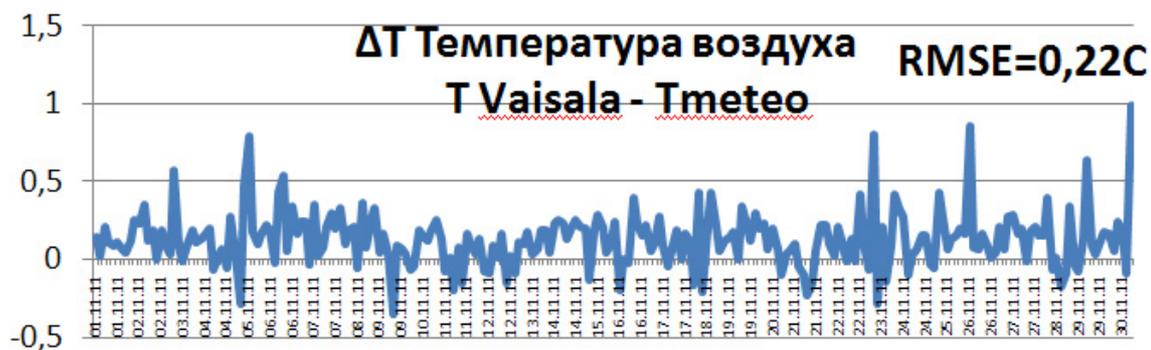


Рисунок 9.2. Сравнение двух способов измерения температуры воздуха (на графике изображена разность между показаниями АМС и стандартным способом измерения на метеорологических станциях)

Видно, что в общем случае MAWS-301 немного завышает температуру воздуха, в отдельные сроки такое превышение достигает 1 градуса. Средняя квадратическая ошибка равняется 0,22 градуса, что является весьма неплохим результатом (см.табл 9.1). Таким образом, представляется возможным оценить точность измерения температуры MAWS-301 как удовлетворительную.

Относительная влажность воздуха.

Данные сравнения относительной влажности воздуха, измеренной с помощью стандартных метеорологических измерений в психрометрической будке и MAWS-301 приведены на рис.9.3



Рисунок 9.3. Сравнение двух способов измерения относительной влажности воздуха (на графике изображена разность между показаниями АМС и стандартным способом измерения на метеорологических станциях)

В отличие от температуры воздуха, какого-либо значимого превышения или занижения значений относительной влажности не наблюдается. Средняя квадратическая ошибка равняется почти 5%, что является весьма неплохим результатом, учитывая сложность измерения характеристики стандартным способом в ноябре месяце. Таким образом, представляется возможным оценить точность измерения относительной влажности MAWS-301 как удовлетворительную.

Атмосферное давление.

Данные сравнения атмосферного давления, измеренной с помощью стандартных метеорологических измерений ртутным барометром и MAWS-301 приведены на рис.9.4.



Рисунок 9.4. Сравнение двух способов измерения атмосферного давления (на графике изображена разность между показаниями АМС и стандартным способом измерения на метеорологических станциях)

В отличие от температуры воздуха, вместо превышения значений атмосферного давления комплексом MAWS-301 наблюдается, напротив, систематическое занижение в отдельные дни. Это, по результатам проведенной проверки, объясняется влиянием человеческого фактора (дежурство различных наблюдателей) при проведении измерений стандартным ртутным барометром. Средняя квадратическая ошибка равняется 0,67 гПа, что является весьма неплохим результатом. (см.табл 9.1) Таким образом, представляется возможным оценить точность измерения атмосферного давления MAWS-301 как удовлетворительную.

Скорость ветра

Данные сравнения температуры воздуха, измеренной с помощью стандартных метеорологических измерений на анемометрической вышке и MAWS-301 приведены на рис.9.5.

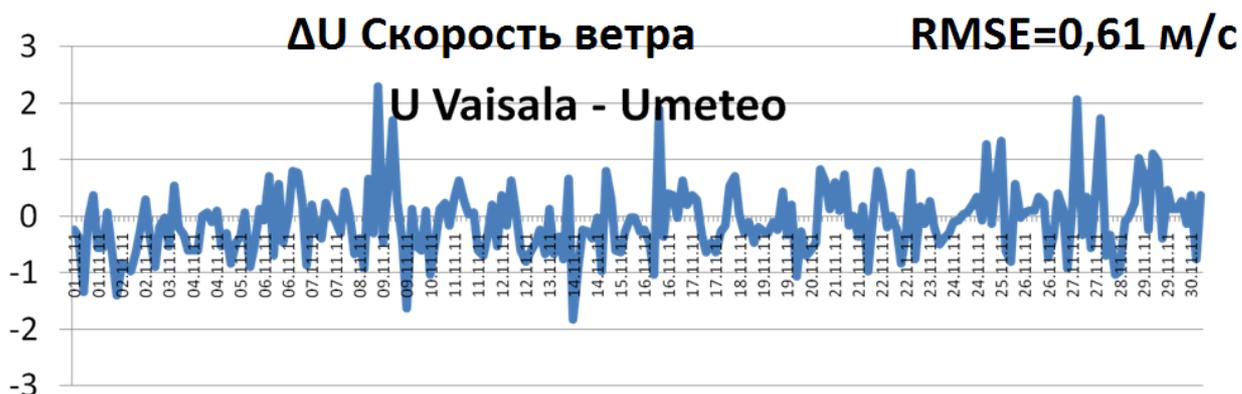


Рисунок 9.5. Сравнение двух способов измерения скорости ветра (на графике изображена разность между показаниями АМС и стандартным способом измерения на метеорологических станциях)

Из рис.9.5 видно, что какого-либо значимого превышения или занижения значений скорости ветра не наблюдается. Средняя квадратическая ошибка равняется 0,61 м/с, что является весьма неплохим результатом (см.табл 9.1). Таким образом, представляется возможным оценить точность измерения средней скорости ветра MAWS-301 как удовлетворительную.

В таблице 9.1 приведены суммарные характеристики сравнения измерений основных метеопараметров поданным MAWS-301 и измерений на площадке МО МГУ.

Таблица 9.1 - Сравнение результатов измерения основных метеорологических параметров с помощью MAWS-301 и стандартным способом измерения на метеорологических станциях)

	Средняя квадратическая ошибка MAWS-301	Средняя абсолютная ошибка MAWS-301	Максимальная абсолютная ошибка по модулю MAWS-301
Температура воздуха, град С	0,22	0,13	0,99
Относительная влажность воздуха, %	4,99	-0,11	19,0
Атмосферное давление, гПа	0,67	-0,3	-5,2
Скорость ветра, м/с	0,61	-0,09	2,3

10. Характеристика прозрачности атмосферы и составляющих радиационного баланса

Е.В. Горбаренко

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

Характеристики прозрачности атмосферы (коэффициент прозрачности атмосферы, приведенный к массе 2 (P_2) и аэрозольная оптическая толщина на 550 нм (АОТ550)) рассчитываются по данным измерений прямой интегральной солнечной радиации и влагосодержанию атмосферы (Абакумова, Горбаренко 2008).

В 2011 году была проведена поверка актинометров №70, №48 с Российским эталоном (Главной Геофизической Обсерватории им. А.И.Воейкова (ГГО)). Переводные множители остались без изменения.

Показатели прозрачности атмосферы в течение всего года свидетельствуют о продолжение в 2011 году тенденции увеличения прозрачности атмосферы (табл.10.1, рис.10.1). Коэффициент прозрачности атмосферы в 2011 г. превысил норму на 7% . Значение АОТ550 в среднем за год уменьшилось относительно нормы в 2 раза, и близко к значению последнего десятилетия, когда почти ежегодно значения АОТ были на 20-40% ниже нормы. В течение всего года АОТ550 - ниже нормы, шесть месяцев в году - значения АОТ550 ниже нормы более чем на 50%.

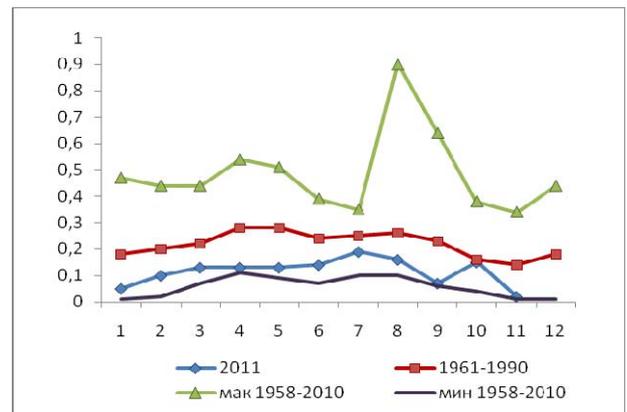
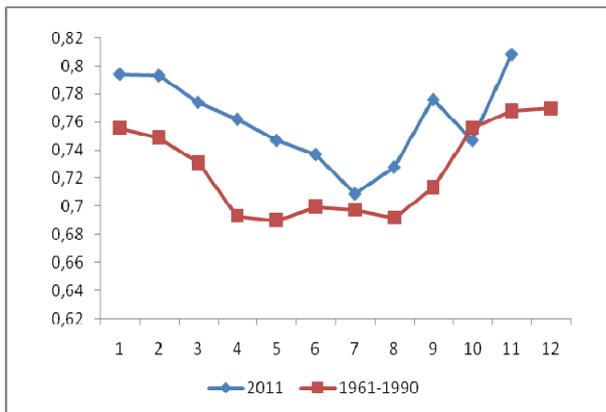
Таблица 10.1 Характеристики прозрачности атмосферы

Коэффициент прозрачности атмосферы													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
2011	0,794	0,793	0,774	0,762	0,747	0,737	0,709	0,728	0,776	0,747	0,808		0,761
1961-1990	0,756	0,749	0,731	0,693	0,690	0,700	0,697	0,692	0,713	0,756	0,768	0,770	0,709

d%*	5	6	6	10	8	5	2	5	9	-1	5		7
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
АОТ 550													
2011	0,05	0,1	0,13	0,13	0,13	0,14	0,19	0,16	0,07	0,15	0,02		0,12
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%*	-72	-50	-41	-54	-54	-42	-24	-38	-70	-6	-86		-50
1999-2009	0,05	0,10	0,13	0,20	0,15	0,13	0,18	0,19	0,20	0,12	0,06	0,04	0,13
мак	0,47	0,44	0,44	0,54	0,51	0,39	0,35	0,9	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	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
год	2009	1989	1997	1997	1997	2004, 1994	1980	2000	2003	1962, 1967, 2001	2003	1999, 2007	1997, 2003

$$*-d\%=(Y_{2011}-Y_{норма})/Y_{норма}*100\%$$

В годовом ходе АОТ не наблюдался характерный для Москвы весенний максимум. Значительный рост аэрозольной мутности в этот период связан с увеличением поступления в атмосферу естественного аэрозоля в результате полного схода снежного покрова. Снежный покров в 2011 году лежал весь март и 14 дней в апреле. Летний июльский максимум ниже нормы на 24%, в остальные летние месяцы отклонения от нормы еще больше. Самым «чистым» был ноябрь, в декабре не было условий для расчета параметров атмосферы.



А

Б

Рисунок 10.1 - Годовая изменчивость характеристик прозрачности атмосферы: а- коэффициент прозрачности, б- аэрозольная оптическая толщина на 550 нм

В многолетней изменчивости параметров прозрачности атмосферы над Москвой сохранилась тенденция к увеличению прозрачности атмосферы (рис.10.2).

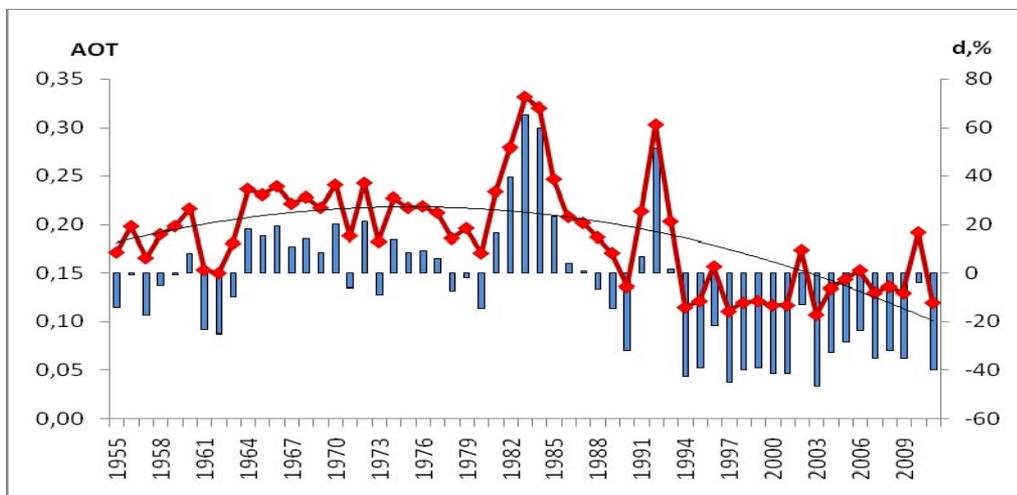
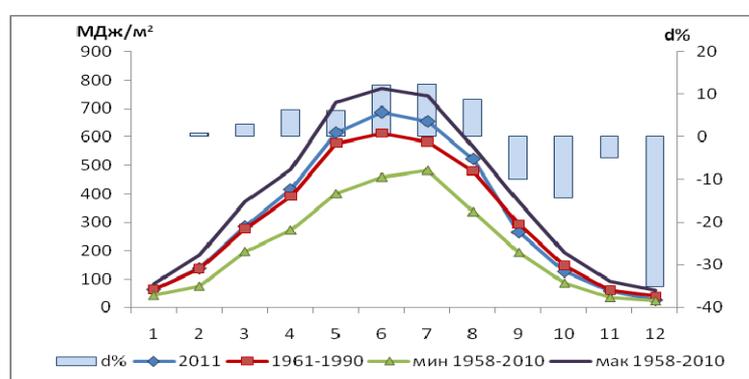


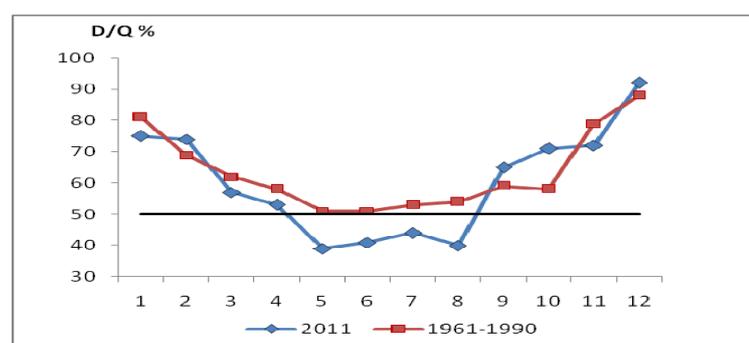
Рисунок 10.2 - Многолетние изменения АОТ550 и отклонения годовых значений от среднего за период 1955-2007 гг.

Приход суммарной интегральной солнечной радиации ($Q, \lambda \leq 4000$ нм) в 2011 году превысил норму на 5%. В течение первых восьми месяцев года месячные суммы Q

превышали норму, наибольшие отклонения отмечены летом. Во все летние месяцы превышение средних многолетних значений Q - более чем на 10 %, максимальный приход в июне - 686 МДж/м^2 . Общий приход суммарной интегральной радиации летом 2011 года составил 1862 МДж/м^2 , большее значение Q (1881 МДж/м^2) наблюдалось только летом 1972 года. Остальные 4 месяца года приход суммарной радиации был меньше нормы. Наименьшее значение в соответствии с астрономическими факторами и условиями облачности 2011 года отмечено в декабре 26 МДж/м^2 , что на 35 % ниже нормы (табл.10.2, рис.10.3а).



а)



б)

Рисунок 10.3 Годовой ход: а- суммарной радиации ($\lambda \leq 4000 \text{ нм}$), б – отношения D/Q .

Существенная роль прямой радиации в суммарной ($D/Q < 50\%$) отмечена с мая по август 2011 г, что не характерно для средних данных (рис.10.3.б). В остальные месяцы года увеличивается вклад рассеянной радиации. В целом за год доля прямой (приходящей

на горизонтальную поверхность) радиации в суммарном потоке была больше, такое соотношение потоков наблюдалось еще только в 2002, 2007 году.

Таблица 10.2 - Составляющие радиационного баланса

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Месячные суммы суммарная радиация Q (МДж/м ²)													
2011	64	137	285	415	614	686	654	522	264	126	58	26	3851
1961-1990	64	136	277	390	578	612	582	480	293	147	61	40	3660
d%	0	1	3	6	6	12	12	9	-10	-14	-5	-35	5
1999-2009	52	122	285	423	590	599	604	468	311	140	54	34	3682
мин 1958-2010	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
мак 1958-2010	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 (%)													
2011	75	74	57	53	39	41	44	40	65	71	72	92	48
1961-1990	81	69	62	58	51	51	53	54	59	58	79	88	57
Δ	-6	5	-5	-5	-12	-10	-9	-14	6	13	-7	4	-9
1999-2009	85	73	58	51	47	49	49	52	54	69	80	88	53
Отраженная радиация Rk (МДж/м ²)													
2011	44	89	174	92	121	139	115	106	53	24	11	11	979
1961-1990	40	87	131	68	117	126	117	96	58	32	24	22	918
d%	10	2	33	35	3	10	-2	11	-9	-24	-54	-50	7
1999-2009	31	74	136	79	116	116	109	85	58	26	17	17	863
мин 1958-2010	22	30	51	37	73	90	92	67	31	14	8	5	682

год	1971	2002	2003	1986	1980	2003	2007	2006	1990	1970	1996	2008	2008
мак 1958-2010	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
Месячные суммы радиационного баланса В (МДж/м²)													
2011	-14	-11	32	190	332	364	346	268	110	36	-7	-15	1631
1961-1990	-34	-26	30	159	267	299	284	212	99	19	-20	-31	1258
d%	59	58	7	19	24	22	22	26	11	89	65	52	30
1999-2009	-15	-11	39	182	289	302	321	224	122	31	-9	-16	1461
мин 1958-2010	-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
мак 1958-2010	4	11	97	206	354	373	374	279	141	42	4	-4	1629
год	2006	2002	2002	2009	2002	1999	2010	2004	2007	2007	2009	2000	2007
Альbedo подстилающей поверхности А (%)													
2011	68	65	61	22	20	20	18	20	20	19	19	43	25
1961-1990	63	64	46	17	20	21	20	20	20	21	39	56	25
Δ	5	1	15	5	0	-1	-2	0	0	-2	-20	-13	0
1999-2009	60	59	47	19	20	19	18	18	19	18	31	48	25
мин 1958-2010	50	36	19	12	16	18	14	15	15	13	18	23	19
год	1971	2002	2002	1979	1970	> 3 лет	2002	2002	2002	2008	1996	2008	2002
мак 1958-2010	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

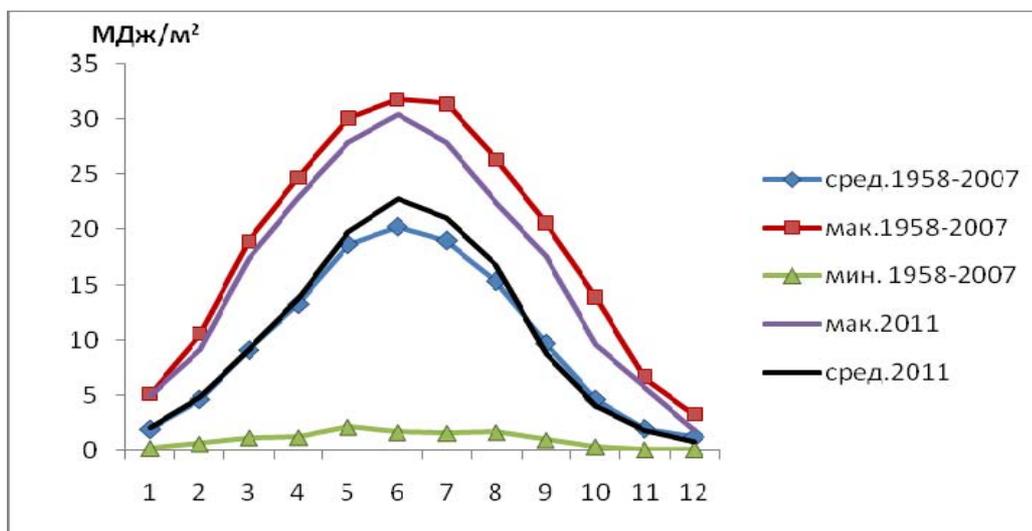


Рисунок 10.4 - Годовой ход суточных сумм суммарной интегральной радиации.

Изменчивость суточных значений ПСС (ΣQ_c) определяется астрономическими факторами (продолжительностью светового дня) и облачностью. Значения ΣQ_c для первых 8 месяцев года превысили норму (рис.10.4). Для 9 дней года отмечен суточный максимум и для 4 дней суточный минимум суммарной интегральной радиации для соответствующих дат года за весь период наблюдений (рис.10.5). Но максимальные и минимальные суточные суммы ΣQ_c 2011 года не перекрыли абсолютных максимальных и минимальных значений суточных сумм за период 1958 -2007 гг.

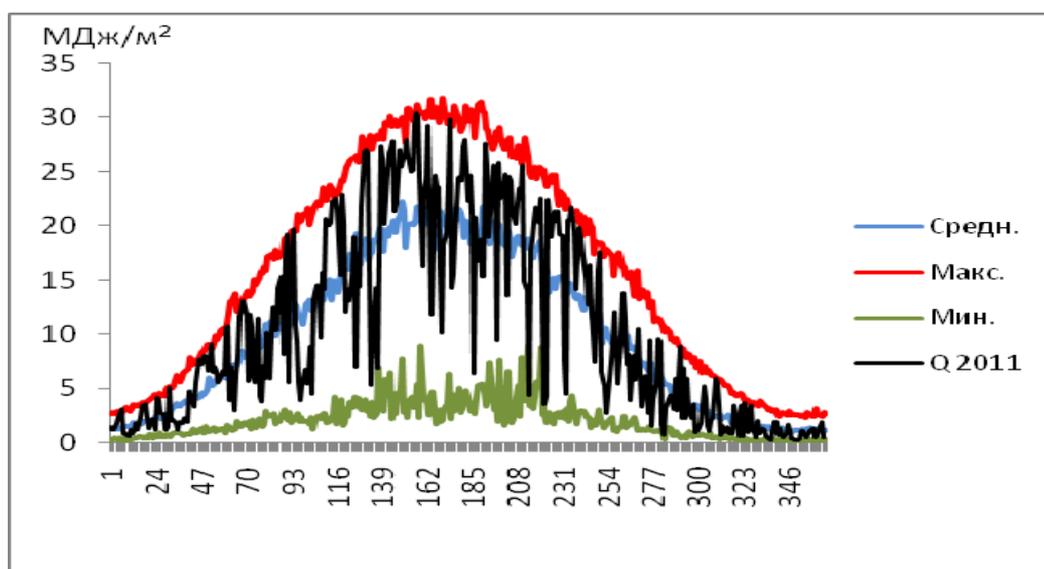


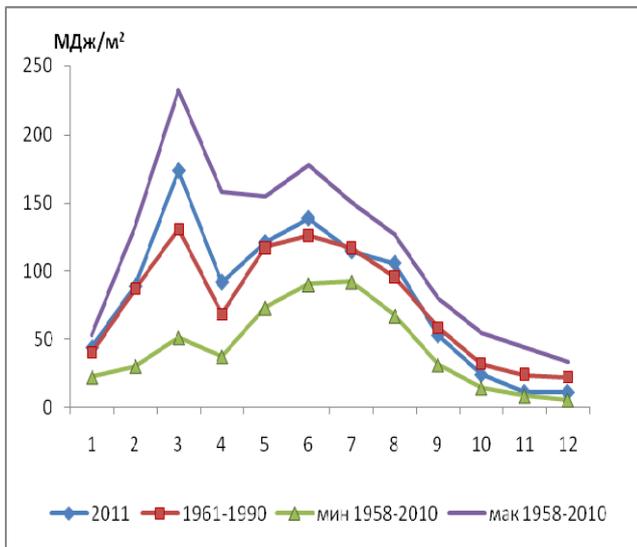
Рисунок 10.5 - Суточные суммы суммарной радиации за каждый день года

Таблица 10.3 - Месячные и годовые значения коротковолнового и длинноволнового баланса

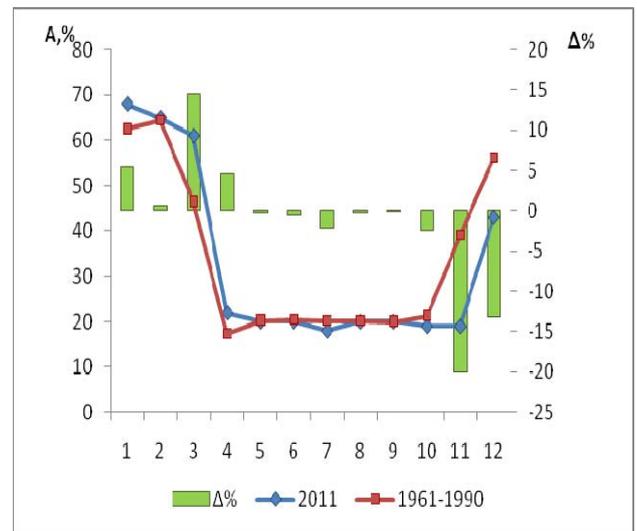
Месячные суммы коротковолнового баланса B_k (МДж/м ²)													
2011	20	48	111	323	493	547	539	416	211	102	47	15	2872
1961-1990	24	48	147	321	461	487	465	383	234	115	37	17	2738
d%	-16	0	-24	1	7	12	16	9	-10	-12	29	-13	5
1999-2009	21	48	149	344	474	483	495	383	253	115	37	17	2819
мин 1958-2010	14	26	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 1958-2010	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
Месячные суммы длинноволнового баланса B_d (МДж/м ²)													
2011	-34	-59	-79	-133	-161	-183	-193	-148	-101	-66	-54	-30	-1241
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
мак 1958-2010	-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
мин 1958-2010	-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

Величина альbedo подстилающей поверхности в среднем за 2011 г соответствует норме. Наибольшие отклонения от нормы отмечены в месяцы установления и схода снежного покрова. В марте альbedo превысило норму на 15%. По средним многолетним данным – это месяц разрушения и, часто, схода снежного покрова в Москве. В зимний период 2010-2011 г.г. снежный покров характеризовался большой устойчивостью и продержался до первой декады апреля, значения альbedo в марте соответствовали средним зимним значениям. Наибольшее уменьшение альbedo от нормы в ноябре (на 20%) и

декабре (на 13%) связано с поздним установлением снежного покрова (табл.10.2, рис.10.6.б).



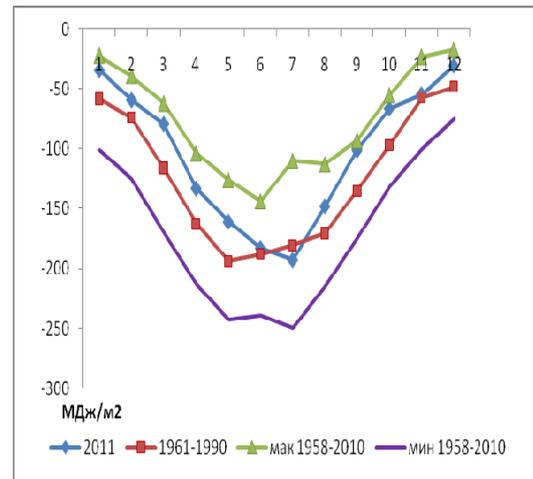
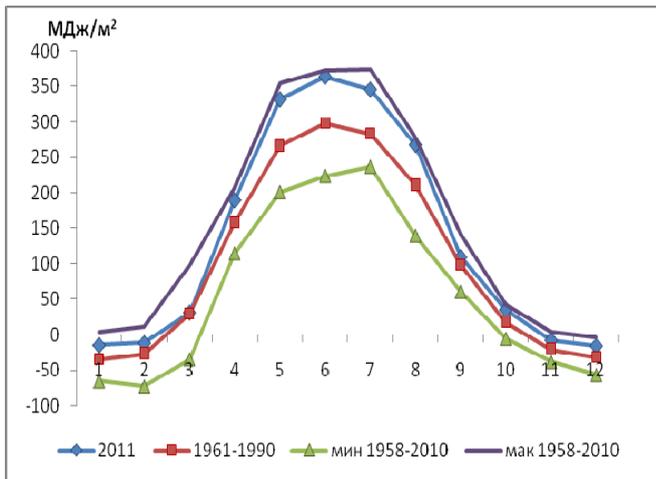
а



б

Рисунок 10.6 - Годовой ход: а- отраженной радиации, б- альbedo подстилающей поверхности

Изменчивость отраженной радиации связана как с приходом суммарной радиации, так и с состоянием подстилающей поверхности. Месячное значение R_k в марте на 33% превысило норму. Существенное увеличение отраженной радиации в марте связано с большим поступлением суммарной радиации и сохранением высоких отражательных свойств поверхности в марте 2011. В ноябре и декабре R_k на 50% ниже нормы (табл.10.2, рис.10.6.а). В среднем за год отраженная радиация на 7% выше нормы.



а

б

Рисунок 10.7 - Годовой ход: а- общего радиационного баланса, б- длинноволнового радиационного баланса

Во все месяцы года месячные суммы радиационного баланса выше нормы (табл.10.2, рис.10.7а). Годовая сумма радиационного баланса составила 1631 МДж/м² (на 30% выше нормы), что стало **абсолютным максимумом** за весь период наблюдений (рис.10.8) .

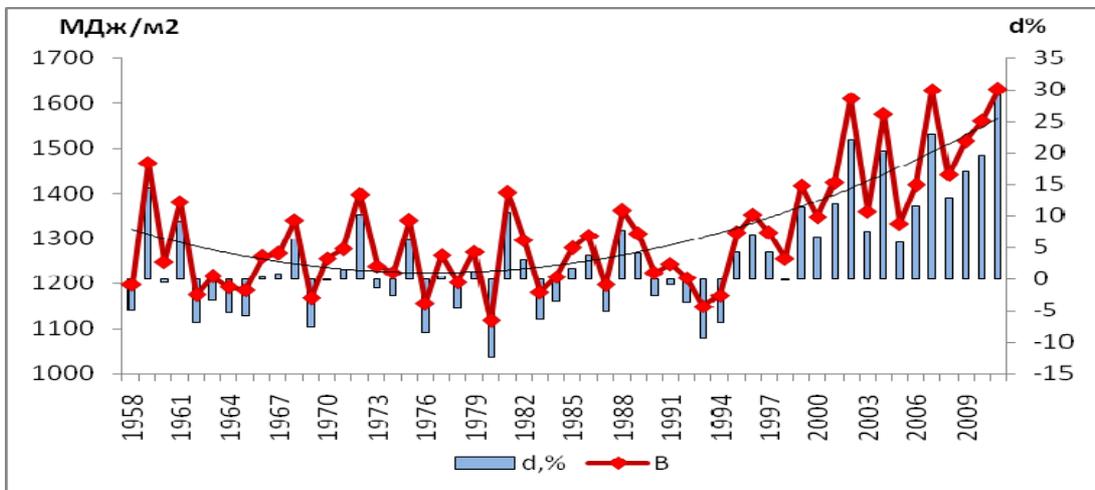


Рисунок 10.8 Многолетние изменения радиационного баланса и отклонения годовых значений от нормы

Большую часть года (8 месяцев) земная поверхность больше получала тепла, чем отдавала. В месяцы с отрицательными значениями радиационного баланса увеличение относительно нормы больше, чем на 50% (табл.10.2). Наибольшие изменения в тепловом режиме земной поверхности произошли в холодное время года (осень и зима), что продолжило тенденцию последних пятнадцати лет. В марте отмечено наименьшее (7%)

отклонение от нормы, т.к. до конца месяца сохранялся устойчивый снежный покров, увеличилась отраженная радиация и, следовательно, уменьшился радиационный баланс подстилающей поверхности. Увеличение значений B происходит как за счет роста годовых сумм коротковолнового баланса, так и за счет роста годовых сумм длинноволнового баланса земной поверхности (табл.10.3).

Поглощённая радиация B_K является ведущей составляющей радиационного баланса в течение всего теплого периода. С ноября по февраль связь между указанными величинами ослабевает, в эти месяцы основной вклад в общий баланс вносит длинноволновая его часть. Подобные закономерности получены и по результату исследований данных за 50 лет (Горбаренко, Абакумова, 2011).

Годовой ход суточных сумм B повторяет годовой ход месячных сумм B . В течение всех месяцев средние суточные суммы в 2011 превысили норму, в апреле 2011 отмечен **абсолютный максимум суточной суммы** B для этого месяца (рис. 10.9). Для 33 дней значения суточных сумм B превысило максимальные значения для соответствующих дат из выборки 1955-2007гг. (рис. 10.10).

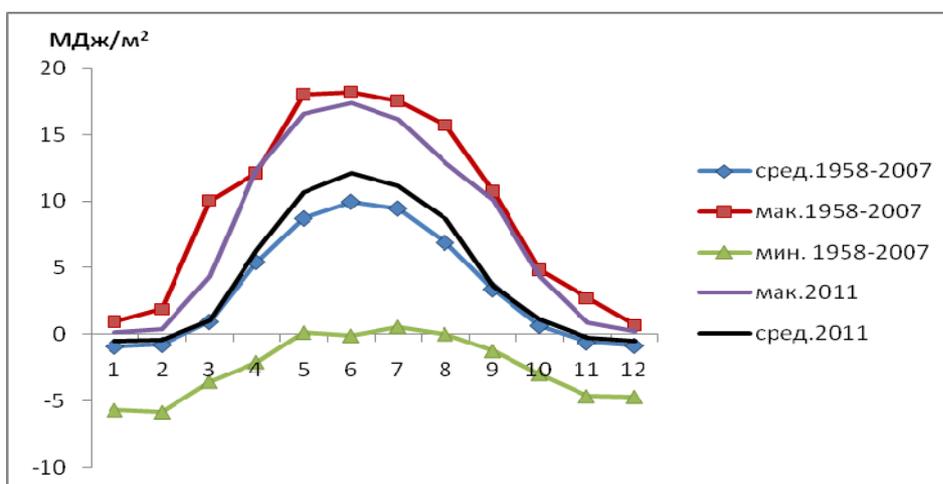


Рисунок 10.9 - Годовой ход суточных сумм общего радиационного баланса

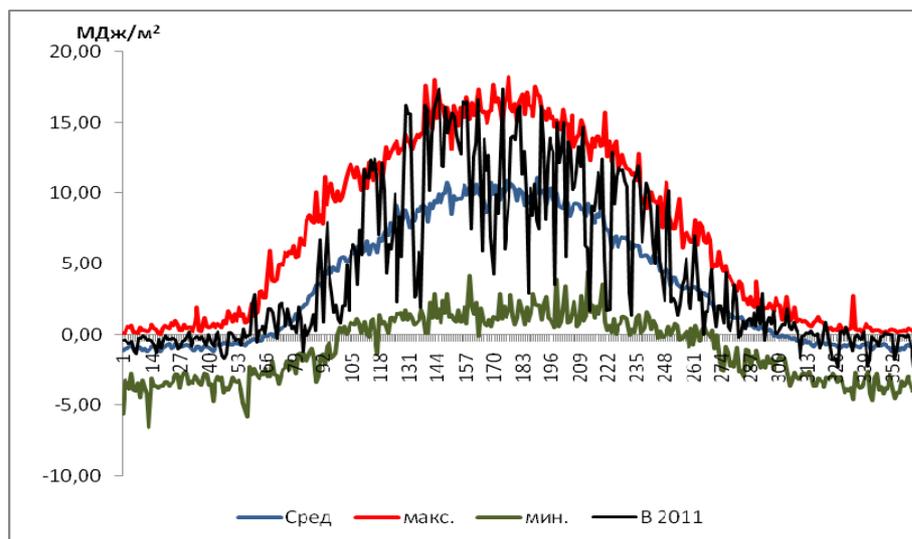


Рисунок 10.10 - Суточные суммы радиационного баланса за каждый день года

Таблица 10.4 Годовые значения характеристик прозрачности атмосферы и составляющих радиационного баланса

	P_2	AOT550	A%	S _{гор.}	D	Q	R _k	B
2011	0,761	0,12	25	2000	1851	3851	979	1631
1961-1990	0,709	0,24	25	1584	2073	3660	918	1258
d,%	7	-50	0	26	-11	5	7	30

Таким образом, в 2011 году отмечены следующие тенденции (табл.10.4):

- увеличение прозрачности атмосферы
- увеличение прямой солнечной радиации
- уменьшение рассеянной радиации
- увеличение 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.

Горбаренко Е.В., Абакумова Г.М. Вариации радиационного баланса подстилающей поверхности по многолетним наблюдениям Метеорологической обсерватории МГУ. Метеорология и гидрология. 2011, №6, с.42-54

Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям.- Л., Гидрометеиздат, 1973, 223 с.

11. Особенности режима фотосинтетически-активной радиации

О.А.Шиловцева

Солнечная радиация в интервале длин волн 400-700 нм 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 2011 году в МО МГУ продолжались наблюдения за суммарной ФАР по прибору LI-190SL № 40631. Градуировка записи ФАР проводилась в теплый период (апрель-октябрь) по контрольному прибору LI-190SL №.27953. Летом 2011 г. LI-190SL №.27953 был отградуирован по актинометру № 45 с широкополосными фильтрами БС-8 и КС-19 с учетом переходного коэффициента от области ФАР 380-710 нм (которая измеряется с помощью этих фильтров) к области 400-700 нм (Шиловцева, 2011).

Сравнение данных наблюдений 2011 г. проводились со средними величинами ФАР, полученными за период 1999-2009 гг.

В целом за год поступление суммарной ФАР (Q_f) в 2011 году превысило среднюю сумму за период 1999-2009 гг. на 6% (годовая сумма суммарной интегральной радиации Q выше средней за тот же период на ту же величину - 6%). Это соответствует средней естественной изменчивости годовой суммы ФАР за рассматриваемый период осреднения (коэффициент вариации годовых сумм $Q_f V_{\text{год}} = \pm 6\%$).

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 2011 году оказалась второй после максимума, а сумма ИР – четвертой (рис. 11.1).

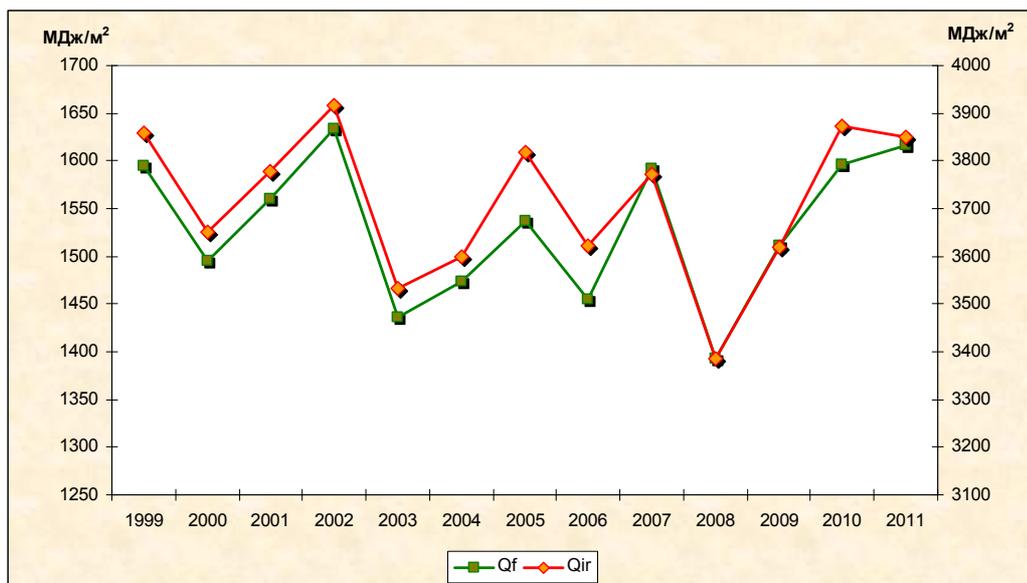


Рисунок 11.1. Многолетнее изменение годовых сумм суммарной ФАР и ИР

Все сезонные суммы суммарной ФАР 2011 года, за исключением осени, также превысили средние значения за 1999-2009 гг., причем наибольшее превышение – +18% – наблюдается опять для зимнего периода, как и в предыдущем 2010 году. Это превышение значительно больше средней естественной изменчивости суммы ФАР зимой ($V_{\text{зима}} = \pm 10\%$). Столь значительное увеличение зимней суммы Q_f объясняется тем, что зимний сезон 2011 года, так же, как и в 2010 году, характеризуется самым значительным ростом продолжительности солнечного сияния (табл. 11.1). За период 1999-2011 гг. именно зимой 2011 года наблюдалась максимальная сезонная сумма ФАР ($94,6 \text{ МДж/м}^2$). Для интегральной радиации сумма за зиму 2011 года оказалась четвертой по величине, максимум наблюдался в прошлом 2010 г. (рис. 11.2).

Летом 2011 года сумма Q_f превысила среднюю величину на 12%, что оказалось почти в два раза больше по сравнению с ростом ФАР в прошлом году (6%) (см. табл. 11.1). Особенность лета этого года заключается в том, что все три месяца были малооблачны, не было ни одного полностью пасмурного дня. Разница между нормой и сезонной суммой Q_f в 2011 г. превысила среднее квадратическое отклонение почти в два раза. Это очень значительное отклонение от нормы, в результате чего за период 1999-2011 гг. сезонная сумма суммарной и ФАР, и ИР в этом году оказались максимальными.

Весной 2011 г. превышение сезонной суммой ФАР нормы невелика: разница между ними 4%, что не выходит за пределы доверительного интервала (см. табл. 1.11). Тем не менее, за рассматриваемый 13-ти летний период суммы как ИР, так и ФАР оказались четвертыми по величине. Максимальное поступление радиации весной наблюдалось в 2002 г. (см. рис. 11.2).

Таблица 11.1. Сезонные суммы суммарной ФАР (400-700 нм, МДж/м²) в 2011 г. и в среднем за период 1999-2009 гг.

	Зима *	Весна	Лето	Осень
Q_{Σ} , МДж/м ²				
2011 г.	95	551	789	186
1999-2009 гг. ± ДИ	80±5	530±24	714±36	202±9
δ^{**} , %	+18	+4	+12	-8
Q , МДж/м ²				
2011 г.	237	1314	1862	448
1999-2009 гг.	209	1298	1676	505
δ^{**} , %	+14	+1	+11	-11
ПСС, час				
2011 г.	134	643	973	229
1999-2009 гг.	102	648	841	287
δ^{**} , %	+31	-1	+16	-20
Доля от возможной ПСС, %				
2011 г.	18	49	64	23

1999-2009 гг.	13	49	56	28
Общая облачность, балл				
2011 г.	9.2	7.5	7.0	9.1
1999-2009 гг.	9,1	7,8	7,6	8,6
δ^{**} , %	+1	-4	-8	+6
Нижняя облачность, балл				
2011 г.	6.8	4.8	3.7	7.4
1999-2009 гг.	7,8	4,9	4,9	6,8
δ^{**} , %	-13	-2	-24	+9

*При расчетах взят декабрь предыдущего года.; ** - $\delta = (2011 - \text{Среднее}_{1999-2009}) / \text{Среднее}_{1999-2009}$

Осень 2011 г. характеризуется небольшим поступлением радиации в видимой области спектра, причем уменьшение Q_f составило -8%, чему способствовал рост общей и, особенно, нижней облачности (см. табл. 11.1). Продолжительность солнечного сияния также составила менее четверти от возможной. Всё это привело к тому, что сезонная сумма Q_f 2011 года оказалась на 11 месте (минимум наблюдался в 2002 г.), а отклонение от средней превысило среднее квадратическое отклонение (см. рис. 11.2).

Месячные суммы суммарной ФАР в течение 2011 года изменялись от 14,2 Мдж/м² в декабре до 315,7 Мдж/м² в июле, главным образом, следуя за годовым ходом

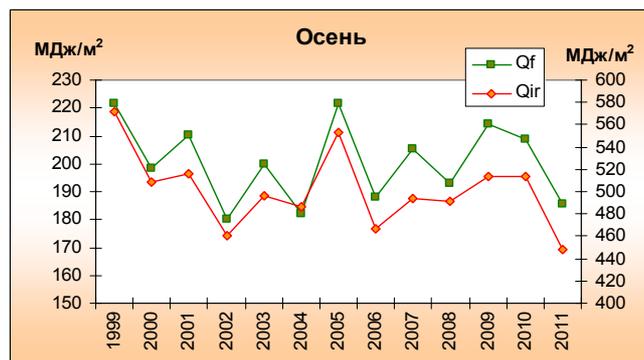
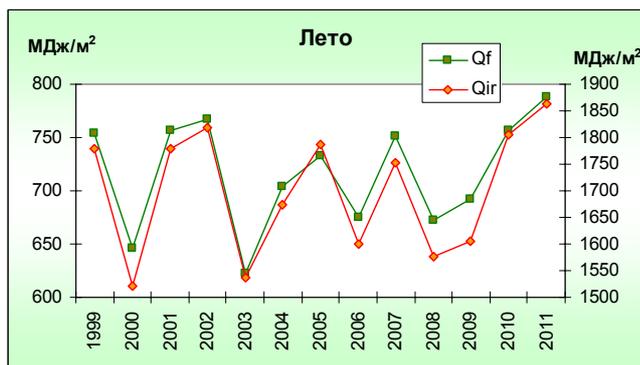
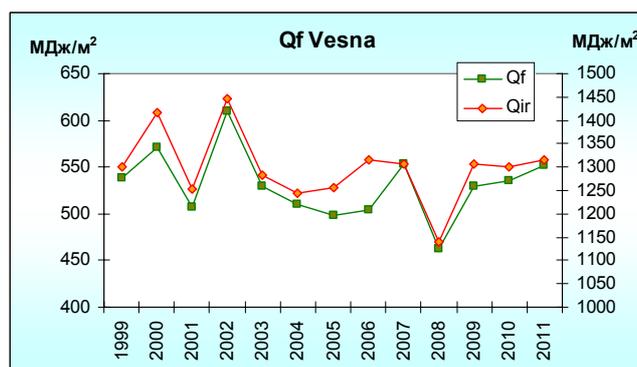
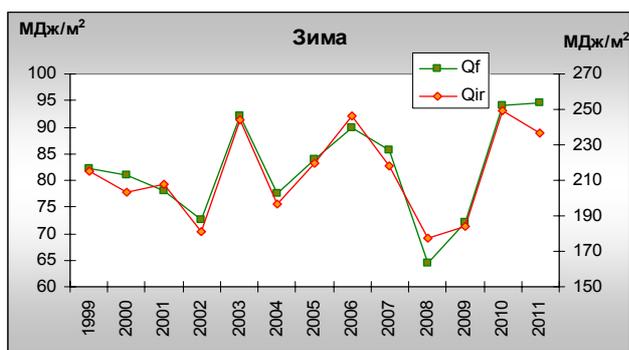


Рисунок 11.2. Многолетние изменения сезонных сумм суммарной ФАР и интегральной солнечной радиации за период 1999-2011 гг.

облачности и продолжительности солнечного сияния (рис. 11.3, см. табл. 8.1). В восьми месяцах из двенадцати сумма 2011 года оказалась выше средней (табл. 11.2).

Основной вклад в столь значительное увеличение зимней суммы ФАР внесли январь и февраль. Суммы Q_f и в январе, и в феврале - вторые по величине после сумм 2010 г. (январь) и 2007 г. (февраль) (рис. 11.3, табл. 11.2). Различия в суммах 2011 г. и средними за 1999-2009 гг. превысили доверительный интервал. Такое значительное поступление суммарной ФАР в эти месяцы обусловлены значительным уменьшением нижней облачности в эти месяцы, ростом ПСС и прозрачности атмосферы (см. табл. 8.1, 10.1).

Таблица 11.2. Месячные и годовая сумма суммарной ФАР (400-700 нм, МДж/м²)

Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XI I	Год
2011 г.	26	55	118	176	257	289	278	222	112	51	23	11	161 6
1999-2009	20	47	111	170	249	259	257	200	125	55	21	13	152 7
±ДИ средней	1.6	4.4	8.7	7.6	19.0	22.8	11.7	16.2	5.9	6.0	2.5	2.3	53
δ 2011,%	27	17	7	3	4	13	9	13	-11	-7	12	- 18	7
Доли ФАР в суммарной интегральной радиации (%)													
2011 г.	40	40	41	43	42	42	42	43	42	41	40	41	42
1999-2009	39	39	40	41	42	43	42	42	40	39	39	38	41

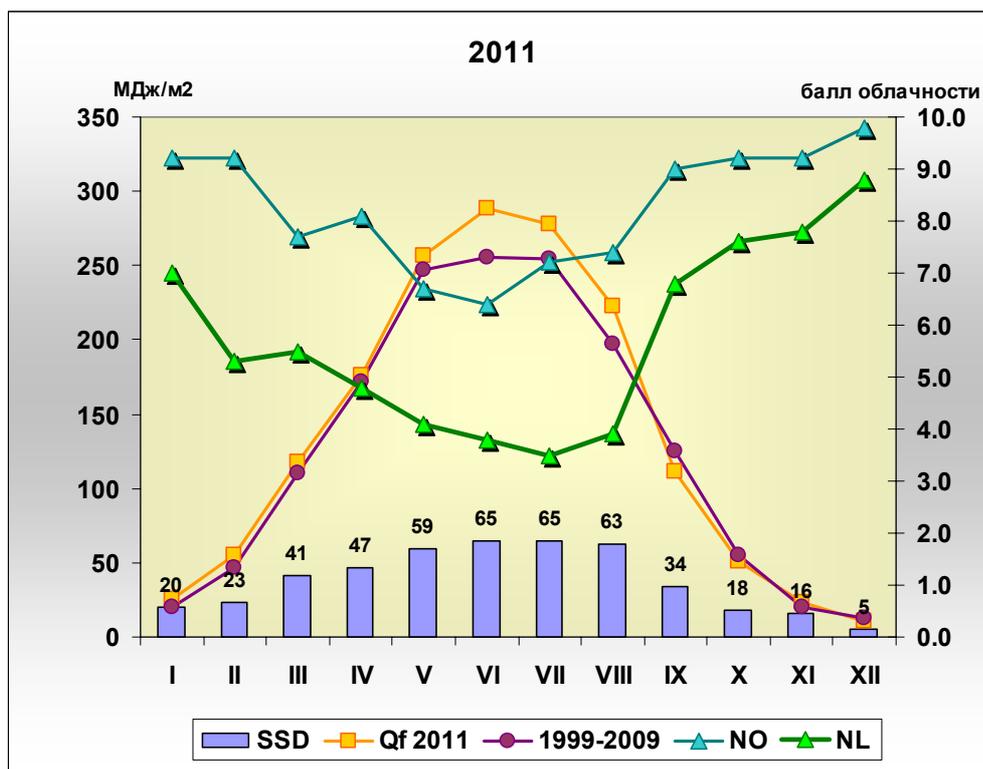
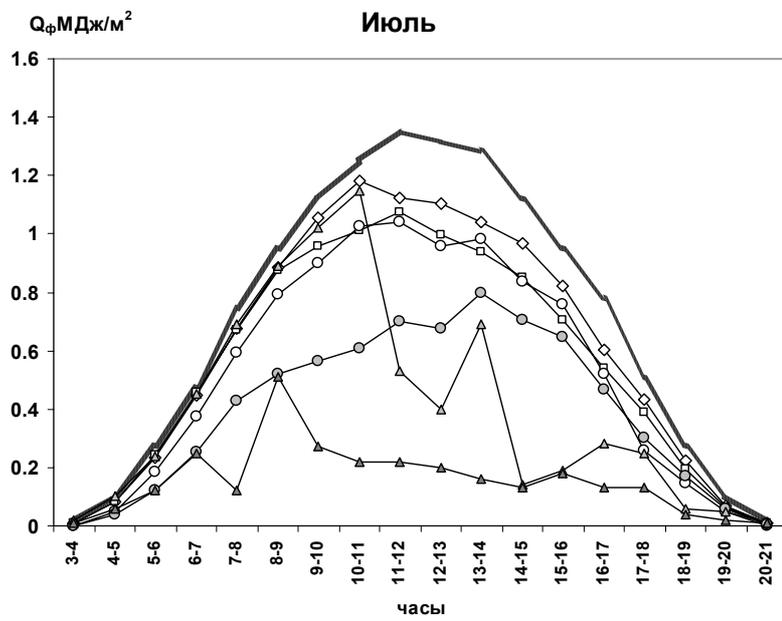
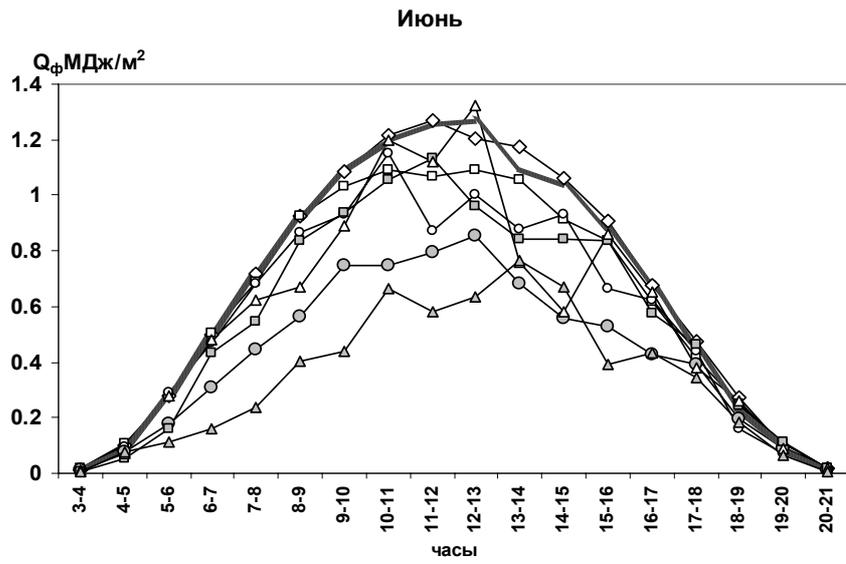


Рисунок 11.3. Годовой ход месячных сумм суммарной ФАР (Q_f , МДж/м²), относительной продолжительности солнечного сияния (SSD, %) и среднего за месяц общей (NO, балл) и нижней облачности (NL, балл) в 2011 году

Весной поступление суммарной ФАР было близко к норме во все месяцы, разница между месячными суммами 2011 года и средними за 1999-2009 гг. не вышла за границы доверительных интервалов (см. табл.11.3).

Главной особенностью годового хода месячных сумм суммарной ФАР является значительный приход видимой радиации летом. Во все летние месяцы суммы превысили верхние границы доверительных интервалов в силу продолжительного периода с минимальной облачностью и максимальной продолжительностью солнечного сияния (см. рис.11.3, табл. 11.2, 8.1.). И хотя максимальные суммы в отдельные месяцы перекрыты не были, в целом за лето сумма Q_f получилась максимальной. Это связано с небольшой изменчивостью облачности в течение лета. Как видно из рисунка 11.4, в течение лета ни разу не было пасмурного дня, а преобладали дни с переменной облачностью (рис. 11.4). Особенно это касается июня, когда приход солнечной радиации максимален.



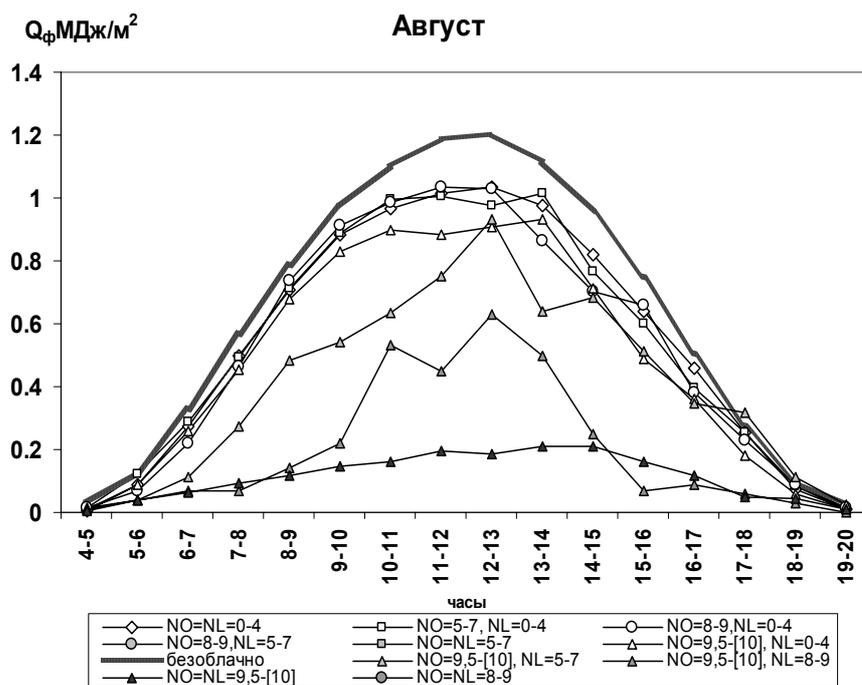


Рисунок 11.4. Суточный ход суммарной ФАР в летние месяцы 2011 г. при различном количестве общей (NO) и нижней (NL) облачности.

В сентябре поступление ФАР за счет резкого увеличения нижней облачности было значительно меньше нормы, причем сумма 2011 г. оказалась наименьшей за период с 1999 по 2011 гг. Разница между средней величиной Q_f в этом месяце оказалась больше $1,5\sigma$ (см. табл.11.2, рис.11.3). В октябре уменьшение суммы ФАР по сравнению с нормой оказалось не столь велико: сумма ФАР в 2011 г. не вышла за границы доверительного интервала. В ноябре, наоборот, сложились условия, приводящие к росту поступления радиации по сравнению со средними значениями Q_f , за счет чего сумма ФАР достигла верхнего предела доверительного интервала.

При сравнении годового хода в 2011 и 2010 гг. оказалось, что месячные суммы суммарной ФАР 2010 года в семи месяцах из двенадцати превысили суммы 2011 года. Наибольшая разница в сторону увеличения ФАР отмечается в августе (+26%) и ноябре (29%) 2011 г. Уменьшение поступления ФАР в 2011 г. по сравнению с 2010 г. наблюдалось наиболее значительно в октябре и декабре (-25%). В целом годовые суммы ФАР в 2010 и 2011 гг. близки друг к другу: первая меньше второй всего на 1%.

Вклад ФАР в годовую сумму суммарной интегральной радиации составил 42%, изменяясь в месячных суммах в пределах 40-43% (см. табл.11.2). Особенностью годового хода доли суммарной ФАР в 2011 г. является небольшой рост вклада видимой радиации в интегральную в апреле и августе по сравнению с нормой.

Средние суточные суммы суммарной ФАР в течение 2011 года менялись от 0,34 Мдж/м² в декабре до 9,31 Мдж/м² в июне (табл.11.3). Приход суммарной ФАР может колебаться в широких пределах ото дня ко дню. Это хорошо видно при анализе среднеквадратического отклонения суточных сумм ФАР и величин экстремальных сумм (табл.11.3, рис. 11.5-11.7).

Таблица 11.3. Суточные суммы суммарной фотосинтетически активной радиации в 2011 г. и в среднем за 1999-2009 гг.

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	2011 год											
Средняя, МДж/м ²	0,82	1,77	3,80	5,69	8,29	9,31	8,96	7,17	3,60	1,65	0,74	0,34
Максимум, МДж/м ²	2,08	3,32	7,33	9,75	11,93	12,62	12,01	9,66	7,63	4,19	2,35	0,77
Дата	31	21	31	29	25	6	1	8	7	7	5	5
Характер погоды	4/3 ☀ ² Ci Cc Sc	6/5 ☀ Ci Cc Sc	5/5 ☀ Sc	7/3 ☀ Ci Ac Sc Cu	4/1 ☀ ² Ci Cc Sc	2/0 ☀ ² Ci	4/1 ☀ ² Ci Cc Cu	4/2 ☀ ² Ci Cu	5/0 ☀ ² Ci Cc Ac	9/1 ☀ Ci Cc Ac Sc	4/1 ☀ ² Ci Cc Ac Sc	9/7 ☀ Ci Cc Ac Sc
Минимум, МДж/м ²	0,24	0,46	1,21	1,76	2,36	4,28	2,78	1,52	1,10	0,38	0,20	0,10
Дата	10	4	5	8	14	19	5	10	11	26	26	17
Характер погоды	10/10 St, Sc	10/10 Cb Sc, Frb снег	10/10 Sc, Cb, Frb Мокрый снег	10/10 Sc, Cb Frb Мокрый снег	[10]/ 9 Sc Cb Frb дождь	10/7 Sc Cb Frb дождь	10/9 Ci Cc Ac Sc Cb дождь	[10]/9 Ac Sc Cb Frb дождь	10/10 Ns Cb Sc, Frb дождь	10/10 St Sc дым из труб	10/10 Sc St Cb Frb дождь	10/1 0 Sc

σ , МДж/м ²	0,46	0,99	1,56	2,76	2,97	2,28	2,18	2,49	1,71	1,11	0,56	0,21
	1999-2009 гг.											
Средняя МДж/м ²	0,65	1,71	3,57	5,67	8,04	8,64	8,28	6,45	4,16	1,76	0,70	0,42
ДИ ±	0,04	0,10	0,20	0,26	0,31	0,32	0,27	0,24	0,20	0,13	0,05	0,03
Максиму м МДж/м ²	1,96	4,23	8,15	10,23	13,24	14,28	12,92	11,22	8,97	5,36	2,63	1,20
Дата	31/200 2	26/200 7	30/200 4	30/200 6	25/2 007	3/200 7	7/1999	9/200 7	3/2007	1/200 5	1/200 5	1/20 02
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	7,12/20 07	8/2008	16/200 1	19/200 5	25/2 008	25/20 09	17/200 0	14/20 04	28/200 2	31/20 04	30/20 08	8/20 08
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

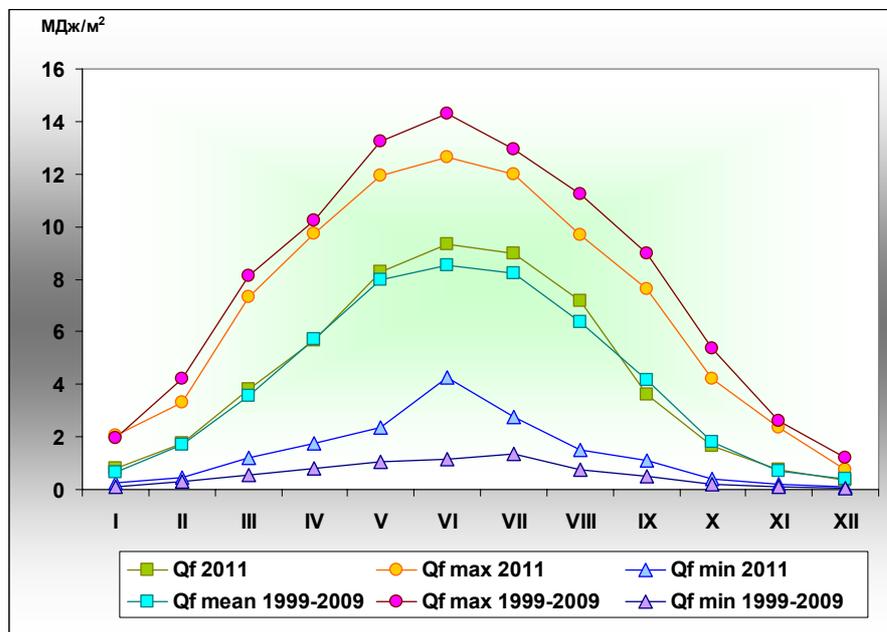


Рисунок 11.5. Годовой ход средних за месяц и экстремальных суточных сумм суммарной ФАР в 2011 г. и за период 1999-2009 гг.

Сопоставление экстремальных суточных сумм Q_f показал, что в 2011 году все «рекорды» суточных сумм не были перекрыты. Редко наблюдаемые в последние годы циркуляционные условия в июне привели к тому, что наименьшая сумма ФАР в этом месяце оказалась больше абсолютного минимума в 4 раза.

Сопоставление годового хода коэффициентов вариации суточных сумм суммарной ФАР (V_f) в 2011 г. и в среднем для периода 1999-2009 гг. показало, что V_f в 2011 г. больше средних величин в феврале, марте и, особенно, в ноябре. Изменчивость суточных сумм в июне 2011 г. оказалась на 10% меньше по сравнению с V_f для 1999-2009 гг. в силу исключительно стабильных циркуляционных условий (рис.11.6).

Средние суточные суммы за каждые сутки в течение периода 1999-2009 гг. изменяются от 10,87 МДж/м² (4 июня) до 0,28 МДж/м² (31 декабря). Так как период осреднения невелик, в 2011 г. наблюдалось довольно много дней, когда суточные суммы ФАР оказались больше или меньше экстремальных сумм за рассматриваемый период осреднения (табл. 11.4). Наибольшее число дней с $Q_{f\ 2011} > Q_{f\ 1999-2009}$ (5) наблюдалось в ноябре, в январе и феврале их оказалось по 4, а всего за год – 26. Дней, когда $Q_{f\ 2011} < Q_{f\ 1999-2009}$, в 2011 году было 17, причем больше всего их оказалось в мае (4) (см. табл. 11.4).

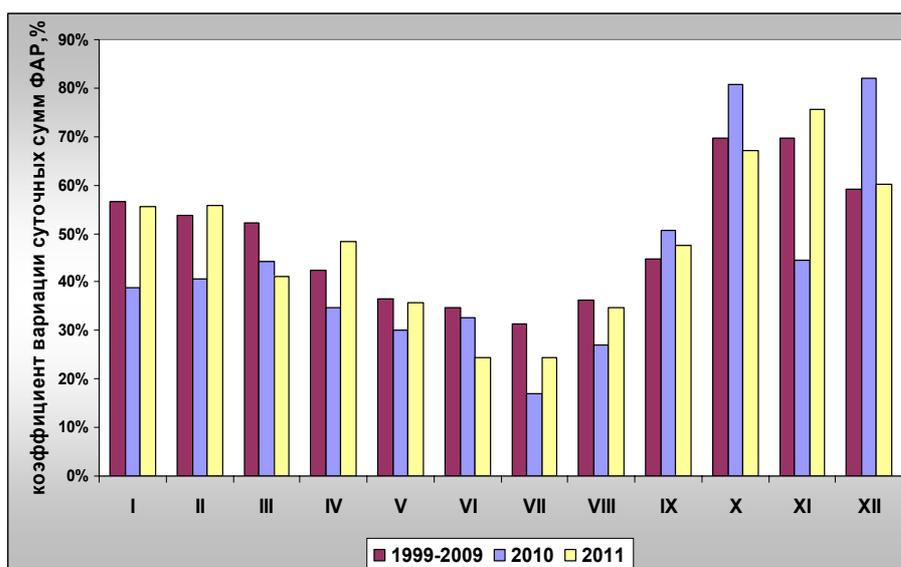


Рисунок 11.6. Годовой ход коэффициентов вариации (%) суточных сумм суммарной ФАР в 2011г., 2010 г. и за период 1999-2009 гг.

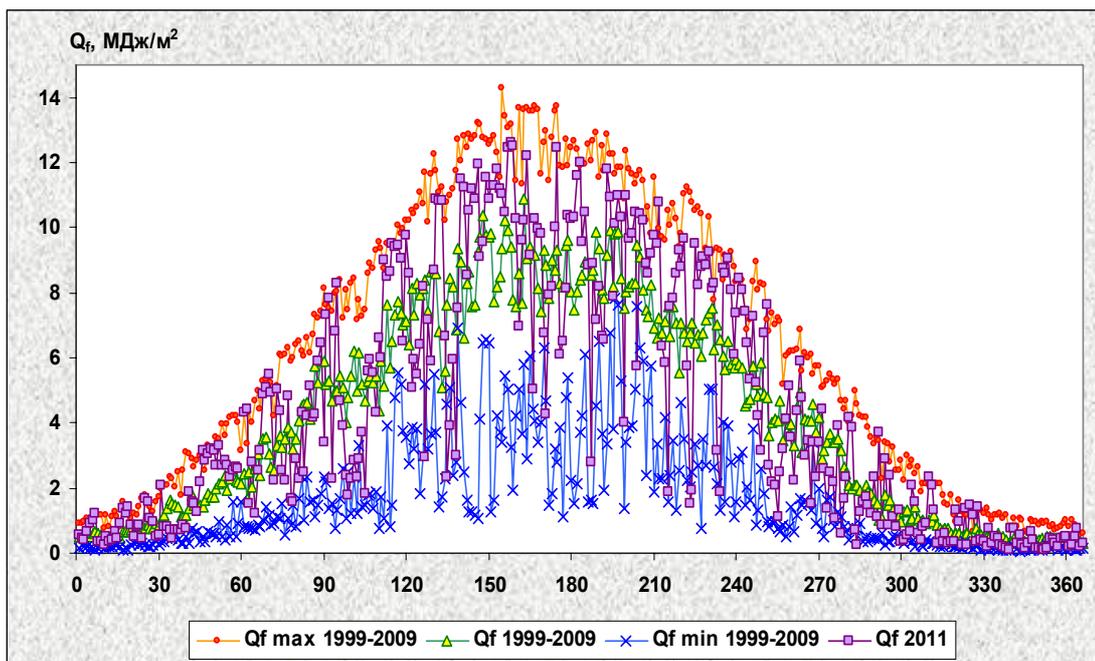


Рисунок 11.7. Годовой ход средних и экстремальных суточных сумм суммарной ФАР в 2011 г. и за период 1999-2009 гг. для каждого дня года

Таблица 11.4. Даты, когда суточные суммы ФАР оказались выше/ниже экстремумов за период 1999-2009 гг. (в скобках – на сколько процентов выше/ниже)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$Q_f 2010 > Q_f 1999-2009$											
5 (12%)	15 (7%)	2 (32%)	1 (4%)		7 (1%)	1 (1%)	15 (8%)	7(7%)	7 (5%)	5 (13%)	5 (6%)
7 (5%)	16 (12%)		21 (3%)			30 (8%)	19 (7%)		18 (6%)	15 (34%)	
16 (18%)	18 (4%)						22 (4%)			18 (16%)	
31 (6%)	19 (2%)									21 (77%)	
										23 (3%)	

Q _f 2010 < Q _f 1999-2009											
			8 (29%)	6 (43%)	19 (9%)	22 (24%)	10 (24%)	29 (16%)	4 (47%)	12 (6%)	17 (33%)
			12 (13%)	14 (49%)			11 (23%)		10 (66%)		18 (35%)
				15 (24%)					26 (1%)		
				28 (43%)							

Анализ погоды в дни, когда отмечены как максимальные суточные суммы ФАР, так и её абсолютные максимальные значения (табл. 11.3, 11.5), 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.

Таблица 11.5. Максимальная энергетическая освещенность ФАР в 2011 году

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ФАР, КВт/м ²	0,13	0,23	0,34	0,44	0,47	0,51	0,48	0,47	0,40	0,31	0,15	0,10
День	25	21	15	20	1, 18	17	14	1	3, 4	1	7	5
Время*	12 ³⁴	12 ²⁸	12 ³⁴	11 ⁵⁶	13 ⁰⁶ 11 ³⁵	12 ¹⁶	12 ⁴⁵	13 ⁰⁰	12 ¹² 12 ²⁶	10 ¹⁵	11 ⁰³	12 ²¹
Характер погоды	☀ [10]/ 5 Ci Cc	☀ 7/7 Sc	☀ 7/5 Cc Ac	☀ 7/7 Sc	☀ [10]/ 9 Cc	☀ 5/5 Cu	☀ 6/6 Ci Cc Ac	☀ 9/8 Ci	☀ [10]/ 7 Ci Ac	☀ [10]/ 9	☀ [10]/ 4	☀ [10]/ 8 Ci Cc

	Sc		Sc		Ac Sc		Cu	Sc Cu	Sc Cu	Ci Cc Ac Sc	Ci Cc Ac Sc	Ac Sc
					☀ [10]/ 2				☀ 8/5			
					Ci Ac Cu Sc				Ci Sc Cu			

**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°C, а для теплолюбивых - через +15°C. В климатологии (агроклиматологии) в большинстве случаев ориентируются на температуру +10°C и сумму активных температур (выше +10°C). Но единого понятия нет. Для большинства древесных и кустарничковых растений видимая вегетация начинается после перехода среднесуточной температуры через +5°C, когда начинается набухание почек, но распускаться почки начинают при более высоких температурах - около +10°C и даже больших (до +15°C). В то же время вегетация тополя, березы и др. начинается при много меньших температурах. Не менее сложно определить и дату осеннего окончания вегетации, так как одни растения реагируют на

изменение температуры, а другие - на изменение продолжительности фотопериода и даже интенсивность солнечной радиации.

Поэтому, проанализировав ход среднесуточной температуры воздуха, была рассчитана длительность вегетационного периода и соответствующие ему суммы суммарной ФАР для периодов с устойчивыми средними температурами за сутки выше 0°C, 5°C, 7°C, 10°C (табл. 11.6). Продолжительность периода с положительными температурами в 2011 г. составила более 7 месяцев, а в течение более полугода температура за сутки не опускалась ниже +5°C. При сравнении величин Q_f в 2011 г. и 2010 г. видно, что по этому признаку вегетационные периоды схожи. Но в 2010 г. из-за чрезвычайно жаркой и засушливой погоды, которая продолжалась непрерывно около двух месяцев, растениям не хватило влаги, что привело к угнетению роста и полноценного развития растений, несмотря на рекордные суммы ФАР.

Таблица 11.6. Вегетационный период и суммы ФАР в 2011 году

	$t > 0^\circ\text{C}$	$t > 5^\circ\text{C}$	$t > 7^\circ\text{C}$	$t > 10^\circ\text{C}$
Вегетационный период	17.IV-4.XI	17.IV-13.X	22.IV-12.X	22.IV-24.IX
Продолжительность ВП, дни	217	180	174	156
% от длительности года	59	49	48	43
ΣQ_f , МДж/м ²	1379	1293	1260	1220
Количество осадков, мм	396	342	342	297
	$t > 0^\circ\text{C}$	$t > 5^\circ\text{C}$	$t > 7^\circ\text{C}$	$t > 10^\circ\text{C}$
Вегетационный	26.III-20.XI	30.III-11.X	2.IV-28.IX	30.IV-28.IX

период				
Продолжительность ВП, дни	240	196	180	152
% от длительности года	66	54	49	42
ΣQ_f , МДж/м ²	1407	1339	1248	1113
Количество осадков, мм	384	309	298	267

Таблица 11.7. Декадные суммы суммарной ФАР (Мдж/м²)

	I			II			III		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2011	6.2	8.2	11.1	8.5	24.8	21.6	35.3	32.3	50.0
1999- 2009	5.4	6.0	8.7	13.0	16.2	17.7	25.9	32.1	52.1
ДИ _{1999- 2009}	±1.0	±0.9	±1.5	±2.2	±2.6	±3.2	±4.0	±4.5	±3.5
V _{1999- 2009} , %	32	26	29	28	27	30	26	24	11
δ ₂₀₁₁ , %	14	36	29	-36	51	19	36	1	-4
	IV			V			VI		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2011	43.2	44.8	88.4	66.7	73.8	116.7	109.0	86	94
1999- 2009	49.1	54.0	68.3	79.8	72.0	96.5	85.9	87.9	84.8
ДИ _{1999- 2009}	±7.9	±6.7	±6.9	±7.5	±7.1	±13.0	±8.6	±7.0	±9.2

$V_{1999-2009},\%$	27	21	17	16	17	23	17	14	18
$\delta_{2011},\%$	-12	-17	29	-17	2	23	29	-1	12
	VII			VIII			IX		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2011	81.2	96.5	100.0	66.8	75.3	80.1	46.5	37.0	28.0
1999-2009	85.9	86.2	84.5	68.2	68.0	62.5	47.8	40.0	38.0
$ДИ_{1999-2009}$	± 5.9	± 6.6	± 6.1	± 7.1	± 6.4	± 8.3	± 6.7	± 6.3	± 5.3
$V_{1999-2009},\%$	12	13	12	18	16	23	24	26	23
$\delta_{2011},\%$	-5	13	19	-2	12	29	-2	-8	-26
	X			XI			XII		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2011	20.8	18.1	12.2	9.8	7.2	6.0	3.5	2.9	4.2
1999-2009	26.0	15.9	13.4	9.4	6.1	5.2	3.9	4.2	4.8
$ДИ_{1999-2009}$	± 3.7	± 2.3	± 2.4	± 1.6	± 1.1	± 1.4	± 1.2	± 1.0	± 0.6
$V_{1999-2009},\%$	24	25	31	29	30	44	52	42	22
$\delta_{2011},\%$	-20	14	-9	5	19	16	-9	-31	-13

Анализ средних суточных сумм за декаду в 2011 г. показал, что в годовом ходе максимум поступления ФАР сдвинут на первую декаду июня, а не на вторую, что характерно для средних сумм Q_f за декаду за 1999-2009 гг. (табл. 11.7, рис.11.8). Наибольшая разница между средними многолетними величинами Q_f и в 2011 г. в летний период года достигала 29% также в третьей декаде апреля и августа.

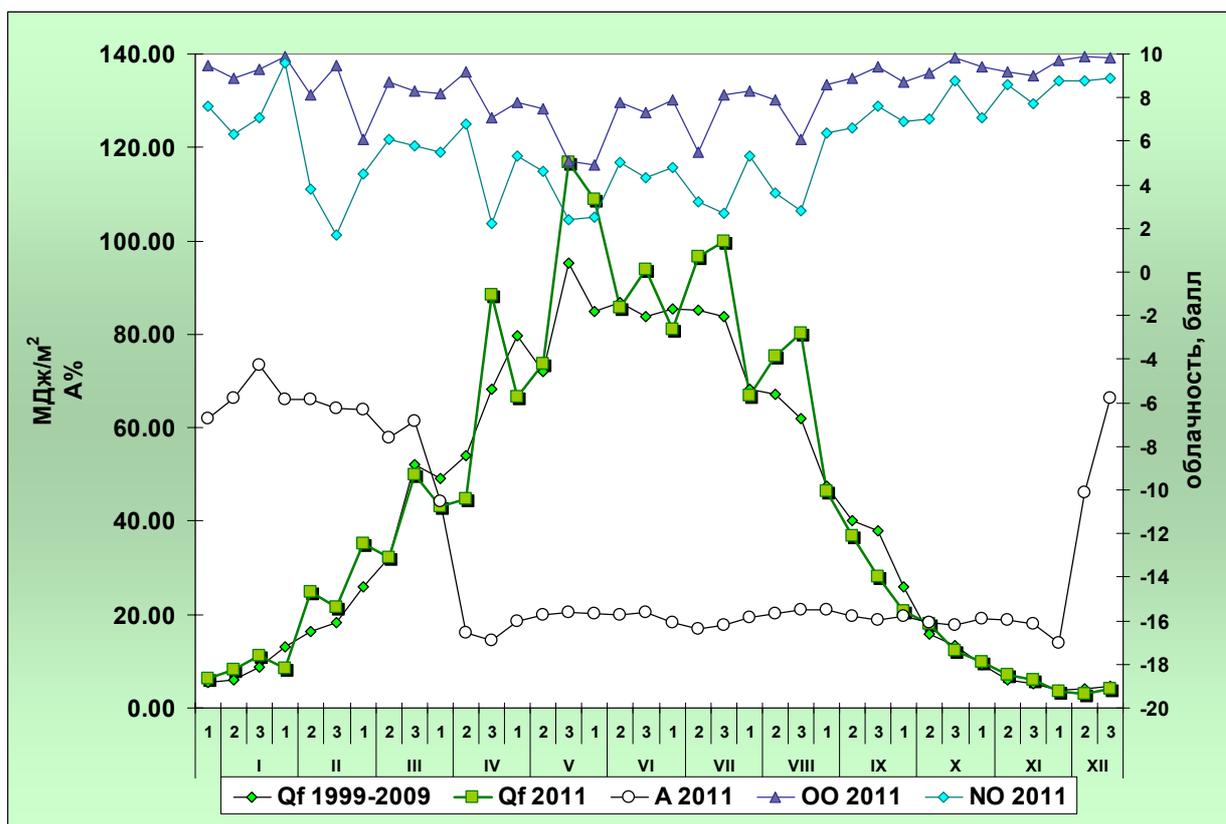


Рисунок 11.8. Годовой ход декадных сумм ФАР (Q_f) в 2011 году и за 1999-2009 (Q_f 1999-2009), среднего за декаду альbedo подстилающей поверхности (A_{2011}) и балла общей (OO_{2011}) и нижней (NO_{2011}) облачности в 2011 году

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

В заключение следует отметить, что в 2011 год, как и предыдущий, характеризовался значительным поступлением ФАР. Годовой ход видимой радиации в 2010 г. и 2011 г. оказались похожими. Особенно значительные увеличения видимой радиации по сравнению со средними многолетними величинами ФАР наблюдались в зимний и летний сезоны года. Хотя экстремальные величины не были перекрыты в этом году, наибольшие отклонения от средних величин Q_f было отмечено в январе (+27%) и декабре (-18%). Максимальная суточная сумма ФАР наблюдалась 6 июня, а минимальная – 17 декабря. Температурно-влажностные и радиационные условия вегетационного периода 2011 г. можно признать вполне благоприятными для произрастания растений.

Литература

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

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

Шиловцева О.А. 2011. Методики восстановления однородности рядов измерений фотосинтетически активной радиации приборами нескольких типов. В: Особенности эколого-климатических характеристик атмосферы в 2010 г. по данным измерений метеорологической обсерватории МГУ и станции наблюдений состава атмосферы. Под ред. Н.Е.Чубаровой. М., Макс ПРЕСС, с. 171-179.

12. Особенности режима естественной освещенности.

О.А. Шиловцева

Измерения естественной освещенности земной поверхности представляют собой измерения солнечного излучения с учетом восприятия его человеческим глазом и осуществляются поэтому в фотометрических единицах.

Непрерывная регистрация суммарной и рассеянной освещенности проводится с 1964 года. В течение всего 2011 года на записи суммарной освещенности стоял прибор LI-210SL №8917 американской фирмы LI-COR (www.licor.com), запись рассеянной освещенности проводилась с помощью люкметров ГГО № 6371 и 64210020 (Зачек и др., 1988). Контроль приборов, стоящих на регистрации, ежемесячно проводился по оригинальному прибору РЕО-4 (регистратор естественной освещенности), сконструированному в метеообсерватории МГУ мастером по точным приборам А.В.Высоцким (Никольская и др., 1972). В качестве эталонного прибора, по которому проводилась градуировка РЕО-4, был взят прибор LI-210SL №8916. В сентябре 2011 г. были проведены сравнения последнего с национальным фотометрическим эталоном ВНИИОФИ, которые подтвердили величину его чувствительности – 10,02 клк/мв. Следует отметить, что, к большому сожалению, люкметры ГГО работали нестабильно, поэтому в записи рассеянной радиации в этом году много пропусков. Освещенность в такие периоды рассчитывалась по интегральной рассеянной радиации с использованием светового эквивалента.

Годовое количество освещения суммарным светом (E_Q) в 2011 году равна 118 Млк·ч и превышает среднюю многолетнюю величину или норму (1964-2003 гг, $E_{Qcp} = 110$ Млк·ч) на 8%. Это оказалась четвертая по величине сумма E_Q после сумм 1967 г., 2002 г. и 2001 г. Количество освещения рассеянным светом за год оказалась меньше ($E_D = 62$ Млк·ч) по сравнению с нормой (1964-2003 гг., $E_{Dcp} = 65$ Млк·ч) на 4%. Наоборот, годовая сумма освещения прямой радиацией ($E_S = 56$ Млк·ч) увеличилась на 25% по сравнению с нормой (1964-2003 гг, $E_{Scp} = 45$ Млк·ч). Следует отметить, что для интегральной радиации тенденции и величины изменения в 2011 году относительно норм за тот же временной период оказались аналогичными: суммарная интегральная радиация больше на 6%, прямая – на 21%, а рассеянная радиация меньше на 7%.

Основной приход E_Q приходится на теплый период (V-IX), и в 2011 году он составил 73% (86 Млк·ч) от годовой суммы, что больше нормы (78 Млк·ч) на 11%. Аналогичное количество рассеянного освещения составило 67% (41 Млк·ч) от годового прихода E_D , что на 8% меньше нормы (45 Млк·ч). В то же время рост прямой освещенности за теплый период года оказался на 37% выше нормы (45 Млк·ч), что составило 80% от годовой суммы E_S .

Как и в случае солнечной радиации, приход E_Q в календарные сезоны 2011 года был выше нормы в течение всех сезонов года, за исключением осени. Наиболее значительный рост E_Q наблюдается летом (+14%). Отличительной особенностью 2011 г. явилось то, что лето оказалось самым «светлым» за весь период наблюдений. Т.е. был перекрыт предыдущий максимум сезонного количества освещения суммарным светом, который наблюдался в 1972 г.

Количество освещения рассеянным светом, наоборот, было меньше нормы во все сезоны года, за исключением зимы, сумма которого в это время года было близко к норме (+2%) (табл. 12.1). Наиболее значительный рост в 2011 г. наблюдается для количества освещения прямым светом. Наиболее существенен он летом (43%), но и зимой также превышение значительно (22%). Для сравнения в табл. 12.1 приведены также аналогичные изменения составляющих суммарной интегральной радиации. Практически все закономерности изменения одинаковы.

В течение года суммы E_Q за месяц изменялись от 853 клк·час в декабре до 21475 клк·час в июне. Поступление суммарного освещения в течение 7-ми месяцев было больше нормы (табл. 12.2). Наибольшее положительное отклонение месячной суммы E_Q от нормы в 2011 году наблюдалось в июне (+15%), а наиболее «темным» был декабрь: -17% от нормы. Особенностью 2011 года является то, что, несмотря на значительное превышение освещенности в летний сезон, максимумы E_Q за период 1964-2003 гг. не были перекрыты (рис. 12.1, табл. 12.2).

Таблица 12.1.Сезонные суммы интегральной радиации и количества освещения суммарным (E_Q), рассеянным (E_D) и прямым (E_S) светом в 2010 г. И за 1964-2003 гг.

	Зима *	Весна	Лето	Осень
E_Q , клк.час				
2011 г.	6698	39123	58503	13823
1964-2003 гг.	6316	37452	51303	14628
ДИ***	±279	±870	±893	±452
V,%	14	7	6	10
δ^{**} , %	6	4	14	-6
E_D , клк.час				
2011 г.	5229	19706	27384	9736
1964-2003 гг.	5109	22831	29478	10026.5
ДИ	±178	±490	±596	±202
V,%	11	7	6	6
δ^{**} , %	2	-2	-7	-3
E_S , клк.час				
2011 г.	1468	19417	31119	4087
1964-2003 гг.	1207	14621	21824	4602
δ^{**} , %	22	12	43	-11
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

*Взят декабрь предыдущего года; ** - $\delta = (2010 - \text{Норма}) / \text{Норма}$;

ДИ – доверительный интервал среднего с уровнем значимости $\alpha = 0,05$

Наоборот, суммы рассеянного освещения в десяти месяцах из двенадцати оказались меньше нормы, причем в апреле, мае и августе эта разница составила около 2σ . Это привело к тому, что в мае и августе были перекрыты минимумы за период 1964-2003 гг., которые наблюдались до этого в 1971 г (май) и в 1974 г. (август). В феврале, наоборот, наблюдается значительный рост E_D , разница между нормой составляет около до $1,5\sigma$, что свидетельствует о значимом различии между ними.

Для годового хода месячных сумм E_S 2011 года характерной особенностью является перекрытие максимума E_S за период 1964-2003 в августе на 3% (см. рис.12.1).

Отношение фактического количества суммарного освещения к возможному (при отсутствии облаков в течение всего месяца) показало, что в целом за 2011 год к земной поверхности поступило 71% от возможной суммы E_Q (что на 3% больше, чем для нормы и на 2% больше, чем в прошлом 2010 году), 110% от E_{D_0} и 51% от E_{S_0} . Наиболее «темным»

месяцем был октябрь (41% от возможного количества), а максимум этого отношения наблюдался в августе (80%). В июне-июле поступление E_Q также было очень значительным (79-78%).

Таблица 12.2. Количество освещения суммарным, рассеянным и прямым светом за месяц (Млк•час) в 2010 г. и в среднем за период 1964-2003 гг.

Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Суммарная освещенность, E_Q												
2011 г.	1,8	3,9	8,1	11,8	19,2	21,5	20,7	16,4	8,4	3,8	1,7	0,9
1964-2003гг.	1,7	3,6	8,2	11,6	17,6	18,6	18,1	14,6	8,7	4,2	1,7	1,0
ДИ	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,7$	$\pm 0,6$	$\pm 0,6$	$\pm 0,4$	$\pm 0,4$	$\pm 0,2$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$
E_{Qmax} 1964-2003	2,16	4,99	10,77	14,20	22,39	22,38	21,52	17,18	10,78	5,62	2,68	1,67
год	1972	1969	1969	2001	2002	1968	1972	1971	1974	1987	1967	2002
E_{Qmin} 1964-2003	1,11	2,22	5,67	8,35	12,54	14,92	15,04	11,57	6,20	2,33	1,02	0,69
год	1989	1990	1979	1986	1974	1985	2000	1998	1990	1970	2003	1965
V,%	17	19	12	12	12	11	10	9	13	17	22	20
δ 2011,%	8,1	7,8	-0,4	1,0	9,0	15,2	14,4	11,8	-3,9	10,5	-0,1	-17,0
Рассеянная освещенность, E_D												
2011 г.	1,4	3,0	5,1	6,4	8,2	10,1	9,9	7,3	5,7	2,8	1,3	0,8
1964-2003гг.	1,4	2,7	5,4	7,5	9,9	10,5	10,3	8,6	5,6	3,0	1,4	0,9
ДИ	$\pm 0,06$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,04$
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 2011,%	-0,9	9,8	-5,7	-15,2	-17,0	-3,9	-3,8	-14,5	1,2	-8,4	-9,4	-15,0	
	Прямая освещенность, ES												
2011 г.	0,4	0,9	3,1	5,4	11,0	11,4	10,7	9,0	2,7	1,0	0,4	0,1	
1964-2003гг.	0,2	0,9	2,8	4,1	7,7	8,1	7,7	6,0	3,1	1,2	0,3	0,1	
ДИ	±0,05	±0,1	±0,3	±0,4	±0,6	±0,6	±0,5	±0,3	±0,4	±0,2	±0,1	±0,02	
E _{Smax} 1964-2003	0,67	2,25	5,37	7,18	13,61	13,17	10,84	8,74	5,25	2,24	0,63	0,38	
год	1973	1969	1996	1965	2002	1999	2002	2001	1974	1987	1975	2002	
E _{Smin} 1964-2003	0,03	0,14	1,08	1,51	2,66	4,85	4,50	3,66	1,02	0,19	0,04	0,01	
год	1966	1991	1976	1983	1980	1985	1993	1987	1990	1982	1976	2000	
V,%	63	53	35	29	26	24	21	18	37	46	62	50	
δ 2011,%	67,4	1,8	9,9	30,8	42,5	40,1	38,8	49,3	-13,1	-	16,0	45,7	-36,6
	Доли рассеянной освещенности в суммарной (%)												
2011 г.	80	77	62	54	43	47	48	45	68	74	76	93	
1964-2003гг	87	76	66	65	56	57	57	59	64	72	83	90	
	Световые эквиваленты (лм/Вт)												
LE _Q 2011	101	103	103	102	113	113	114	113	114	107	105	118	
LE _Q 1964-2003	99	101	106	108	109	110	111	110	108	105	104	95	
LE _D 2011	108	107	112	119	122	129	125	126	119	113	109	119	
LE _D 1964-2003	105	108	118	120	122	122	123	122	118	112	109	99	
LE _S 2011	83	89	91	87	106	101	105	104	106	95	93	112	
LE _S 1964-2003	73	84	90	90	97	98	98	97	95	90	84	68	
	Отношение сумм освещения к возможным (%)												
EQ ₂₀₁₁ /EQ ₀	74	74	64	65	77	79	78	80	60	41	46	45	
EQ _H /EQ ₀	69	69	64	64	70	68	68	72	62	46	46	54	

ED_{2011}/ED_0	96	124	113	101	112	138	129	95	106	84	72	67
ED_H/ED_0	97	113	120	119	135	144	135	112	105	92	79	79
ES_{2011}/ES_0	39	31	37	46	62	57	57	71	31	17	21	8
ES_{H0}/ES_0	24	31	34	35	43	40	41	48	36	20	15	13

Примечание: единицы измерения естественной освещенности – киллюксы или клк.

Количество освещения в МО МГУ оценивается в киллюкс-часах или мегаллюкс-часах (клк•ч или Млк•ч). Для перевода в систему СИ (киллюкс-секунда) величины количества освещения надо умножить на 3600. Световой эквивалент имеет размерность люмен на ватт (лм/Вт).

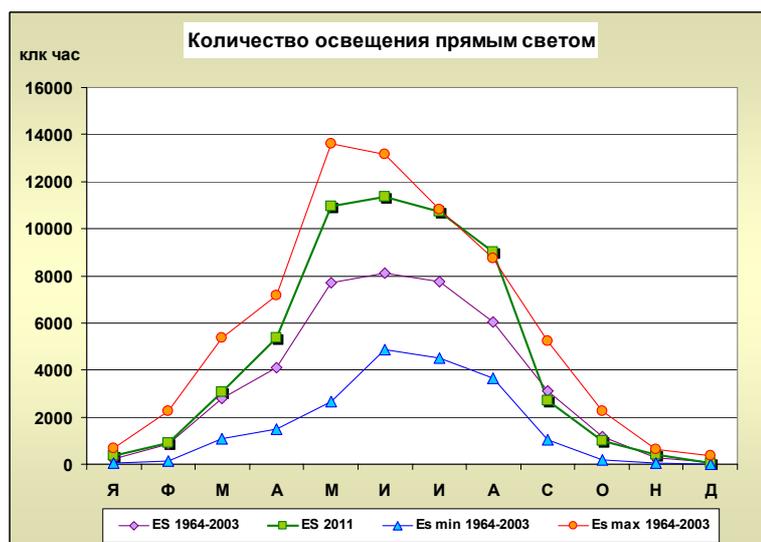
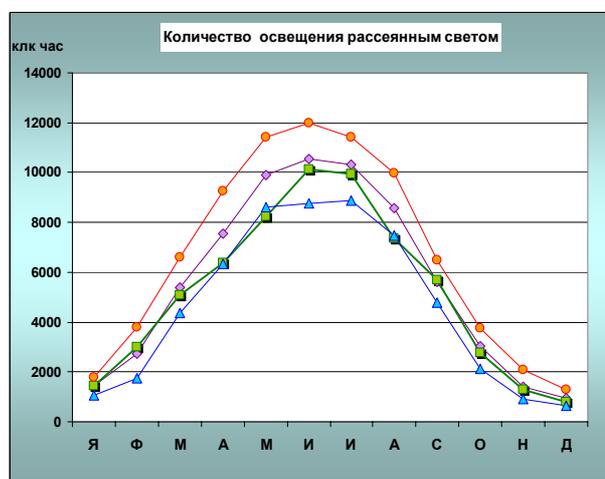
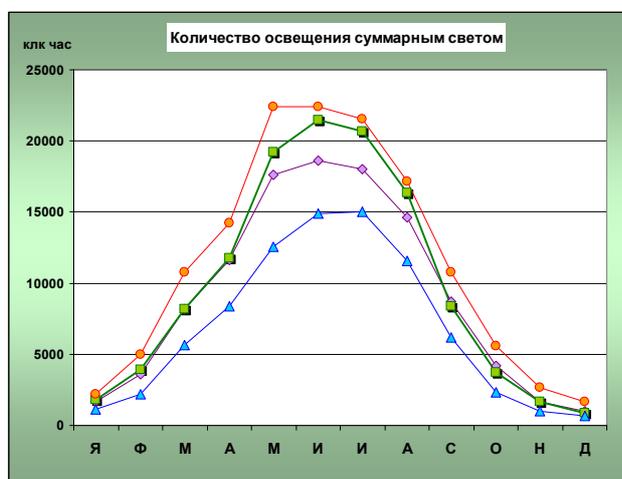


Рисунок 12.1. Годовой ход месячных сумм количество освещения в 2011 г. и за период 1964-2003 гг.

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_Q в 2011 г. оказался на 6% ниже, что на 2% ниже и по сравнению с 2010 г. В годовом ходе максимальный вклад E_D в суммарную освещенность отмечался в декабре (93%), а минимальный – в мае (43%) (см. табл. 12.2).

Световые эквиваленты средней за месяц интегральной суммарной радиации (LEQ) колеблются в небольших пределах (101-114 лм/Вт). Аналогичные величины отношения E_D к сумме за месяц рассеянной радиации выше (108-129 лм/Вт), чем для E_Q , причем чем меньше вклад рассеянной освещенности в суммарную, тем разница между LEQ и LED больше (см. табл. 12.2).

Количество освещения за сутки может колебаться в значительных пределах, что наглядно представляют графики на рис. 12.2-12.3 и табл. 12.3. В отличие от месячного количества освещения, экстремальные суточные суммы не изменились. Однако в конкретные дни были перекрыты как абсолютные максимумы (7 и 31 января, 11 мая, 5, 6 и 12 июня, 12 и 24 августа, 7 сентября, 18 октября, 5 и 23 ноября и 29 декабря), так и абсолютные минимумы (4 февраля, 14 и 17 мая, 1 августа, 4 и 16 декабря).

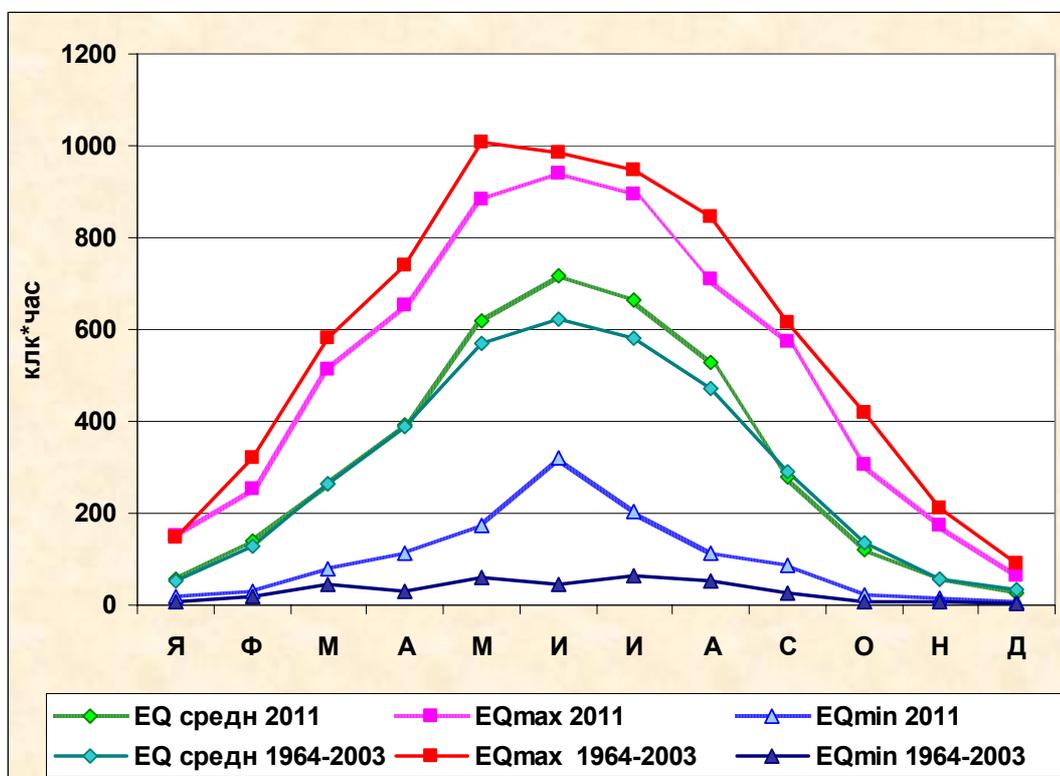


Рисунок 12.2. Годовой ход средних и экстремальных за месяц суточного количества освещения суммарным светом в 2011 г. и за период 1964-2003 гг.

Сопоставление характера изменчивости дневного количества E_Q в 2011 г. и для периода 1964-2003 гг. показало, что в 2011 году изменчивость E_Q была меньше, чем для многолетнего периода в марте и июне-июле. Наоборот, более значительные вариации E_Q наблюдались в январе, апреле и ноябре-декабре (рис. 12.4).

Таблица 12.3. Суточное количество освещения суммарным светом в 2011 г. и в среднем за 1964-2003 гг.

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	2011 год											
Средняя, клк·час	58	139	263	392	619	716	666	528	279	121	56	27,5
Максимум, клк·час	151	251	515	651	882	938	894	708	574	307	175	63
Дата	31	21	31	30	25	6	1	8	7	7	5	5
Минимум, клк·час	18	32	81	112	174	319	205	115	85	22	14	7,6
Дата	10	4	5	8	14	19	5	10	11	10	26	17
V, %	56	52	42	48	36	24	24	35	46	67	75	60
	1964-2003 гг.											
Средняя клк·час	54	128	264	388	568	621	582	472	291	135	56	33
±ДИ ($\alpha=0.05$)	1.5	3.6	6.7	9.5	10.8	11.4	10.8	9.1	7.8	4.6	2.1	1.0
Максимум клк·час	148	319	583	741	1007	985	946	847	616	418	211	91
Дата/год	1\02	27\72	31\01	31\93	3\66	8\80	8\73	1\80	3\99	1\67	11\93	1\02
Минимум, клк·час	7.8	20.3	43.6	31.7	58.5	46.0	65.8	52.7	27.2	6.4	6.4	2.3
Дата	1\95	2\68	2\66	14\70	24\74	1\76	20\73	11\80	27\68	24\74	28\69	14\65

V,%	48	48	45	43	34	32	33	35	46	62	65	52
As	0.655	0.46	0.16	-0.17	-0.53	-0.67	-0.59	-0.4	0.06	0.79	1.18	0.55
E	-0.03	-0.47	-0.93	-0.96	-0.45	-0.22	-0.34	-0.53	-0.86	-0.19	1.18	-0.47

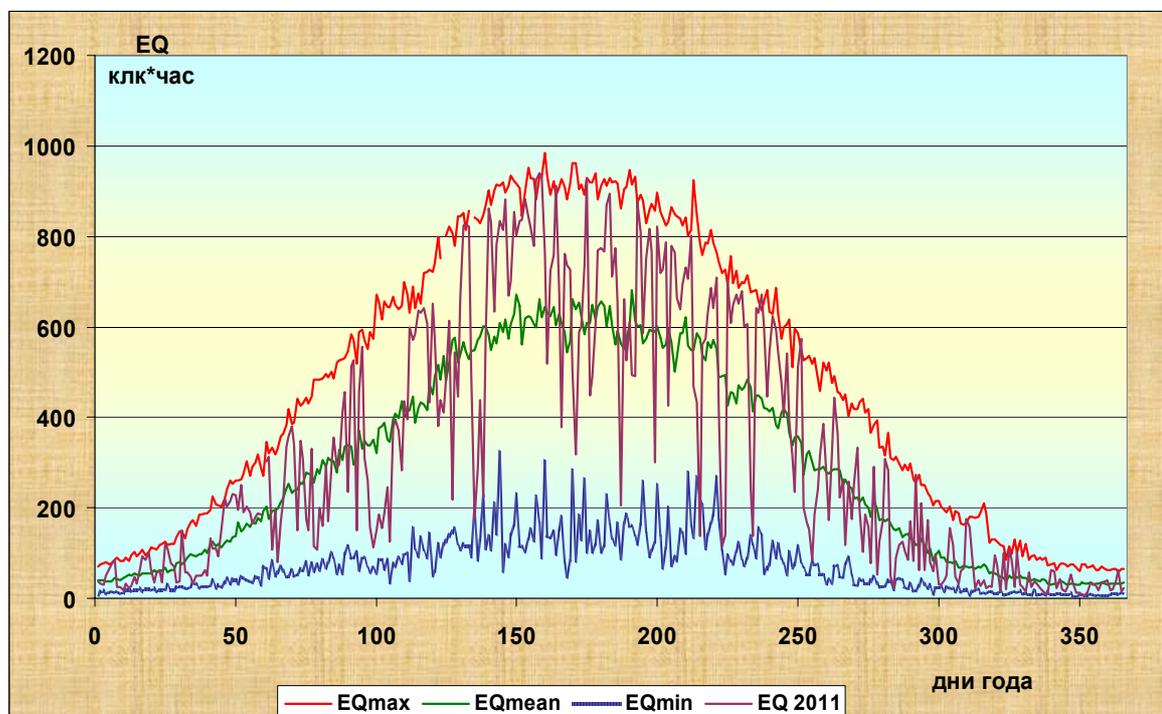


Рисунок 12.3. Дневное количество суммарного освещения на каждый день года: EQmean - среднее, EQmax -максимальное, EQmin - минимальное за 1964-2003 гг., EQ2011- в течение 2011 г.

Максимальная суммарная освещенность колебалась в течение года от 29 клк в декабре до 132 клк в июне, следуя за ходом высоты Солнца (табл. 12.4). Максимум рассеянной освещенности не превысил 19 (декабрь) - 88 (июнь) клк, причем, так же, как и в 2010 г., удивительно появление вторичного максимума в сентябре, что довольно трудно объяснить.

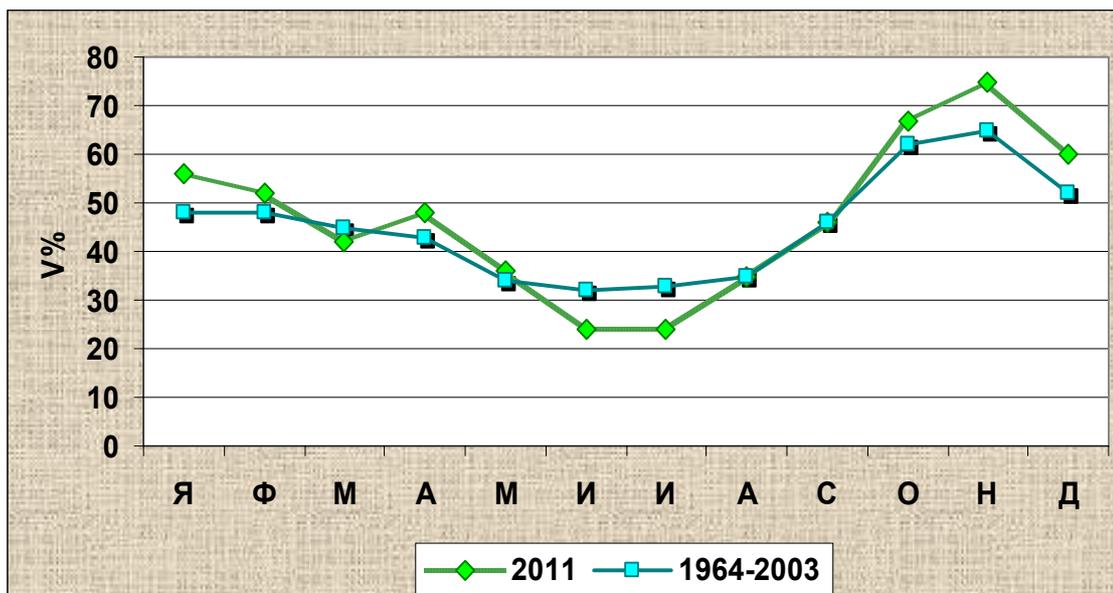


Рисунок 12.4. Годовой ход коэффициентов вариации (V%) суточного количества освещения суммарным светом в 2011 г. и за период 1964-2003 гг.

Таблица 12.4. Максимальные значения освещенности (клк) в 2010 году

Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Максимальная суммарная освещенность, клк												
E_Q	31.7	56.4	86.3	103.6	128.3	132.4	129.3	123.5	108.9	80	40	29.4
Дата	25	21	24	20	1	4	14	1	3	1	7	5
Время*	12 ³⁴	12 ²⁸	13 ⁰²	11 ⁵⁸	13 ⁰⁶	12 ⁵⁶	12 ⁴⁵	12 ³⁷	12 ¹²	10 ¹⁵	11 ⁰⁴	12 ²¹
Максимальная рассеянная освещенность, клк												
E_D	23.7	35.9	51.9	49.2	71.5	88.2	75.8	61.2	86.1	44.8	28.4	18.8
Дата	28	28	6	17	18	26	5	1	10	11	3	12
Время*	11 ³³	12 ¹²	11 ¹⁰	12 ¹⁴	10 ⁴⁷	11 ⁵⁹	8 ⁵⁰	13 ⁰²	12 ¹⁶	9 ³²	10 ²⁹	12 ⁵⁴

*время истинное солнечное

Таким образом:

- рост суммарного освещения в 2011 году на 8% по сравнению с нормой был обусловлен значительным ростом количества прямого освещения (25%). При этом количество рассеянного освещения уменьшилось на 4%;
- приход суммарного освещения в календарные сезоны 2011 года был выше нормы в течение всех сезонов года, причем наиболее значительный рост наблюдается летом (+14%). Он обусловлен значительным увеличением количества прямого освещения: на 43% больше нормы;
- в августе 2011 г. были перекрыты: максимум месячного количества освещения E_s и минимум E_D за период 1964-2010 гг.;
- максимальное суточное количество освещения суммарным светом в 2011 г. наблюдалось 6 июня, а минимальное – 17 декабря;
- в целом световые режимы 2011 и 2010 годов похожи, и разница в годовой сумме E_Q не превысила 3%, скорее всего, за счет значительного уменьшения освещенности в период дымной мглы в августе 2010 г.

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 натуральных испытаний люксметров на кремниевых фотодиодах ячеистой структуры. Труды ГГО, Ленинград, Гидрометеиздат, под ред.Г.П.Гущина, с.74-81.

13. Особенности режима УФ радиации 300-380 нм

Е.И. Незваль

Начиная с 1968 года, в Метеорологической обсерватории МГУ осуществляется непрерывная регистрация суммарной и рассеянной ультрафиолетовой радиации (УФР) в области спектра 300-380 нм. 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 Environmental Systems, Inc, градуированный в области спектра 300-380 нм (www.yesinc.com/products/data/uvb1/index/html). Возможность использования УФ пиранометра UVA-1 для измерения суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм 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).

13.1 Градуировка приборов.

В июле 2008 г. и в сентябре 2011 г. в Инсбруке проводилась градуировка контрольного УФ пиранометра UVA-1 №060902 по спектрометриру 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. На основании этих данных по модельным расчетам были определены спектральная и косинусная поправки для ясного и пасмурного неба, которые учитывались при обработке данных (Незваль, Чубарова, 2011). В 2011 г. вновь была определена спектральная кривая чувствительности прибора. Результаты практически совпали (рис.13.1). Обнаружены некоторые различия лишь для самых коротких длин волн (<300 нм), для которых радиация практически не доходит до земной поверхности, и для длинноволнового конца кривой (>≈390 нм), где чувствительность быстро падает (рис.13.2). В диапазоне длин волн 300–380 нм в среднем значения спектральной чувствительности прибора по данным 2011 г. ниже на 0.4% по сравнению с данными 2008 г. Модельные

расчеты показали, что указанные отклонения в спектральной кривой прибора в 2011 г. в широком диапазоне высот солнца и условий прозрачности атмосферы привели к изменениям в показаниях прибора в 2011 г. всего на -0.2%.

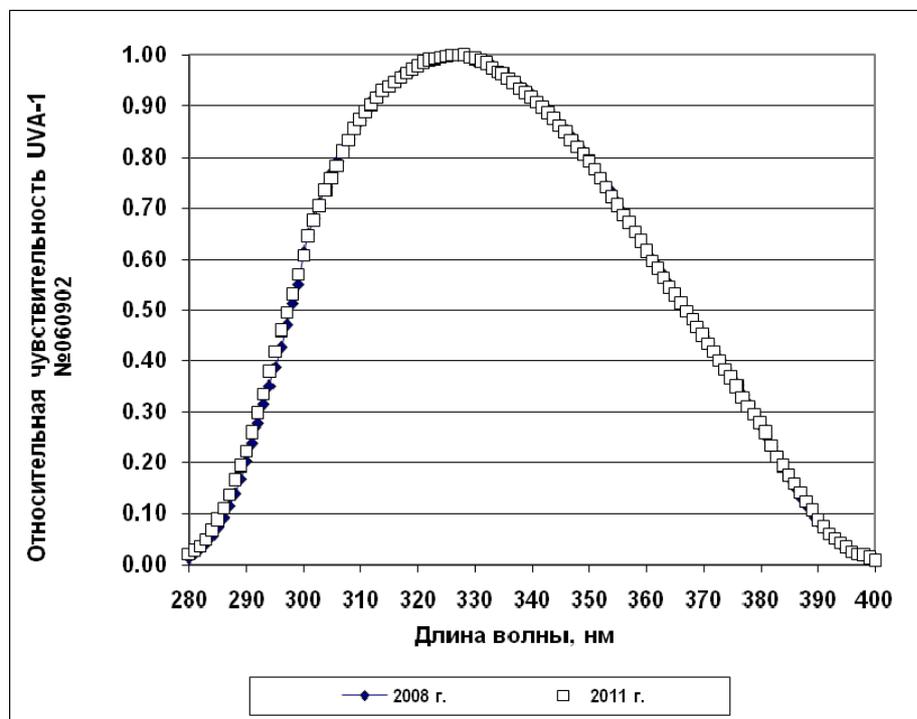


Рисунок 13.1. Относительная кривая спектральной чувствительности контрольного УФ пиранометра UVA-1 № 060902, полученная в лаборатории Медицинского университета в Инсбруке в 2008 и 2011 гг.

Переводные множители, полученные в 2011 г. оказались выше на 2.1% по сравнению с переводными множителями, принятыми для обработки после градуировки 2008 г. Было решено увеличить переводные множители прибора UVA-1, используемого для регистрации суммарной УФ радиации, при обработке данных 2011 г. также на 2.1%.

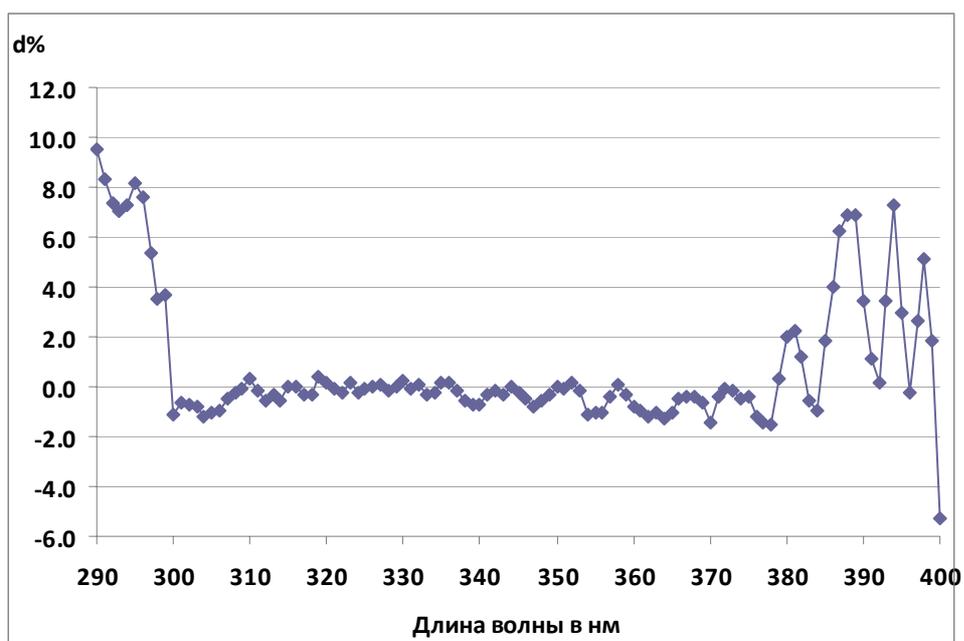


Рисунок 13.2. Отклонения ($d\%$) относительной спектральной чувствительности, полученной в 2011 г. от соответствующих значений 2008 г. в УФ диапазоне длин волн.

13.2 Результаты.

Как и в среднем за 40 лет (1968-2007 гг.), максимум в годовом ходе суммарной УФ радиации ($Q_{\text{уфр}}$) приходится на июнь, минимум – на декабрь (табл. 13.1). В целом за 2011 год приход суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм соответственно на 10% и 8% выше по сравнению со средней величиной за 40 лет (норма) и за период с 1999 г. по 2009 г. В 2011 году только в двух месяцах – в октябре и декабре приход УФ радиации был ниже нормы, при этом в декабре отрицательная аномалия составила 22%. Отметим, что отклонения от нормы в сентябре и ноябре оказались не значимыми: значения лежат в пределах доверительного интервала средних значений за 40 лет. По сравнению со средней величиной за предыдущие 11 лет в 2011 г. приход УФ радиации в сентябре также был ниже (на 3%). За этот период не значимыми оказались отклонения в марте и сентябреноябре. На рис.13.3 представлены отклонения от средних значений за период 1968-2007 гг. месячных сумм суммарной УФ ($dQ_{\text{уфр}}$) и интегральной ($dQ_{\text{ип}}$) радиации, балла общей (dN_o) и нижней (dN_n) облачности за светлую часть суток и продолжительности солнечного сияния ($d_{\text{ПСС}}$). Максимальная положительная аномалия $dQ_{\text{уфр}}$ отмечается в июне (16%). Знак аномалий для суммарной УФ и интегральной радиации, как правило, совпадает. В

2011 г. в большинстве случаев положительные отклонения для УФ радиации несколько больше, а отрицательные несколько меньше, чем для интегральной радиации. Исключение составляют данные для сентября. Положительным аномалиям в приходе УФ радиации для большинства месяцев, как и следовало ожидать, соответствуют отрицательные аномалии балла нижней облачности и рост ПСС и наоборот. Исключение составляют сентябрь и март. Однако в марте 2011 г. отклонения как общей, так и нижней облачности от средней величины за 1968-2007 гг. ничтожно малы, а в сентябре они незначимы.

Таблица 13.1. Месячные и годовые суммы суммарной УФ радиации 300-380 нм за 2011 год и за периоды 1968-2007 гг. и 1999-2010 гг. МО МГУ.

Период, параметры,	Месяцы												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Месячные и годовые суммы суммарной УФ радиации 300-380 нм, МДж/м ²													
2011 г.	2.55	5.33	11.4	16.8	25.3	28.6	27.3	21.5	11.7	5.28	2.37	1.23	159.2
1968- 2007 гг.	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
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- 2009 гг.	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
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
Максимальные и минимальные месячные и годовые суммы за период 1968-2010 гг., МДж/м 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 месячных сумм и годовой суммы УФ радиации за 2011 год от средних многолетних величин, d%													
d ₁₉₆₈₋₂₀₀₇	8	5	6	12	13	16	13	10	2	-6	2	-22	10
d ₁₉₉₉₋₂₀₀₉	12	9	3	7	11	15	11	9	-3	-4	2	-15	8
Доли месячных и годовых сумм суммарной УФ радиации в месячных и годовых суммах суммарной интегральной радиации, %.													
2011 г.	4.0	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2	4.2	4.1	4.4	4.2	4.1	4.7	4.1
1068- 2007 гг.	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
Доли месячных и годовых сумм рассеянной УФ радиации в суммарной, %													
2011 г.	99.5	91	91	78	72	71	75	75	87	93	97	98	78
1068- 2007 гг.	98	94	87	84	78	78	79	80	85	92	97	99	81

Примечание: Д,И. – доверительный интервал с вероятностью P=0.95

Примечание: в отклонениях суммарной УФР за 2011 г. от средних за 1968-2007 гг. и 1999-2009 гг. жирным шрифтом отмечены месяцы, когда суммы выходили за пределы доверительного интервала.

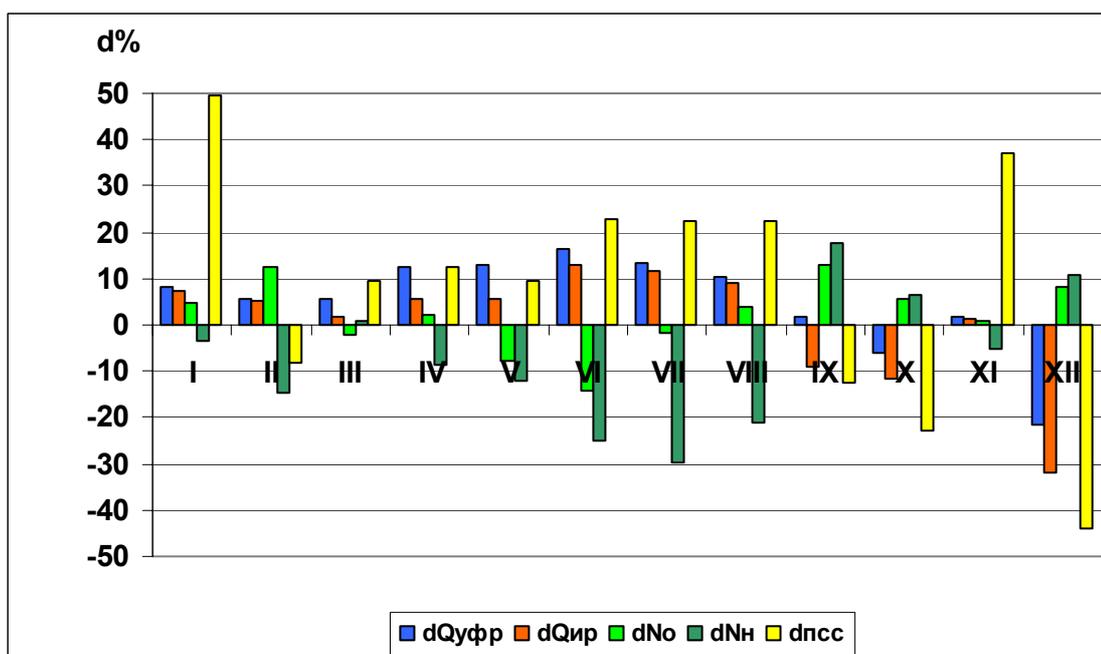


Рисунок 13.3 - Отклонения (d%) от нормы (1968-2007 гг.) месячных значений суммарной УФР (dQ_{yфp}), суммарной интегральной радиации (dQ_{ип}), общей (dN_о) и нижней (dN_н) облачности за светлую часть суток и продолжительности солнечного сияния (dПСС) за 2010 год.

Большим положительным аномалиям в приходе суммарной УФ радиации, обусловленным ростом продолжительности солнечного сияния, соответствует понижение доли рассеянной УФ радиации (D_{yфp}) в суммарной. Так, в июне доля $(D_{yфp} / Q_{yфp}) \cdot 100$ составила 71%, что на 7% ниже нормы. В мае, июле и августе эти различия составляют 4-6%.

Доля суммарной УФ радиации в течение года колеблется незначительно (см.табл.13.1). Исключение составляет декабрь 2011 г. В декабре 2011 г. при низких высотах солнца и плотной облачности приход радиации практически полностью состоял из рассеянной радиации. Доля рассеянной УФ радиации в рассеянной интегральной радиации значительно выше доли суммарной УФ радиации в интегральной суммарной радиации (Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы. Т.1.Под ред. А.А.Исаева. М.,издательство Московского университета, 2003).

В целом за лето сумма суммарной УФ радиации в 2011 г. превосходит соответствующие значения за весь период наблюдений. Отклонение от нормы составило

13.6% (табл.13.2). Зимой и весной приход суммарной УФ радиации выше нормы и только сумма за осень практически совпадает с нормой.

Таблица 13.2. Суммы суммарной УФ радиации за сезоны 2011 г. и за период 1968-2007 гг., МДж/м².

Период	Характеристики	Зима	Весна	Лето	Осень
2011 г.		9.35	53.40	77.39	19.31
1968- 2007 гг.	Средняя	9.00	48.09	68.12	19.42
	Доверит. интервал,	0.32	1.09	1.19	0.53
	Максимум	10.88	54.82	76.06	23.16
	Год	1996	2000	1968	1994
	Минимум	6.83	40.20	60.75	16.67
	Год	1990	1980	1984	1982
d %		4.2	11.0	13.6	-0.6

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

В 2011 г. максимальные и минимальные за месяц суточные суммы соответственно ниже и выше максимальных и минимальных суточных сумм за все предыдущие годы (табл.13.2, рис.13.4). Однако, для отдельных дней года отмечались самые высокие и самые низкие суточные суммы за весь период наблюдений (рис.13.5). Максимальные суточные суммы отмечались для 4 апреля, 18, 24, 25 мая и для 5 и 23 июня. В эти дни наблюдалась, как правило, переменная облачность, когда прямая радиация ослаблялась незначительно, а рассеянная радиация существенно возрастала за счет переотражения от ярко освещенных

облаков. Минимальные суточные суммы имели место 14 мая и 4 декабря при сплошном покрове кучево-дождевых и слоисто-кучевых облаков. Можно видеть, что в течение июня – июля достаточно много дней, когда суточные суммы были очень высокими, а число дней с низкими суммами невелико. Это привело к тому, что изменчивость суточных сумм в эти месяцы оказалась значительно ниже средней многолетней величины (рис. 13.6). Однако, коэффициент вариации в июле 2010 г. был заметно ниже по сравнению с 2011 г., что было вызвано уникальной синоптической обстановкой в июле 2010 г. – аномально жаркой антициклональной погодой, которая привела к абсолютному максимуму в сумме суммарной УФР в июле за весь период наблюдений (Незваль, 2011) Обращает на себя внимание также низкий коэффициент вариации в ноябре 2011 г. Это, по-видимому, вызвано отсутствием резких колебаний суточных сумм в течение месяца (см. рис.13.5.).

Таблица 13.3. Суточные суммы суммарной УФ радиации 300-380 нм.

	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средние, максимальные, минимальные суточные суммы за 2011 г., средние квадратические отклонения (σ), кДж/м ² и коэффициенты вариации (V),%.												
Q _{средн}	82	190	367	558	815	954	880	693	388	170	79	40
Q _{макс}	171	282	657	869	1139	1201	1156	926	688	372	178	73
Число	31	21	31	29	25	23	1	6	2	7	5	5
Q _{мин}	32	56	146	206	291	494	349	205	159	38	26	14
Число	10	4	5	8	14	19	5	10	11	10	26	17
σ	34	80	126	216	252	186	184	209	143	89	40	19
V	41	42	34	39	31	20	21	30	37	52	37	47
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	173	357	523	737	827	796	640	401	177	77	47
V	43	42	41	36	31	29	27	29	36	54	53	45
Максимальные и минимальные суточные суммы за период 1968-2010 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

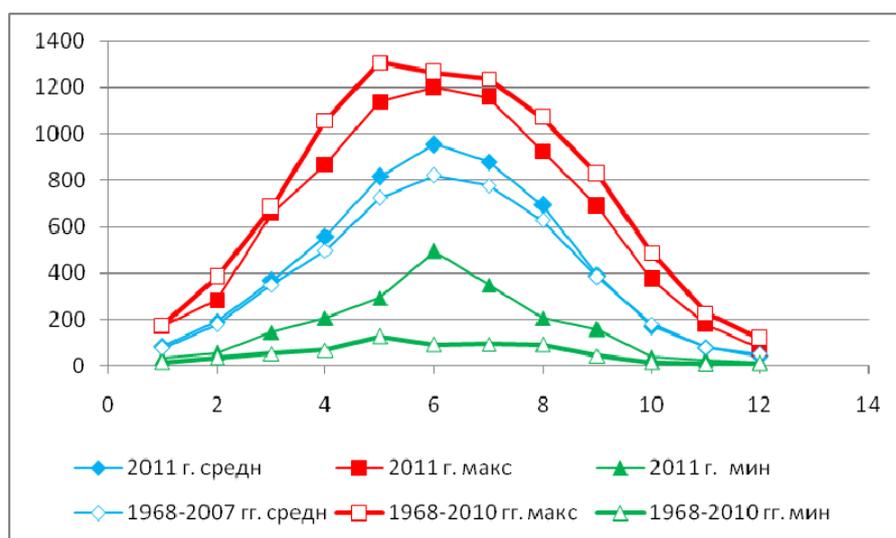


Рисунок 13.4. Годовой ход средних суточных сумм суммарной УФ радиации за 2011 год и за период 1968-2007 гг. (норма) и максимальных и минимальных величин за 2011 г. и период 1968-2010 гг.

Характер многолетних изменений в приходе суммарной УФ радиации, как за год, так и за теплый период (май-сентябрь) представлен на рис. 13.7. Можно видеть, что в 2011 г. годовой приход достиг очень больших значений (третья по величине годовая сумма), а приход УФ радиации в теплое время года (май-сентябрь) является наибольшим за весь период наблюдений и превышает норму на 12%. Ход многолетних изменений в целом 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 во второй половине 90-х – начале 2000-х годов. В целом за 2011 г. суммарная УФ радиация по сравнению с 2010 г. выросла, в то время как суммарная интегральная радиация немного понизилась. Для теплого периода и для $Q_{уфр}$, и для $Q_{ир}$ отмечается рост радиации, несколько больший для $Q_{уфр}$.

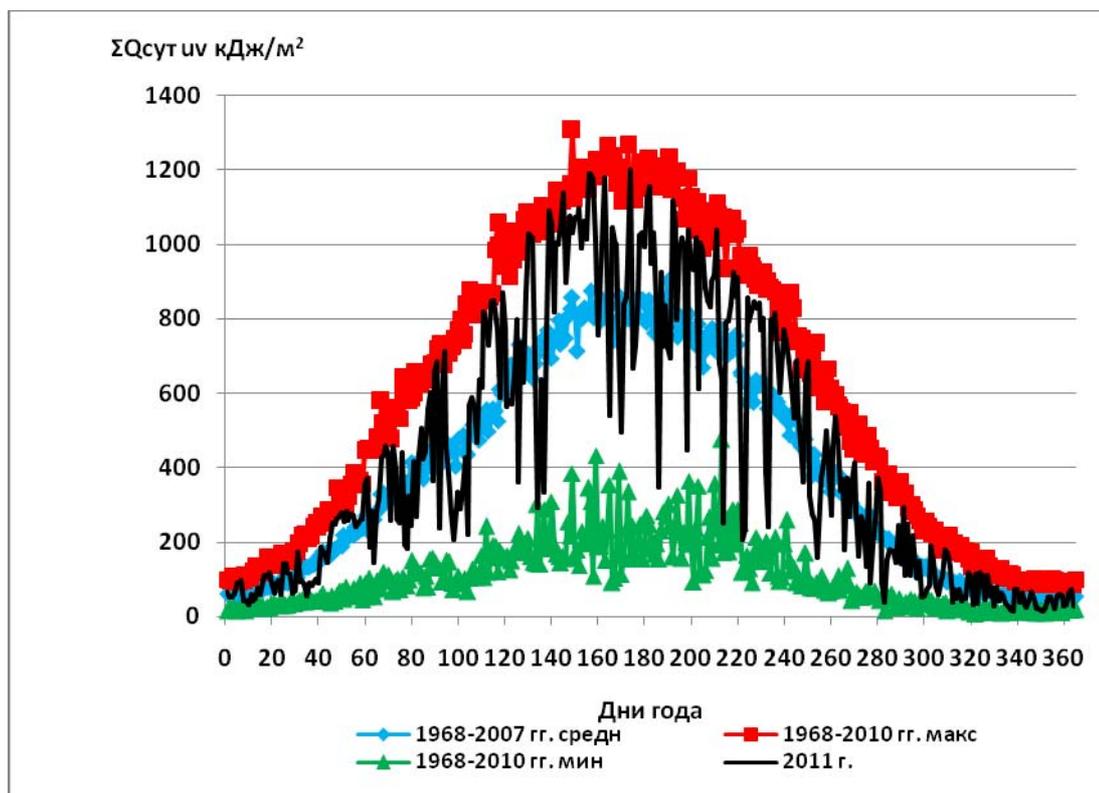


Рисунок 13.5. Изменение суточных сумм суммарной УФ радиации в течение 2011 г.

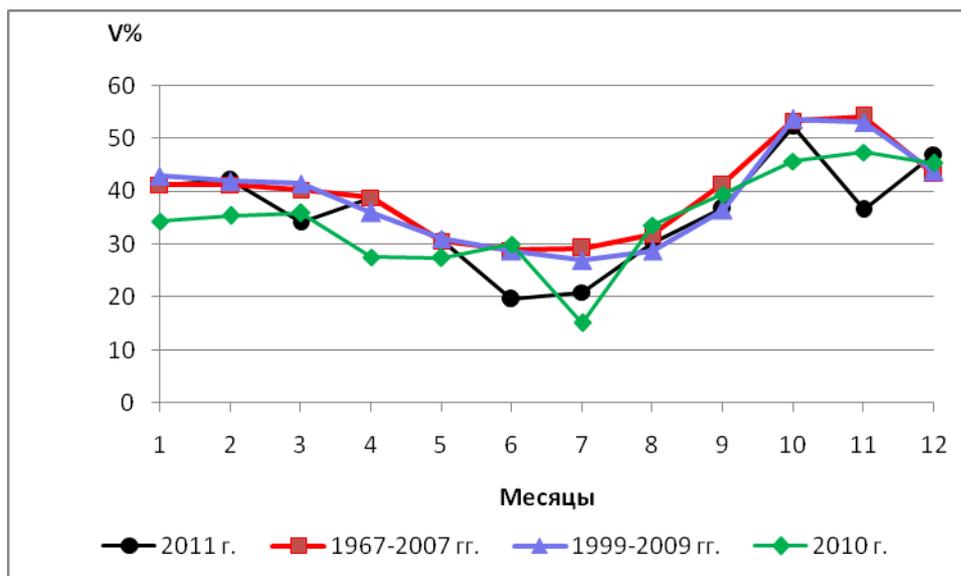
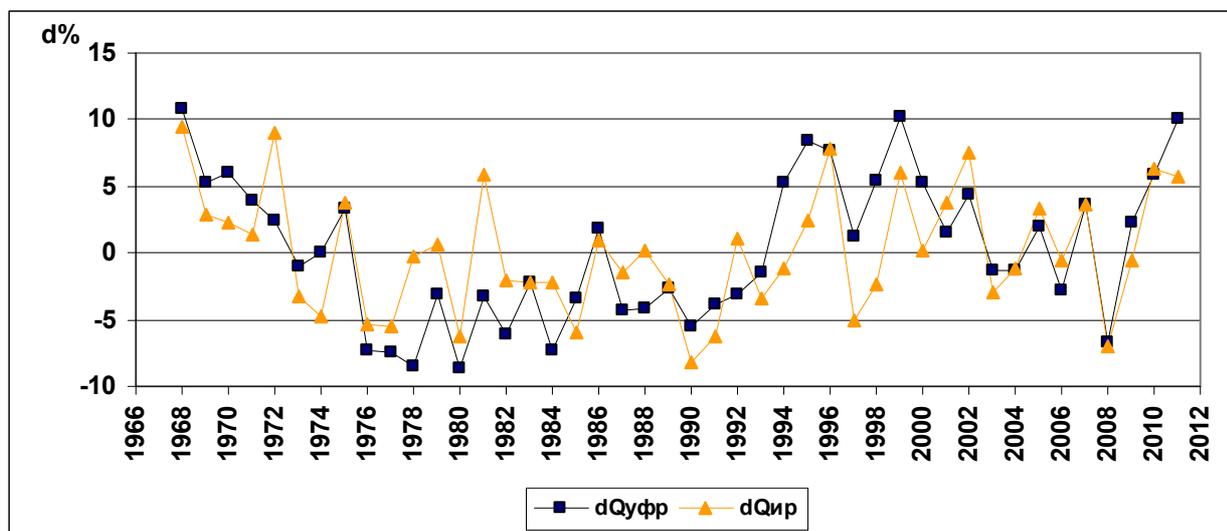


Рисунок 13.6. Годовой ход коэффициента вариации суточных сумм суммарной УФ радиации в различные годы и периоды лет.

Характер многолетних изменений в приходе суммарной УФ радиации как за год, так и за теплый период (май-сентябрь) представлен на рис. 13.7. Можно видеть, что в 2011 г. годовой приход достиг очень больших значений (третья по величине годовая сумма), а приход УФ радиации является наибольшим за весь период наблюдений и превышает норму на 12%. Ход многолетних изменений в целом достаточно хорошо согласуется с изменениями суммарной интегральной радиации: наибольшая положительная аномалия в 1968 г., существенное снижение в приходе радиации с конца 70-х до начала 90-х годов, обусловленное ростом облачности, повышение во второй половине 90-х – начале 2000-х годов. Однако в 2011 г. значения суммарной УФ радиации по сравнению с 2010 г. выросли, в то время как суммарная интегральная радиация немного понизилась. Для теплого периода и для $Q_{уфр}$ и для $Q_{ир}$ отмечается рост, несколько больший для $Q_{уфр}$.

а



б

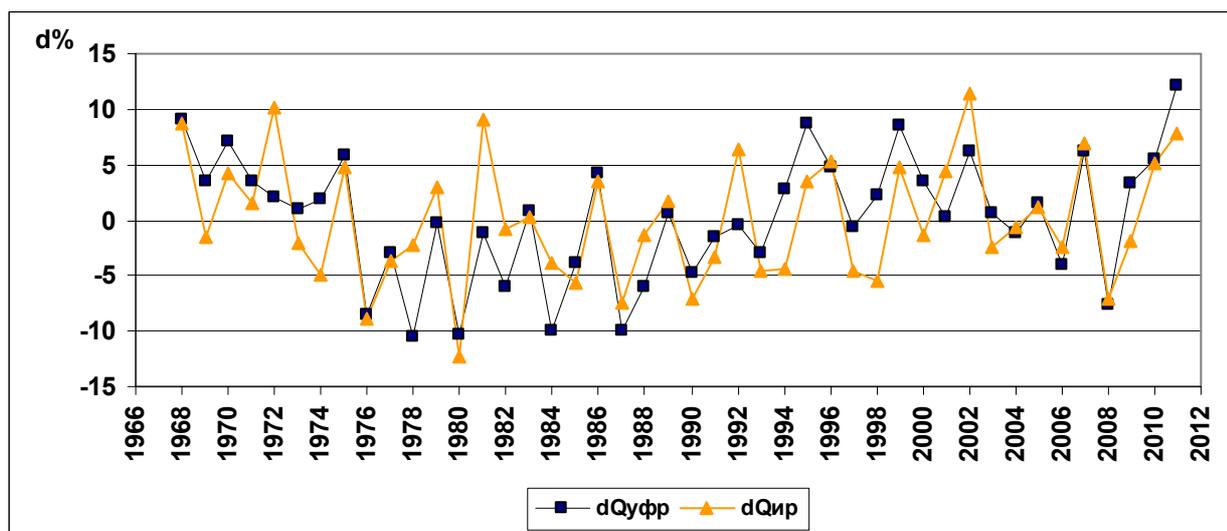


Рисунок 13.7. Отклонения (d) от нормы (1968-2007 гг.) суммарной УФ и интегральной радиации в %. а – суммы за год, б – суммы за теплый период (май-сентябрь).

Литература

Незваль Е.И. Особенности прихода УФ радиации 300-380 нм. «Эколого-климатические 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 – Пушкино, 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 atmosphere”, Москва 2008, с.13-19.

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

14. Характеристика режима биологически-активной эритемной радиации

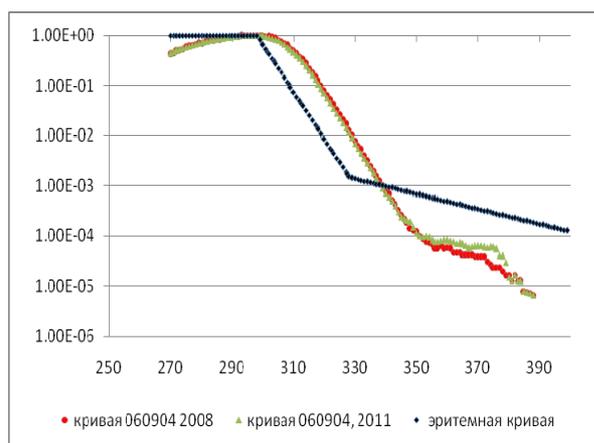
Н.Е. Чубарова

14.1 Краткая характеристика приборов и методических аспектов измерений.

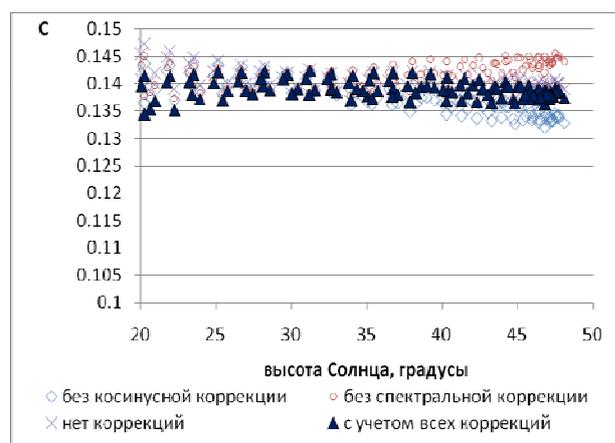
Измерения биологически активной эритемной радиации Q_{er} в метеорологической обсерватории МГУ проводятся с 1999 года с помощью ультрафиолетовых широкополосных пиранометров UVB-1 YES. Калибровка приборов осуществляется по европейскому стандарту в рамках международного соглашения с Департаментом Физиологии и Медицинской Физики Отделения Биомедицинской Физики Медицинского Университета, Инсбрук, Австрия. Последняя калибровка контрольного пиранометра UVB-1 №060904 проводилась в Инсбрукском Медицинском Университете в Австрии в сентябре 2011 г. по спектрометру Bentham DTM300 (см. далее). Анализ результатов измерений 2011 г. проведен уже с учетом новых переводных множителей. Параллельные измерения УФР в МО МГУ, выполненные контрольным прибором и регистратором №920602, показали, что соотношение между приборами в 2011 г. не изменилось и составило около 8% при случайной ошибке порядка 1-3%.

Согласно рекомендациям ВМО и разработанным в МО МГУ методам (Чубарова, 2002) при обработке данных регистрации широкополосных приборов необходимо вводить поправки на высоту Солнца и общее содержание озона, что связано с отличиями кривой спектральной чувствительности приборов от кривой эритемного действия. При этом на первом этапе формируются стандартные таблицы с часовыми дозами эритемной радиации (Q_{er}), полученной с помощью переводного коэффициента при 30 градусах и озоне 300 DU. Окончательные данные измерений получаются при введении поправочного коэффициента, учитывающего спектральные и косинусные погрешности прибора. Отметим, что косинусная поправка вводится при часовой сумме прямой радиации выше 1 Мдж/м². При обработке использовались данные спутника OMI по общему содержанию озона. Отметим также, что в результате калибровок получены переводные множители и для расчета УФ радиации области В - 280-315 нм. В МО МГУ ведется мониторинг этого диапазона солнечного спектра, однако в данный анализ он не включен.

На рис. 14.1 а приведены спектральные кривые чувствительности контрольного прибора 060904, полученные при калибровках в 2008 и 2011гг. и спектр эритемного действия, принятый международной комиссией по освещению CIE. Спектральная чувствительность прибора за этот период уменьшилась на несколько процентов в диапазоне длин волн до 320 нм и на 10-20% - в диапазоне 320-340 нм. В целом это изменило спектральную поправку не более, чем на 1-2% при относительно больших высотах Солнца и не экстремальных значениях ОСО. Однако при высоте Солнца 5 градусов и большом содержании озона более 450 ед. Добсона разница в спектральной поправке, с принятой ранее, может достигать 10%. На рис. 14.1 б приведены значения переводных множителей, полученные при стабильных условиях и разных высотах Солнца с учетом спектральной и косинусной поправок и без учета этих поправок. Хорошо видно, что введение этих физически обусловленных коррекций приводит к заметному уменьшению зависимости переводных множителей от высоты Солнца, что косвенно свидетельствует об необходимости их введения.



А.



Б.

Рисунок 14.1. (а). - Спектральные кривые чувствительности контрольного прибора №060904, полученные в 2008 и 2011 г., и кривая эритемного действия CIE. (б). - Зависимость переводного множителя C ($\text{мВтм}^{-2}\text{мВ}^{-1}$) от высоты Солнца при учете разных типов коррекций. Спектральная коррекция выполнена при нормировке на высоту Солнца 30 градусов и общем содержании озона 300 ед. Добсона.

Переводный множитель для расчета эритемной радиации, полученный в 2011 г., выше примерно на 6.6%, чем переводный множитель, полученный при градуировке в 2008 г. Сравнения с результатами модельных радиационных расчетов, а также с результатами эмпирической модели (Chubarova, 2008) показали, что это связано с изменениями Европейского стандарта. Новый стандарт дает гораздо лучшее согласие с результатами модельных расчетов, чем это было ранее. О стабильности калибровок приборов МО МГУ также говорит отсутствие изменения соотношения между показаниями отдельных приборов в течение всего периода между калибровками.

14.2 Анализ данных измерений биологически активной радиации в 2011 г.

В целом, в 2011 году годовая сумма эритемной радиации Q_{er} составила 462841 Дж/м²(эфф), что заметно (на 12%) выше среднего значения за 1999-2009 г. Результаты измерений средних за месяц суточных сумм биологически активной эритемной радиации и некоторые статистики за период 1999-2009 г. приведены в Таблице 14.1. В апреле был отмечен абсолютный максимум в поступлении Q_{er} (+18%) за весь период наблюдений с 1999 г. В то же время в некоторые месяцы отмечались довольно низкие значения Q_{er} : абсолютный минимум в приходе биологически активной эритемной радиации был зафиксирован в феврале и декабре (см. Таблицу 14.1), когда поступление Q_{er} было ниже соответственно на 18 и 28%. Отметим, что в течение всего зимнего периода – в январе, феврале и декабре - отмечались пониженные величины Q_{er} , которые были статистически значимыми на уровне 95%. Однако вследствие низких высот Солнца и малых значений Q_{er} эти колебания практически не отразились на годовых суммах Q_{er} . На рис.14.2 приведен сезонный ход изменения эритемной радиации и сравнение его с нормой. Хорошо видно, что с апреля по август отмечается статистически значимый рост Q_{er} , составляющий порядка 13-19%. Таким образом, в 2011 г. средние за месяц суточные суммы эритемной радиации изменялись по сравнению с нормой в диапазоне от -28% в декабре до +19% в августе. При этом с мая по август поступление Q_{er} отличалось всего на 4-6% от максимальных за эти месяцы значений за весь период наблюдений.

Для выяснения причин вариаций эритемной радиации в 2011 году была использована модель реконструкции УФР, позволяющая оценивать изменения радиации с месячным и более осреднением (Chubarova, 2008). Отметим, что модель пока учитывает вариации Q_{er} за счет оптической толщины облаков только за период май-сентябрь,

вследствие чего возможны существенные погрешности в зимние месяцы, когда этот фактор особенно важен за счет большой повторяемости условий сплошного покрова облаков.

Таблица - 14.1. Средние суточные суммы эритемной радиации (Q_{er} , Дж/м² эфф), максимальная величина часового УФ индекса в 2011 году и статистики за период 1999-2011 гг.*.

	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{er} 2010	73	190	624	1503	2464	3146	3180	2364	1088	359	105	41
максимум УФ индекс 2011	0.5	0.7	3.0	4.9	5.9	6.5	7.0	5.8	4.1	2.2	0.9	0.2
среднее Q_{er} 1999-2009	85	231	664	1271	2190	2692	2729	1993	1141	388	117	56
максимум Q_{er} 1999-2011	116	279	788	1503	2638	3323	3308	2467	1248	464	158	84
минимум Q_{er} 1999-2011	67	190	538	1086	1870	1849	2516	1648	907	293	86	41
максимум УФ индекс 1999-2011	0.6	1.5	3.0	4.9	6.4	7.7	7.2	6.2	4.6	2.4	1.1	0.4
$Q_{er2011}/Q_{er 1999-2009} - 1,$ %	-14%	-18%	-6%	18%	13%	17%	17%	19%	-5%	-7%	-10%	-28%

- - статистики за период 1999-2011 г. были уточнены с учетом новой калибровки 2011 г.

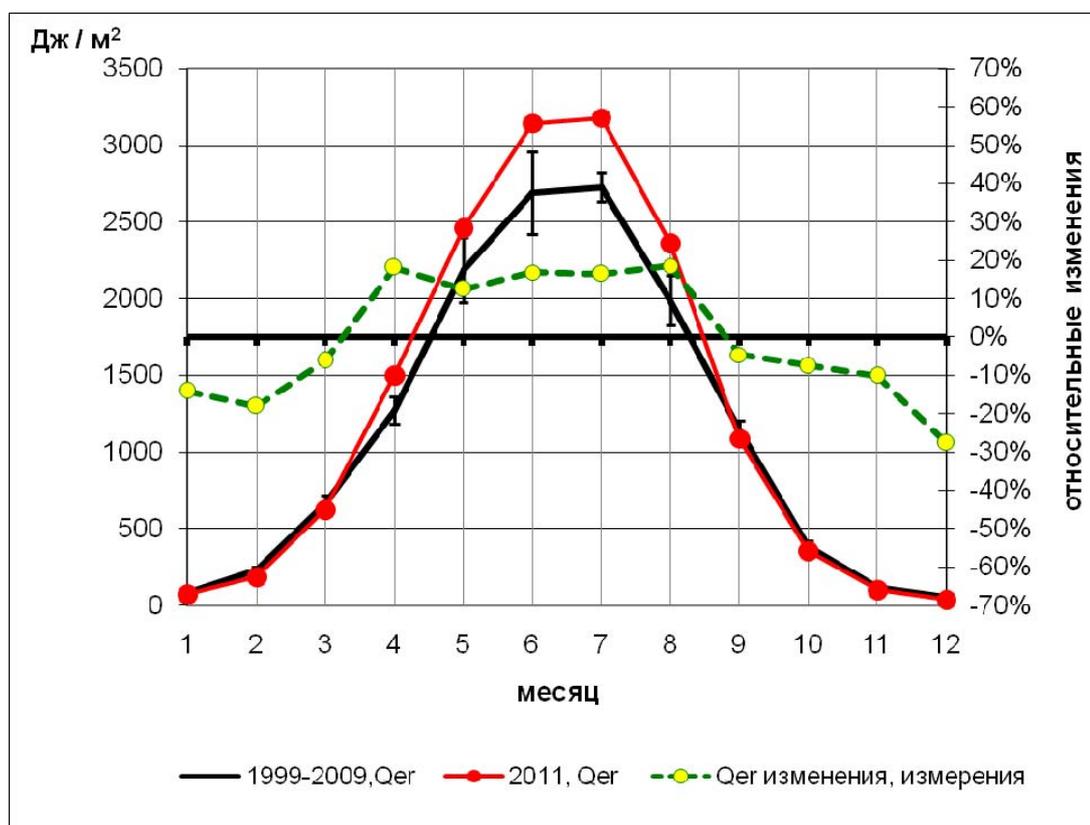


Рисунок 14.2. Сезонный ход средних суточных сумм эритемной радиации в 2011 году, и в среднем за период 1999-2009 г, а также относительные изменения $Q_{ер}$ по сравнению с нормой. Доверительные интервалы приведены при 95% уровне значимости.

Поэтому было проведено сравнение измеренных и рассчитанных вариаций $Q_{ер}$ только для теплого периода года. Результаты приведены на рис. 14.3. Хорошо видно, что модельные вариации хорошо отражают реальные изменения в поступлении $Q_{ер}$ к поверхности Земли и также демонстрируют рост $Q_{ер}$ на 7- 19% относительно нормы с апреля по август и пониженные значения эритемной радиации в сентябре.

Рассмотрим теперь более детально причины таких вариаций $Q_{ер}$ к поверхности Земли. На рис. 14.4. приведены количественные оценки изменчивости эритемной радиации за счет вариации общего содержания озона, эффективной облачности, аэрозольной оптической толщины и оптической толщины облаков. (Последний фактор рассчитывается только для теплого периода года при отсутствии снежного покрова). Видно, что в 2011 г. в зимний период наблюдались закономерные противофазные изменения эритемной радиации за счет озона и облачности, что и должно было быть в условиях адвекции

арктической ВМ, когда в условиях малооблачной антициклональной погоды господствует обогащенный озоном арктический воздух. Летом вариации эритемной радиации за счет озона и облачности, наоборот, находятся в фазе, что связано с преобладанием малооблачной погоды при адвекции тропического воздуха, в которой общее содержание озона меньше типичных для Москвы значений. .

Рассмотрим более подробно ситуацию, которая наблюдалась весной. По данным спутниковых измерений в январе – марте 2011 в Арктике была зафиксирована так называемая озоновая дыра - значительное сокращение общего содержания озона внутри циркумполярного вихря, где при относительно низкой температуре стратосферы происходили активные химические реакции, ведущие к сокращению содержания озона на 40%. В слое 18-20км сокращение озона доходило до 80%. (Garcia et al., 2011). В конце марта – начале апреле эта область частично «накрыла» и Москву, что вызвало заметное сокращение озона в среднем на 13%. Ранее такое явление уже наблюдалось по данным московских измерений в апреле 2000 г. (Чубарова, 2002), когда накануне также отмечалось заметное сокращение ОСО в Арктике за счет аномально низких стратосферных температур, когда рост Q_{er} был связан исключительно с сокращением ОСО. В результате, в апреле рост эритемной радиации отмечался, главным образом, за счет сокращения озона и небольшого увеличения в эффективном пропускании облачности, которое в начале месяца еще было увеличено за счет относительно более высокого альbedo подстилающей поверхности снега, сплошной покров которого наблюдался в первую декаду апреля. Эти факторы и способствовали значительному увеличению Q_{er} до величины абсолютного максимума за весь период наблюдений.

В то же время значительный рост Q_{er} в 2011 г. связан и с заметным уменьшением эффективной облачности в весенне-летний период при больших высотах Солнца, что привело к росту эритемной радиации на 4 -11% и способствовало существенному годовому росту Q_{er} . В осенний период именно колебания облачности вызывали значительные вариации в поступлении Q_{er} .

На рис.14.5 показаны многолетние вариации эритемной радиации, рассчитанные по эмпирической модели с 1968 г. и полученные по данным измерений с 1999 г. за теплый период (май-сентябрь). Отчетливо видно, что после существенно уменьшения поступления эритемной радиации в середине 1970-х гг, наблюдается ее отчетливый рост,

согласующийся с результатами измерений в МО МГУ ($r=0.9$). Этот рост с 1980 г. можно охарактеризовать линейным трендом примерно 6% за декаду.

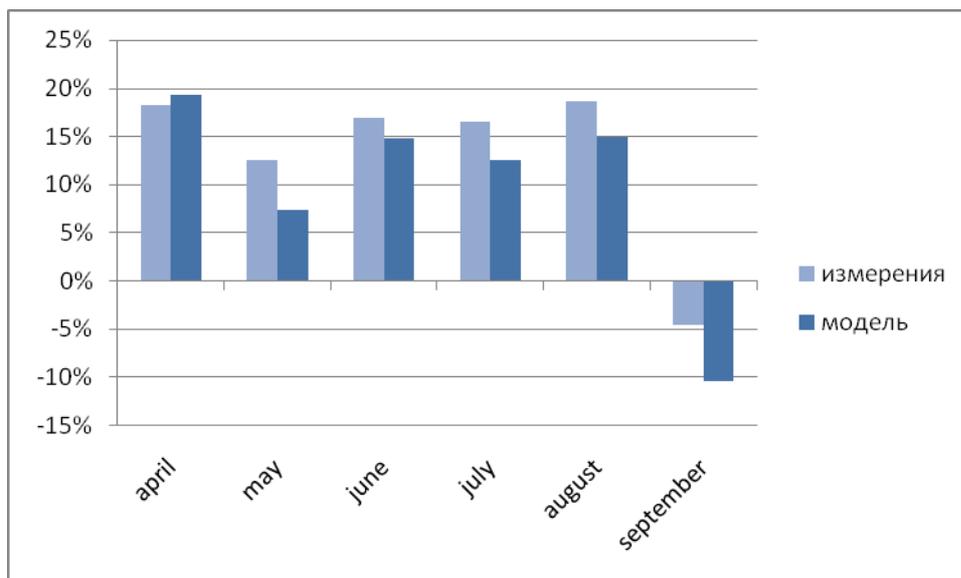


Рисунок 14.3. Сравнения результатов измерений и расчетов относительных вариаций эритемной радиации (%) в разные месяцы 2011 г. относительно средних значений за период 1999-2009 гг.

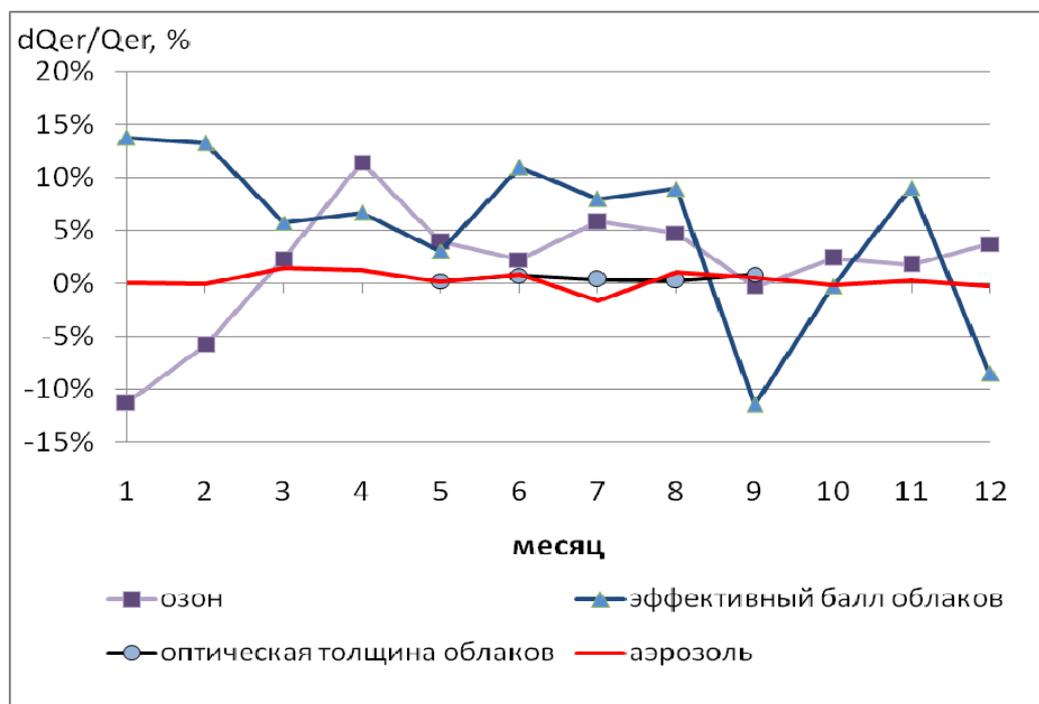


Рисунок 14.4. Относительные изменения эритемной радиации за счет различных факторов в 2011г относительно средней величины за 1999-2009 г. период наблюдений. Модель.

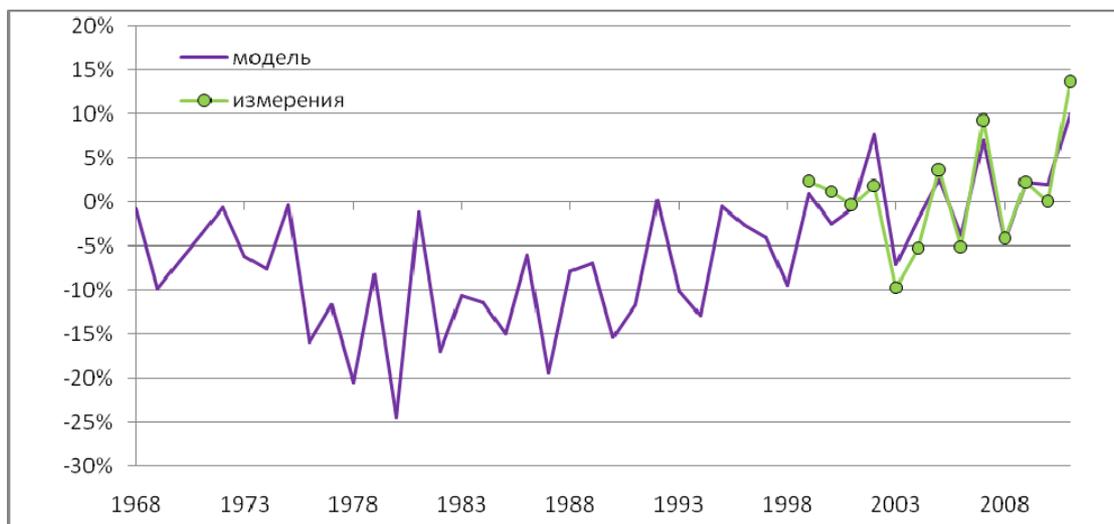


Рисунок 14.5 Многолетняя изменчивость эритемной радиации по данным моделирования и измерений в МО МГУ. Данные нормированы на период 1999-2009 г. Май-сентябрь.

Уровень эритемной радиации принято характеризовать с помощью УФ индексов (УФИ), которые рассчитываются на основании измерений Q_{er} и характеризуют степень опасности УФР для кожи человека. Считается, что защита от УФ радиации требуется уже при УФИ более 3.

Сезонный ход максимальных УФ индексов в Москве приведен на рисунке 14.6, где также показаны абсолютные максимумы за период 1999-2010 г. Видно, что опасный для человека уровень $УФИ > 3$ может наблюдаться при определенных условиях атмосферы в околополуденные часы практически каждый год в период с мая по сентябрь. Максимальные значения УФИ в наших широтах достигают 6-7 в мае-августе, что по классификации ВОЗ соответствует высокой категории УФ облучения.

Рассмотрим, как менялись максимальные часовые УФ индексы в 2011 г. За счет резкого сокращения озона весной 2011г. были зарегистрированы экстремально высокие значения УФ индексов в околополуденное время 31 марта и 29 апреля. Сдвиг даты наблюдения максимума УФИ к концу месяца обуславливается действием астрономического фактора – ростом высоты Солнца. Существенный рост радиации был вызван несколькими факторами. Главным фактором роста Q_{er} в обоих случаях было пониженное содержание озона 294 ед.Добсона в марте и 309 ед.Добсона в апреле (соответственно -22% и -21% относительно средних многолетних значений).

Дополнительно рост эритемной радиации был связан с эффектами рассеяния за счет присутствия 4-5 баллов облаков нижнего яруса, которые не закрывали диск Солнца. Увеличение Q_{er} в марте дополнительно было вызвано еще и эффектами многократного переотражения между снегом и облаками.

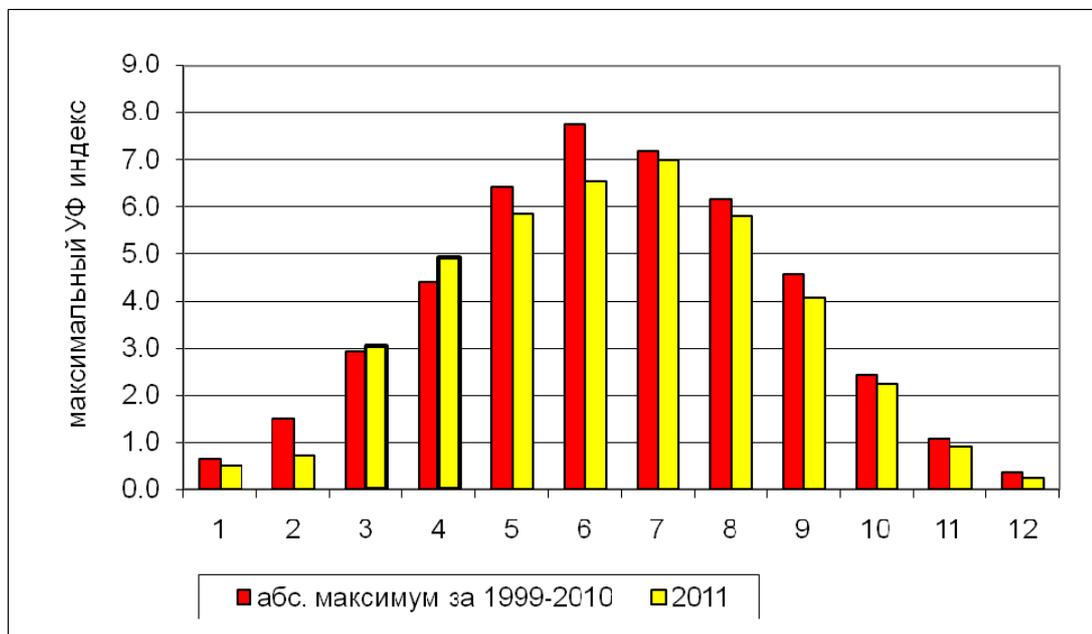


Рисунок 14.6. Максимальные часовые значения УФ индексов, наблюдавшиеся в 2011 году, а также абсолютные максимумы за 1999-2010 г.

В результате, в 2011 году защита от биологически активной УФ радиации требовалась в 2011 г. уже с конца марта за счет аномально низкого содержания озона. Пользуясь оценками биологического действия УФР по (Holick, Jenkins, 2003), отметим, что в 2011 году в Москве невозможно было ни при каких условиях получить полезную радиацию, необходимую для формирования витамина D₃, в январе и декабре, что типично для московских условий.

Таким образом, биологически активная эритемная радиация была максимальной за весь период наблюдений: ее рост составил +12% относительно средних значений за 1999-2009 гг. В марте и апреле был отмечен абсолютный максимум Q_{er} , главным образом, за счет пониженного содержания озона, связанного с последствиями развития озоновой дыры над Арктикой зимой – весной 2011г. Главными причиной роста эритемной радиации в годовом ходе стало увеличение Q_{er} за счет роста облачного пропускания и уменьшения

озона в весенне-летний период. При этом озоновый фактор доминировал весной, а облачный – летом.

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

GARCIA R.R., et al., Atmospheric science: An Arctic ozone hole? Nature, 478, 462–463, 2011

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.

15. Режим нисходящей длинноволновой радиации.

Е.И. Незваль, Н.Е. Чубарова

Длинноволновая нисходящая радиация (ДНР) играет важную роль в обмене энергией между земной поверхностью и атмосферой. В то же время это наиболее трудно часть радиационного баланса. Сеть станций, измеряющих длинноволновые потоки, очень редкая. Главным образом, такие наблюдения проводятся в рамках международной сети BSRN (Baseline Surface Radiation Network) современными высокоточными приборами. Эта сеть в настоящее время насчитывает всего около 45 станций (Henger, et al., 1997, Garratt, 2001, Wild, et al., .2001). В 2008 году измерения ДНР по программе BSRN были начаты в Метеорологической обсерватории (МО) МГУ в рамках соглашения между Географическим факультетом МГУ и Институтом по атмосферным и климатическим наукам швейцарского технологического института и Давосской физической и метеорологической обсерваторией/Мировым радиационным центром.

15.1 Описание прибора и методика проведения измерений.

В Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) регистрация длинноволновой нисходящей радиации атмосферы проводится с помощью прецизионного инфракрасного радиометра (пиргеометра Эппли) модели PIR длин волн 3.5-50 мкм [www.eppleylab.com/prdprecinfradmtr.htm].

Приемником радиации в модели PIR является термоэлемент Эппли, покрытый черным лаком Парсона, поглощение которого не зависит от длины волны. Исключение влияния солнечной радиации в дневное время достигается с помощью силиконовой полусферы, на внутренней поверхности которой находится нанесенный в вакууме интерференционный фильтр, пропускающий только радиацию в диапазоне длин волн 3.5-50 мкм. При определении длинноволновой нисходящей радиации учитывалась температура прибора и его полусферы в трех точках. Инерция приемника – 2 с. Температурная погрешность лежит в пределах $\pm 1\%$ в диапазоне температур от -20° до $+40^\circ$. Отклонения от линейности в диапазоне от 0 до 700 Вт/м^2 составляют $\pm 1\%$. Отклонения от закона косинусов $< 5\%$.

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

В результате сопоставления с контрольными радиометрами в 2008 г. получена чувствительность прибора, равная $4.19 \text{ мкВ} \cdot \text{Вт}^{-1} \text{ м}^2$ при среднем квадратическом отклонении $-0.09 \text{ мкВ} \cdot \text{Вт}^{-1} \text{ м}^2$. По результатам вторичной калибровки в январе 2010 г. чувствительность прибора не изменилась. Ошибка измерения ДНР на станциях BSRN оценивается в $2-3 \text{ Вт/м}^2$ (Wild et al., 2001). В настоящей работе использованы осредненные за час значения ДНР. Метод расчета ДНР с учетом температуры корпуса прибора и полусферы приведен в работе (Незваль и др., 2012).

15.2 Результаты.

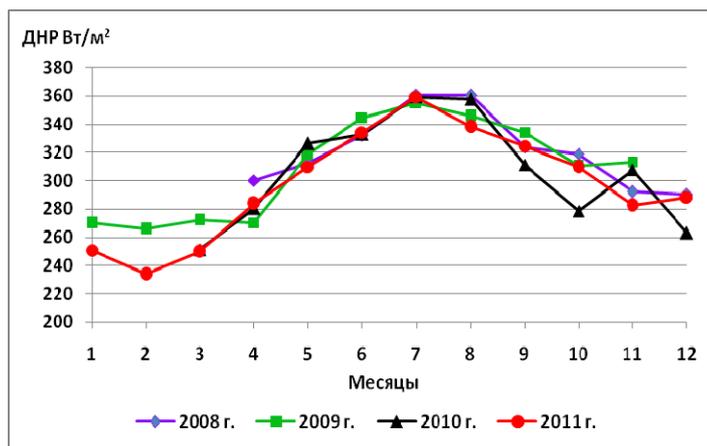
В среднем за год величина длинноволновой нисходящей радиации в 2011 г. составила 297 Вт/м^2 , что на 2.5 % ниже средней величины за предыдущие годы (табл.15.1). Максимум приходится на июль, минимум на февраль, что хорошо согласуется с годовым ходом температуры воздуха и влагосодержания атмосферы (см. разделы 1, 5). На рис. 15.1 представлен годовой ход средних за месяц, максимальных и минимальных значений ДНР за все годы наблюдений.

Таблица 15.1. Средние месячные значения длинноволновой нисходящей радиации в 2011 г. и осредненные за период наблюдений 2008-2010 гг.

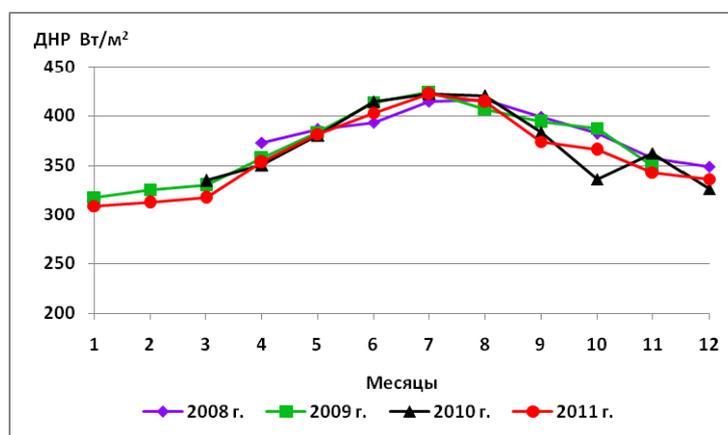
Месяцы	ДНР, Средн. 2010 г.	ДНР, Макс. 2010 г.	ДНР, Мин. 2010 г.	ДНР, Средн. 2008- 2010 гг. (Число лет)	ДНР, Макс. 2008- 2010 гг.	ДНР, Мин. 2008- 2010 гг.	Относительное отклонение от средней величины, %
I	250.9	309.3	174.1	270.0 (1)	317,8	171,8	-7.1
II	233.7	312.4	150.5	265.8 (1)	325,6	168,7	-12.1
III	249.5	317.2	177.7	261.5 (2)	334.6	173.0	-4.6
IV	283.7	353.0	195.5	283.5 (3)	373	199.0	0.1
V	310.0	381.7	238.2	319.2 (3)	385.9	227.9	-2.9
VI	334.1	402.8	265.2	336.6 (3)	414.6	239.3	-0.7
VII	359.5	421.6	309.1	358.2 (3)	424.3	272.2	0.4
VIII	338.1	414.2	274.7	354.6 (3)	419.8	252.0	-4.6
IX	324.4	373.8	247.5	323.1 (3)	398.8	224.3	0.4
X	309.6	365.4	234.6	30.5 (3)	387.2	213.7	2.4
XI	282.4	343.0	179.6	304.3 (3)	362.3	208.0	-7.2
XII	288.5	336.0	203.0	276.5(2)	348.9	181.8	4.3
Год	297.0			304.6			-2.5

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

а



б



в

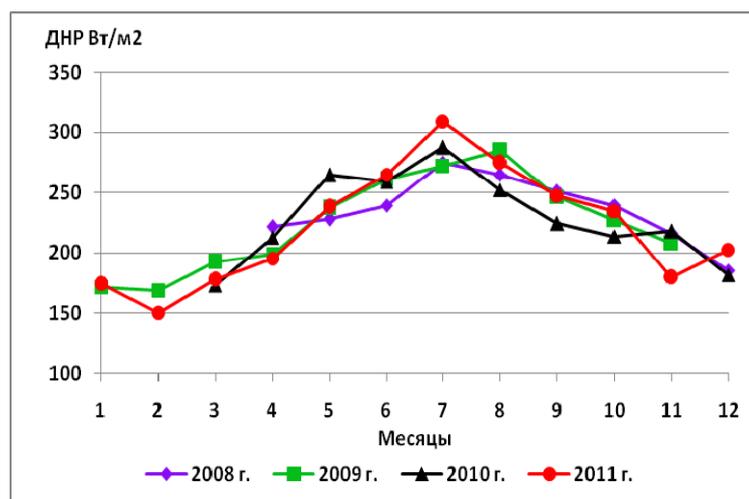


Рисунок 15.1. Годовой ход средних за месяц (а), максимальных (б) и минимальных (в) за месяц значений ДНР.

Можно видеть, что в июле средние за месяц значения практически одинаковы во все годы наблюдений. В январе-марте 2011 г. средние за месяц значения заметно ниже, чем в 2009 г. (см. рис.15.1а). Это определяется более низкими температурами воздуха в пограничном слое в эти месяцы 2011 г.: в феврале средняя месячная температура воздуха на 5.7° ниже, чем в 2009 г., в январе и марте эти различия составляют примерно 2° . Соответственно в эти месяцы 2011 года ниже влагосодержание. Заметно меньше в январе-марте 2011 г. и облачность. Как было показано в работе [Незваль и др., в печати], излучение от нижней границы плотных облаков нижнего яруса может увеличить приход ДНР на 25-30%. Отметим, что высоко расположенные, холодные облака верхнего яруса практически не увеличивают приход ДНР. В феврале 2011 г. средняя за месяц нижняя облачность была значительно ниже (5.4 балла) по сравнению с февралем 2009 г. (6.9 балла). Обращает на себя внимание относительно низкая величина ДНР в октябре 2010 г. Средняя месячная температура в октябре 2010 г. была на 2.2° ниже, чем в октябре 2011 г., а нижняя облачность примерно на 2 балла меньше.

Во все месяцы всех лет наблюдений максимальные значения отмечаются при высоких для данного месяца температурах воздуха, высоком влагосодержании и при сплошном покрове облаков нижнего яруса или значительной многоярусной облачности, часто при наличии кучево-дождевых облаков. В 2011 г. экстремально высоких значений не отмечалось. Обращает на себя внимание, что в июле максимальные значения ДНР за все годы наблюдений близки между собой.

Самые низкие значения ДНР наблюдаются при вторжениях холодного воздуха с малым влагосодержанием в условиях ясной погоды или наличия облаков верхнего яруса. В 2011 г. была зафиксирована самая низкая за все годы наблюдений средняя за час величина ДНР – 150.5 Вт/м^2 (см. рис.15.1.в). Она была отмечена 19 февраля 2011 г. за временной интервал 1-2 часа по солнечному времени при температуре воздуха -22.2° , упругости водяного пара 0.8 гПа и небольшой слоисто-кучевой облачности (2-3 балла). В 2011 году также была зарегистрирована самая низкая величина ДНР для ноября, наблюдавшаяся 6 ноября в 8-9 часов по солнечному времени при температуре воздуха -9.1° , упругости водяного пара 2.6 гПа и при 10 баллах с разрывами перистой и перисто-кучевой облачности.

В 2011 г. отмечены наиболее высокие за весь период наблюдений значения коэффициентов вариации в феврале и ноябре (рис.15.2). Это можно объяснить резкой сменой циркуляционных процессов в Московском регионе. В феврале в первые девять дней преобладали небольшие отрицательные температуры, нередко днем отмечались оттепели. Наблюдался сплошной покров облаков нижнего яруса. В этих случаях значения ДНР достигали $\approx 300 \text{ Вт/м}^2$. Начиная со второй декады февраля, установилась антициклональная погода с низкими температурами, достигающими $-22 - -23^\circ\text{C}$. При таких условиях значения ДНР снижались почти до 150 Вт/м^2 . В ноябре 2011 г. также неоднократно происходила смена достаточно высоких для ноября положительных температур отрицательными температурами воздуха. Наиболее низкая изменчивость ДНР в 2011 г. отмечена в июле.

Наиболее отчетливо суточный ход выражен в теплое время года и определяется главным образом суточным ходом температуры воздуха в пограничном слое. На рис. 15.3 представлен осредненный за месяц суточный ход ДНР для центральных месяцев сезонов 2011 года.

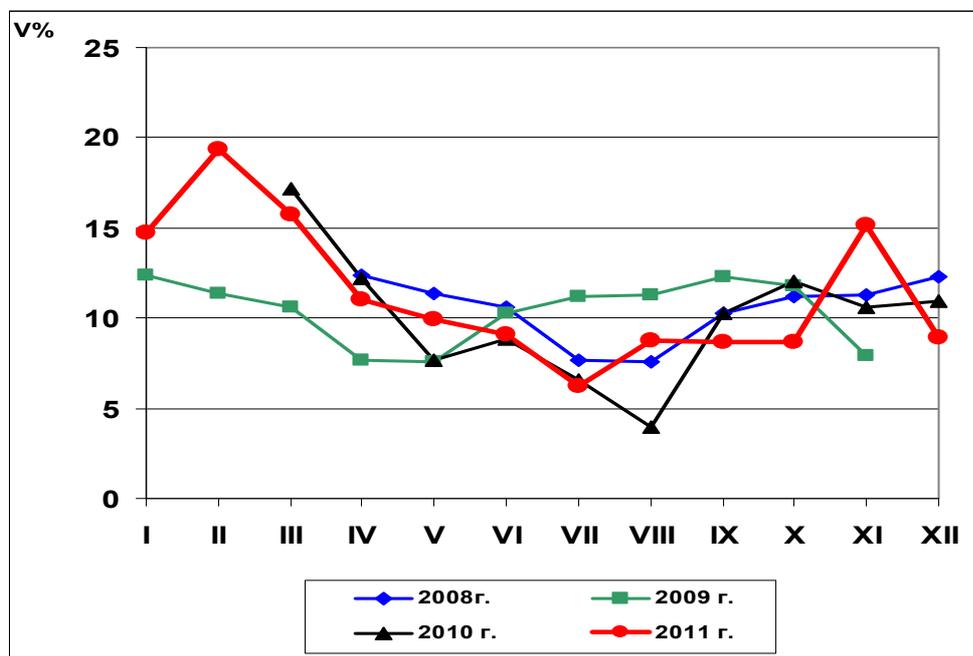


Рисунок 15.2. Годовой ход коэффициентов вариации ДНР за весь период наблюдений.

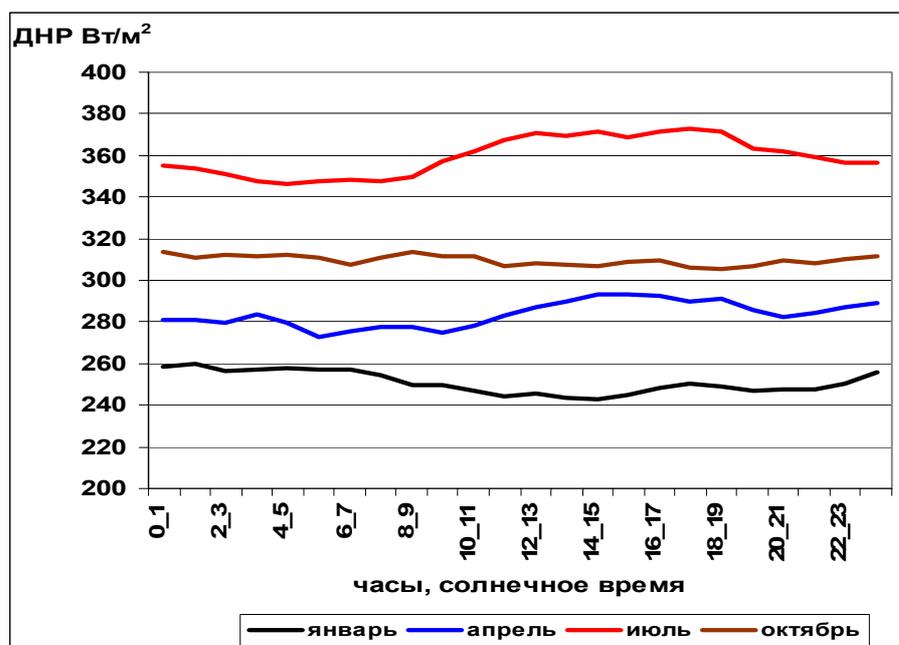


Рисунок 15.3. Средний за месяц суточный ход ДНР в центральные месяцы сезонов 2011 года.

Из приведенных данных следует, что в июле 2011 г. наиболее высокие значения ДНР приходится на вторую половину дня, наиболее низкие – на утренние часы. Суточная амплитуда составила почти 27 Вт/м^2 (рис. 15.4).

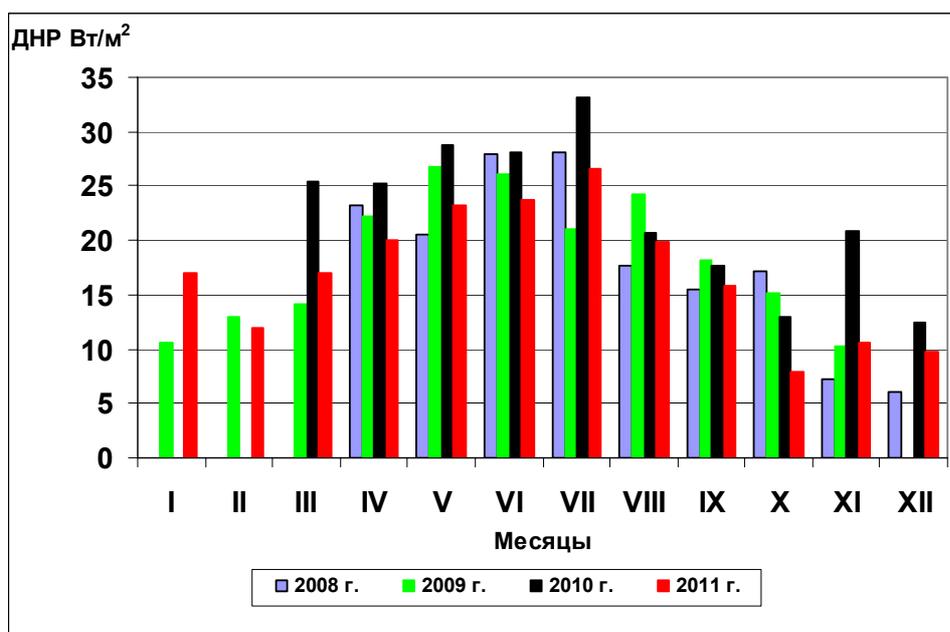


Рисунок 15.4. Годовой ход средней за месяц суточной амплитуды ДНР за все годы наблюдений.

В середине весны характер суточного хода близок суточному ходу в июле. Однако суточная амплитуда несколько ниже: в апреле 2011 г. она составила 20 Вт/м^2 . Как показали наблюдения, в холодное время года амплитуда суточного хода значительно меньше, чем в теплый период. Однако в январе 2011 г. суточный ход выражен достаточно отчетливо: амплитуда достигла высоких значений для зимних месяцев (17 Вт/м^2). При этом максимум в суточном ходе приходится на ночное и утреннее время. Хотя в суточном ходе температуры воздуха максимум приходится на дневное время, в это время наблюдается минимум облачности. Так, в 15 часов по московскому зимнему времени общая и нижняя облачность была 8.8/5.9, а в 6 часов – 9.8/8/4. Отметим, что в феврале 2011 г. максимум в суточном ходе приходится уже на дневные часы. В 2011 г. наименьшая амплитуда (8 Вт/м^2) наблюдалась в октябре.

Таким образом, приход ДНР в 2011 г. был на 2.5% ниже, чем в среднем за предыдущие годы. В этом году не было отмечено экстремально высоких значений ДНР, хотя в июле максимальные значения были ниже наибольшей величины, наблюдавшейся в июле 2009 г. менее, чем на 3 Вт/м^2 . В феврале 2011 г. отмечен абсолютный минимум средней за час величины ДНР за все время наблюдений, а в ноябре – самая низкая величина для этого месяца.

Литература

Незваль Е.И., Чубарова Н.Е., Groebner J., Ohmura A. Влияние различных атмосферных параметров на длинноволновую нисходящую радиацию и особенности ее режима в Москве. Известия РАН, «Физика атмосферы и океана», 2012, в печати.

Henger H, Muller G., Nespor V., Ohmura A., Steigard R., Gilgen H. World Climate, Research Program WCRP (WMO/ICSU/IOC), Baseline Surface Radiation Network (BSRN), Update of the Technical Plan for BSRN Data Management, World Radiation Monitoring Center (WRMC). 1998. Technical Report 2. Version 1.0. 34 p.

Pinto J.O., Curry J.A., Fairall C.W. Radiative Characteristics of the Arctic atmosphere during spring as inferred from ground-based measurements // J. of Geoph. Res. 1997. V.102, No. D6. P. 6941–6952.

Garratt J.O. Clear-Sky Longwave Irradiance at the Earth's Surface – Evaluation of Climate Models // J. of Climate. 2001.V. 14. P. 1647–1670.

Wild M., Ohmura A., Gilgen H., Morcrette J-J, Slingo A. Evaluation of Downward Longwave Radiation in General Circulation Models //J. of Climate. V. 2001,14, P. 3227-3239.

www.eppleylab.com/prdprecinfradmtr.htm

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

Н.Е. Чубарова

16.1 Некоторые методические аспекты измерений.

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 AOT_{λ} . 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 1.2° для измерений прямого и рассеянного от небесной полусферы солнечного излучения. Погрешность измерений в видимом и ближнем ИК диапазоне составляет 0.01, в УФ области спектра для каналов 340 и 380 нм – 0.02. Работы ведутся в рамках соглашения с американским Годдардовским центром космических полетов в рамках международной программы AERONET.

На официальном сайте программы AERONET <http://aeronet.gsfc.nasa.gov> доступны данные нескольких уровней. Изначально данным присваивается уровень 1.0. После фильтрации данных, искаженных влиянием облаков по методике (Smirnov et al., 2000) результатам измерений присваивается уровень 1.5. 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

данных было разработано программное обеспечение, которое также позволяет подготавливать ежемесячный электронный бюллетень основных аэрозольных характеристик атмосферы.

В анализе данных за 2011 год используются данные уровня 2.0*, полученные после окончательной калибровки приборов и проведения дополнительного контроля данных измерений по методике МО МГУ. Отметим, что в этом году различия за счет калибровок до и после годовичного периода наблюдений составили менее 1%.

16.2 Временные вариации аэрозольных характеристик атмосферы в 2011 г.

На рис. 16.1 приведены вариации среднемесячных значений аэрозольной оптической толщины на разных длинах волн, полученные по данным измерений в 2011 г. Для всех месяцев хорошо прослеживается закономерный рост АОТ с уменьшением длины волны от ближней инфракрасной ($\lambda=1020\text{нм}$) до УФ области спектра ($\lambda=340\text{ нм}$), связанный с преобладанием рассеяния на мелкодисперсном аэрозоле. Отметим также гораздо большую изменчивость абсолютных значений АОТ в УФ диапазоне спектра по сравнению с БИКР, что оказывает существенное влияние не только на большее ослабление УФР, но и на большую изменчивость УФ радиации за счет АОТ.

В годовом ходе наблюдается выраженный летний июльский максимум АОТ для всех длин волн. В июле среднее значение АОТ на длине волны 500 нм (АОТ₅₀₀) равно 0.27. Минимальные значения АОТ в УФ и видимом диапазоне спектра наблюдались в ноябре, в ближнем инфракрасном диапазоне – в сентябре.

В таблице 16.1 приведены различные статистики аэрозольной оптической толщины на длинах волн 340 и 500нм, содержания водяного пара W , а также параметра Ангстрема $\alpha = -\ln(\text{АОТ}_\lambda) / \ln\lambda$, с помощью которого можно оценить спектральные оптические толщины в видимом и ближнем ИК диапазоне спектра, не измеряемые непосредственно солнечным фотометром, а также качественно охарактеризовать размер аэрозольных частиц. Расчет параметра Ангстрема в стандартном алгоритме AERONET проводится на основании уравнения регрессии для различных спектральных диапазонов, но в качестве основного диапазона принята область 440-870нм.

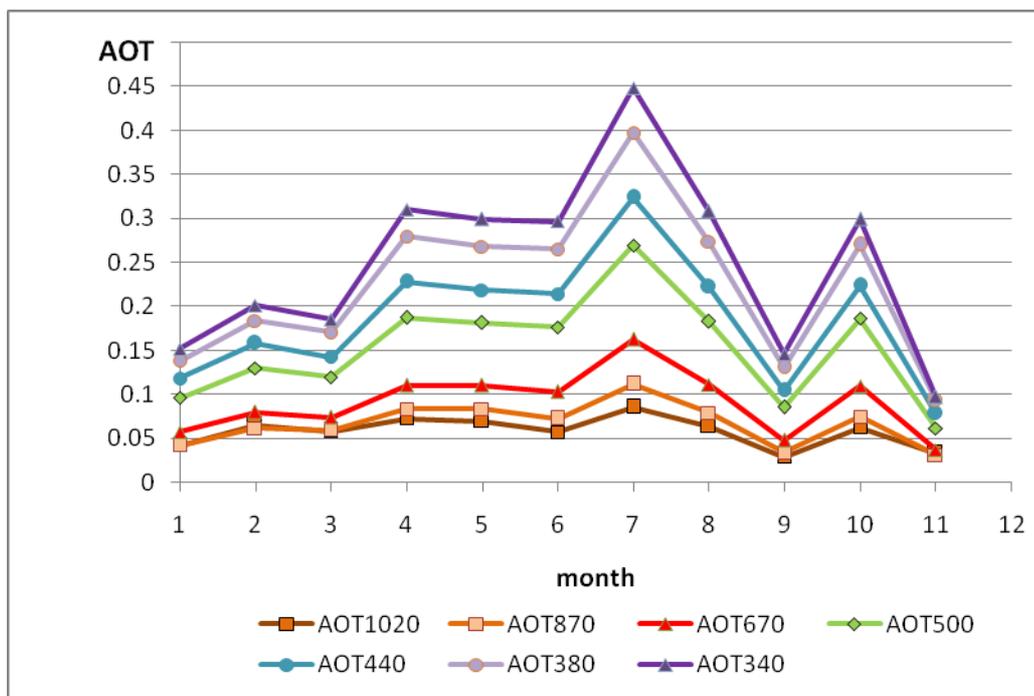


Рисунок 16.1 - Вариации среднемесячных значений аэрозольной оптической толщины на разных длинах волн по данным AERONET в 2011 году. Уровень 2.0*. Москва.

Отметим, что для центральной части Европейской равнины среднее сезонное распределение АОТ для периода 2001-2010 г. характеризуется бимодальным характером с максимумами в апреле и августе-сентябре, которые хорошо видны на рис. 16.2. Весенний максимум АОТ определяется тем, что после схода снега, в условиях относительно небольшого количества осадков (что способствует увеличению времени жизни аэрозоля), в атмосфере наблюдается увеличение биогенного аэрозоля за счет сжигания сухой травы, связанного с началом сельскохозяйственных работ. Кроме того, отмечается и рост эмиссии почвенного минерального аэрозоля, поступающего в атмосферу при отсутствии травяного покрова.

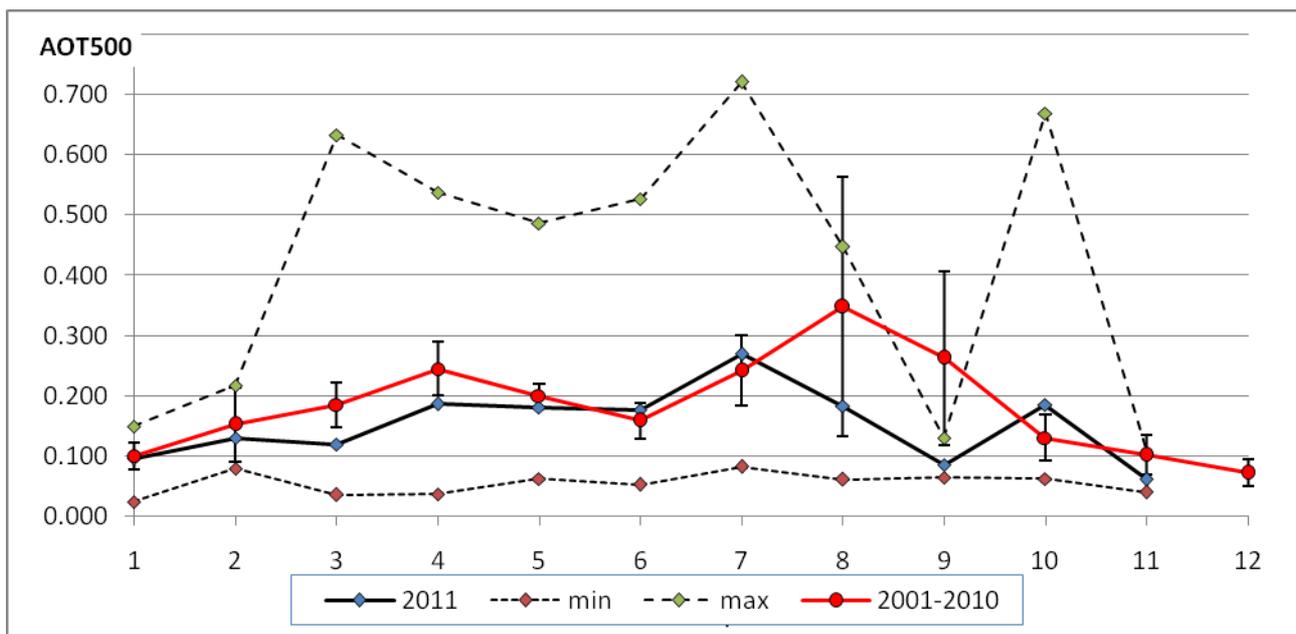
Летне-осенний максимум определяется дополнительным вкладом вторичного биогенного аэрозоля, а также влиянием адвекции дымового аэрозоля от лесных пожаров, повторяемость которых в этот период, особенно в августе и сентябре, увеличивается. В то же время, включение в 10-летнее осреднение данных измерений 2010 г. резко изменило характер распределения АОТ и сделало летний августовский максимум основным. При исключении периодов с дымовым аэрозолем 2002 и 2010 гг. среднее многолетнее значение АОТ в августе уменьшается почти на 60%. В то же время существенный рост температуры

в последние годы в летние месяцы не дают нам право исключать из выборок случаи с дымовым аэрозолем, поскольку такие ситуации, к сожалению, становятся весьма типичными. Отметим, что тип распределения с основным летним максимумом характерен для более южных районов, где его формирование связано с активным накоплением аэрозоля при явно недостаточных процессах его вымывания осадками, а также за счет активного формирования биогенного аэрозоля в условиях высоких температур и сжигания растительности в ходе сельскохозяйственных работ.

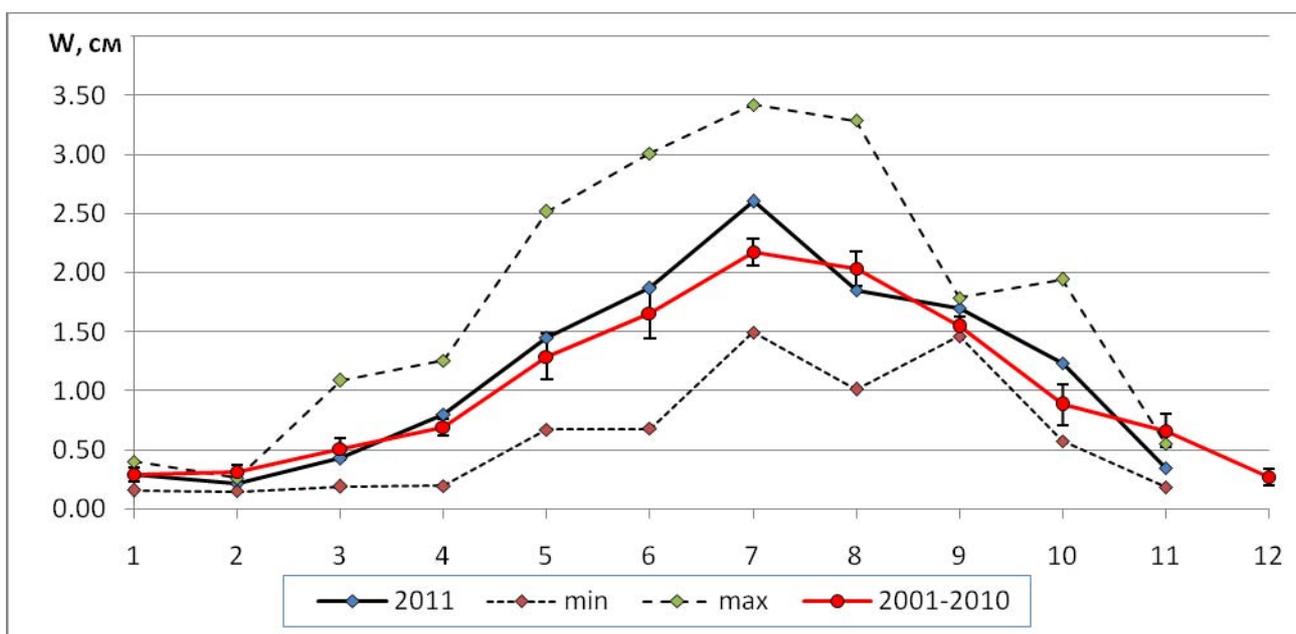
На рис. 16.2а также приведены вариации АОТ на длине волны 500нм по измерениям в 2011 г. Отметим, что статистически значимое занижение значений АОТ наблюдалось в 2011 году в весенний и осенний периоды: марте, апреле, сентябре и ноябре. В весенний период пониженные значения АОТ связаны, главным образом, с поздним сходом снега на большей территории ЕТР, что не способствовало началу сельскохозяйственных работ и попаданию в атмосферу биогенного и минерального аэрозоля. Низкие значения в сентябре связаны с преобладанием облачных условий и вымыванием аэрозоля. В ноябре низкие значения АОТ вероятно определяются адвективными причинами в связи с пониженным относительно среднего влагосодержанием атмосферы (см. рис. 16.2б), что говорит об адвекции воздуха из более северных и относительно чистых регионов. Некоторое завышение АОТ в октябре также определяется адвективными причинами (отмечается и заметный рост влагосодержания атмосферы), которое связано с поступлением воздуха из южных регионов.

Хорошо видно, что минимальные значения АОТ500 в 2011 г. практически не имеют сезонного хода, в то время как максимальные значения довольно низки в зимний период (менее 0.2), а в летний период могут достигать 0.7.

Влагосодержание атмосферы в 2011 году (см. рис. 16.2 б) имело типичное сезонное распределение с очень выраженным максимумом в июле за счет адвекции очень теплого воздуха, обладающего высокой влагоемкостью. Его пониженные значения наблюдались в феврале, августе и ноябре. Отметим, что в феврале за счет этого могли наблюдаться и пониженные значения нисходящей длинноволновой радиации (см. раздел 15). Повышенные значения влагосодержания, значимо отличающиеся от средних многолетних с вероятностью 95%, наблюдались в мае, июне, июле и октябре. Это связано с адвекцией более теплого насыщенного влагой воздуха.



А.



Б.

Рисунок 16.2. Сопоставление среднемесячных значений АОТ и влагосодержания атмосферы с данными наблюдений за 2001-2010 г. Москва, Уровень 2.0*.

Параметр Ангстрема определенный в диапазоне 440-870нм (см. рис. 16.3 и табл. 16.1), имел в 2011 году характерное для наших условий сезонное распределение с максимумом в летние месяцы и минимумом в холодный период. Однако в январе его величина была несколько выше, чем обычно, за счет адвекции арктического воздуха, характеризующегося более мелкодисперсным аэрозодем. В то же время в марте отмечались довольно низкие величины параметра Ангстрема, которые коррелируют с низкими значениями АОТ. Однако более детальный анализ распределения частиц по размерам показал не преобладание в этот месяц грубодисперсной фракции , а лишь некоторое смещение в сторону более крупных частиц в мелкодисперсной аэрозольной фракции (см. также анализ в разделе 16.3) Более высокие значения параметра Ангстрема, свидетельствующие о преобладании мелкодисперсной фракции, отмечались в осенние месяцы, в сентябре и октябре.

В среднем, в 2011 году аэрозольная оптическая толщина на длине волны 500 нм была равна $AOT_{500}=0.15$, что на 15% ниже среднего многолетнего за 10 лет наблюдений ($AOT_{500}=0.18$), главным образом, за счет отсутствия выраженного весеннего максимума и пониженных значений АОТ в августе-сентябре. Влагосодержание атмосферы и параметр Ангстрема в среднем за год близки к средним значениям за период 2001-2010г.

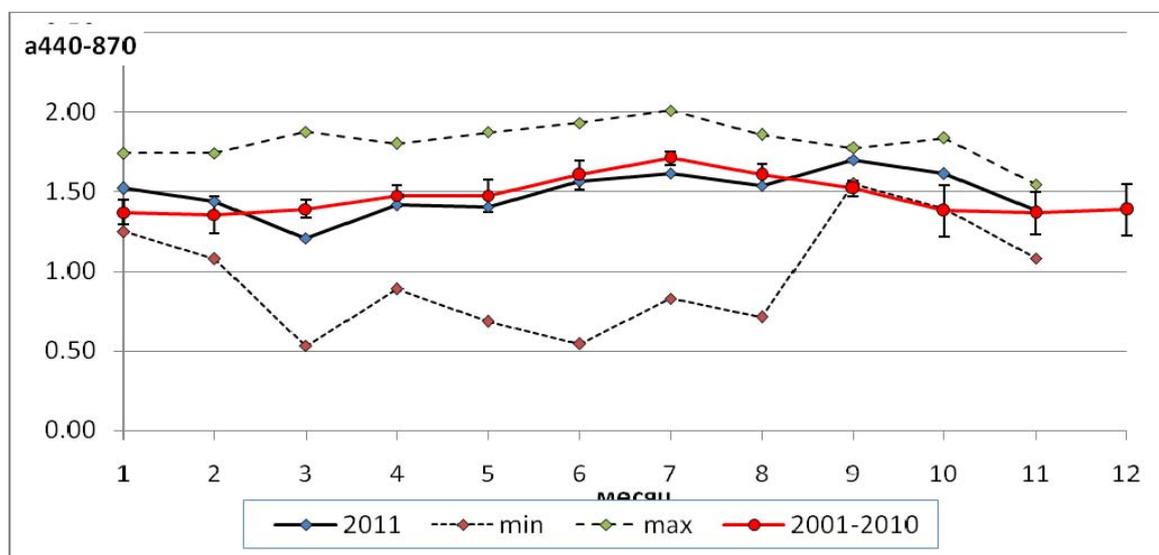


Рисунок 16.3. Вариации среднемесячного значения параметра Ангстрема в 2011 г и сопоставление с результатами 10-летнего периода наблюдений 2001-2010г.

Таблица 16.1

Средние, минимальные, максимальные месячные значения и коэффициенты вариации (Cvar,%)* аэрозольных оптических толщин на 500нм и 340нм, влагосодержания атмосферы (W,см), параметра Ангстрема, в 2011 году и их относительные разницы R,%, со средними многолетними значениями за период 2001-2010г. Москва, МО МГУ. Уровень 2.0

Месяц	Число дней	АОТ500					АОТ340					W,см					Параметр Ангстрема, α				
		Среднее	Cvar, %	Min	Max	R, %	Среднее	Cvar, %	Min	Max	R, %	Среднее	Cvar, %	Min	Max	R, %	Среднее	Cvar, %	Min	Max	R, %
1	3	0.096	58.56	0.025	0.150	-5%	0.151	58.76	0.038	0.240	-6%	0.29	38.12	0.16	0.41	11%	1.52	10.26	1.25	1.74	11%
2	5	0.130	39.08	0.079	0.217	-15%	0.201	38.15	0.116	0.338	-16%	0.22	20.59	0.15	0.26	6%	1.44	12.36	1.08	1.74	6%
3	14	0.120	107.28	0.036	0.633	-35%	0.185	108.74	0.055	0.961	-37%	0.43	47.77	0.19	1.09	-13%	1.21	28.07	0.53	1.88	-13%
4	14	0.187	61.39	0.037	0.537	-24%	0.310	64.48	0.048	0.966	-24%	0.80	36.99	0.20	1.26	-4%	1.42	14.82	0.89	1.80	-4%
5	17	0.181	54.41	0.063	0.486	-10%	0.299	53.67	0.103	0.747	-11%	1.45	33.00	0.67	2.52	-5%	1.41	17.19	0.68	1.87	-5%
6	24	0.177	47.47	0.053	0.527	11%	0.297	48.19	0.085	0.858	9%	1.87	29.30	0.68	3.01	-2%	1.57	14.16	0.54	1.93	-2%
7	27	0.269	40.41	0.083	0.721	11%	0.449	40.52	0.135	1.195	10%	2.60	13.47	1.50	3.42	-6%	1.61	13.44	0.83	2.01	-6%
8	18	0.183	39.28	0.062	0.447	-47%	0.308	39.01	0.101	0.710	-42%	1.85	28.29	1.01	3.29	-4%	1.54	12.51	0.71	1.86	-4%
9	2	0.085	5.75	0.064	0.130	-67%	0.146	7.98	0.112	0.217	-65%	1.70	6.01	1.46	1.79	12%	1.70	1.17	1.55	1.77	12%
10	6	0.186	80.37	0.063	0.669	42%	0.299	82.11	0.100	1.136	42%	1.23	46.47	0.57	1.94	17%	1.61	6.00	1.39	1.84	17%
11	4	0.062	25.50	0.041	0.105	-39%	0.097	29.07	0.064	0.177	-42%	0.35	15.21	0.19	0.56	1%	1.38	4.43	1.08	1.55	1%
12	0																				
Год	134	0.15	50.87	0.06	0.42	-16%	0.25	51.88	0.09	0.69	-16%	1.16	28.66	0.62	1.78	1%	1.49	12.22	0.96	1.82	1%

Cvar- определяется как средняя из суточных вариаций АОТ.

16.3 Микрофизические, оптические и радиационные свойства аэрозоля в 2011 году.

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

В Таблице 16.2 приведены ряд важных оптических, радиационных и микрофизических характеристик аэрозоля. Анализ микрофизических свойств аэрозоля (см. также рис. 16.4) показал, что весной и осенью в целом преобладала грубодисперсная, а летом – мелкодисперсная аэрозольная фракция, доля объемного содержания которой выше 50%. В то же время в январе 2011 г. зафиксировано также повышение доли мелкодисперсной фракции, которые соответствовали повышенным значениям параметра Ангстрема. Как было отмечено ранее, в марте наблюдалась более высокая доля мелкодисперсной фракции, но модальный радиус был сдвинут в сторону более высоких значений. Это могло повлиять на более низкие значения параметра Ангстрема. В целом, как показано в (Chubarova et al., 2011), для Москвы характерно преобладание мелкодисперсного аэрозоля, что было характерно и для 2011 г. Однако в весенние месяцы, в том числе в апреле и мае 2011 г., отчетливо видно преобладание грубодисперсной фракции с модальным радиусом порядка 5 мкм (см. рис. 16.4).

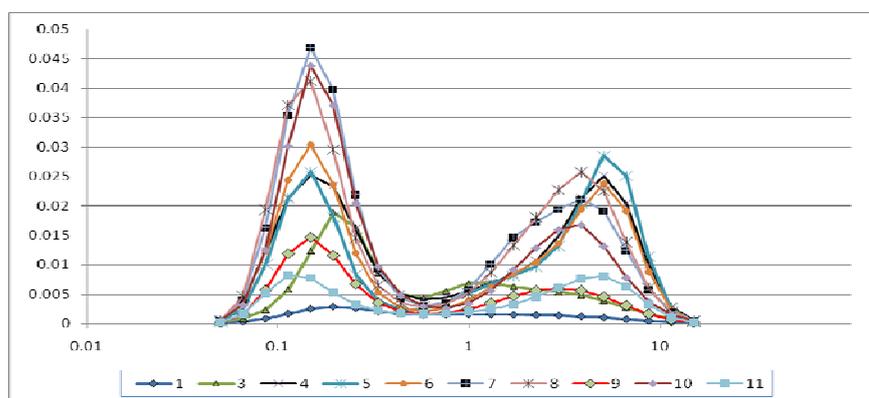


Рис. 16.4 – Объемное распределение частиц по размерам $dV/d\ln r$ в разные месяцы 2011 г. ($\text{мкм}^3/\text{мкм}^2$).

Таблица. 16.2 - Среднемесячные микрофизические, оптические и радиационные аэрозольные характеристики атмосферы в 2011 г.

	Альbedo однократного рассеяния на длине волны 675 нм	Показатель преломления REFR для 675нм	Мнимая часть показателя преломления для 675нм	Фактор асимметрии для 675нм	Объемная концентрация, мкм3/мкм2	Эффективный радиус мелкодисперсной фракции, мкм	Эффективный радиус грубодисперсной фракции, мкм	доля объемного содержания мелкодисперсной фракции	микрофизических параметров и фактора асимметрии
1	N/A	N/A	N/A	0.711	0.008	0.1905	1.675	56%	2
2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
3	0.869	1.401	0.018	0.707	0.034	0.188	1.752	57%	34
4	0.856	1.443	0.017	0.645	0.068	0.155	2.495	47%	24
5	0.963	1.420	0.003	0.628	0.063	0.134	2.620	40%	51
6	N/A	N/A	N/A	0.624	0.064	0.138	2.759	49%	58
7	0.963	1.376	0.003	0.621	0.085	0.147	2.506	57%	44
8	0.920	1.354	0.006	0.614	0.082	0.139	2.555	53%	40
9	N/A	N/A	N/A	0.617	0.028	0.146	2.096	58%	2
10	0.940	1.400	0.005	0.624	0.070	0.154	2.604	64%	20
11	N/A	N/A	N/A	0.617	0.023	0.140	2.662	43%	4
12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
год	0.919	1.399	0.009	0.641	0.052	0.153	2.372	53%	28

Оптические характеристики аэрозоля в целом за год соответствуют средним значениям за 10 лет измерениям (Chubarova et al., 2011). Более детальный анализ мнимой части комплексного показателя преломления показал, что эта величина несколько выше в весенний период.

В среднем за год альbedo однократного рассеяния на длине волны 675 нм было близко к среднему значению $SSA_{675}=0.9$ (Chubarova et al., 2011) с учетом погрешности его определения, составляющей 0.03. В то же время в весенний период оно было довольно низким порядка 0.86 (см. табл. 16.2), что определяется более высокими значениями мнимой части показателя преломления. В летний период альbedo однократного рассеяния несколько возрастает, достигая 0.92-0.96. Отметим однако, что число случаев возможности определения этой характеристики очень мало из-за дополнительных ограничений на величину АОТ (n=1- 8). Поэтому данные результаты следует считать предварительными.

Таким образом, в 2011 году отмечалось несколько меньшая величина АОТ по сравнению со средними значениями за 10-летний период наблюдений, что связано с менее выраженным весенним максимумом и пониженными значениями в августе-сентябре. Совместный анализ влагосодержания и АОТ выявил адвективные причины вариаций АОТ в октябре и ноябре. Анализ распределения частиц по размерам показал преобладание грубодисперсной фракции в апреле и мае, а мелкодисперсной фракции – в теплый период года. Альbedo однократного рассеяние в целом за год было близко к средней величине.

Литература:

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

17. Химический состав атмосферных осадков в 2011 году.

И.Д.Еремина

В 2011 г. были продолжены непрерывные наблюдения за химическим составом осадков и их кислотностью. Собрано и проанализировано 142 пробы твердых и жидких осадков, подвергнутых полному химическому анализу, и 27 проб, в которых было определено только значение кислотности (из-за малого количества образца). Собрано 75 проб дождя, 49 – снега и 18 проб – смешанных осадков. Общее количество проанализированных осадков составило 588,5мм (98,1% всех выпавших в этом году).

17.1 Кислотность осадков.

Среднее годовое значение рН составило 4,69 рН, почти такое же, как в прошлом, 2010 г. (среднее за весь период наблюдений 4,88) (табл.17.1). Кислотных осадков (рН <5) было около 30 %, как и в прошлом году. В теплый период их выпало более половины от всех проб дождей, а в холодные месяцы кислотных осадков было совсем мало (4 пробы), причем в ноябре-декабре – ни одной, несмотря на то, что эти месяцы были довольно теплые. И в ноябре, и в декабре выпадали и дожди, и смешанные осадки, кислотность которых обычно ниже, чем снежных проб, но не в этом году. Этим 2011 г. отличается от предыдущих лет, когда и снежные пробы часто имели кислотную реакцию. Среднее значение рН осадков за теплый период равно 4,52 (кислое), а для холодных месяцев 5,74 (близко к равновесному значению). Теперь, как в начале наших наблюдений в 80-е гг., разница между средними сезонными значениями становится около 1 рН и более, в то время как с середины 90-х гг. они имели тенденцию к сближению (рис.17.1).

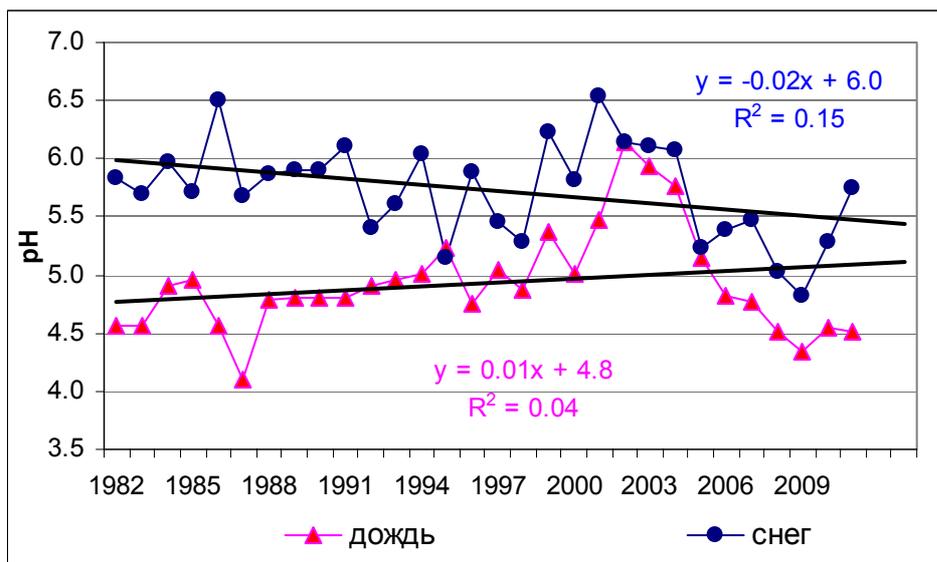


Рисунок 17.1. Средние сезонные значения pH осадков за все годы наблюдений.

Годовой ход pH осадков в 2011 г. примерно соответствует среднему многолетнему (рис.17.2). Но надо отметить, что в отличие от многолетнего, в 2011 г. не только в летние месяцы пробы осадков имеют кислотное значение, а практически с марта по октябрь включительно среднемесячные значения ниже линии 5,0 pH.

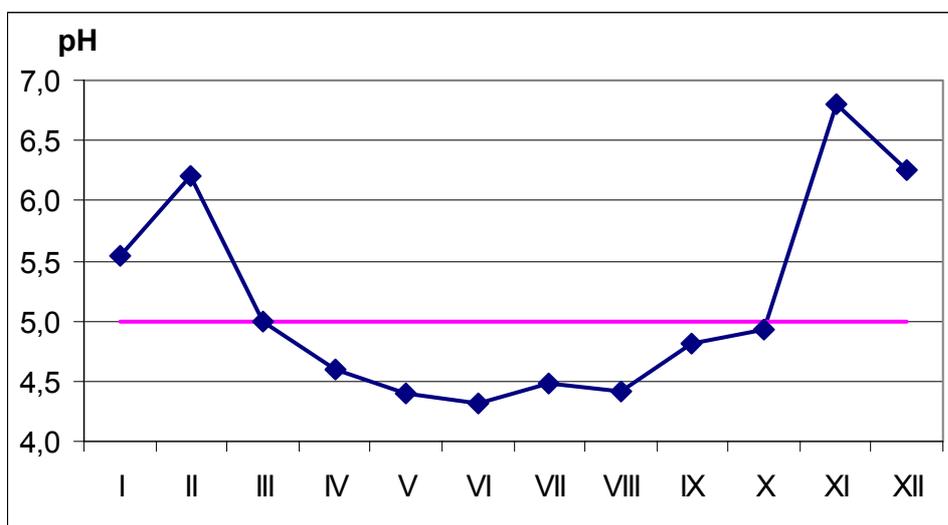


Рисунок 17.2. Годовой ход pH осадков в 2011 году.

Распределение проб по градациям pH для проб теплого и холодного периодов в этом году очень различаются (рис.17.3). В отличие от прошлого года максимальное количество

проб дождей в этом году имело кислотное значение рН от 4 до 5 (чаще бывает от 5 до 6), а максимум снежных проб – от 6 до 7 рН (как обычно), и более 30 % проб снега имели слабо-щелочную реакцию (рН от 7 до 8) (рис.17.3 б).

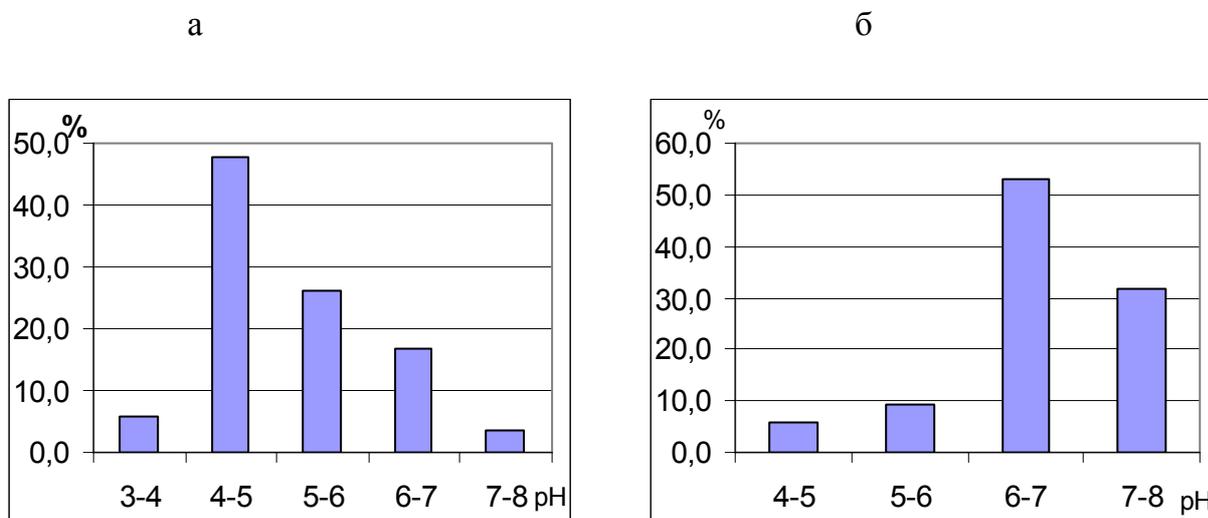


Рисунок 17.3. Распределение проб осадков по градациям рН

в теплый (а) и холодный (б) периоды 2011г.

По сравнению со средними многолетними годовыми и сезонными значениями 2011 г. отличается более кислотными значениями для теплого периода и года в целом, и большей щелочностью для снежных проб (табл.17.1).

17.2 Ионный состав осадков.

В табл.17.1 приведены осредненные данные за 2011 и прошлый, 2010 гг., а также для сравнения средние многолетние значения. Во-первых, сразу отметим, что как и в 2010 г., минерализация в теплый период выше, чем в холодный (по многолетним данным наоборот). Возможно, это можно объяснить жаркими летними месяцами и меньшим количеством осадков в теплый период в эти годы по сравнению с нормой. Во-вторых, отмечается постепенное возрастание концентрации сульфатов в пробах дождей 2011 г., превысившее даже многолетние значения. Стало возрастать и содержание хлоридов, аммония и кальция, а концентрации гидрокарбонатов, магния и отчасти натрия – уменьшаются. Содержание натрия в пробах холодного периода в 2011 г. выше, чем в прошлом, и близко к многолетнему сезонному значению. Очевидно, что в составе антигололедных реагентов, используемых в зимнее время, снова преобладает NaCl.

Таблица 17.1 Средневзвешенные значения концентраций ионов в осадках в 2010-2011 гг. и осредненные данные за все годы наблюдений

Сезон	Концентрация ионов, мг/л										Сумма ионов
	pH	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	
2010г.											
Год	4,67	1,3	3,3	4,9	1,90	2,7	0,08	0,24	0,17	1,45	15,9
Тепл. (IV-X)	4,54	1,0	3,2	6,5	2,02	2,9	0,09	0,15	0,22	1,93	18,0
Хол. (I-III, XI-XII)	4,94	1,6	3,3	2,7	1,74	2,4	0,08	0,35	0,10	0,82	13,1
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 (1982-2011 гг)											
Год	4,88	3,1	5,0	3,2	1,82	3,3	0,19	0,36	0,17	0,88	18,0
Тепл. (IV-X)	4,76	2,2	5,0	3,5	1,74	3,0	0,19	0,23	0,18	1,01	17,1
Хол. (I-III, XI-XII)	5,52	5,3	4,8	2,6	2,00	3,8	0,18	0,66	0,14	0,58	20,0

В годовом ходе средних месячных значений минерализации и других главных ионов (SO₄²⁻, Cl⁻ и Ca²⁺), как и обычно, выделяется весенний максимум. Очевидно что, прежде всего, концентрации ионов зависят от количества осадков (рис.17.4).

Распределение значений минерализации осадков 2011 г. точно соответствует многолетнему, максимальное число проб имело значение суммы ионов в интервале 10 – 20 мг/л (рис.17.5).

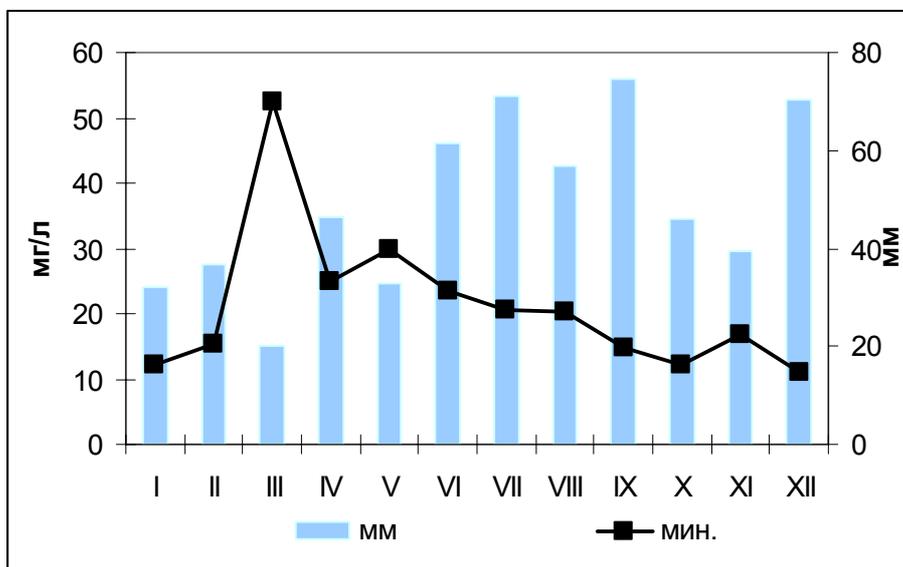


Рисунок 17.4. Годовой ход значений минерализации и количество осадков в 2011 г.

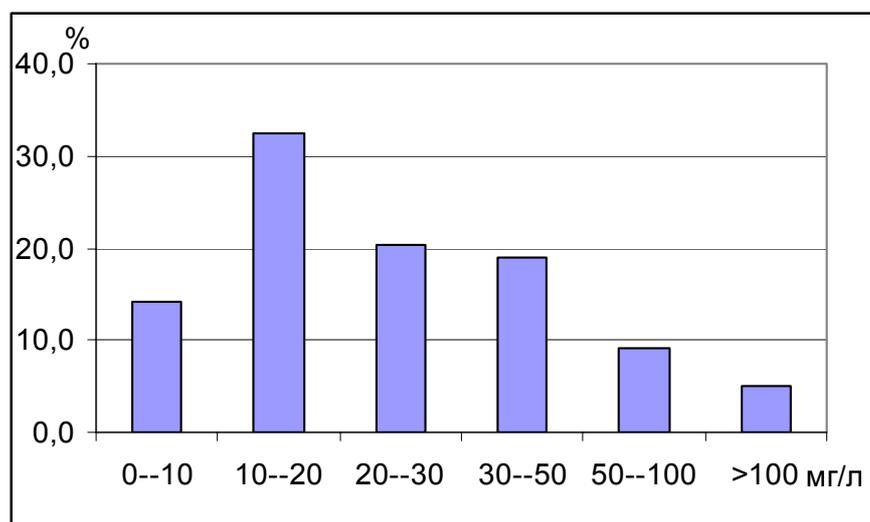


Рисунок 17.5. Распределение значений минерализации проб 2011 г.

Как и все последние годы, когда после 6-летнего перерыва стали выпадать кислотные осадки в значительных количествах (с 2005 г.), в пробах преобладают анионы хлоридов, и последующий ряд относительного содержания анионов: $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{HCO}_3^-$. Последовательность средних годовых значений содержания катионов выглядит обычно: $\text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{H}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$. По преобладающим ионам осадки 2011 г. относятся к хлоридно-кальциевому классу.

Однако ожидаемой корреляции между ионами Н и Cl не наблюдается, зато значимый коэффициент корреляции получен для пары Н – SO₄ (0,310, P=95%, длина ряда 142), что может свидетельствовать о том, что в осадках присутствует свободная серная кислота H₂SO₄. Высокие коэффициенты корреляции (0,5 – 0,9) получены почти для всех пар катионов и анионов. Это говорит о высокой вероятности содержания в осадках соединений CaSO₄, CaCl₂, Ca(NO₃)₂, а также хлоридов и сульфатов магния, калия и аммония. А натрий может присутствовать, кроме того, в виде NaHCO₃. Корреляция катионов между собой говорит о единстве источников соединений кальция, магния, калия и аммония.

Для агрохимиков и почвоведов важно учитывать принос минеральных солей с атмосферными осадками. Этот показатель можно рассчитать по формуле (1)

$$D, \text{ кг/га в год} = C_{cp} \times \Sigma m \times 10^{-2} \quad (1)$$

где C_{cp} – средняя концентрация иона, мг/л; Σm – сумма осадков за год, мм. Коэффициент 10^{-2} дает результат расчета выпадения компонентов на гектар, можно рассчитывать и на км². В 2011 г. на поверхность земли вместе с атмосферными осадками выпало 115,1 кг/га минеральных солей (многолетнее годовое значение составляет 124,7 кг/га*год). В основном выпадение солей происходит в виде сульфатов и хлоридов (28,2 и 25,6% соответственно). В теплый период количество осадков больше, да и средние концентрации основных ионов (сульфатов, хлоридов, кальция) выше, поэтому с дождями приносится в 2 раза больше солей (табл.17.2).

Таблица 17.2. Выпадение ионов с атмосферными осадками

Сезон	ИОНЫ										Сумма
	H	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	
Выпадение ионов (в кг/га)											
Год	0,12	8,1	32,5	29,5	11,5	22,5	0,7	1,7	1,1	7,5	115,1
Тепл. (IV-X)	0,12	2,1	26,0	21,5	7,1	15,7	0,5	0,4	0,8	5,7	79,8
Хол. (I-III, XI-XII)	0,003	6,0	6,5	7,9	4,4	6,8	0,2	1,3	0,3	1,8	35,2
Выпадение ионов (в %)											
Год	0,1	7,0	28,2	25,6	10,0	19,5	0,6	1,5	0,9	6,5	
Тепл. (IV-X)	0,2	2,6	32,6	26,9	8,9	19,6	0,6	0,5	0,9	7,1	
Хол. (I-III, XI-XII)	0,01	17,0	18,3	22,5	12,5	19,3	0,6	3,6	0,9	5,1	

Выводы

- Кислотных осадков в 2011 г. выпало около 30%, причем почти все – в теплый период.
- В этом году возросло среднее значение концентрации сульфатов в осадках теплого периода, превысив даже среднее многолетнее значение. И в целом среднее значение минерализации как годовое, так и по сезонам выше, чем в 2010 г.
- В остальном 2011 г. мало чем отличался от средних показателей.

18. Малые газовые и аэрозольные примеси в приземном воздухе

И.Б. Беликов, Р.А. Шумский

18.1 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).

Основой станции является автоматизированный интегрированный комплекс аппаратуры для мониторинга параметров состава атмосферы (Беликов, 2004), размещенный в специализированном помещении (экологическом павильоне) МО МГУ.

Указанный комплекс укомплектован измерительными приборами производства ведущих отечественных и зарубежных производителей и обеспечивает наблюдения основных климатически и химически активных газовых и аэрозольных примесей атмосферы. Перечень наблюдаемых на станции параметров и применяемых измерительных приборов приведен в таблице 18.1. Все перечисленные параметры (кроме указанных в строках 14 - 15 таблицы) измеряются непрерывно и круглосуточно,.

Представление о станции дает рисунок 18.1. 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.

Особенностями станции являются полная автоматизация измерений, постоянный контроль большинства технических параметров функционирования приборов, обеспечение дистанционного слежения за работой станции через сеть Internet. Также существенной особенностью станции является возможность измерения концентраций некоторых примесей (в частности, NO, NO₂ и CO) на т.н. фоновых уровнях.

Контроль функционирования приборов газового анализа производится в соответствии с их инструкциями по эксплуатации по поверочным газовым смесям, поставляемым ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. В состав оборудования станции входят два генератора "нулевого" (не содержащего примесей) воздуха.



Павильон станции



Полигон для наблюдения параметров турбулентности

PTR-MS и аппаратура зондирования ионосферы



Общий вид измерительного комплекса



Рисунок 18.1 - Общий вид станции наблюдений состава атмосферы.

Таблица 18.1 - Параметры состава атмосферы, измеряемые на станции, и используемые измерительные приборы

№	Измеряемый параметр	Используемые приборы	Диапазон
1	Приземная концентрация O ₃	1008-RS, № 6394 (Dasibi Inc., США)	1 - 1000 ppb
		APOA-360, № 8512250107 (Horiba Inc., Япония)	0,5 - 1000 ppb
2	Приземная концентрация NO и NO ₂	M200AU, № 152 (Teledyne API Inc., США)	0,05 - 2000 ppb
3	Приземная концентрация CO	TE48S № 48S-54487-300 (Thermo Scientific Inc., США)	0,05 - 1000 ppm
4	Приземная концентрация CO ₂	LI6262, № IRG3-990 (LiCor Inc., США)	1 - 3000 ppm
5	Приземная концентрация CH ₄	ARNA-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., США)	1 - 2000 ppb
9	Содержание NO ₂ в вертикальном столбе атмосферы	Спектрометр MS-260i, № 133 (Oriel Inc., США)	
10	Концентрация атмосферного аэрозоля PM _{2,5}	TEOM 1400ab, № 140AB258010508 (Thermo Scientific Inc., США)	2,5 мкг/м ³ - 5 г/м ³
11	Приземные концентрации ЛОС	PTR-MS № (C16)07/C05 (Ionicon Inc., Австрия)	0,5 - 500 ppb
12	Вертикальный профиль температуры	МТП-5 № 28 (НПО "Арттех", Россия)	0 - 600 м -40 - 40 град.С
13	Параметры турбулентности в приземном слое	USA-1 № 0101011329 (Metek GmbH, Германия)	
14	Распределение аэрозольных частиц по размерам	1.108 № 8F090014 (Grimm, Германия)	0,3 - 10 мкм 1 - 2 10 ⁶ 1/л
15	Концентрации радона и продуктов его распада	LLRDM № 120599 (TracerLab GmbH, Германия)	

Общий анализ выявленных закономерностей вариаций концентраций газовых примесей в приземном слое атмосферы г. Москвы был выполнен в (Еланский, 2007; Шумский, 2009). В данной работе будут проанализированы, в основном, особенности поведения концентраций в 2011 году.

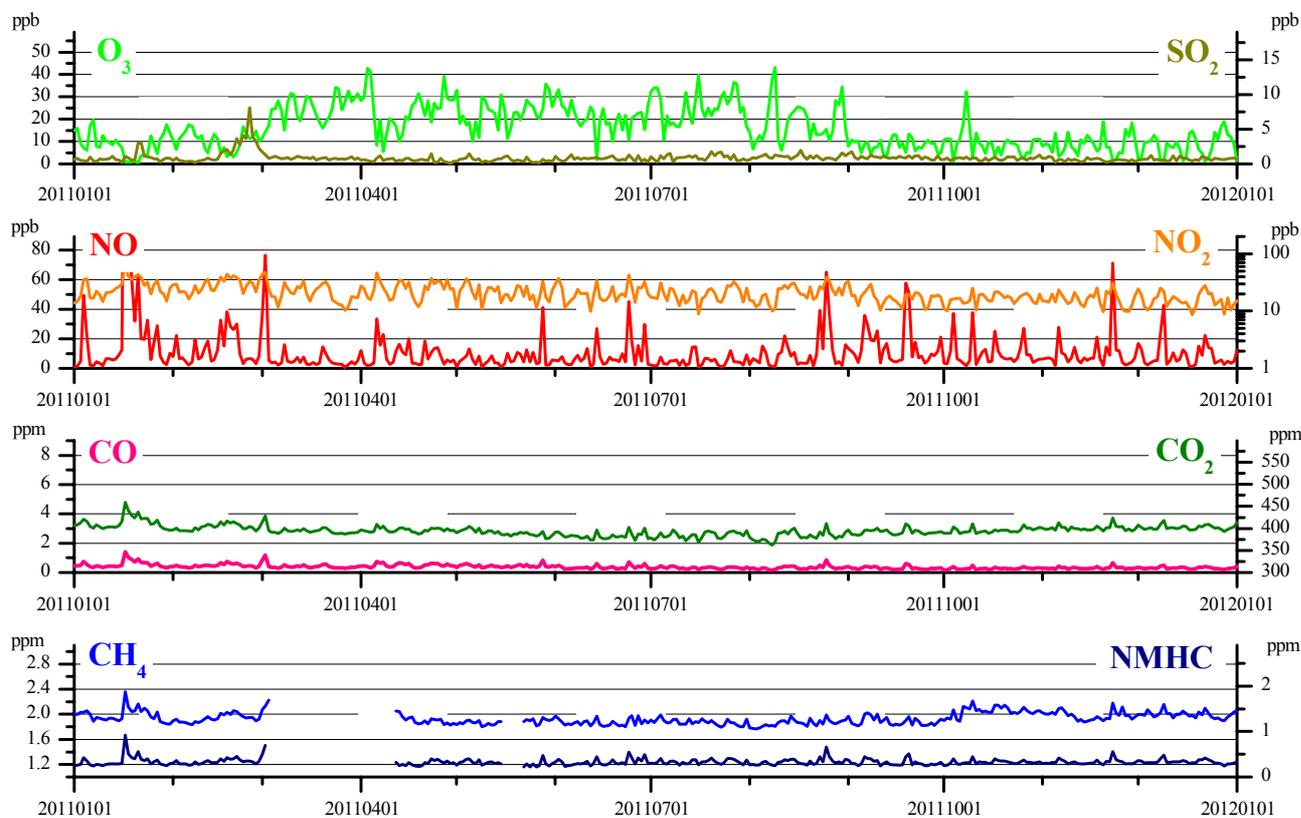


Рисунок 18.2 - Ряды среднесуточных концентраций газовых примесей за 2011 г.

Ряды данных концентраций основных наблюдаемых на станции газовых примесей в приземном слое атмосферы, полученные за 2011 год, показаны на рисунке 18.2. Как видно из рисунка, ряды данных практически по всем основным наблюдаемым концентрациям непрерывны, кроме концентраций CH₄ и NMHC, что было связано с выходом из строя соответствующего прибора при отсутствии на станции резервного или дублирующего прибора.

18.2 Среднемесячные характеристики

Максимальные, минимальные и средние месячные значения измеряемых на станции концентраций малых газовых примесей иллюстрируют диаграммы на рисунке 18.3. На диаграммы также нанесены значения максимальных разовых предельно допустимых концентраций (ПДК) (ГН 2.1.6.1338-03; ГН 2.1.6.1983-05). Несмотря на расположение

станции в районе Ботанического сада МГУ в удалении от источников загрязнений, как видно из рисунка, имеют место случаи достижения измеряемыми концентрациями O_3 , NO , NO_2 и CO предельно допустимых концентраций.

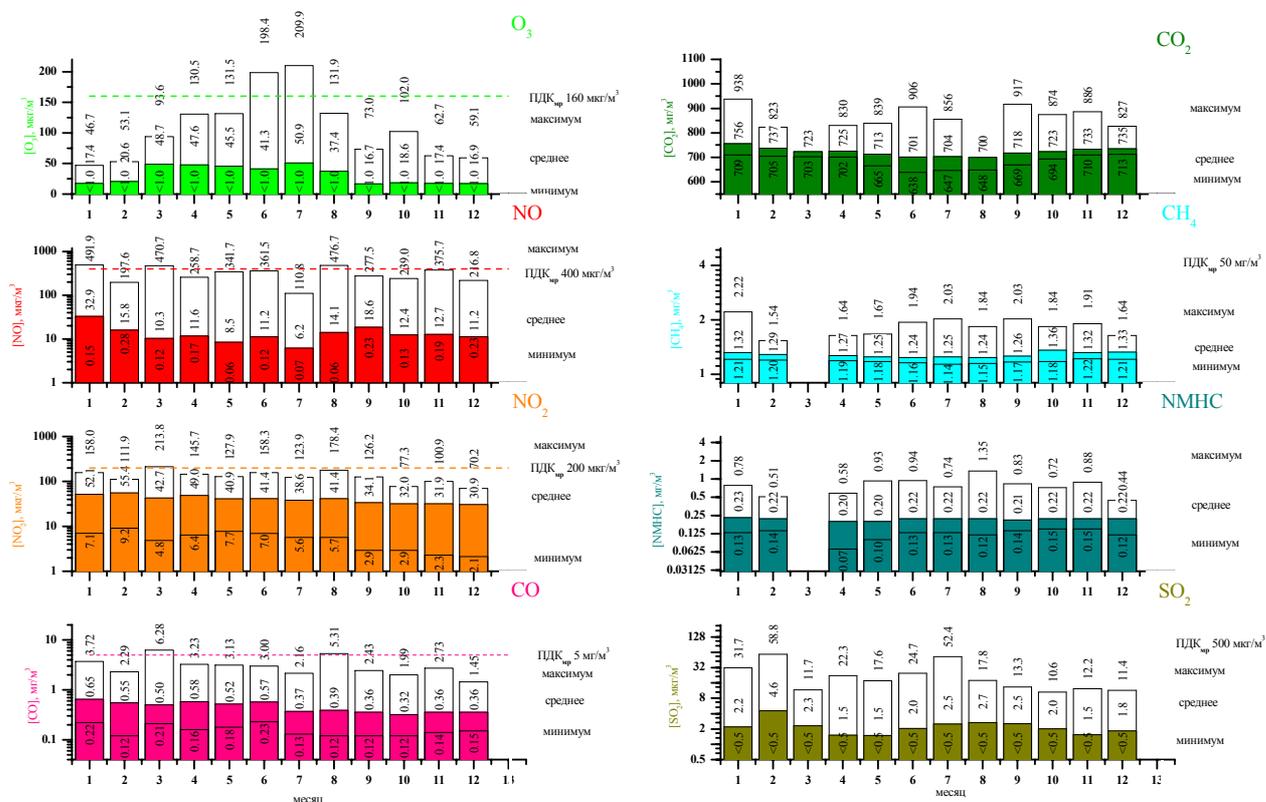


Рисунок 18.3 - Максимальные, минимальные и средние месячные значения концентраций газовых примесей в 2011 г.

Характерные для 2011 года особенности режима концентраций приземных газовых примесей, по сравнению со средними значениями за весь период работы станции иллюстрируют рисунки 18.4 и 18.5, на которых показаны среднемесячные значения концентраций за 2002 - 2011 годы и отдельно за 2011 год.

Из приведенных графиков возможно сделать вывод, что, как оказывается, средние концентрации за 2011 год в большинстве случаев оказываются ниже, чем средние за все 10 лет работы станции. Это может быть связано с тем, что в течение этого времени работы станции имели место случаи аномально высоких загрязнений, в частности, в 2002 и 2010 годы (Эколого-климатические характеристики атмосферы..., 2011). При не столь большой длине общего статистического ряда (10 лет) вклад этих аномалий в общее среднее значение оказывается существенным.

Прошедший 2011 год характеризовался практически отсутствием ярко выраженных отклонений от осредненного характера сезонных вариаций концентраций

газовых примесей в мегаполисе.

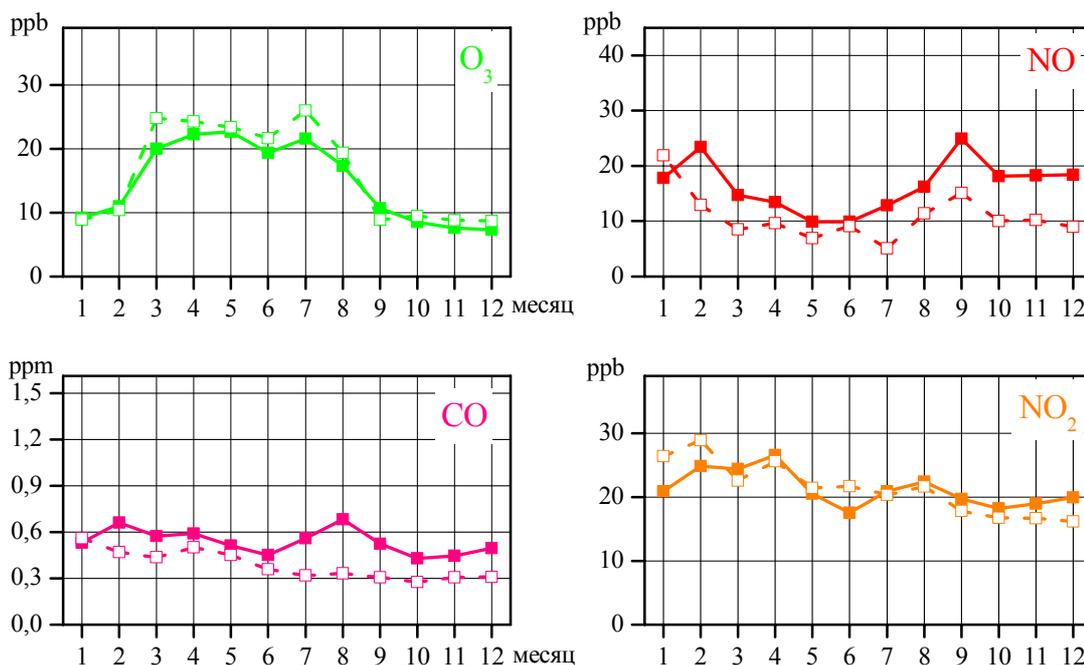


Рисунок 18.4 - Среднемесячные приземные концентрации O₃, CO, NO и NO₂, осредненные за 2002 - 2011 годы (сплошные линии) и за 2011 год (пунктир).

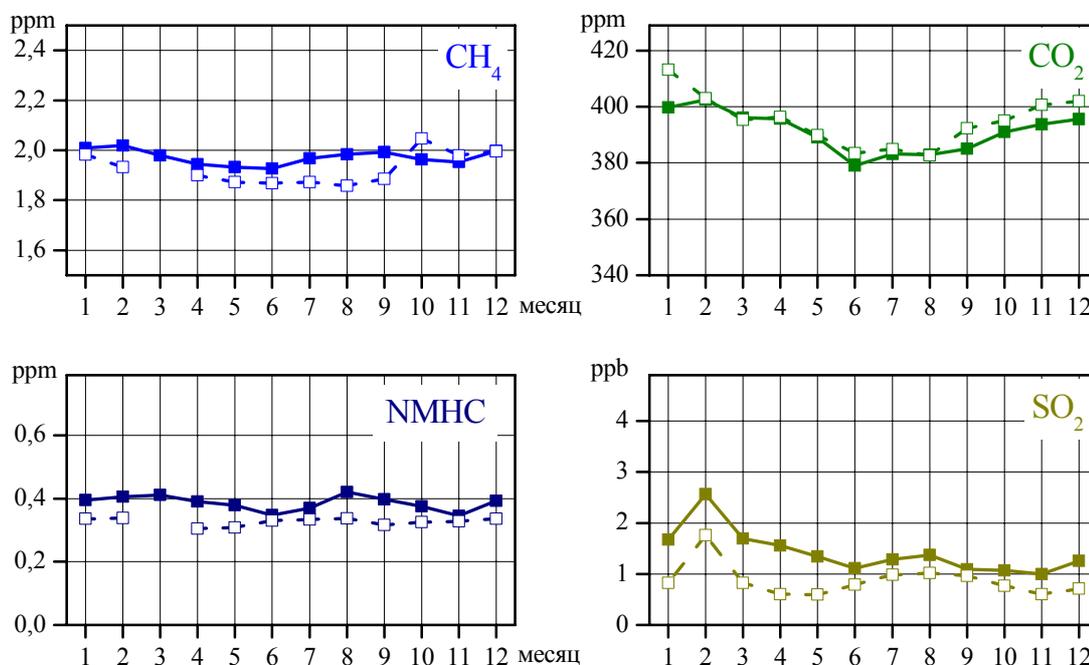


Рисунок 18.5 - Среднемесячные приземные концентрации CO₂, CH₄, NMHC и SO₂, осредненные за 2002 - 2011 годы (сплошные линии) и за 2011 год (пунктир).

В частности, по концентрации озона характер сезонных вариаций практически полностью совпадает со средним за 2002 - 2011 годы. Превышение значений концентраций над средними в 2011 году связано с вкладом в общее среднее аномальных загрязнений в прошлые годы, когда концентрация озона было пониженной.

Загрязнение атмосферы оксидом азота NO в 2011 году было меньше среднего за 2002 - 2011 годы практически во все месяцы года. Характер сезонных вариаций концентрации NO за 2011 год практически полностью повторяет средний по всем годам наблюдения, за исключением характерного максимума концентрации в феврале, который в 2011 году почти не был выражен.

Характер сезонных вариаций диоксида азота NO₂ за 2011 год также весьма близок к среднему за все годы наблюдений. Особенности годового хода концентрации NO₂ с минимумом в летний период и максимумами в весенний и осенний периоды в 2011 году выражены менее отчетливо, нежели в среднем за 2002 - 2011 годы.

Концентрации оксида углерода CO за 2011 год также демонстрируют меньшие средних значения, аналогично как и по рассмотренной выше концентрации NO. Практически не был выражен в 2011 году характерный максимум концентрации CO в августе. Как отмечалось выше, это связано с большим вкладом аномальных загрязнений в предшествующие годы наблюдений на станции.

Анализ концентраций метана CH₄, также обнаруживает снижение среднемесячных концентраций, по сравнению со средними за 2002 - 2011 годы, с января по сентябрь. В последние месяцы 2011 год концентрация CH₄ увеличивалась до значений больше средних за все годы наблюдений.

Особенности вариаций концентраций неметановых углеводородов (NMHC) за 2011 год повторяют уже рассмотренные выше для остальных наблюдаемых примесей. Практически для всех месяцев 2011 года среднемесячная концентрация NMHC оказывается ниже средней за все годы работы станции.

Концентрации диоксида углерода, CO₂, за 2011 год оказалась, наоборот, выше средней за 2002 - 2011 годы. В особенности этот эффект проявляется для последних месяцев года. Аналогичный рост концентраций наблюдался в 2011 году и для метана. Это может свидетельствовать о тенденции возрастания концентраций парниковых газов, которыми являются CO₂ и CH₄.

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. Подобный же характер сезонных вариаций концентрации SO_2 показывают и данные за 2011 год. Также эти вариации подтверждают многократно отмеченный выше эффект снижения средних концентраций загрязнений в 2011 году по сравнению со средними за все годы наблюдений на станции.

18.3 Среднегодовые характеристики

Представляют интерес также среднегодовые значения по всем измеряемым концентрациям, по которым в дальнейшем будет возможно определить их долговременные тренды. Соответствующие диаграммы среднегодовых значений показаны на рисунках 18.6 и 18.7.

Из рассмотрения представленных диаграмм можно сделать вывод о том, что с 2002 по 2011 год практически ни по одному из измеряемых параметров не наблюдается устойчивого продолжительного тренда. Исключение составляет оксид углерода, концентрация которого в г. Москве заметно снижалась от года к году. Из этой общей тенденции выделяются 2002 и 2010 годы, в которые имели место аномальные экологические ситуации.

Среднегодовые концентрации NO и NO_2 варьируют от года к году, не обнаруживая устойчивой тенденции к росту или снижению. Аналогичная ситуация наблюдается для концентрации неметановых углеводородов.

Рост среднегодовой концентрации диоксида углерода в 2007 году сменился ее снижением, также прекратившимся в 2010 году. Средняя концентрация CO_2 в 2011 году оказалась несколько меньше, чем в 2010. Загрязнение атмосферы Москвы диоксидом серы в последние годы, включая и 2011, существенно снизилось.

Численные значения среднегодовых концентраций примесей и их среднеквадратичные отклонения представлены в таблице 18.2. Среднеквадратичные отклонения при осреднении за год оказываются весьма существенными, и по величине сравнимыми с самими средними значениями. Это объясняется характерными для мегаполиса значительными суточными и сезонными вариациями концентраций практически всех примесей.

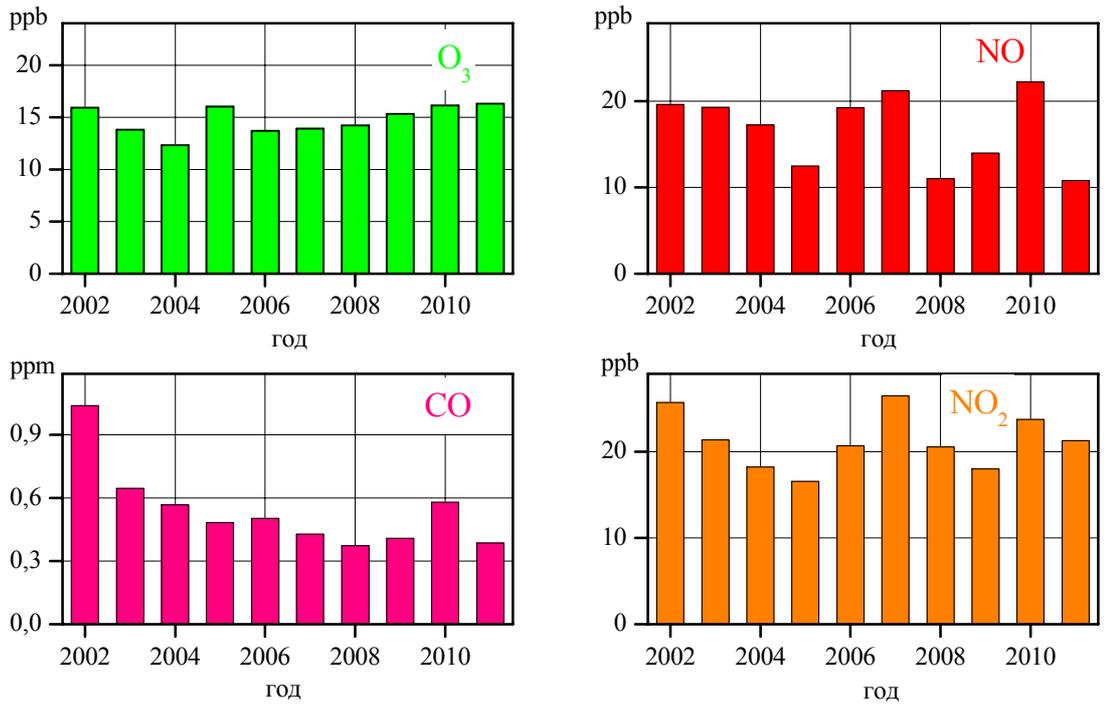


Рисунок 18.6 - Среднегодовые значения концентраций O₃, CO, NO и NO₂ за 2002 - 2011 ГОДЫ.

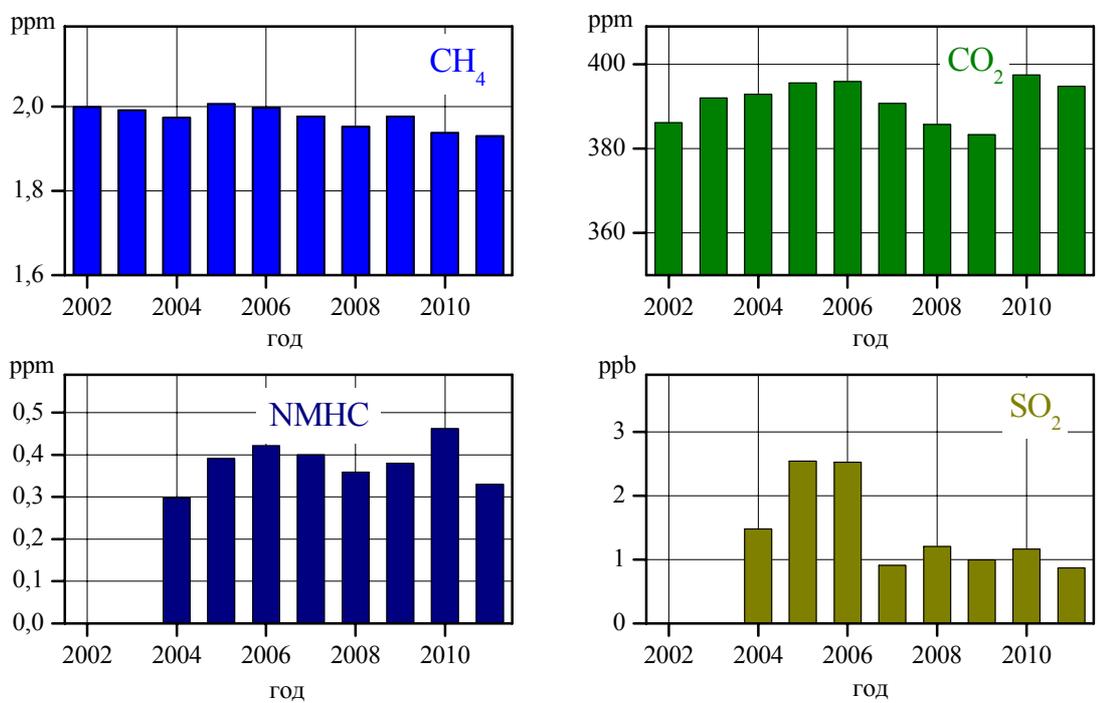


Рисунок 18.7 - Среднегодовые значения концентраций CH₄, CO₂, NMHC и SO₂ за 2002 - 2011 годы.

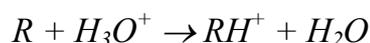
Таблица 18.2 - Среднегодовые значения концентраций примесей М и их среднеквадратичные отклонения σ (значения в млрд⁻¹ для O₃, NO, NO₂, SO₂ и в млн⁻¹ для остальных примесей)

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

18.4 Летучие органические соединения

На станции с 2008 года эксплуатируется уникальный прибор - протонный масс-спектрометр Compact PTR-MS производства компании Ionicon Corp. (Австрия). В 2008 - 2010 годах этот прибор использовался для проводимых в то время ИФА им. А. М. Обухова РАН экспедиций на железнодорожном вагоне-лаборатории (Тимковский, 2010), а также эпизодически для наблюдений на станции в МО МГУ. За 2011 год с помощью этого прибора на станции в МО МГУ получены практически непрерывные ряды значений концентраций некоторых летучих органических соединений (ЛОС) в атмосфере.

В основу действия прибора положен метод PTR-MS (Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry). Этот метод основан на химической реакции:



где R - измеряемое ЛОС. Исследуемый воздух и поток ионов H_3O^+ поступают в реакторную камеру прибора, в которой происходит образование ионов RH^+ . Поток этих ионов подается на вход квадрупольного масс-спектрометра, который производит разделение их по атомным массам и измерение их концентраций.

Определение вещества с помощью этого метода возможно, если определяемое вещество имеет т.н. сродство к протону выше, чем вода. Основные компоненты воздуха N₂, O₂, Ar, CO₂, как известно, имеют сродство к протону ниже, чем вода, и не влияют на результаты анализа. Поэтому метод PTR-MS является весьма эффективным при анализе состава атмосферы.

Недостатком метода является ограниченная селективность прибора для некоторых ЛОС, имеющих одинаковые атомные массы, и, следовательно, не разделяемых при измерениях. Практически, для наблюдений в атмосфере приборы PTR-MS применяются для определения концентраций ограниченного набора ЛОС. Примеры применения подобных приборов приведены в (de Gouw, 2007; Rinne, 2005).

Имеющийся на станции PTR-MS был адаптирован для непрерывного круглосуточного наблюдения около 20 различных компонентов в течение всего 2011 года. Порог обнаружения и погрешность измерения объемной концентрации примеси составляли, примерно, $0,5 \text{ млрд}^{-1}$, время одного цикла измерения всех наблюдаемых примесей составляло около 14 секунд. Анализ данных наблюдений по некоторым из измеренных примесей приведен ниже.

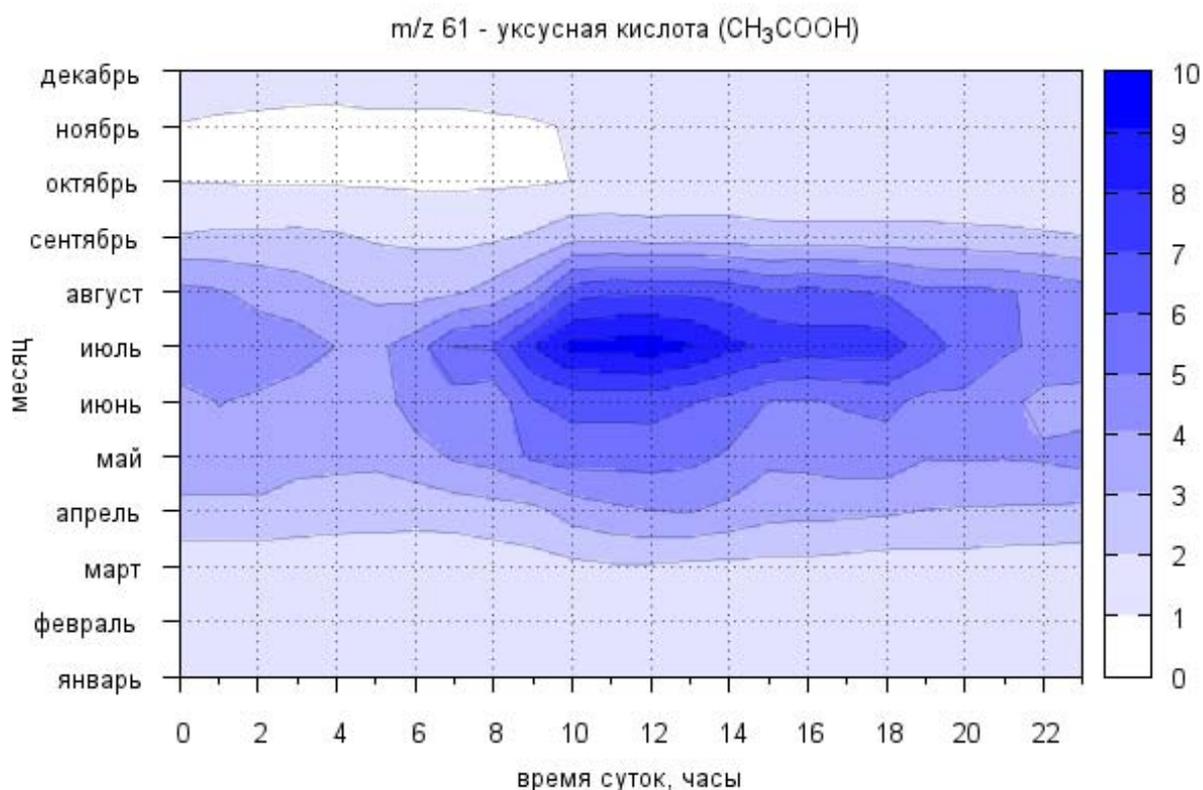


Рисунок 18.8 - Сезонно-суточный ход концентрации [млрд^{-1}] уксусной кислоты.

На рисунке 18.8 приведена полученная по данным 2011 года диаграмма сезонно-суточного хода одного из наиболее характерных измеряемых прибором PTR-MS органических малых 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.

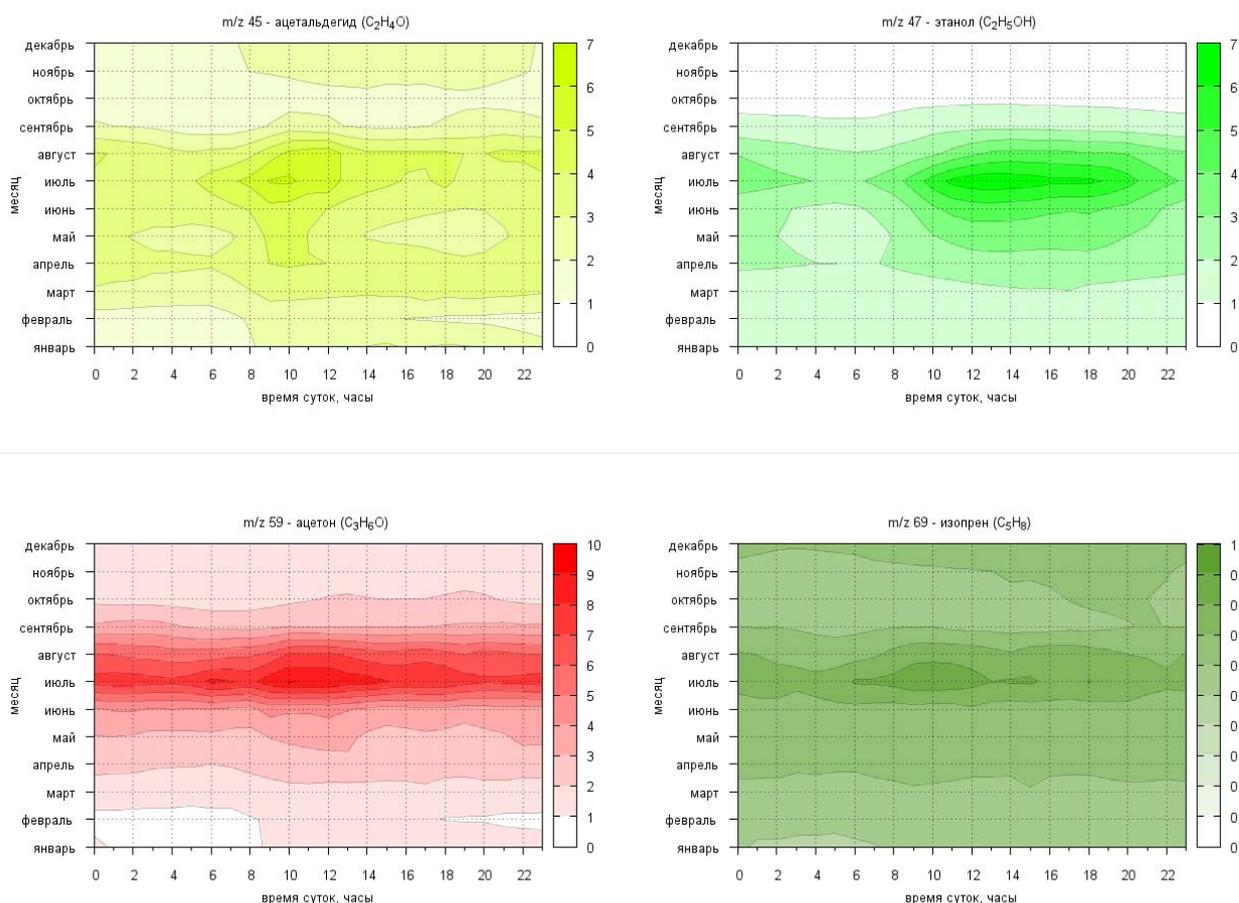


Рисунок 18.9 - Сезонно-суточный ход концентраций [млрд^{-1}] ацетальдегида, ацетона, этанола и изопрена.

Еще несколько органических малых примесей атмосферы имеют, как показывают полученные данные, сходный характер сезонно-суточных вариаций. На рисунке 18.9 приведены диаграммы сезонно-суточного хода ацетальдегида, ацетона, этанола и изопрена. Как видно из диаграмм, характер вариаций этих примесей аналогичен рассмотренному выше для уксусной кислоты. Суточные вариации концентрации ацетона в атмосфере г. Москвы выражены более слабо, нежели сезонные.

По данным анализа наблюдений прибором PTR-MS возможно выделить ряд примесей, суточные вариации которых, в противоположность рассмотренным выше, характеризуются накоплением в ночные и предутренние часы, по-видимому, в

инверсионных условиях. Диаграмма для одного из подобных веществ, толуола, показана на рисунке 18.10.

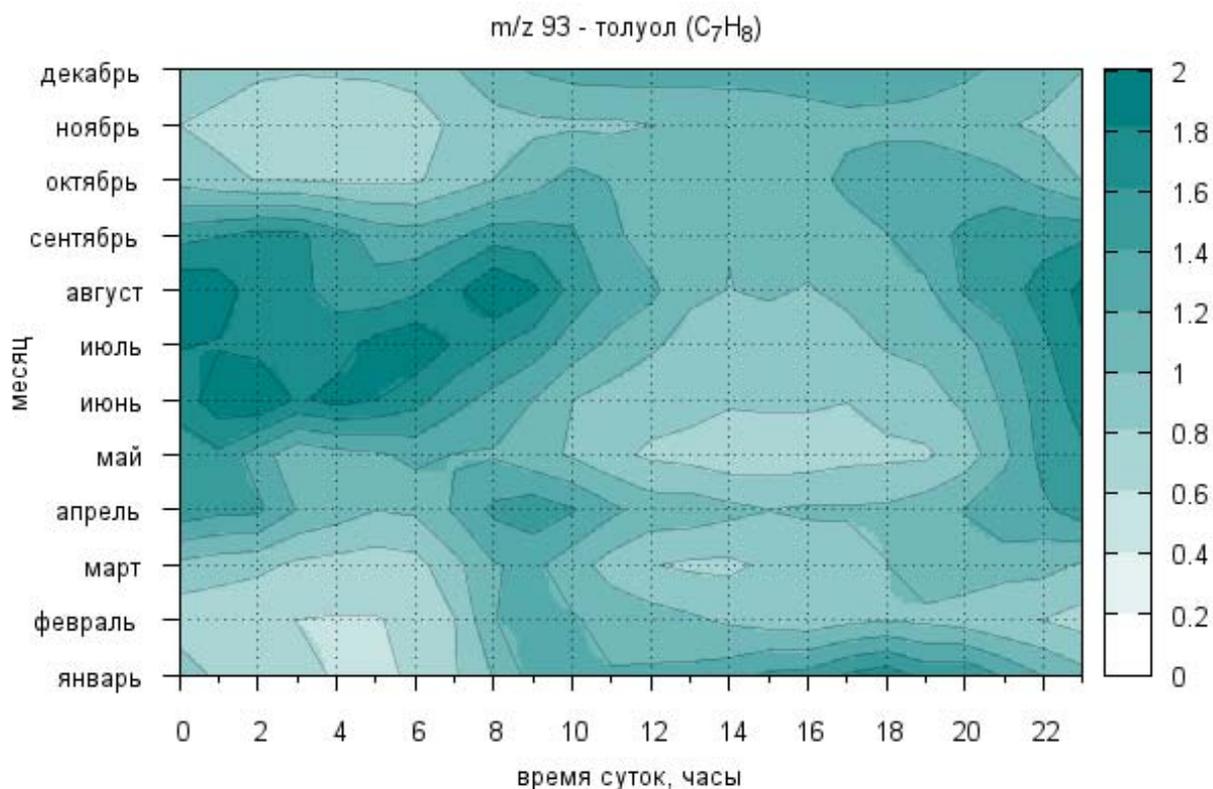


Рисунок 18.10 - Сезонно-суточный ход концентрации [млрд⁻¹] толуола.

Из особенностей характера вариаций следует отметить хорошо заметный рост концентрации в зимний период в дневное время, а в летний период - в ночное.

На рисунке 18.11 представлены четыре диаграммы для примесей, имеющих сходный с толуолом характер сезонно-суточных вариаций - 1,3-бутадиена, фенола, бензола и ксилола. Концентрации этих компонентов также имеют тенденцию к увеличению в ночное время в летний период.

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.

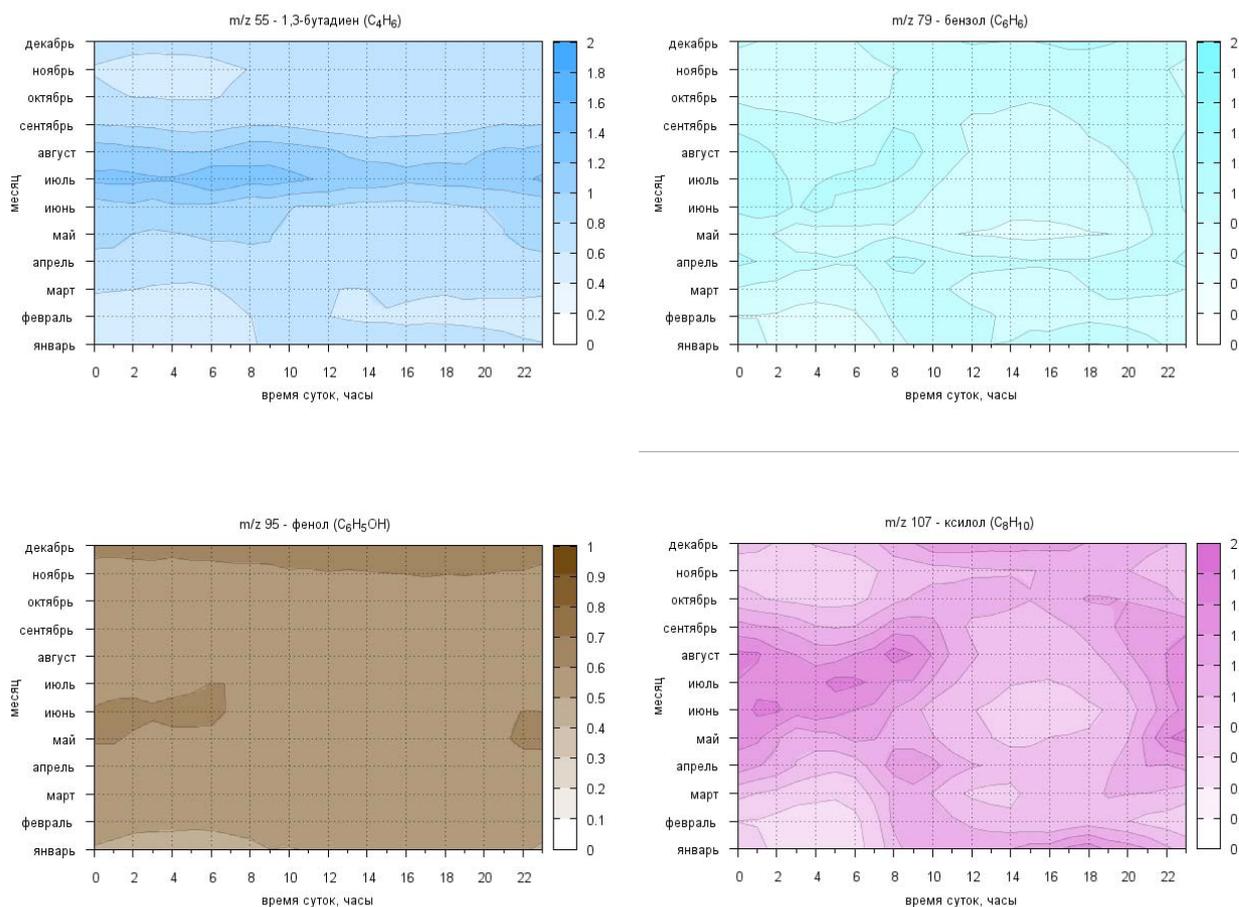


Рисунок 18.11 - Сезонно-суточный ход концентраций [млрд⁻¹] 1,3-бутадиена, фенола, бензола и ксилола.

18.5 Атмосферный аэрозоль

Наблюдения атмосферного аэрозоля проводятся на станции непрерывно и круглосуточно с января 2011 года. Для наблюдений используется прибор типа TEOM 1400ab ([http://www.thermoscientific.com/...](http://www.thermoscientific.com/)) 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.

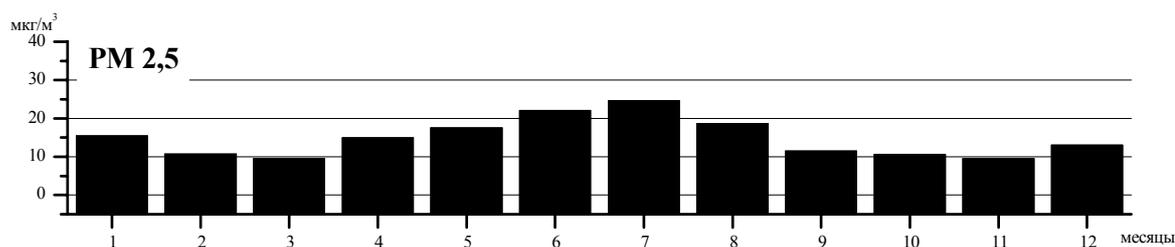
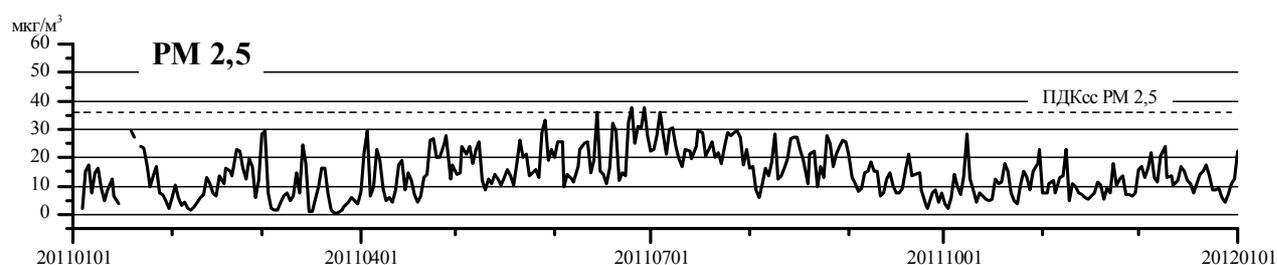
По изменению частоты колебаний определяется абсолютное значение массы аэрозоля, осаждаемого на фильтре.

Описываемый прибор комплектуется, по крайней мере, двумя различными сепараторами частиц, позволяющими измерять (не одновременно) значения концентраций аэрозоля, известные как PM10 и PM2,5. 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 PM_{2,5}.

На рисунке 18.12 представлен график ряда среднесуточных значений PM_{2,5} за 2011 год. Как видно из графика, ряд практически непрерывен. На график нанесено значение среднесуточной ПДК PM_{2,5}. Это значение, как можно видеть, превышаетя в ряде случаев, несмотря на расположение станции, как отмечалось выше, в удалении от явных источников загрязнения атмосферы.

На рисунке 18.13 представлены среднемесячные концентрации PM_{2,5} за 2011 год. По этому графику легко проследить сезонные вариации концентрации аэрозоля в мегаполисе, характеризующиеся максимумом в июле и минимумами в марте и ноябре. Статистическая значимость этого вывода будет проанализирована позднее, по мере накопления данных за последующие годы наблюдений.



Суточные вариации концентрации взвешенных частиц иллюстрируются рисунком 18.14, отдельно для зимнего, весеннего, летнего и осеннего сезонов. Сравнение этих графиков с аналогичными (Еланский, 2007) для газовых примесей (в частности, NO, CO,

CO₂ и SO₂) приводит к выводу, что характер суточных вариаций загрязнения атмосферы аэрозолями во многом сходен с аналогичным для основных газов-загрязнителей атмосферы в г. Москве.

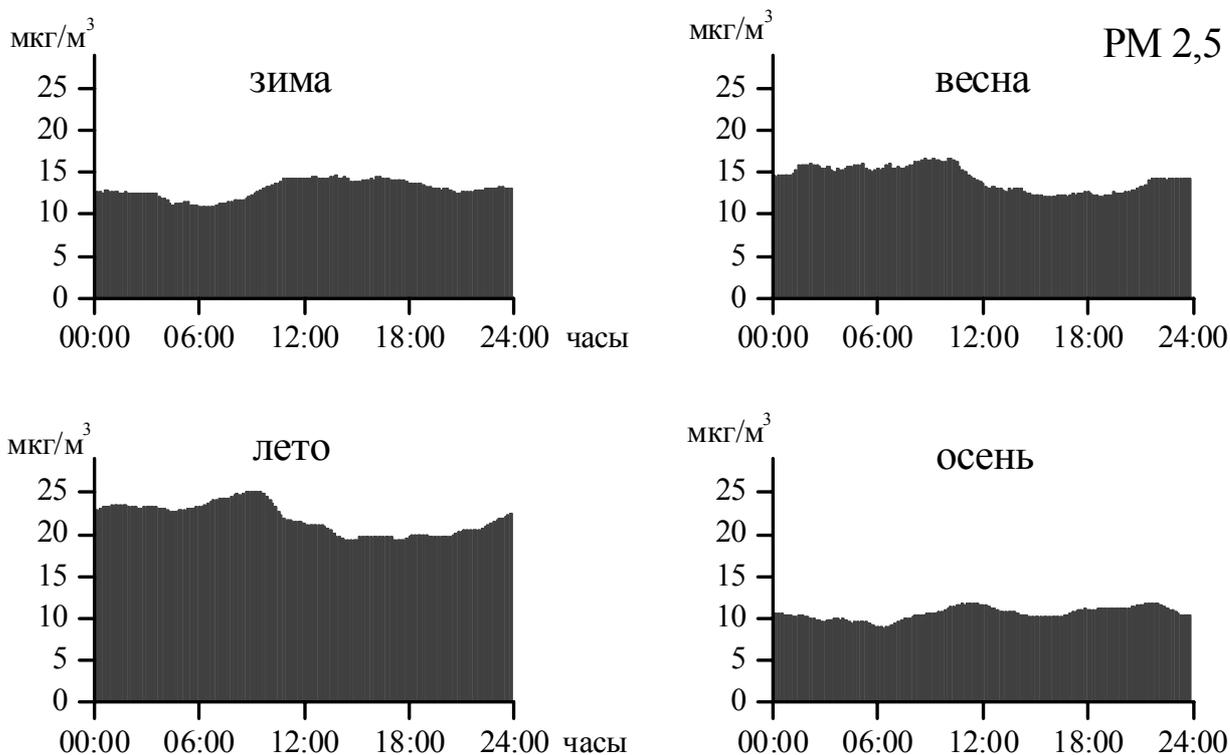


Рисунок 18.14 - Суточные вариации концентрации PM_{2,5}

18.6 Заключение

Рассмотренный анализ вариаций примесей за 2011 год не является полным. Представляет большой интерес взаимосвязь вариаций концентраций различных примесей как между собой, так и с метеорологическими параметрами. Подробный анализ этого планируется выполнить в дальнейшем.

В последующие годы наблюдений также планируется развитие станции в направлении достижения максимально возможной непрерывности наблюдений с помощью ввода в эксплуатацию дополнительных дублирующих приборов и повышения надежности имеющихся. Также планируется развитие средств автоматизации наблюдений, архивирования и анализа 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.

Тимковский И.И., Н.Ф. Еланский, А.И. Скороход, Р.А. Шумский. Исследование биогенных летучих органических соединений над территорией России // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, Т 46, № 3, 2010 г. С. 347-356.

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.

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.thermoscientific.com/ecom/servlet/productsdetail_11152_L10828_89579_11960558_-1

19. Интегральное содержание NO₂ в пограничном слое атмосферы

В.А. Иванов, И.Б. Беликов, А.С. Елохов, О.В. Постыляков

19.1 Общие сведения

Двуокись азота (NO₂) относится к химически активным газовым составляющим атмосферы. Основной ее объем сосредоточен в пограничном слое атмосферы (ПСА) и в стратосфере. Двуокись азота играет ключевую роль в каталитическом цикле разрушения озона (O₃). Поэтому, когда в 1980-х годах возникла проблема разрушения стратосферного озонового слоя атмосферы, начались регулярные наблюдения содержания NO₂ в стратосфере. В конце 1990-х годов, когда содержание озона в стратосфере практически восстановилось до климатически среднего уровня, наибольшее беспокойство стало вызывать быстрое увеличение концентрации тропосферного озона и ухудшение качества приземного воздуха в урбанизированных районах. Для изучения причин и механизмов таких изменений необходима информация о содержании NO₂ в тропосфере и, в особенности, в ПСА, где NO₂ играет важную роль в системе взаимодействий экосистем и атмосферы.

19.2 Метод определения содержания NO₂ в ПСА

Существующие методы измерения интегрального содержания NO₂ в нижней тропосфере имеют ряд недостатков, ограничивающих область их применения. Например, методы измерения содержания NO₂ в нижней тропосфере, основанные на измерении спектров в видимой области, не дают корректных результатов при наличии оптически плотной облачности. Поэтому для исследования содержания NO₂ в нижней тропосфере был разработан метод восстановления содержания NO₂ в пограничном слое атмосферы из спектров рассеянного в зените солнечного излучения [Иванов, Постыляков, 2010]. Этот метод получил название зенитного. Он позволяет проводить измерения, как в безоблачных условиях, так и при сплошной облачности. Измерения с помощью данного метода проводятся в дневное время и в сумерки при зенитном угле Солнца, не превышающем 96°.

Алгоритм зенитного метода восстановления содержания NO₂ в ПСА включает следующие этапы:

1. Определение наклонного содержания NO₂ ($X_{атм}$) во всей толще атмосферы в дневное время и в сумерки с помощью метода дифференциальной спектроскопии DOAS.

2. Восстановление профиля содержания NO_2 в стратосфере по сумеречным наблюдениям ($n_{стр}$).

3. Расчет наклонного содержания NO_2 в стратосфере $X_{стр}$, из полученного на предыдущем этапе профиля содержания NO_2 :

$$X_{стр} = \sum m_{стр} n_{стр}$$

где $m_{стр}$ - коэффициент воздушной массы для слоя стратосферы.

4. Аппроксимация стратосферного содержания NO_2 между утренними и вечерними сумерками с помощью фотохимической модели $chem(...)$:

$$X_{стр}^{вечер} = chem(X_{стр}^{утро}, X_{стр}^{вечер})$$

5. Решение основного уравнения зенитного метода, относительно содержания NO_2 в пограничном слое атмосферы ($n_{ПСА}$):

$$X_{зтн} - X_{стр}^{день} = X_{ПСА} = \int m_{ПСА}(h, A, h_{сld}, \tau) n_{ПСА}(h) dh$$

где $m_{ПСА}$ - воздушная масса для ПСА, рассчитываемая с использованием данных об атмосфере и поверхности Земли; h - высота ПСА, A - альbedo земной поверхности, $h_{сld}$ - высота нижней границы облачности, τ - оптическая толщина облачности.

6. Восстановление вертикального содержания NO_2 в ПСА:

$$V_{ПСА} = \int n_{ПСА}(h) dh$$

Общая ошибка метода восстановления содержания NO_2 в ПСА состоит из ошибки расчета послойной воздушной массы для ПСА (не более 20% от общего содержания NO_2 в атмосфере в зимний или летний сезон и не более 30% в межсезонье), ошибки восстановления стратосферного содержания NO_2 (менее 4%) и ошибки измерения наклонного содержания (менее 2%). Общая ошибка метода составляет менее 26% в летний и зимний сезоны и 36% при неустановившемся снежном покрове. Восстановление содержания в ПСА возможно при условии, что слой NO_2 не совпадает по высоте со слоем облачности. При расчете общей ошибки метода полагалось, что содержание NO_2 в ПСА и стратосфере равно $1,5 \cdot 10^{16}$ мол/см² и $0,5 \cdot 10^{16}$ мол/см², соответственно.

19.3 Аппаратно-программный комплекс

Для наблюдений содержания NO_2 в ПСА на станции наблюдений состава атмосферы МО МГУ (см. п. 18 выше) с июля 2010 г. действует аппаратно-программный комплекс. Основной составной частью комплекса является спектрометр изображения Oriel™ MS260i.

В спектрометре используется дифракционная решетка 1200 штрихов/мм, ширина входной щели спектрометра 100 мкм, спектральное разрешение 0,7 нм. Используемая для наблюдений NO₂ спектральная область составляет 430 - 490 нм. Чувствительным элементом спектрометра является ПЗС матрица размером 1024 x 256 пикселей, охлаждаемая до температуры до минус 50°С.

Рассеянное из зенита солнечное излучение вводится в спектрометр через световод и закрытый защитным стеклом объектив, образующие т.н. оптический вход. Для обеспечения непрерывной необслуживаемой эксплуатации комплекса располагающиеся на открытом воздухе защитный кожух и стекло объектива обогреваются и термостатируются при температуре 45°С, чем обеспечивается быстрое удаление выпавших атмосферных осадков (снег, дождь).

Управление спектрометром осуществляется при помощи персонального компьютера и полностью автоматизировано. Специально разработанное программное обеспечение осуществляет контроль работы электромеханических приводов спектрометра (оптического затвора и шагового двигателя перестройки по длинам волн) и первичную обработку получаемых спектров. Программа управления обладает также свойствами адаптивности под условия наблюдения, автоматически изменяя период записи спектров в зависимости от вычисляемых значений содержания NO₂ в атмосфере.

Минимальное обнаруживаемое значение содержания NO₂ для описываемого комплекса составляет $5 \cdot 10^{14}$ мол/см². Периодически проводятся сравнения данных комплекса с данными регионального эталона международной сети наблюдения NDACC.

19.4 Наблюдения содержания NO₂ в ПСА в 2011 г. в МО МГУ

На рисунке 19.1 показаны среднедневные значения содержания NO₂ в ПСА за весь 2011 год. Как видно из графика, за 2011 г. в МО МГУ получен практически непрерывный ряд наблюдений содержания NO₂ в ПСА.

Наблюдения содержания NO₂ в ПСА проводились также аналогичными комплексами в 2006 - 2011 гг. в г. Звенигороде Московской области, в столице Республики Беларусь г. Минске, а также вдоль Транссибирской магистрали от Москвы до Владивостока на железнодорожном вагоне-лаборатории. Сравнение этих данных приводит к выводу, что в среднем содержание NO₂ над Москвой в несколько раз превышает содержание NO₂ наблюдаемое над другими крупными городами, где проводились

измерения NO_2 , и более чем на порядок превышает содержание NO_2 , наблюдаемое над фоновыми областями Северной Евразии.

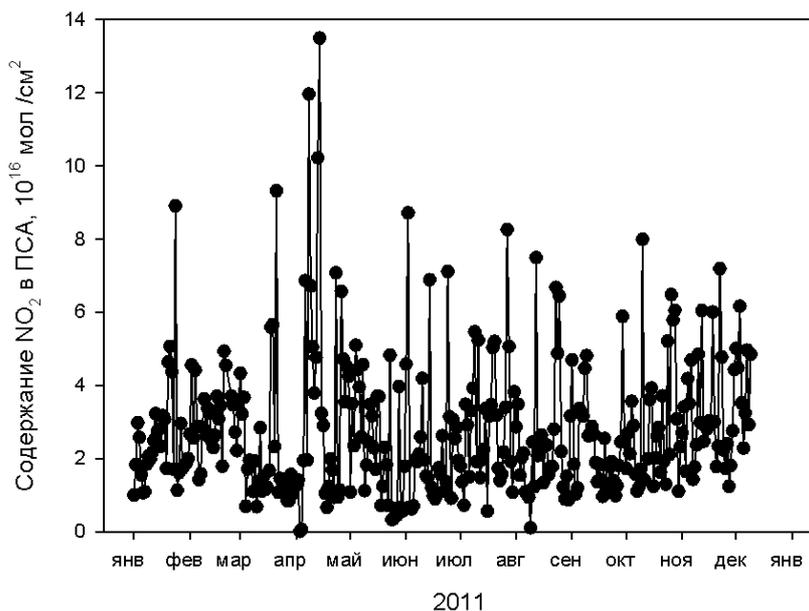


Рисунок 19.1 - Среднедневные значения содержания NO_2 в ПСА за 2011 год

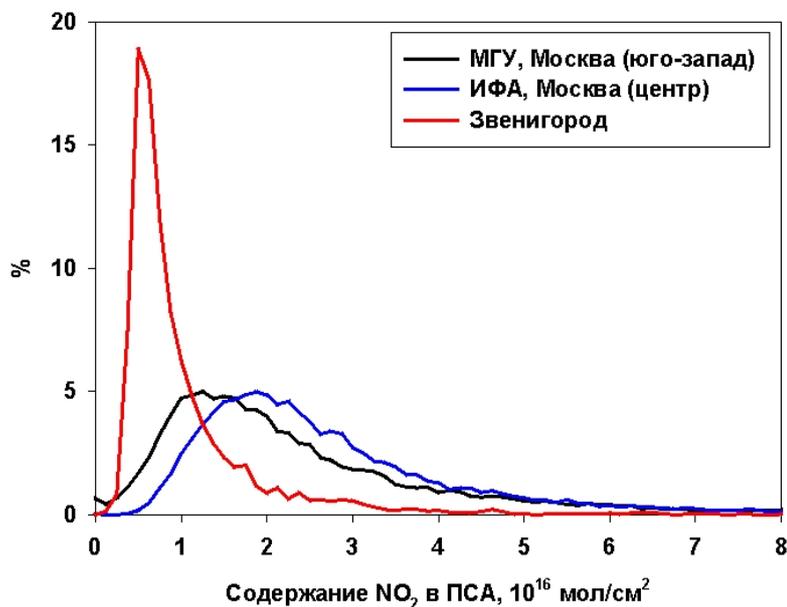


Рисунок 19.2 - Функции распределения значений содержания NO_2 в ПСА для различных станций наблюдений

На рисунке 19.2 показаны функции распределения значений содержания NO_2 в ПСА, полученные на различных станциях наблюдений: МО МГУ, в здании ИФА им. А.М.

Обухова РАН в районе центра г. Москвы и в г. Звенигороде.

Вследствие относительно равномерного распределения источников NO₂ в г. Москве наибольшее содержание в среднем наблюдается в центре г. Москвы и составляет 3,0·10¹⁶ мол/см². Несколько меньшее содержание, составляющее около 2,6·10¹⁶ мол/см² наблюдается над МО МГУ. В Звенигороде содержание NO₂ возрастает при антициклонах с восточным переносом примеси. Среднее содержание NO₂ в Звенигороде составляет 1,0·10¹⁶ мол/см².

Статистические характеристики распределения содержания NO₂ на различных станциях наблюдения приведены в таблице 19.1.

Таблица 19.1 - Статистические характеристики распределения содержания NO₂ на различных станциях наблюдения

Станция наблюдения	Мода	Среднее	Стандартное отклонение	Медиана	Асимметричность
	10 ¹⁶ мол/см ²				
ИФА (центр)	1.9	3.0	3.0	2.3	8.4
МГУ (юго – запад)	1.1	2.6	2.7	1.9	6.7
Звенигород	0.5	1.0	1.2	0.7	8.0

19.5 Дневные и недельные вариации содержания NO₂ в ПСА

На рисунке 19.3 показан график дневных вариаций содержания NO₂ в ПСА, полученный в результате анализа периода с мая по август 2011 г. Как видно из графика, имеет место повышение содержания NO₂ с утренних сумерек до 10 часов утра, когда наблюдается промежуточный максимум в дневном ходе содержания NO₂. Затем происходит спад содержания NO₂ с 10 до 16 часов дня, а затем - резкий рост содержания NO₂ с 16 часов до 20 часов вечера.

Вероятность ошибочно отвергнуть гипотезу об отсутствии суточного хода (т.е. гипотезу от том, что все среднечасовые значения содержания NO₂ совпадают) по полученным экспериментальным данным составляет менее 1%. Амплитуда суточного хода NO₂ равна 1,2·10¹⁶ мол/см² или 40% от максимального значения содержания NO₂. Размах

промежуточного максимума суточного хода содержания NO_2 (с 9 до 14 часов) составляет $0,4 \cdot 10^{16}$ мол/см² или 12% от максимального значения содержания NO_2 .

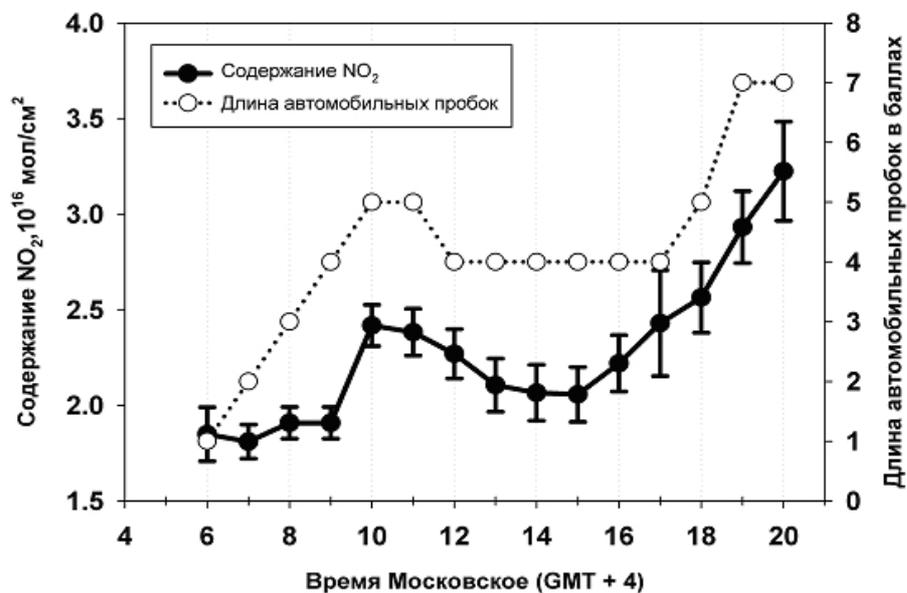


Рисунок 19.3 - Дневные вариации содержания NO_2 в ПСА

На рисунке 19.4 показан недельный цикл содержания NO_2 . Он характеризуется повышенным содержанием NO_2 с понедельника по пятницу и пониженным с субботы по воскресенье. Амплитуда недельного цикла составляет $1,8 \cdot 10^{16}$ мол/см² или 45% от максимального значения содержания NO_2 .

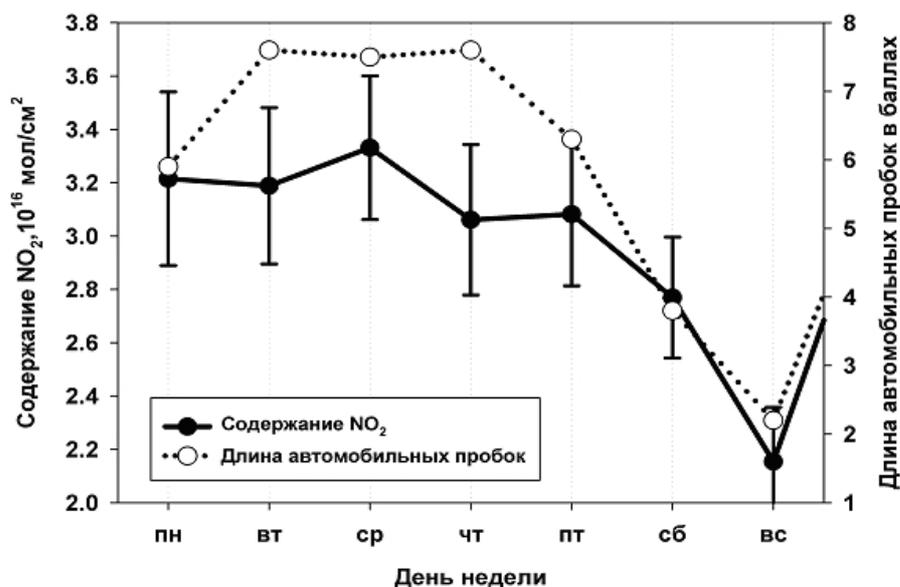


Рисунок 19.4 - Недельные вариации содержания NO₂ в ПСА

Вероятность ошибочно отвергнуть гипотезу об отсутствии недельного хода (т.е. гипотезу от том, что все средние содержания во все дни недели совпадают) по полученным экспериментальным данным составляет менее 5%.

На рисунках 19.3 и 19.4 показана также длина автомобильных пробок по данным аналитического центра "Яндекс пробки" (<http://company.yandex.ru/technologies/yaprobki/>). Из сопоставления приведенных графиков возможно сделать вывод, что как на недельный цикл, так и на суточный ход содержания NO₂ оказывает влияние режим работы городского автотранспорта. Дополнительное подтверждение этого будет рассмотрено ниже.

19.6 Оценка эмиссий NO₂ в мегаполисе

В городах пространственное распределение и временная изменчивость содержания NO₂ в ПСА связана с городской жизнедеятельностью и расположением потенциальных источников NO₂. К основным источникам NO₂ в городах относятся промышленные предприятия, предприятия энергетики и автотранспорт.

Полученные в течение 2011 года в МО МГУ данные по содержанию NO₂ в ПСА были использованы для оценки эмиссий NO₂ автотранспортом в г. Москве. Для этой оценки была применена известная модель ISCST3 переноса примеси [Иванов и др., 2012].

Оценка объема выбросов автотранспорта заключалась в минимизации выражения

$$\sum_{i=0^{\circ}}^{360^{\circ}} [C_i(all) - C_i(stat) - Q \cdot C_i^0(auto)]^2 \rightarrow \min$$

где $C_i(stat)$ - содержания NO_2 , рассчитанные по модели ISCST3 для всех стационарных источников, $C_i^0(auto)$ - содержания NO_2 , рассчитанные по модели ISCST3 для автотранспорта при единичном суммарном выбросе, $C_i(all)$ - экспериментальные значения содержания NO_2 в зависимости от направления ветра, Q - объем выбросов автотранспорта. Суммирование ведется по всем значениям направления ветра в пункте наблюдений.

Для наблюдений в МО МГУ получено значение эмиссий NO_2 от автотранспорта, равное 88,4 ктонн в год. Для сравнения, аналогичное значение, полученное по данным наблюдений в здании ИФА им. А.М. Обухова РАН, составляет 87,9 ктонн в год. Таким образом, объем выбросов автотранспорта в г. Москве за 2011 г. может быть оценен величиной в 90 ктонн.

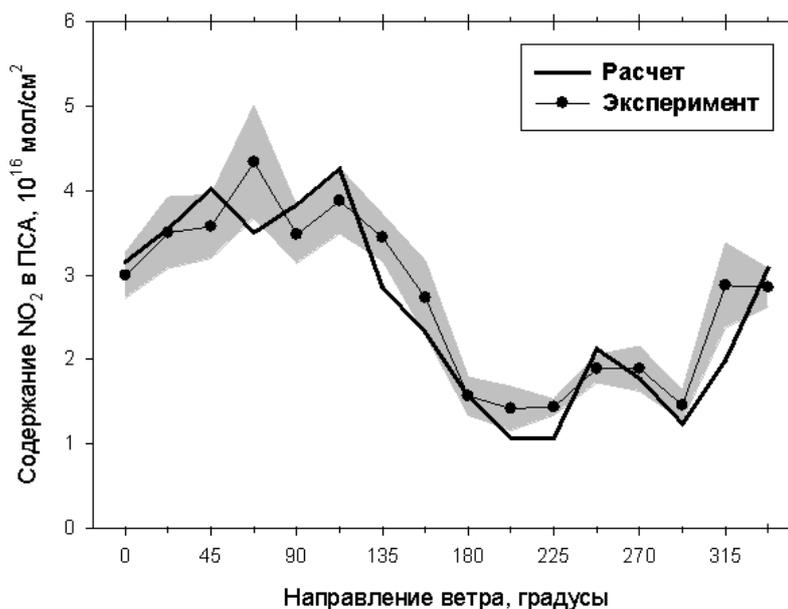


Рисунок 19.5 - Расчетные и экспериментальные зависимости содержания NO_2 в ПСА от направления ветра

На рисунке 19.5 показаны расчетный (по модели ISCST3) и экспериментальный графики зависимости содержания NO_2 в ПСА от направления ветра для наблюдений в МО МГУ. Как видно из графика, имеет место хорошее согласие экспериментальных и модельных данных. Дополнительным подтверждением справедливости сделанных оценок

является рассмотренная выше значительная положительная корреляция между длиной автомобильных пробок и содержанием NO_2 в ПСА.

В заключение следует отметить, что полученные по данным наблюдений в МО МГУ сведения о пространственной и временной изменчивости содержания NO_2 в ПСА, без сомнения, представляют большой интерес для анализа и прогнозирования экологических характеристик атмосферы в г. Москве.

Литература:

Иванов В.А., О.В. Постыляков. Оценка интегрального содержания NO_2 в пограничном слое атмосферы по наблюдениям рассеянной в зените солнечной радиации // Оптика атмосферы и океана. Том 23. 2010. № 06. С. 471-474.

Иванов В.А., А.С. Елохов, О.В. Постыляков. О возможности оценки объема выбросов NO_2 в городах по зенитным спектральным наблюдениям рассеянной солнечной радиации вблизи 450 нм // Оптика атмосферы и океана. 2012. № 06. В печати.

ЧАСТЬ II

**Некоторые результаты маршрутных измерений по территории
Москвы и Подмосковья весной 2011 г.**

.....

20. Оценки пространственных вариаций аэрозольной оптической толщины атмосферы

Е.И. Незваль, Н.Е. Чубарова, Е.В. Горбаренко, М.А. Локощенко

Пространственные вариации аэрозольной оптической толщины (АОТ) могут значительно изменять микроклимат города. Поэтому в апреле 2011 г. были организованы оценка изменчивости АОТ на юго-западе и в центре Москвы. Маршрут проходил по Университетскому, Комсомольскому проспектам, ул. Остоженка и прилегающим к ней переулкам. При проведении маршрутных съемок для определения аэрозольной оптической толщины использовался портативный солнечный фотометр GLOBE. Солнечный фотометр GLOBE работает на двух длинах волн: 505 и 625 нм. Одновременно в Метеорологической обсерватории МГУ проводились измерения АОТ солнечно-небесным фотометром CIMEL на длинах волн 340, 380, 440, 500, 675, 875, 1020 нм. Калибровка солнечно-небесного фотометра CIMEL осуществляется в НАСА. Погрешность измерений АОТ 0.01. Для сравнений были выбраны АОТ на длинах волн 500 и 675 нм. Данные АОТ солнечного фотометра GLOBE приводились именно к этим длинам волн с помощью параметра Ангстрема.

Ниже приводится краткая методика калибровки фотометра GLOBE, которая осуществлялась в МО МГУ на основании данных АОТ фотометра CIMEL.

Сигнал солнечного фотометра V_λ может быть представлен из закона Бугера следующим выражением:

$$V_\lambda = (1/K) * V_{0\lambda} \exp(-m \sum \tau_\lambda) \quad (1)$$

V_λ - сигнал прибора (минус темновой ток) для данной длины волны,

K - коэффициент приведения к среднему расстоянию между Землей и Солнцем для заданного дня наблюдений,

$V_{0\lambda}$ – константа прибора на внешней границе атмосферы для данной длины волны,

m – масса атмосферы, которая при высотах солнца $h > 10^\circ$ приблизительно равна $1/\sin h$, где h – высота Солнца.

Суммарная оптическая толщина атмосферы на каждой длине волны $\Sigma\tau_\lambda$ определяется как:

$$\Sigma\tau_\lambda = \tau_\lambda aer + \tau_\lambda oz + \tau_\lambda rel * p / p_0 \quad (2)$$

где p – атмосферное давление на высоте измерений, p_0 - стандартное атмосферное давление.

Значения молекулярной оптической толщины (τ_{rel}) и озонной оптической толщины (τ_{oz}) приведены в табл. 20.1. для двух длин волн солнечного фотометра.

На основании параллельных наблюдений аэрозольной оптической толщины портативным солнечным фотометром GLOBE и солнечным фотометром CIMEL, используемым на сети AERONET, могут быть получены константы солнечного фотометра GLOBE V_{λ_0} для двух длин волн. Эти константы были получены сразу после проведения маршрутных измерений в Метеорологической обсерватории МГУ

Таблица 20.1. Константы, используемые при расчете аэрозольной оптической толщины атмосферы для рабочих длин волн портативного солнечного фотометра GLOBE №448.

	505нм	625нм
Молекулярная опт. толщина (τ_{rel})	0.1376	0.0576
Озонная оптическая толщина при общем содержании озона 0.3 атм.см	0.0110	0.0301
Константы V_{λ_0} , используемые ранее	2.455	1.623
Константы V_{λ_0} , полученные в мае и июле 2011 года	2.486	1.699

Величина V_{λ_0} рассчитывается из уравнения (1). Аэрозольная оптическая толщина в этом случае определяется по данным AERONET. Некоторые различия в длинах волн, используемых в солнечном фотометре GLOBE и солнечном фотометре CIMEL (500 и 675 нм) исключаются, используя формулу Ангстрема:

$$\tau_{500} = \tau_{\lambda} \left[\frac{\lambda}{500} \right]^n \quad (3)$$

Параметр Ангстрема n определяется по данным AERONET:

$$n = -(\ln \tau_{500} - \ln \tau_{675}) / (\ln 500 - \ln 675) \quad (4)$$

В результате сравнений были определены константы солнечного фотометра GLOBE №48 (см. табл. 20.1).

Результаты эксперимента. Определение аэрозольной оптической толщины проводилось при отсутствии облаков на диске Солнца и в околосолнечной зоне с радиусом 5° . Такие условия имели место 23 апреля 2011 г.

В табл. 20.2 приведены значения аэрозольной оптической толщины (AOT), полученные при малооблачной погоде 23 апреля 2011 г. для рабочих длин волн солнечного фотометра, а также значения аэрозольной оптической толщины, пересчитанные для стандартных длин волн, используемых на сети AERONET. Для сравнения представлены данные AOT500 и AOT675, полученные в это же время в Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) солнечным фотометром сети AERONET CIMEL.

Более наглядно характер изменения аэрозольной оптической толщины во время измерений в выбранных пунктах наблюдения и в Метеорологической обсерватории МГУ можно видеть на рис. 20.1а и 20.1б. Здесь же представлены потери прямой коротковолновой радиации S , поступающей на перпендикулярную лучу поверхность, относительно средней величины за период эксперимента. Значения со знаком «минус» свидетельствуют о том, что величина S была выше средней.

Таблица 20.2. Аэрозольные оптические толщины атмосферы, полученные портативным солнечным фотометром GLOBE во время маршрутных измерений в Москве 23 апреля 2011 года.

№ Пункта	Время Московское, летнее часы, минуты	Аэрозольная оптическая толщина атмосферы (AOT) на длине волны λ , нм						Параметр
		Портативный солнечный фотометр GLOBE				AERONET Солнечный фотометр CIMEL		Ангстрема n
		505	625	500	675	500	675	675 - 500
МОМГУ	10_59					0,200	0,124	1,60
1	11_07	0,250	0,187	0.254	0.165			
2	11_10	0,229	0,172	0.233	0.152			
МОМГУ	11_14					0,231	0,141	1,64
3	11_22	0,211	0,161	0.214	0.142			
МОМГУ	11_29					0,242	0,146	1,69
МОМГУ	11_36					0,252	0,151	1,70
6 МОМГУ	11_44	0,209	0,161	0.212	0.142	0,211	0,128	1,67
7	11_48	0,237	0,185	0.241	0.163			
МОМГУ	11_59					0,243	0,146	1,70

9	12_01	0,326	0,219	0.331	0.192			
10	12_08	0,277	0,204	0.282	0.179			
МОНГУ	12_14					0,284	0,170	1,70
12	12_23	0,298	0,226	0.303	0.199			
МОНГУ	12_29					0,344	0,206	1,72
МОНГУ	12_36					0,359	0,218	1,66
13	12_37	0,270	0,208	0.274	0.183			
14	12_44	0,268	0,201	0.273	0.176	0,344	0,206	1,71
МОНГУ								
16	12_50	0,296	0,222	0.302	0.195			
17	12_59	0,348	0,250	0.354	0.220	0,354	0,211	1,72
МОНГУ								
МОНГУ	13_14					0,351	0,211	1,69

Примечание к таблице: Описание точек, где проводились наблюдения:

1 – Университетский проспект, рядом с ул. Менделеева;

2 – Университетский проспект, рядом с ул. Лебедева;

3 – Комсомольский проспект, д. 41, перед 3-ей Фрунзенской ул.

6 – Комсомольский проспект, Дом медицинской книги;

7 – 1-ая Фрунзенская ул.;

9 – Комсомольский проспект, около ул. Льва Толстого (д.5/2);

10 – ул. Остоженка 37;

12 – Пожарский пер. д. 11;

13 – ул. Остоженка д. 16а;

14 – ул. Остоженка, Институт иностранных языков;

16 – Комсомольский проспект, Напротив Дома медицинской книги;

17 – Университетский проспект, другая сторона.

В точках №№ 4,5,8,11 и 15 измерения не проводились, так как диск Солнца экранировался соседними зданиями.

Можно видеть, что значения АОТ500 и АОТ675 как в различных пунктах наблюдений в районе Университетского, Комсомольского проспектов и Остоженки, так и на территории МО МГУ, достаточно близки между собой. Если проинтерполировать значения АОТ в МО МГУ по времени, учитывая также ход изменений dS , и сопоставить их с данными АОТ в пунктах наблюдения, то можно видеть, что различия $dAOT = AOT_{\text{МОМГУ}} - AOT_{\text{маршрут}}$ имеют разный знак (табл. 20.3).

За период наблюдений 23 апреля величина АОТ500 нм в среднем в пунктах наблюдения составила 0.273, а в МО МГУ 0.275. Для длины волны 675 нм величины АОТ соответственно оказались равными 0.176 и 0.164. Изменчивость значений АОТ500 и АОТ675 несколько больше в МО МГУ (коэффициент вариации АОТ соответственно равен $V=22$ и 21%) по сравнению с изменчивостью в районе эксперимента ($V=16$ и 14%).

Наибольшие отрицательные величины $dAOT500$ и $dAOT675$ отмечались для Комсомольского проспекта около улицы Льва Толстого (точка №9). Здесь наблюдались более высокие по сравнению с соседними точками значения АОТ (см. табл. 20.2). Низкие значения АОТ наблюдались в точках №3 и №6 на Комсомольском проспекте около 3-ей Фрунзенской улицы и Дома медицинской книги в 11:22 и 11:44 московского времени. В МО МГУ заметное уменьшение АОТ наблюдалось в 11:44.

В МО МГУ имеет место существенное увеличение АОТ, начиная примерно с 12 час 30 мин, а при маршрутных измерениях – в конце эксперимента. Например, значения АОТ500 на Университетском проспекте в начале эксперимента составили 0.254 и 0.233, а примерно там же в конце эксперимента в 13 час – 0.354. На Комсомольском проспекте около Дома медицинской книги в 11 час 44 мин АОТ500 составила 0.212, а в 12 час 50 мин на противоположной стороне проспекта – 0.302.

В МО МГУ наибольшие значения АОТ отмечались в 12 час 36 мин (см. табл. 20.2). Самые большие потери прямой коротковолновой радиации, до 8% относительно среднего значения, отмечались около 13 часов. До 12 час 25 мин значения прямой радиации большую часть времени были выше средней величины за рассматриваемый период (потери со знаком «минус»). Следовательно, в МО МГУ, расположенной к югу от основной зоны проведения маршрутной съемки, относительно высокий уровень АОТ уже наблюдался примерно с 12:30, в то время как на Остоженке и Комсомольском проспекте значения

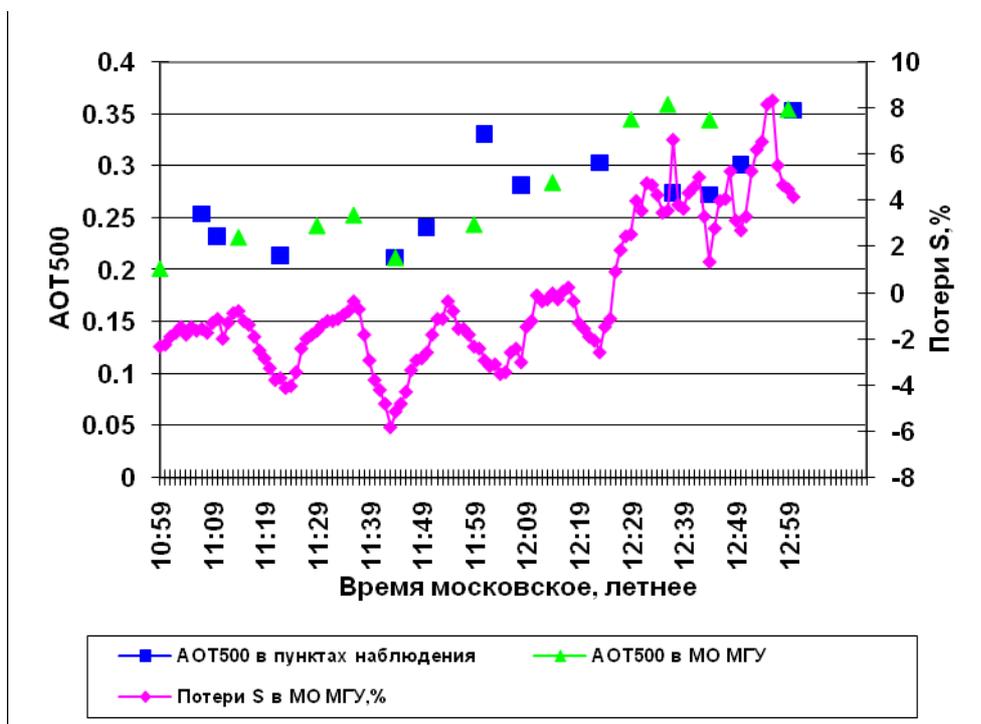
АОТ в это время были значительно меньше. Об этом свидетельствуют и большие положительные значения dАОТ 500 и dАОТ675 для этих пунктов (см. табл. 20.3).

Таблица 20.3. Различия между значениями АОТ500 и АОТ675 в МО МГУ и в пунктах наблюдений.

№№ пунктов набл.	Время моско- вское	АОТ500			АОТ675		
		МО МГУ, интерпо- ляция	Пункты набл	d АОТ500	МО МГУ, Интерпо- ляция.	Пунк- ты набл	d АОТ500
1	11_07	0.22	0.254	-0.034	0.135	0.165	-0.03
2	11_10	0.225	0.233	-0.008	0.138	0.152	-0.014
3	11_22	0.22	0.214	0.006	0.138	0.142	-0.004
6	11_44	0.211	0.212	-0.001	0.128	0.142	-0.014
7	11_48	0.243	0.241	0.002	0.134	0.163	-0.029
9	12_01	0.241	0.331	-0.09	0.144	0.192	-0.048
10	12_08	0.249	0.282	-0.033	0.145	0.179	-0.034
12	12_23	0.29	0.303	-0.013	0.168	0.199	-0.031
13	12_37	0.358	0.274	0.084	0.218	0.183	0.035
14	12_44	0.347	0.273	0.074	0.206	0.176	0.03
16	12_50	0.337	0.302	0.035	0.207	0.195	0.012
17	12_59	0.354	0.354	0	0.211	0.22	-0.009
Средн		0.275	0.273	0.002	0.164	0.176	-0.011
V%		21	16		22	14	

Примечание: V – коэффициент вариации

а



б

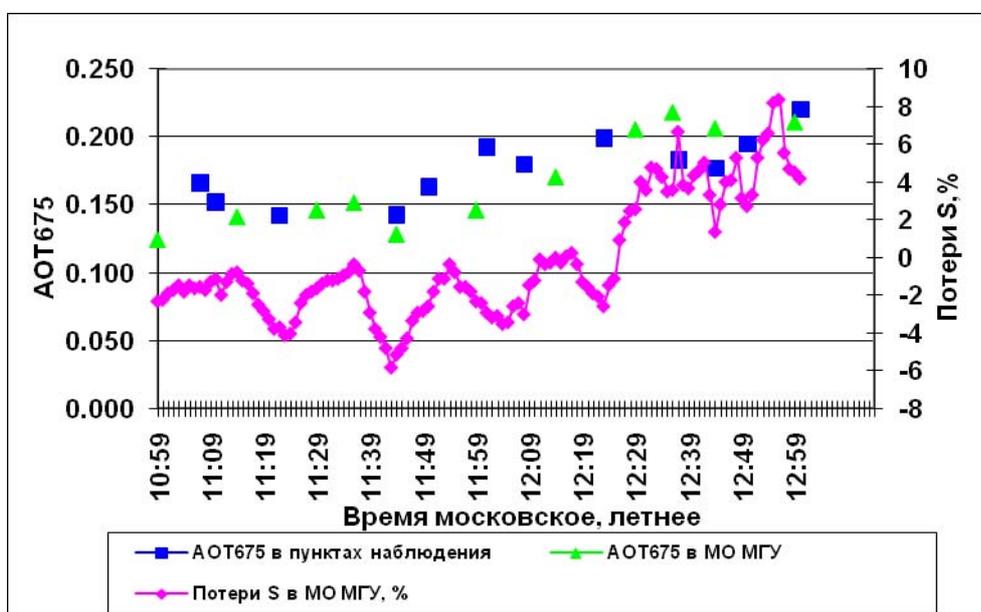


Рисунок 20.1. Характер изменения аэрозольной оптической толщины атмосферы в различных пунктах наблюдения в Москве и в МО МГУ 23 апреля 2011 г.; потери прямой радиации, поступающей на перпендикулярную поверхность, относительно средней величины в МО МГУ. а – $\lambda=500$ нм, б – $\lambda=675$ нм

По-видимому, основной причиной колебаний АОТ как при продвижении по маршруту, так и в МО МГУ является конденсационное помутнение атмосферы, которое предшествовало образованию кучевых облаков. Можно предположить, что 23.04 более теплый воздух и, следовательно, более низкие значения относительной влажности в центре города могли несколько уменьшить гигроскопический рост частиц.

Таким образом, показано, что относительно недорогой портативный фотометр GLOBE может успешно использоваться при проведении маршрутных съемок. Установлено, что 23.04 пространственные вариации аэрозольного содержания в столбе атмосферы были довольно существенными и менялись от -0.09 до $+0.08$ для АОТ500 в радиусе 12км (от МГУ до Остоженки) при среднем значении около 0.27. Временные вариации АОТ были, главным образом, связаны с изменением метеорологических условий в городских условиях и развитием конвекции.

21. Пространственные особенности распределения солнечной радиации в различных спектральных интервалах в условиях городской застройки.

Н.Е. Чубарова Е.И. Незваль, О.А. Шиловцева, Е.В. Горбаренко, В.А. Розенталь

В 2011 году в рамках проекта НОЦ были выполнены несколько маршрутных съемок по Москве. В задачу натурных исследований входили оценки аэрозольных и радиационных характеристик при различных синоптических ситуациях с учетом дифференциации затенения различными объектами (дома, деревья, проч.) в городской среде. Результаты измерений были получены на основании 3-х маршрутных съемок, выполненных в Москве 15, 22 и 23 апреля 2011г.

Для проведения эксперимента был специально разработан автоматизированный передвижной фотометрический комплекс. Он состоит из трех измерительных приборов: пиранометра М-80 российского производства для измерения коротковолновой радиации, датчика для измерения видимой радиации в интервале 400-700 нм фирмы LI-COR (США), а также УФ-В (UVB-1) пиранометра для измерения коротковолновой УФ-В радиации фирмы YES (США). Все приборы смонтированы на общем основании, закрепленном на крыше автомобиля. Был разработан блок сбора данных, связанный с компьютером по стандартному интерфейсу RS232.

Использование измерений суммарной радиации в различных спектральных диапазонах позволяет более точно оценить особенности воздействия городской застройки разного типа на величину и спектральный состав солнечной радиации, что важно как для оценки влияния радиации на микроклимат города, так и для решения различных прикладных задач, в частности, для оценки воздействия реального поступления УФ радиации на здоровье.

Все приборы, которые были использованы для измерения солнечной радиации в эксперименте, были прокалиброваны в МО МГУ по образцовым приборам. Пиранометр М-80М №1458 был поверен по образцовому актинометру АТ-50 №71, а прибор для измерения видимой радиации (ФАР) – LI-190SL № 26681– по прибору МО МГУ LI-190SL № 27953. УФ-В пиранометр фирмы Yankee калибровался непосредственно по рабочему прибору 920602, стоящему на регистрации в МО МГУ.

В результате были получены чувствительности приборов, которые и были использованы при обработке измерений маршрутных съемок (табл. 21.1).

Таблица 21.1 - Результаты калибровок приборов по результатам измерений в апреле-мае 2011 г., МО МГУ

параметр	Пиранометр р М-80М № 1458 мВ/мВт м2	МГУ LI-190SL № 26681 мВ/ мВт м2	УФ-В пиранометр UVB-1 921105 мВ/мВт м2 (эфф)
Чувствительность	12.61	16.25	0.2477
СКО	0.06	0.07	0.000339
V, %	0.5%	0.4%	0.12%
число серий	18	12	128

Калибровка УФ-В пиранометра была получена по данным автоматической регистрации с учетом зависимости от высоты Солнца и озона для диапазона высот Солнца 35-46 градусов, характерного для условий эксперимента. Градуировка этого прибора проведена с учетом эритемной кривой действия. На рис. 21.1 приведены результаты калибровки УФ-В пиранометра, демонстрирующие стабильность калибровки прибора в широком диапазоне.

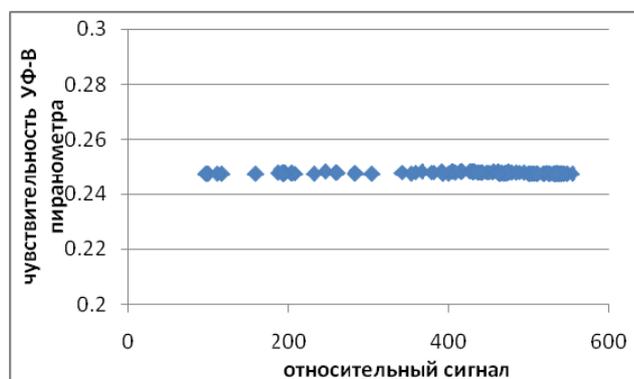


Рисунок 21.1 - Результаты калибровки УФ-В пиранометра № 921105 по УФ-В пиранометру № 920602.

На рисунке 21.2 приведены результаты калибровок суммарной коротковолновой радиации.

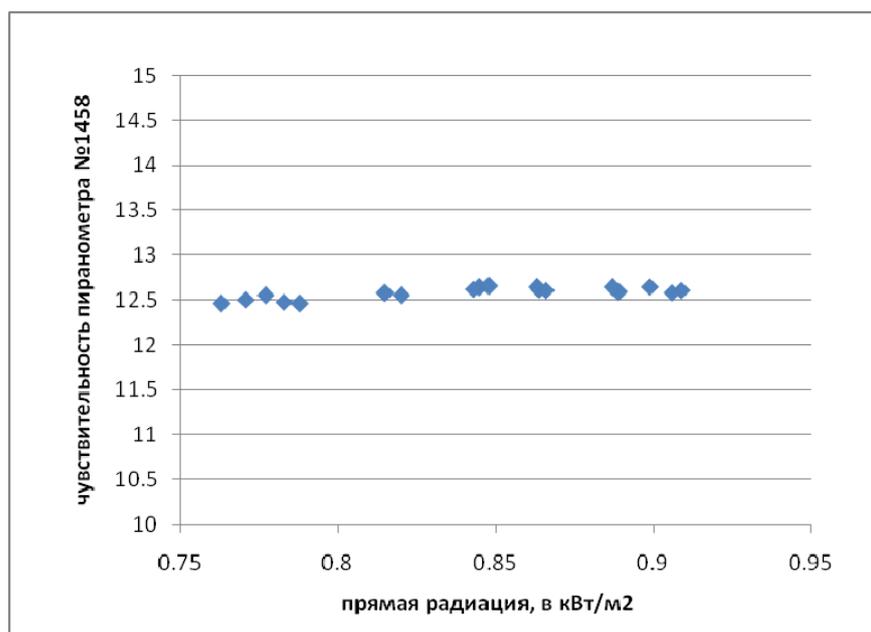


Рисунок 21.2 – Результаты калибровки пиранометра № 1458 по образцовому актинометру АТ-50 №71 в апреле-мае 2011 г.

По результатам калибровок были выявлены некоторые проблемы у прибора, измеряющего видимую радиацию. В результате, данные измерений видимой радиации (ФАР) в первой и второй серии маршрутных съемок были несколько занижены. Поэтому в дальнейшем анализе использовались данные измерений видимой радиации только в третьей маршрутной съемке 23 апреля 2011.

Рисунок 21.3 представляет расположение точек по маршруту. В таблице 21.2 приведены метеорологические условия, которые наблюдались в период проведения маршрутных съемок.

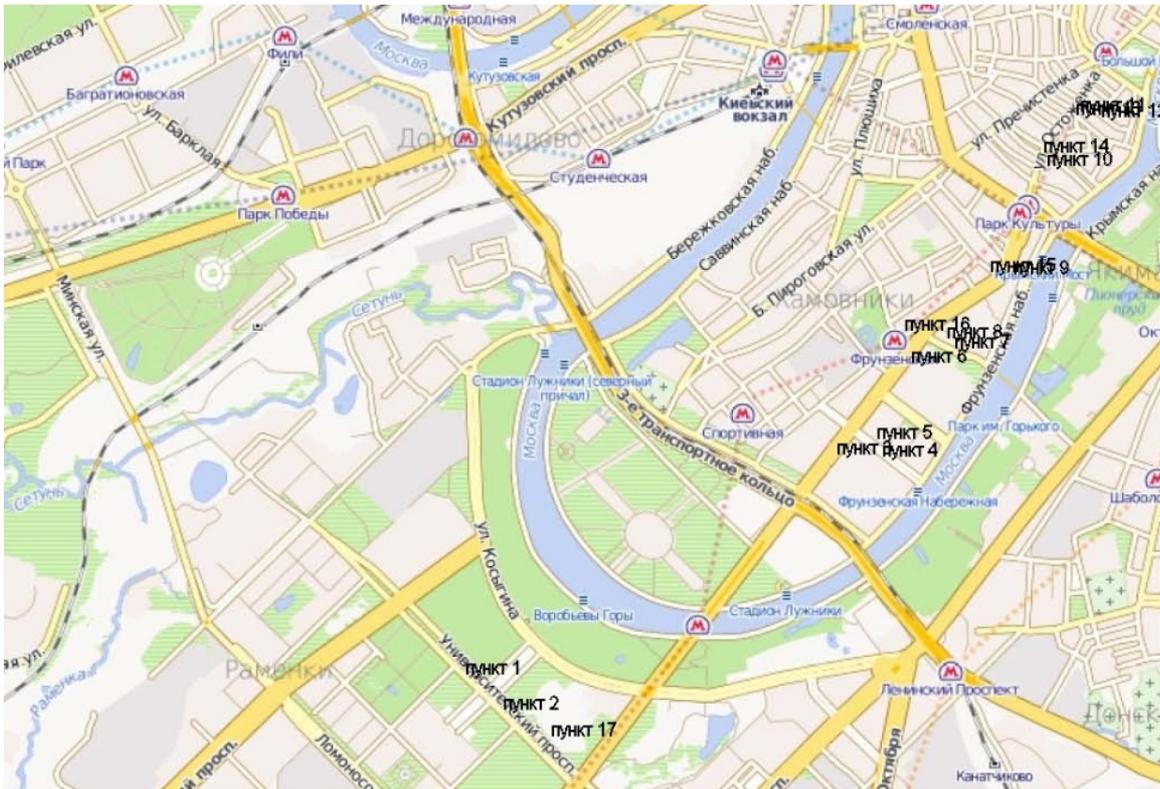


Рисунок 21.3 - Карта-схема расположения пунктов более детальных измерений.

Таблица 21.2. Погодные условия в дни маршрутных съемок 15, 22, 23 апреля 2011 года.

15 апреля	22 апреля	23 апреля
Преимущественно пасмурная погода (облачность [10]/[10] Sc, Cu fr), прямая радиация отсутствовала. Осадков не наблюдалось. На метеорологической площадке обсерватории снежный покров полностью сошел, однако в округе встречались пятна старого мокрого загрязненного снега. Температура воздуха 7-7,5°C, влажность воздуха 5,5 Гпа (54%), ветер северо-западный, 2 м/с.	Преимущественно солнечная погода. Общая облачность в это время составляла 7-8 баллов (Ci, Cc, Ac), а нижняя – не более 3 баллов (Cu, Cu fr). Осадков не наблюдалось. Снежный покров полностью сошел. Температура воздуха 13,5°C, влажность воздуха 6 Гпа (45%), ветер западный, 5 м/с.	Солнечная погода, отметка диска солнца ☼ ² . Облачность в это время составляла не более 3 баллов (Cu, Cu fr), однако воздух был замутнен. Снежный покров полностью сошел. Температура воздуха 11-12°C, влажность воздуха 6,5-7 Гпа (50%), ветер южный, 2 м/с.

В таблице 21.3 приведены результаты измерений суммарной коротковолновой радиации (в диапазоне 0.3-4.5мкм), видимой (0.4-0.7мкм) и биологически активной УФ-В радиации (короче 315 нм) по маршруту в разные дни. Как видно из таблицы, высота Солнца варьировала от 37.6° до 46.4°. Суммарная коротковолновая радиация по маршруту менялась более, чем на порядок: от 0.067 до 0.687 кВтм⁻². Это связано как с наличием облачного покрова (например, 15 апреля), так и с различными условиями затенения по маршруту в солнечную погоду (например, 22 и 23 апреля).

На рисунке 21.4 приведены результаты измерений суммарной коротковолновой радиации и УФ индексов по маршруту в разные дни. УФ индексы рассчитывались по стандартной методике из данных измерений биологически активной УФ-В радиации (см. таблицу 21.3), приведенной к эритемному спектру действия. Для этого данные нормируются на величину 25 мВтм⁻².

Отчетливо видно, что ослабление суммарной коротковолновой радиации за счет затенения может быть выражено сильнее, чем за счет мощной облачности. Уровень УФ индексов также меняется весьма значительно. Высокие значения УФ индексов (выше 3), требующие защиты, отмечались 23 апреля в городской среде на относительно открытых участках в незатененных условиях. Вариации солнечного излучения 15 апреля, главным образом, связаны с временной и пространственной изменчивостью оптической толщины облаков.

Для оценки количественной характеристики закрытости того или иного места использовались измерения фотокамерой NIKON COOLPIX 995 со специальной насадкой Nikon Fisheye Converter FC-E8 (типа «рыбий глаз»), позволяющей делать снимки с углом зрения 180 градусов, а также программное обеспечение фирмы «Winscanopy 2.4» для обработки этих снимков. В отчетный период снимки были обработаны, и получена важная для нашей цели количественная характеристика степени открытости каждой рассматриваемой точки наблюдения. На рис. 21.5 приведены для сравнения два снимка с разной степенью затененности и рассчитанные характеристики.

Данные по степени открытости для каждой точки приведены в таблице 21.3.

Таблица 21.3. - Результаты измерений 15, 22 и 23 апреля 2011 г.

№ точки	местоположение	Уровень загрязненности, %	15 апреля 2011			22 апреля 2011			23 апреля 2011г.			
			Hsun	УФ-В эритемная радиация, мВтм- 2(эфф)	Суммарная коротковолновая радиация	Hsun, градусы	УФ-В эритемная радиация, мВтм- 2(эфф)	Суммарная коротковолновая радиация(кВтм-2)	Hsun, градусы	УФ-В эритемная радиация, мВтм- 2(эфф)	видимая радиация (кВтм-2)	Суммарная коротковолновая радиация
1	Университетский пр-т, рядом с ул.Менделеева	62	43.9	28.547	0.165	44.9	63.93 3	0.660	37.6	46.213	0.237	0.569
2	Университетский пр-т, рядом с ул.Лебедева после площади	67	44.0	41.277	0.246	45.2	74.98 3	0.717	38.8	48.430	0.246	0.583
3	Комсомольский пр. д. 41, перед 3-ей Фрунзенской ул.	55	44.0	44.979	0.294	45.7	78.82 4	0.736	39.9	29.810	0.039	0.077
4	3-я Фрунзенская ул.	51	43.9	33.634	0.218	45.8	32.62 1	0.093	40.6	47.011	0.250	0.616
5	3-я Фрунзенская ул. На другой стороне.	49	0.0	0.000	0.000	46.1	76.31 9	0.753	41.1	52.549	0.257	0.630
6	Комсомольский пр., дом Медицинской книги	61	0.0	0.000	0.000	46.3	34.16 8	0.069	41.7	28.780	0.034	0.067
7	1-ая Фрунзенская ул.	78	43.8	29.684	0.190	46.4	88.23 2	0.745	42.2	67.691	0.283	0.676
8	1-я Фрунзенская ул. разворот	80	0.0	0.000	0.000	46.4	90.06 9	0.754	0.0	0.000	0.000	0.000
9	Комсомольский пр. около ул. Льва Толстого (д5/2)	65	43.7	16.310	0.101	46.4	78.11 4	0.757	43.0	30.357	0.038	0.073
10	Остоженка д. 37	64	43.5	13.304	0.080	46.4	84.03 4	0.787	43.7	35.738	0.046	0.094
11	ул.Остоженка, д.11, рядом с 1-м Зачатьевским пер.	50	43.2	14.028	0.091	46.3	32.45 4	0.084	44.3	25.342	0.032	0.067

12	Пожарский пер.д.11	31	0.0	0.000	0.000	46.2	17.28 5	0.091	44.6	18.454	0.032	0.073
13	Остоженка, яркий дом после поворота	67	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	45.0	64.128	0.322	0.775
14	Остоженка, Ин.яз	58	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	45.6	69.138	0.289	0.700
15	Комсомольский пр. Около ценкви	81	0.0	0.000	0.000	46.0	89.51 2	0.759	0.0	0.000	0.000	0.000
16	Комсомольский пр. Напротив Медицинской книги	75	0.0	0.000	0.000	45.8	89.34 5	0.760	45.8	73.898	0.291	0.700
17	Университетский-другая сторона	67	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	46.1	66.332	0.278	0.683

Примечание: нули обозначают отсутствие возможности проведения измерений в рассматриваемой точке.

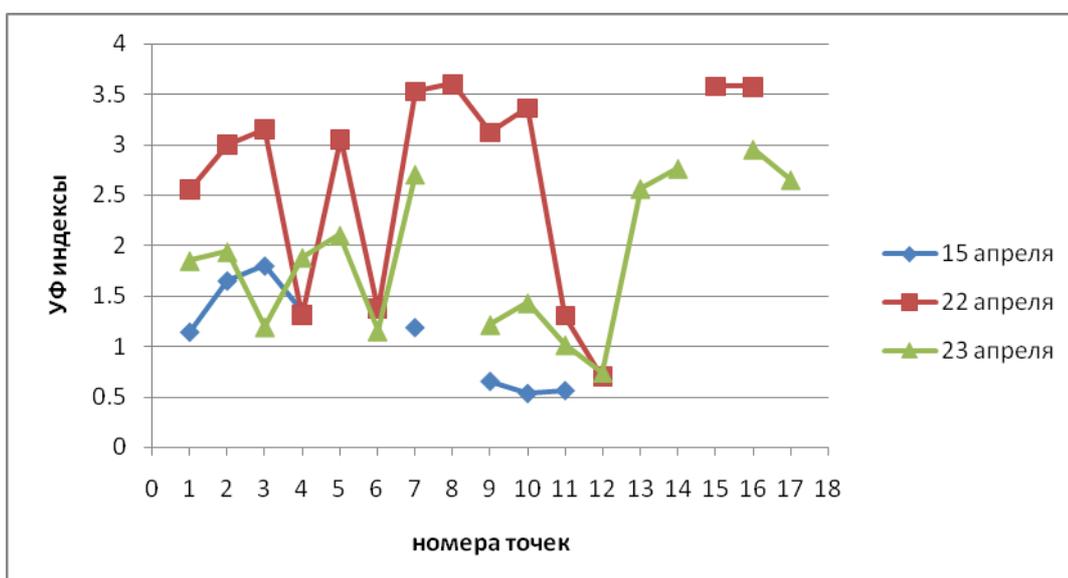
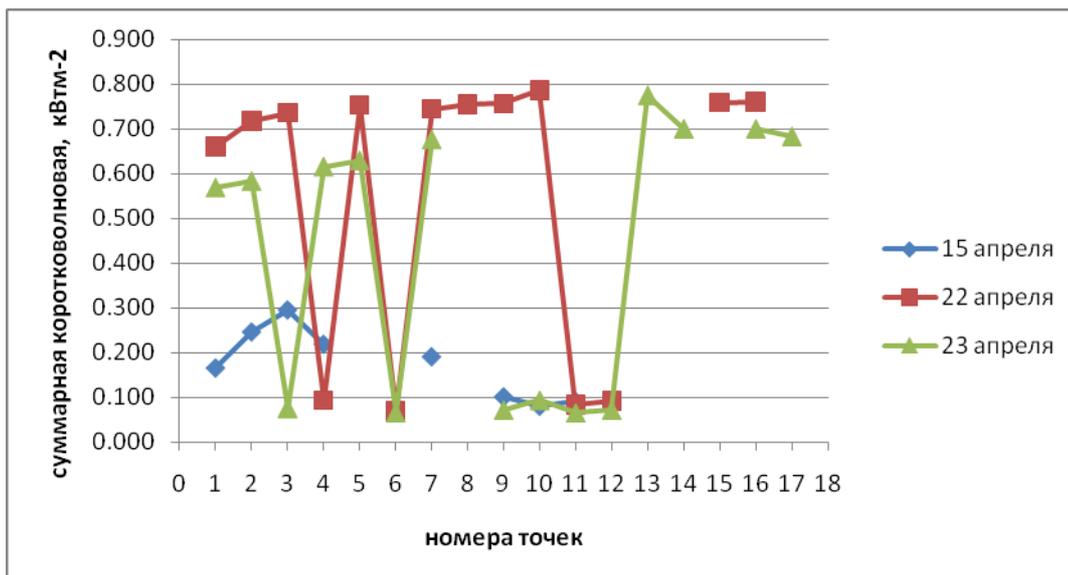


Рисунок 21.4 - Результаты измерений суммарной коротковолновой радиации и УФ индексов по маршруту 15, 22 и 23 апреля 2011 г.



Рисунок 21.5 - Примеры цифровых снимков для 7-ой (1-ая Фрунзенская ул.) и 12-ой точки (Пожарский пер.д.11). Рассчитанная степень открытости равна соответственно 78% и 33%.

Для того, чтобы оценить влияние степени закрытости в той или иной точке маршрута на величину радиации, данные измерений были нормированы на соответствующие данные измерений в Метеорологической обсерватории МГУ ($Q_{\text{маршрут}}/Q_{\text{МОМГУ}}$). Будем называть полученную величину величиной пропускания. Результаты приведены на рис. 21.6. Видно, что в условиях сплошного облачного покрова вариации пропускания гораздо меньше, чем при открытом диске Солнца. Коэффициент вариации пропускания для суммарной коротковолновой радиации соответственно составляет 45, 56 и 70% для 15, 22, 23 апреля. Для УФ-В радиации, вследствие преобладания доли рассеянной радиации в суммарной, коэффициент вариации примерно одинаков и даже несколько выше в облачных условиях (соответственно 42, 39 и 37%).

При ясном небе большую роль в ослаблении радиации играет затененность диска Солнца зданиями или деревьями. Чтобы оценить влияние степени затененности были отобраны отдельно две выборки: выборка с измерениями, когда наблюдались затененные условия (диск Солнца закрыт), и выборка, когда диск Солнца не был экранирован зданиями. В целом, было получено, что для условий затененности наблюдается более высокое пропускание УФ-В радиации, чем для суммарной коротковолновой радиации с эффективной длиной волны в видимой области спектра (рис.21.7). Отметим, что для всех условий коэффициент вариации пропускания УФ-В радиации почти в два раза выше, чем для суммарной коротковолновой радиации. При этом он заметно выше (и для УФ-В и для суммарной коротковолновой радиации) для условий экранированного Солнца - в зоне тени.

Отчетливо видно статистически значимое превышение пропускания УФ-В радиации в условиях затенения, и занижение пропускания в этой области спектра при открытом диске Солнца. Минимальное ослабление за счет затенения для УФ-В радиации объясняется тем, что эффективность рассеяния в этом диапазоне велика и эффекты экранирования прямого излучения не играют большой роли.

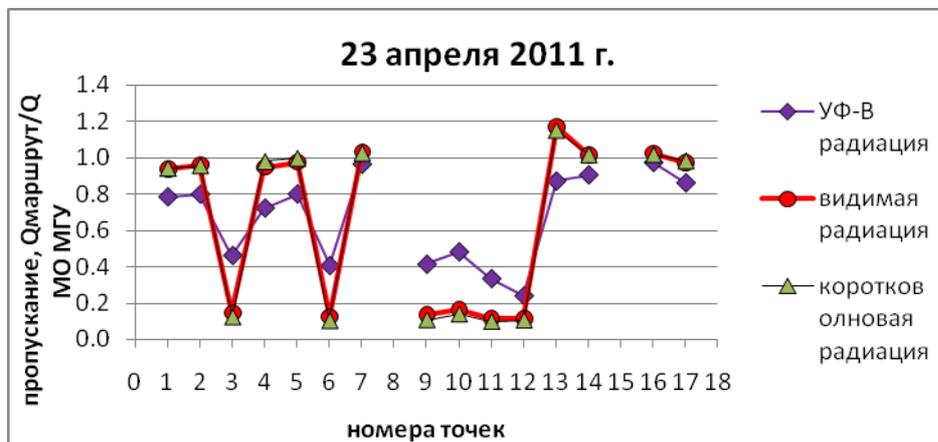
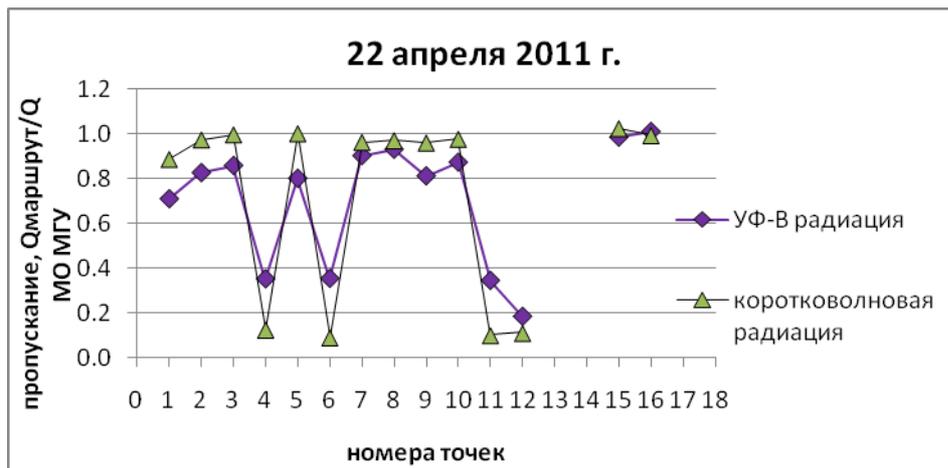
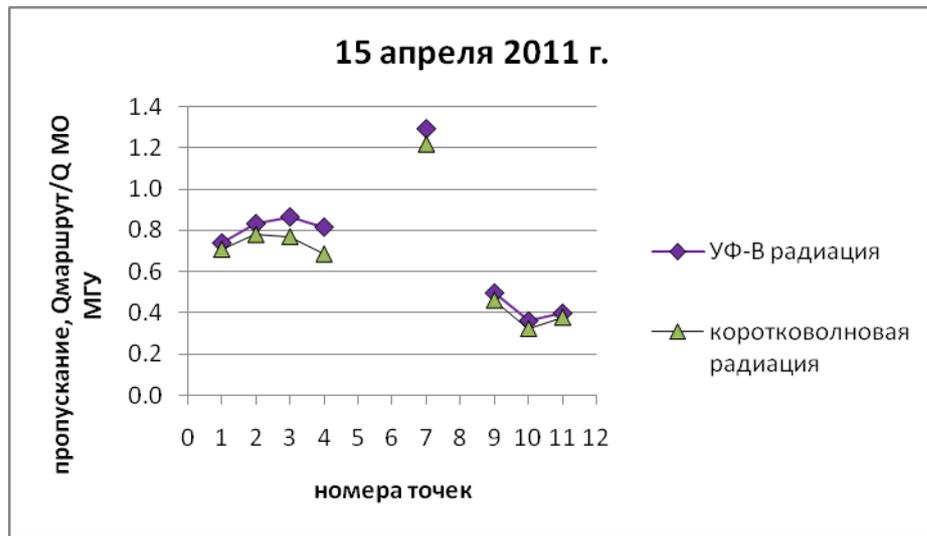


Рисунок 21.6 - Пропускание радиации в различных спектральных диапазонах 15, 22 и 23 апреля 2011г.

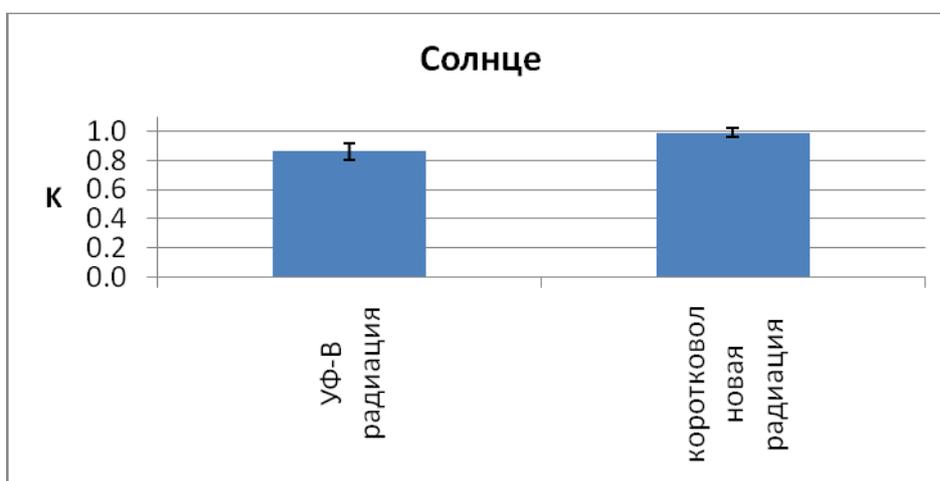
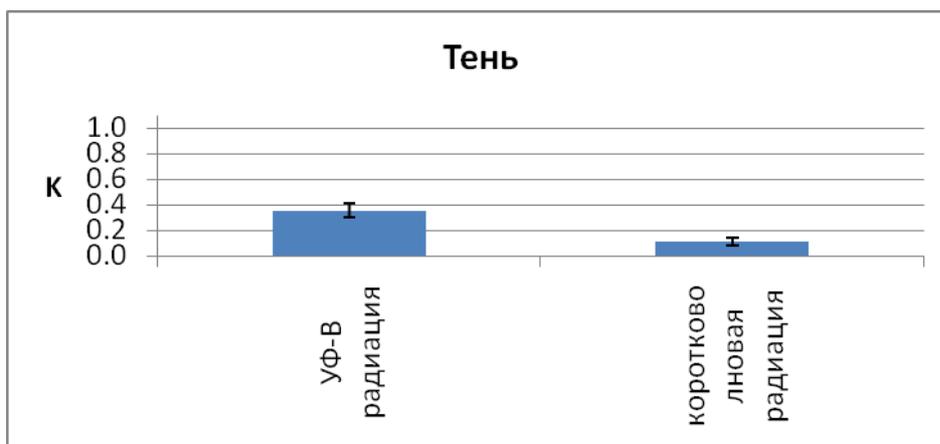


Рисунок 21.7 - Средние значения пропускания в двух спектральных диапазонах с условиях тени от зданий и в условиях, когда диск Солнца не был экранирован. Данные 22, 23 апреля 2011г.

На рисунке 21.8 приведены зависимости пропускания радиации от степени открытости точки измерения. Видно, что существует весьма выраженная связь для УФ-В радиации и ее практически полное отсутствие для суммарной коротковолновой радиации. Для УФ-В радиации связь с пропусканием прослеживается как для теневых точек, так и для точек с открытым Солнцем, что говорит об исключительной важности учета степени затенения при оценках поступления биологически активной УФ-В радиации к поверхности Земли. Для коротковолновой радиации важен только сам фактор затененности точки измерения, и вариациями за счет степени затененности внутри теневой зоны можно пренебречь.

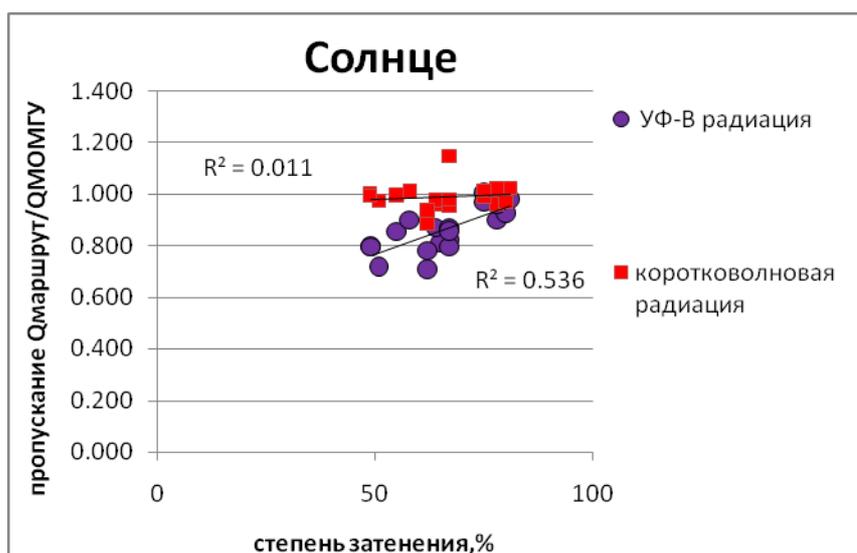
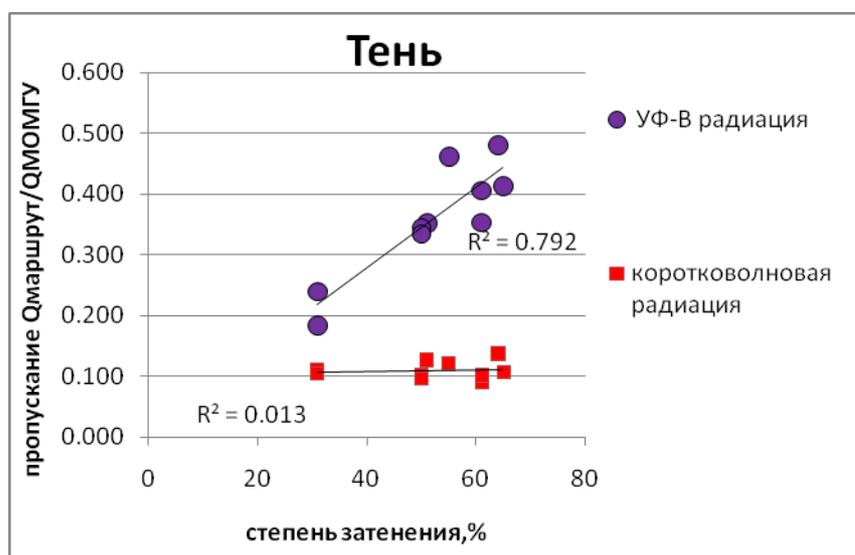


Рисунок 21.8 - Зависимость пропускания радиации от степени затенения для условий открытого Солнца и условий тени.

22. Пространственные закономерности химического состава снежного покрова в Москве и Подмосковье.

Еремина И.Д.

Снежный покров обладает высокой сорбционной способностью и является наиболее информативным объектом при выявлении техногенного загрязнения атмосферы. Исследование состава снежного покрова позволяет решить проблему количественного определения суммарных параметров загрязнения (сухих и влажных выпадений).

В марте 2011 г. был проведен отбор проб сезонного снега в Москве и ближнем Подмосковье. В Москве собрано 23 пробы, в Подмосковье – 16. Все пробы были подвергнуты химическому анализу для определения основных компонентов.

22.1 Методика отбора проб сезонного снега.

Определение параметров загрязнения проводится путем анализа одной сборной пробы, отобранной на маршруте. Основное требование к этой пробе – ее высокая представительность при минимальной массе. Сборная проба должна с заданной точностью характеризовать среднюю концентрацию загрязняющего вещества в месте отбора. Проведено пробное исследование для определения репрезентативности отбора одной пробы. Для этого на площадке около 100 м² отобрали 10 проб сезонного снега. После проведения полного химического анализа установлено, что содержание всех компонентов, за исключением гидрокарбонат-иона, различается в этих пробах незначительно (относительное стандартное отклонение $S=0,06\div 0,10$). Для иона HCO_3^- разброс был несколько выше, вероятно, из-за близко расположенного к месту отбора завода строительных материалов, дающего щелочные выбросы.

Отбор проб проводился в период максимального влагозапаса в снеге, в конце февраля, начале марта. Пробы отбирали на всю толщу снежного покрова стандартным снегосборником длиной 60 см и площадью поперечного сечения 50 см². Затем снег переносили в пластмассовые кюветы и тщательно закрывали.

Пробы на окраинах Москвы отбирали по восьми основным направлениям (север, северо-восток, восток, юго-восток, юг, юго-запад, запад, северо-запад). Кроме этого, собраны 14 проб в пределах третьего транспортного кольца (рис. 22.1).

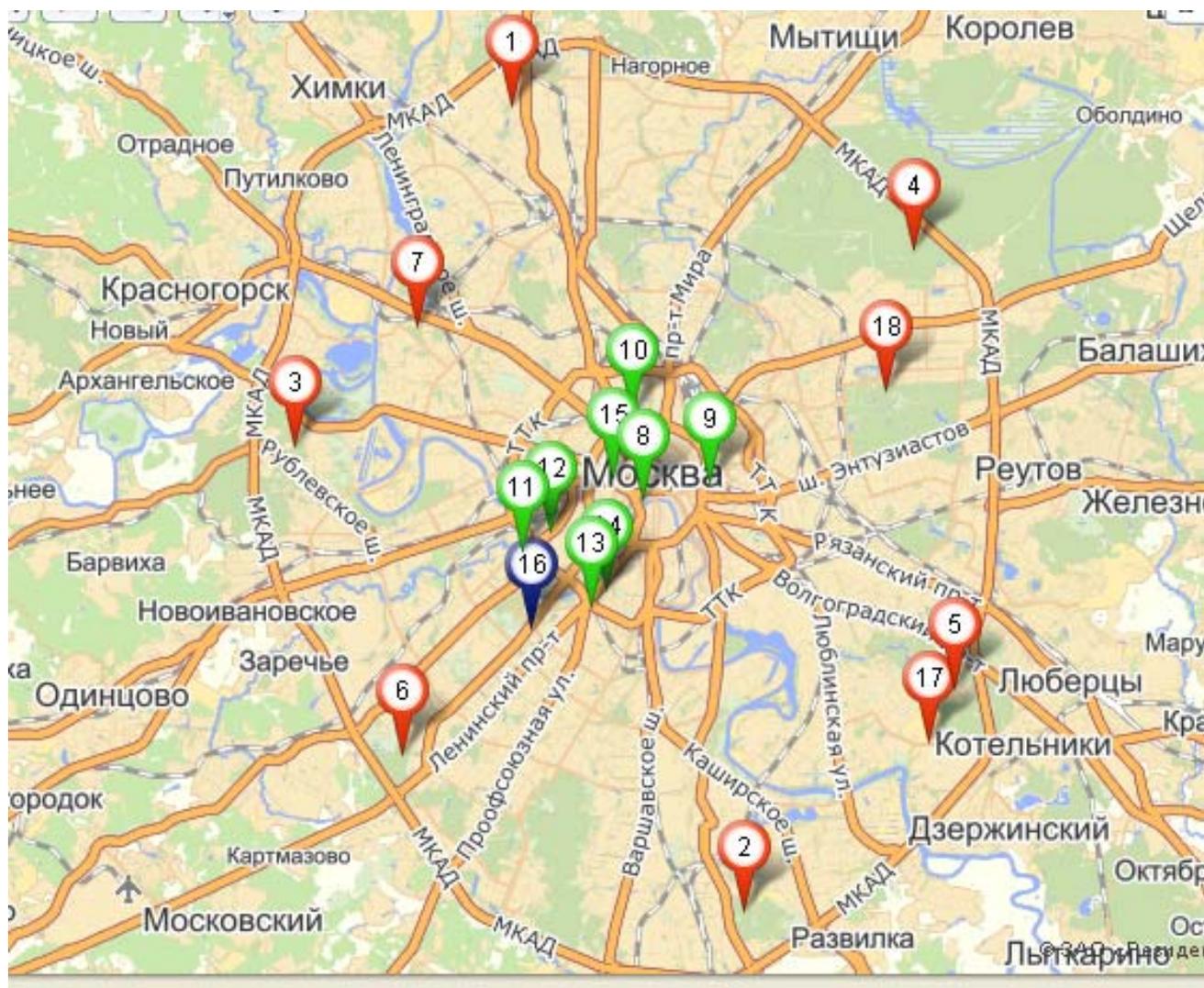


Рисунок 22.1 - Расположение точек отбора сезонного снега в Москве:

1 - ул. Лобненская; 2 - Бирюлевский дендропарк; 3 - Рублевский лес; 4 - Лосиный остров; 5 - лесопарк Кузьминки; 6 - парк Тропарево; 7 - ул.Щукинская; 8 - Болотная площадь; 9 - Полуярославская набережная; 10 - Детский парк на ул. Делегатской; 11, 12 - сквер у Новодевичьего монастыря; 13,14 - Нескучный сад; 15 - ул Поварская; 16 - просп.Вернадского (6 проб); 17 - лесопарк Кузьминки вблизи Капотни; 18 - Измайловский парк.

В Подмоскowie отбор проводили по четырем направлениям на расстоянии примерно 5, 15, 25 и 40 км от МКАД (табл. 22.1). Такое распределение мест отбора проб позволяет составить представление о пространственном распределении загрязнения снежного покрова в городе и области. Можно также выявить зависимость загрязнения проб от направления преобладающих ветров, проследить влияние локальных источников загрязнения внутри мегаполиса и оценить его влияние на загрязнение окрестностей.

Таблица 22.1 - Расположение пунктов отбора проб снега в Подмоскowie

№	Пункт отбора	Направление от Москвы	Расстояние от Москвы, км
1	д. Афанасово	С	5
2	д. Федоскино	С	15
3	д. Трудовая-Северная	С	25
4	д. Целеево	С	40
5	г. Балашиха	В	5
6	д. Щемилово	В	16
7	д. Обухово	В	25
8	г. Ногинск	В	40
9	п. Щербинка	Ю	8
10	г. Климовск	Ю	25
11	д. Детково	Ю	40
12	д. Чепелево	Ю	50
13	п. Новый	З	5
14	д. Желябино	З	15
15	д. Снегири	З	25
16	д. Сафонтьево	З	40

Снег собирали в местах, исключая прямое влияние человека. В черте Москвы отбор проб проводили на территориях лесопарков и скверов. За чертой города пробы отбирали в лесных массивах, на открытом месте, в удалении от населенных пунктов. Для исключения влияния автотранспорта все пробы отбирали на расстоянии не менее чем 50–100 м от автодорог.

Химический анализ проб снега проводили в химической лаборатории метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ). Подготовка к анализу проб включала оттаивание их при комнатной температуре. В пробах определяли концентрации основных компонентов ионного состава атмосферных осадков: анионов сульфатов (SO_4^{2-}), гидрокарбонатов (HCO_3^-), хлоридов (Cl^-), нитратов (NO_3^-), а также катионов кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}), натрия (Na^+), калия (K^+) и аммония (NH_4^+). Кислотность проб определяли по показателю рН.

Концентрации HCO_3^- и рН пробы измеряли сразу после подготовки пробы, так как величина рН и концентрация ионов HCO_3^- могут довольно значительно изменяться при длительном хранении пробы. Значение рН и концентрацию гидрокарбонатов (потенциометрическое титрование с соляной кислотой) определяли на приборе иономер «Эксперт -001» («Эконикс», РФ). Содержание катионов кальция, магния, натрия, калия определяли методом атомной абсорбции в лаборатории географического факультета МГУ, концентрацию сульфатов, хлоридов, нитратов и аммония – с помощью проточно-инжекционного анализа на приборе «Tecator-Soctrade» (Швеция) со спектрофотометрическим детектированием по методикам, специально разработанным для анализа атмосферных осадков.

14.2 Результаты и их обсуждение.

Все собранные пробы снежного покрова сезона 2010-2011 гг. можно поделить на 4 группы по месту отбора:

1. Центр Москвы (примерно в пределах ТТК)
2. Окраины Москвы (скверы, лесопарки и т.п.)
3. Подмосковье (по 4 пробы по 4 основным направлениям).
4. МО МГУ

Если рассчитать средние значения минерализации и отдельных ионов для всех групп собранных проб, получается, что самые чистые пробы собраны в метеообсерватории МГУ, а самые грязные, естественно, в центре Москвы (табл.22.2).

Для сравнения в таблице приведены и осредненные данные по единичным пробам, собранным в течение этого же зимнего сезона 2010-2011 гг. Надо только учитывать, что в МО МГУ – только влажные выпадения, а сезонный снег – это снегопады плюс сухое осаждение аэрозолей. Интересно, что по содержанию некоторых ионов и минерализации осредненные данные по единичным пробам ближе получились к подмосковным пробам, а не к сезонным в МО МГУ. Похоже, что в лежащем снеге происходит сток определенных ионов при выпадении загрязненных отдельных проб. Но различия эти все же невелики. И все-таки район метеообсерватории – чистый район Москвы!

Все собранные пробы снежного покрова по кислотности были нейтральными и равновесными, значение рН изменялось в пределах 5.1 – 7.3, т.е. кислотных проб не было. Диапазон значений рН для Подмосковья и окраины Москвы близ МКАД составил от 5,1 до 6,7 рН, среднее 5,9. В центре Москвы снег был более загрязненным и значения рН были выше – от 6,7 до 7,3, среднее 6,9 рН.

Таблица 22.2. Состав проб снега в разных районах сбора

	Концентрация ионов, мг/л										
	рН	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	Ca	Mg	Na	K	NH ₄	сумма ионов
МОСКВА (Центр) (14 проб)	6.89	7.2	7.4	23.1	2.54	12.5	0.54	5.47	0.63	0.82	60.2
МОСКВА (окраины) (9 проб)	6.48	4.4	4.3	2.9	2.22	2.8	0.37	0.90	0.88	0.94	19.6
Подмосковье	5.72	2.7	2.4	3.8	2.20	2.2	0.23	2.00	0.27	0.34	16.1

(16 проб)											
МО МГУ (2 пробы)	6.40	1.6	3.2	2.5	1.75	3.0	0.06	0.28	0.06	0.44	12.8
Средние МО МГУ (единичные) (64 пробы)	5.30	2.1	3.7	3.8	2.03	3.2	0.11	0.58	0.16	0.85	16.5

Рассмотрим особенности состава снежного покрова внутри каждой группы.

Пробы в Подмосковье отбирались по четырем направлениям. В табл. 22.3 представлены средние арифметические значения суммарного показателя – минерализации – всех проб, осредненных по направлениям и по расстояниям от Москвы.

Таблица 22.3. Минерализация проб, собранных в Подмосковье, в зависимости от направления и расстояния от Москвы

	Минерализация проб, мг/л				Среднее по направлению
	5 км	15 км	25 км	40 км	
С	7.8	5.4	5.4	6.3	6.2
В	18.9	6.6	5.9	10.8	10.6
Ю	33.9	41.8	38.5	27.2	35.4
З	18.7	10.7	10.9	9.4	12.4
Среднее по расстоянию от Москвы	19.8	16.1	15.2	13.4	

Самое «грязное» направление – южное. На всех точках от 5 до 40 км наблюдаются максимальные значения минерализации проб. Причем, максимальные значения для всех отдельных ионов также относятся к пробам данного направления: сульфаты (5.2 мг/л) на

отметке 5 км, гидрокарбонаты (7.9 мг/л) – на 15 км, хлориды (13.3 мг/л) – на 25 км. Самое чистое направление – северное, минерализация проб невелика даже близ Москвы (7,8 мг/л). На этом направлении собраны пробы с минимальными концентрациями отдельных ионов: хлоридов, магния, натрия (0.5; 0.05 и 0.17 мг/л) на отметке 15 км от Москвы, нитратов (1.6 мг/л) – на 25 км. Восточное и западное направления – тоже довольно чистые, на отметке 25 км на запад от Москвы собрана проба с минимальным содержанием сульфатов (0.8 мг/л). Для востока и запада только на отметке 5 км минерализация близка к средней минерализации проб холодного периода, а при удалении от Москвы пробы снега загрязнены еще меньше. При осреднении минерализации в зависимости от расстояния наблюдается четкая зависимость – чем дальше от Москвы, тем чище (табл. 22.3).

Когда точка представлена одной пробой, необходимо рассмотреть и разброс концентраций всех ионов (табл. 22.4). Почти по всем параметрам самый большой разброс концентраций наблюдается в пробах, собранных в центре Москвы. Конечно, это опять подтверждает большую загрязненность в центре мегаполиса.

Таблица 22.4. Диапазон концентраций ионов состава сезонных проб в Подмосковье и Москве

	Концентрация ионов, мг/л									
	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	Ca	Mg	Na	K	NH ₄	сумма ионов
<i>Подмосковье</i>										
min	0.0	0.8	0.5	1.63	0.7	0.05	0.17	0.06	0.03	5.4
max	7.9	5.2	13.3	3.11	4.80	0.76	8.00	1.00	0.66	41.8
Δ	7,9	4,4	12,8	1,48	4,1	0,71	7,83	0,94	0,63	36,4
<i>Москва (окраины)</i>										
min	2.0	2.2	1.6	0.68	1.7	0.20	0.64	0.20	0.68	13.4
max	9.9	7.7	6.1	3.65	5.4	0.82	1.48	2.54	1.40	33.2
Δ	7,9	5,5	4,5	2,97	3,7	0,62	0,84	2,34	0,72	19,8
<i>Москва (центр)</i>										

min	4.0	1.6	6.8	1.83	5.1	0.26	1.51	0.20	0.49	24.6
max	13.0	19.5	75.0	4.75	34.0	1.00	22.50	1.60	1.13	169.7
Δ	9,0	17,9	68,2	2,92	28,9	0,74	20,99	1,40	0,64	145,1

Особенно грязный снег был собран на газоне близ Нового Арбата и в сквере около Детского Музыкального театра на проспекте Вернадского на расстоянии 5-7 м от дороги. Здесь собраны пробы с максимальными концентрациями всех ионов для центра Москвы. На проспекте Вернадского были собраны 6 проб на различном расстоянии от проезжей части – 5, 10 и 25 м (по 2 параллельные). Результаты представлены в табл.22.5. Видно, что при удалении от дороги почти все концентрации ионов в пробах уменьшаются. Причем, настолько резко, что на отметке 25 м от проспекта Вернадского собраны самые чистые пробы снега по центру Москвы.

Таблица 22.5. Средние концентрации ионов в пробах снега при удалении от дороги на проспекте Вернадского.

Расстояние от дороги	Концентрации ионов, мг/л									сумма ионов
	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	Ca	Mg	Na	K	NH ₄	
5 м	11,6	8,5	55,9	2,5	32,0	1,9	16,4	0,9	0,8	119,0
10 м	7,2	2,8	20,1	1,9	9,2	0,4	5,5	0,3	0,6	47,5
25 м	4,9	3,7	7,4	2,0	5,3	0,3	1,7	0,3	0,8	26,0

Для окраины Москвы и Подмосковья диапазон концентраций практически всех ионов меньше по сравнению с центром Москвы (табл.22.4). А между собой концентрации ионов и их диапазон изменения для Подмосковья и окраин Москвы довольно близки. Исключение составляет содержание ионов натрия, калия и хлоридов. Можно предположить, что в какую-то из подмосковных проб вблизи автомагистрали попали

антигололедные реагенты, применяемые на дорогах. Повторим, что для Подмосковья все максимальные концентрации ионов наблюдаются в пробах южного направления.

При сравнении состава проб сезонного снега 2011 г. с пробами прошлого года отметим, что многие закономерности повторяются.

Таблица 22.6. Сравнение средних значений сезонных проб снега 2010 и 2011 гг.

Концентрации ионов, мг/л										
	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	Ca	Mg	Na	K	NH ₄	сумма ионов
<i>Подмосковье</i>										
2010	1,1	2,4	3,5	1,5	1,5	0,12	1,8	0,23	0,32	12,4
2011	2,7	2,4	3,8	2,2	2,2	0,23	2,0	0,27	0,34	15,9
<i>Москва (окраины)</i>										
2010	1,1	3,1	1,6	1,5	1,6	0,14	0,44	0,26	0,60	10,4
2011	4,4	4,3	2,9	2,2	2,8	0,37	0,9	0,88	0,94	19,6

Например, самые загрязненные снежные пробы по Подмосковию и в прошлом сезоне собраны в южном направлении, а самые чистые при удалении на север. Однако в этом сезоне загрязненность практически всех проб (по всем направлениям) выше, чем в прошлом сезоне (табл. 22.6). И пробы с московских окраин в 2011 г. почти в 2 раза более загрязненные, чем в прошлом году.

Выводы

- Самые загрязненные пробы сезонного снега собраны в центре Москвы, самые чистые – в Подмосковье и МО МГУ.

- В 2011 г. не получено ни одной кислотной пробы снега. Кислотность всех проб находится в интервале 5,1 – 7,3 рН. В Подмоскowie собраны пробы с наименьшими значениями рН, а в центре Москвы – наибольшими.
- Автомагистрали являются мощным источником загрязнения снега – при удалении от шоссе концентрации ионов в пробах резко уменьшаются, от самых «грязных» до самых чистых.
- При удалении от Москвы загрязненность сезонного снега постепенно уменьшается по всем направлениям.
- По сравнению с прошлым зимним сезоном, в этом году получены более загрязненные пробы снега. Но и в 2010, и в 2011 г. наибольшая минерализация отмечается для проб, собранных в южном направлении Подмоскowie, наименьшая – на север от Москвы.