

**ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ В 2013 г.
ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ МГУ**

**МОСКВА МАКС Пресс, 2014
ISBN 978-5-317-04763-4**

**Environmental and climate characteristics
of the atmosphere in 2013
according to the measurements
of the Meteorological Observatory
of Moscow State University**



MOSCOW – 2014

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

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ имени А.М. ОБУХОВА РАН

**ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ В 2013 г.
ПО ДАННЫМ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ МГУ**

Коллектив авторов:

И.Б. Беликов, Е.В. Горбаренко, И.Д. Еремина, Е.Ю. Жданова,
П.И. Константинов, И.А. Корнева, М.А. Локощенко, Е.И. Незваль, А.И.
Скороход, С.А. Сократов, Н.Е. Чубарова, О.А. Шиловцева, А.А. Полюхов,
И.Д. Горлова, Ю.Г. Селиверстов, П.Б. Гребенников

Под редакцией Н.Е. Чубаровой



МОСКВА – 2014

УДК 551.5
ББК 26.237
Э40

Коллектив авторов:

И.Б. Беликов, Е.В. Горбаренко, И.Д. Еремина, Е.Ю. Жданова,
П.И. Константинов, И.А. Корнева, М.А. Локощенко, Е.И. Незваль, А.И. Скороход, С.А.
Сократов, Н.Е. Чубарова, О.А. Шиловцева, А.А.Полухов, И.Д. Горлова, Ю.Г.
Селиверстов, П.Б. Гребенников

Под редакцией Н.Е. Чубаровой

**Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2013 г. по
данным метеорологической обсерватории МГУ/ Беликов И.Б. и др.;**
Э40 Под ред. Чубаровой Н.Е. – М.: МАКС Пресс, 2014. – 168 с.
ISBN 978-5-317-04763-4

В данной публикации приведены основные закономерности изменения различных характеристик атмосферы в 2013 году по данным метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ). Выявлены особенности метеорологического и радиационного режима атмосферы, анализируется газовый состав атмосферного воздуха, характеристики атмосферных аэрозолей, химический состав осадков. Во второй части приведены результаты методических исследований по изменению закрытости горизонта на площадке МО МГУ и предварительного анализа изотопного состава снега в рамках научной программы МАГАТЭ.

УДК 551.5
ББК 26.237

Authors:

I. B. Belikov, Ye. V. Gorbarenko, I.D. Eremina, Ye.Yu.Zhdanova,
P.I. Konstantinov, I.A.Korneva, M.A. Lokoshchenko, Ye.I. Nezval', A.I. Skorokhod,
S.A.Sokratov, N.Ye. Chubarova, O.A. Shilovtseva, A.A.Poliukhov, I.D.Gorlova,
Yu.G.Seliverstov, P.B.Grebennikov

Edited by N.Ye. Chubarova

**Environmental and climate characteristics of the atmosphere in 2013 according to
the measurements of the Meteorological Observatory of Moscow State University. –**
Moscow, MAKS Press, 2014. – 168 p.

This publication describes the main features of different atmospheric parameters variation in 2013 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 methodological studies of the horizon obscuration at the MOMSU working area and the preliminary isotope analysis of snow within the MAGATE scientific program.

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 978-5-317-04763-4

© Коллектив авторов, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

Об издании. <i>Н.Е. Чубарова</i>	7
--	---

Часть I.

Оценка эколого-климатических характеристик в Москве в 2013 г. по данным метеорологической обсерватории (МО) МГУ	9
--	----------

А. Метеорология

1. Температура и влажность воздуха. <i>П. И. Константинов</i>	10
2. Особенности термического режима грунта. <i>И.А. Корнева</i>	20
3. Промерзание грунта. <i>М.А. Локощенко</i>	28
4. Снежный покров. <i>М.А. Локощенко</i>	36
5. Атмосферные осадки. <i>П. И. Константинов</i>	42
6. Атмосферное давление. <i>П. И. Константинов</i>	47
7. Ветровой режим в нижнем 500-метровом слое. <i>М.А. Локощенко</i>	50
8. Особенности облачного покрова и продолжительности солнечного сияния <i>Е.В. Горбаренко</i>	57

Б. Атмосферная радиация

9. Характеристики прозрачности атмосферы и составляющие радиационного баланса. <i>Е.В. Горбаренко</i>	62
10. Особенности режима фотосинтетически-активной радиации. <i>О.А. Шиловцева</i>	72
11. Световой режим. <i>О.А. Шиловцева</i>	85
12. Особенности прихода УФ радиации 300-380 нм. <i>Е.И. Незваль</i>	95
13. Оценка биологически-активной УФ радиации. <i>Е.Ю. Жданова, Н.Е. Чубарова</i>	113

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

14. Основные аэрозольные характеристики и влагосодержание атмосферы по данным солнечно-небесного фотометра CIMEL сети <i>AERONET Н.Е. Чубарова, А.А. Полюхов, И.Д. Горлова</i>	121
--	-----

15. Химический состав атмосферных осадков. <i>И. Д. Еремина</i>	131
16. Малые газовые и аэрозольные примеси в приземном воздухе. <i>И.Б. Беликов, А.И. Скороход</i>	138

Часть II.

Некоторые результаты методических исследований в МО МГУ..... 153

17. Динамика закрытости горизонта в Метеорологической обсерватории МГУ. <i>О.А. Шиловцева</i>	154
18. Исследования в рамках программы “Стабильные изотопы кислорода и водорода в воде криосферы Северной Евразии” на территории МО МГУ <i>С.А. Сократов, Ю.Г. Селиверстов, П.Б. Гребенников</i>	161

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 имени М.В.Ломоносова (МО МГУ).

Цель данной публикации состоит в оперативном освещении особенностей изменения климатических характеристик г. Москвы в прошедшем 2013 году, их анализе, сопоставлении с результатами измерений в предшествующие годы и выявлении наиболее интересных тенденций в изменении различных метеорологических, радиационных, экологических параметров атмосферы. Во второй части выпуска приводятся результаты методических работ и анализа новых направлений развития обсерватории в содружестве с лабораторией снежных лавин и селей Географического факультета МГУ и лабораторией оценки природных рисков МГУ.

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 при частичной поддержке грантов РФФИ №12-05-00877, № 12-05-31471, №13-05-00956, № 13-05-00461, а также при поддержке Государственного контракта №0604-01/13 с Департаментом природопользования и охраны окружающей среды города Москвы и при поддержке Программ ОНЗ РАН № 12 и Президиума РАН № 4.

Программа наблюдений МО МГУ.

Метеорологическая обсерватория МГУ ($\varphi = 55^{\circ}42'$ с.ш., $\lambda = 37^{\circ}31'$ 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”. 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.

Н.Е. Чубарова

Часть I.

Оценка эколого-климатических характеристик

в Москве в 2013 г.

по данным метеорологической обсерватории (МО) МГУ

1. Температура и влажность воздуха

П.И.Константинов

1.1. Температура воздуха.

Первым и главным обстоятельством, которое следует отметить в обзоре температуры воздуха в 2013 году, является очередная сильная положительная аномалия на годовом масштабе осреднения. Если в 2012-м году особых рекордов температуры отмечено не было, и его запомнили как передышку после жарких 2010 и 2011го, то в прошедшем году ситуация вновь повторилась. Посмотрим на фактический материал – рис. 1.1, который иллюстрирует годовой ход температуры воздуха по данным метеорологической обсерватории МГУ в сравнении с климатическими нормами.

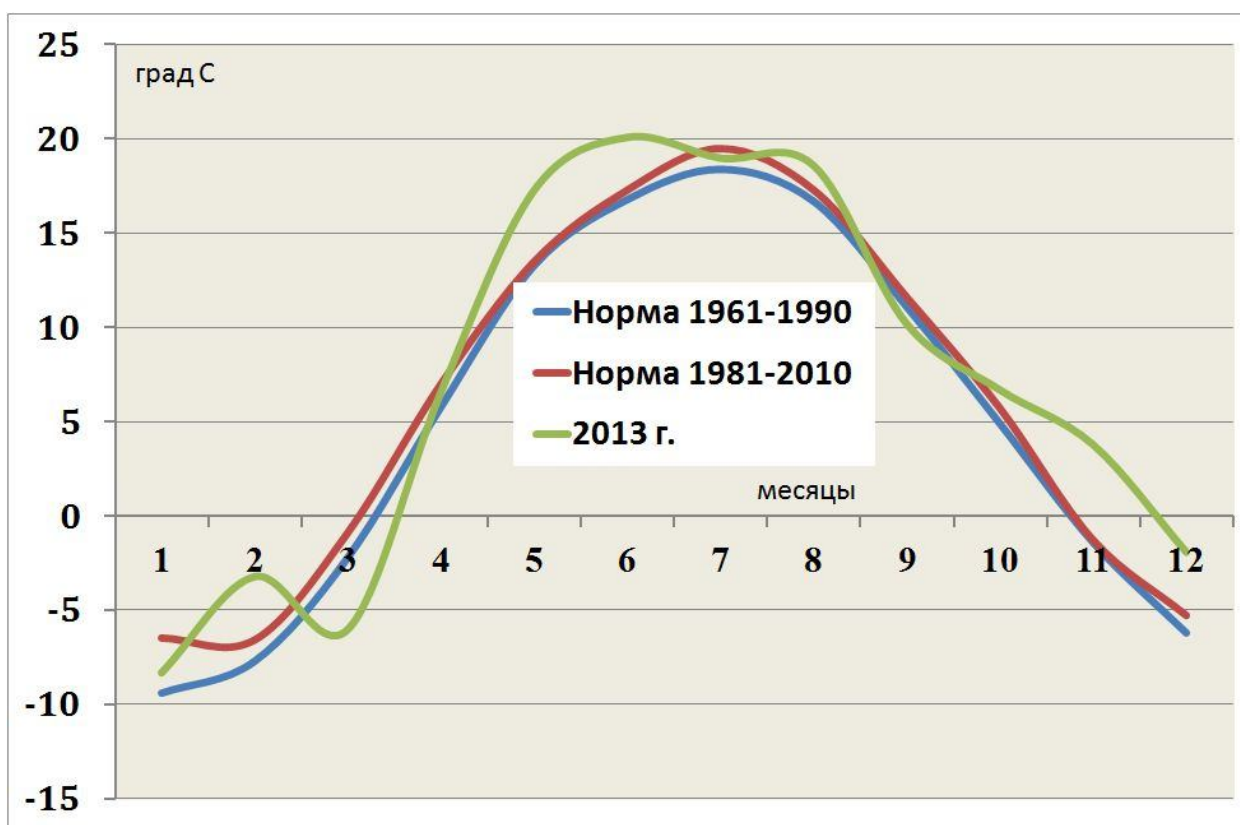
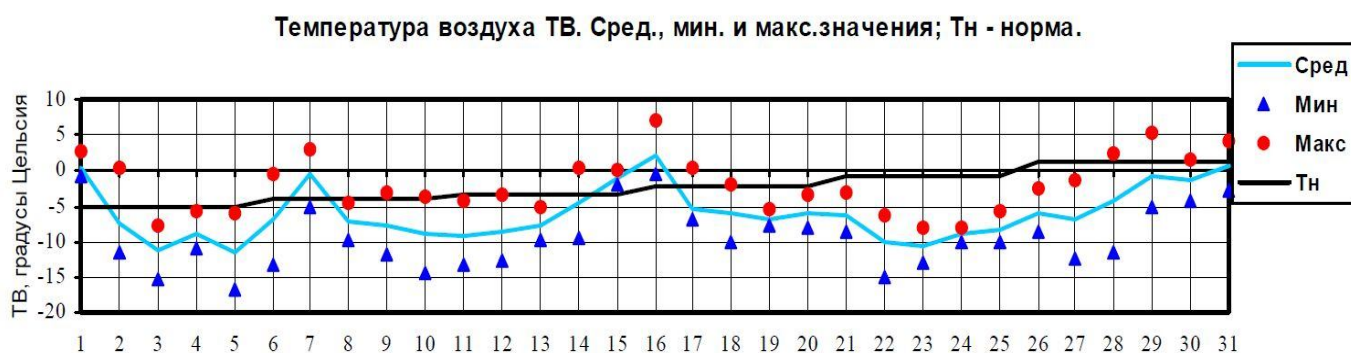


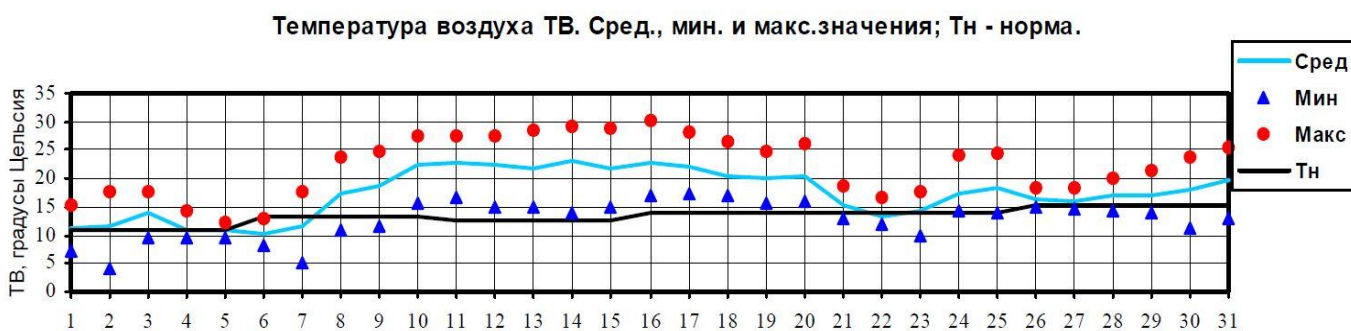
Рисунок 1.1 - Среднемесячная температура воздуха в 2012 года в сравнении с климатическими нормами за 1981-2010 и 1961-1990 годы.

В первой половине года самым ярким событием явилась заметная положительная аномалия февраля - месяц оказался теплее нормы на 4,5(!) градусов С: - -3,2 градуса против климатических -7,8 С. Однако уже в следующем месяце природа компенсировала москвичам этот неожиданный подарок исключительно холодным мартом – отрицательная

на этот раз аномалия составила 3,8 градуса. В конце марта еще держались 12-градусные морозы (рис 1.2 А), что в сочетании с 70-сантиметровыми сугробами заставляло забыть о ранней весне. Апрель был чуть теплее нормы, зато май оказался не только дождливым (выпало 270% от месячной нормы), но и жарким – аномалия со знаком «плюс» составила 4 градуса (рис 1.2 Б). И в итоге весна получилась «в пределах нормы» - ее аномалия составила всего +1 градус! Наглядный пример того, как наложение аномалий разного знака приводит к их нивелированию на более крупных временных отрезках осреднения.



а) март



б) май

Рисунок 1.2 - Суточный ход температуры в марте и мае 2013 года (максимальная за сутки температура отмечена красными точками)

Таблица 1.1 - Среднемесячная температура воздуха в 2013 году и климатическая норма.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средне- сячная температу- ра воздуха 2013 год	-8,3	-3,2	-6,0	6,6	17,3	20,1	19,0	18,6	10,2	6,7	3,8	-1,9	6,9
Абсолют- ный максимум, 2013	1,4	5,4	7,0	21,6	30,1	31,6	30,1	29,9	19,4	15,4	16,1	3,9	31,6
Абсолют- ный минимум, 2013	-16,3	-13,6	-16,8	-4,8	4,2	10,1	10,3	8,2	-1,3	-3,2	-6,5	-15,6	-16,8
Средне- сячная температу- ра (климатиче- ская норма 1961-1990)	-9,4	-7,8	-2,2	5,8	13,3	17,0	18,3	16,7	11,1	4,9	-1,4	-6,2	5,0
Аномалия 2013 год	1,1	4,5	-3,8	0,8	4,0	3,1	0,7	1,9	-0,9	1,8	5,2	4,3	1,9

Из летних месяцев наиболее теплым относительно нормы оказался июнь (аномалия +3,1), да и все лето нельзя признать жарким – выше +31,6 градусов столбики термометров не поднимались. Сентябрь помимо абсолютного рекорда по дождливости (см. главу 5) оказался еще довольно прохладным, октябрь был на 1,8 градуса теплее нормы, а вот финальный аккорд теплой осень – ноябрь стал теплее обычного сразу на 5,2 градуса. Декабрь продолжил эту тенденцию, принесся еще +4,3 градуса в копилку месячных аномалий. Из-за подобных вариаций в среднем годне только оказался более теплым, чем обычно (положительная аномалия составила +1,9°C – за счет опять же, того обстоятельства, что в феврале, мае, ноябре и декабре аномалия температуры превысила четыре градуса со знаком «+»), но и стал самым теплым за последние четыре года, опередив легендарные 2010 и 2011 (см. таблицу 1.2).

Годовая амплитуда температуры, характеризующая различия средних месячных температур в течение года в 2013 году составила 28,4°C в то время, как ее климатическое

значение ,рассчитанное за период1961-1990 гг. составляет 27,8° С. Абсолютная амплитуда температур за 2013 год составила, согласно таблице 1.1, 48,4°С.

Самый теплый месяц 2013 года: июнь (+31,6 С), самый холодный–март(-16,8С).



Рисунок 1.3 - Рабочие во время уборки снега на Пушкинской площади после снегопада 24 марта 2013 года (с) Фото: Глеб Щелкунов / Коммерсантъ

Годовой максимум температуры (+31,6°С) свидетельствует о том, что особо жарким с точки зрения экстремумов температуры, год признать нельзя. Но и сильных холодов зимой также не наблюдалось – самым холодным днем стало 5 марта 2013 года (-16,8°С) .

Таблица 1.2 - Среднегодовые температуры воздуха 2010-2013 год и их сравнение с климатической нормой (1961-1990).

	2010	2011	2012	2013	норма
Среднегодовая температура, град С	6,8	6,8	5,9	6,9	5,0

Рассматривая же внутригодовые тенденции за последние четыре года, каждый из которых отличался от другого как по термическим показателям, так и по показателям увлажнения (рис.1.4), легко отметить, что тенденция теплого периода вполне однозначна –

с апреля по август каждый год отмечается положительная аномалия температуры, которая так же однозначно проявляется еще и в ноябре. Таким образом, представляется возможным утверждать, что в начале 2010х основной вклад в региональное потепление в Московском регионе вносят именно месяцы теплого периода, а не холодного, как было, к примеру, в конце XX века.

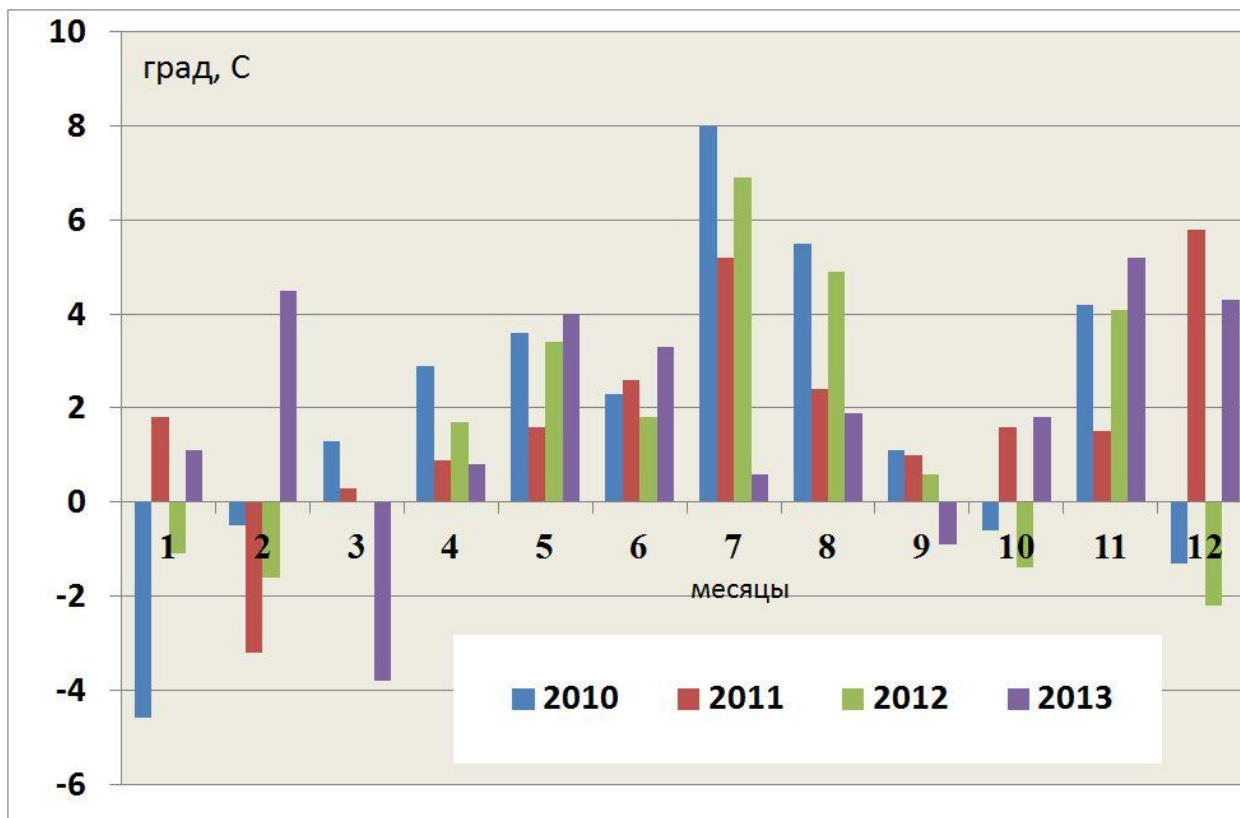


Рисунок 1.4- Среднемесячная аномалия температуры воздуха в 2010, 2011, 2012 и 2013 году.

Ну и наконец, о среднесуточных значениях. Наиболее высокие среднесуточные значения температуры в 2013 году колеблются в интервале от +25 до +26,2°C. 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, это 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, иначе говоря, в среднем, ежегодно отмечается 132,2 перехода температуры воздуха на высоте 2 метров через нулевую отметку. В 2013 году количество таких переходов составило 87 (в 2012 году – 79), что, по-видимому, связано с теплым ноябрем, и холодным мартом.

Продолжительность отопительного периода. В 2013 году продолжительность отопительного периода (период с устойчивым переходом среднесуточной температуры воздуха через 8 градусов в сторону более низких значений) составила 200 дней (для сравнения в прошлом – 2012 и 2011 годах всего 190 дней). Это более похоже на климатическую норму для периода 1981-2010гг, в то время как значения прошлых 2011 и 2012 годов, согласно проведенным исследованиям (Шерстюков, 2005), сходны с ожидаемыми в период 2025-2050 (по климатическим прогнозам). Однако все значения - выше характерной величины для Москвы, которая указана в СНИП-23-01-99 (табл.1.3).

Таблица 1.3 - Среднемесячная температура воздуха в 2013 году и климатическая норма (СНИП-23-01-99)

Период	Продолжительность отопительного периода, дни
СНИП 23-01-99	214 дней
Климат 1981-2010	200 дней
2011 год	190 дней
2012 год	190 дней
2013год	200 дней

1.2. Влажность воздуха.

Как хорошо известно, относительная влажность воздуха является общепринятой мерой влияния влажности воздуха на человеческий организм. Гигиенической нормой являются ее значения в пределах от 30 до 60%. Воздух с относительной влажностью менее 30% оценивается как сухой (Исаев, 2003), до 85% как умеренно влажный, и выше 85% – как сильно влажный. Но для метеорологов относительная влажность является прежде всего консервативной характеристикой в приземном слое атмосферы. Поэтому, с ее помощью довольно удобно судить о насыщенности влагой воздуха не только на уровне 2 метров, но и на более высоких уровнях, особенно в теплый период года.

В рамках данного обзора учитывается средняя месячная влажность, измеренная в 15 часов, как наиболее репрезентативная в течение суток.

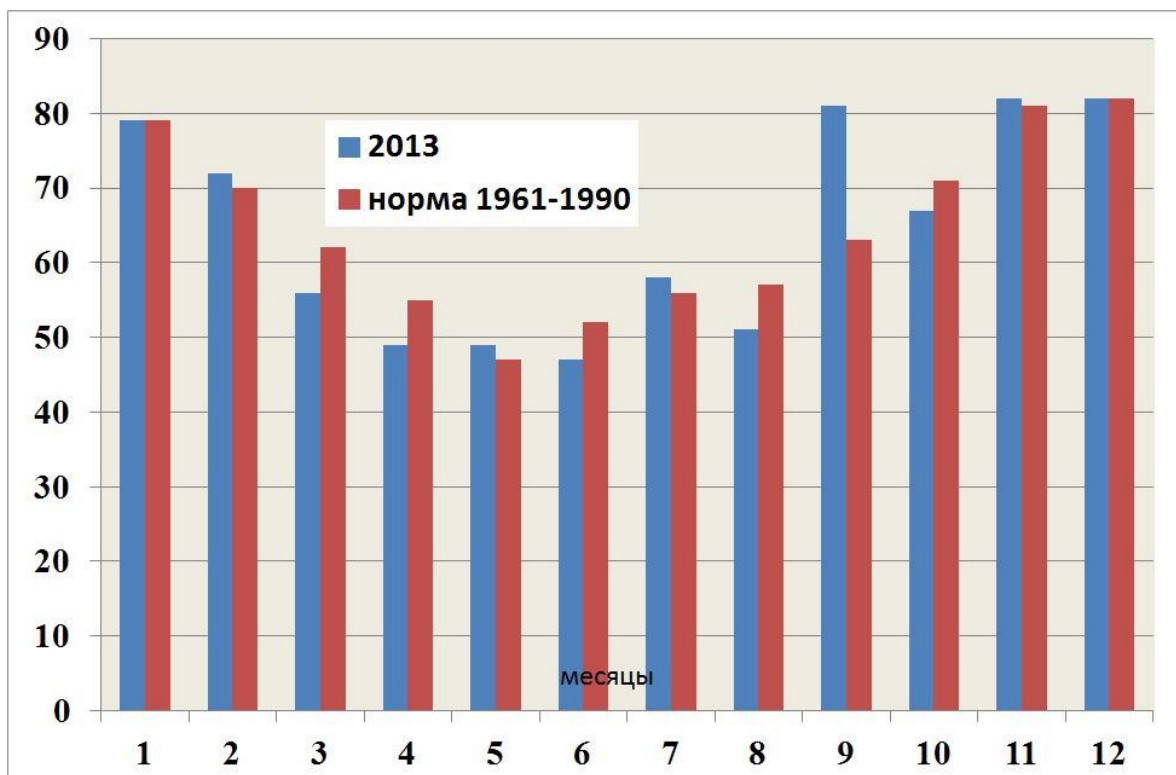


Рисунок. 1.5- Сравнение среднемесячной относительной влажности воздуха в 2013году с климатической нормой

Таблица 1.3 - Среднемесячная относительная влажность воздуха в 2013 году и климатическая норма

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
относительная влажность воздуха, % 2013 год	79	72	56	49	49	47	58	51	81	67	82	82	64
климатическая норма, % 1961-1990	79	70	62	55	47	52	56	57	63	71	81	82	65

На рис.1.5 видно, что в общем, относительная влажность в 2013 году оставалась в рамках климатических значений (Исаев, 2003) – среднегодовое значение параметра чуть менее климатической нормы. Наиболее сухим месяцем с точки зрения относительного влагосодержания стал июнь (47%), наиболее влажным – декабрь (82%). А вот упругость водяного пара показала довольно заметные превышения по сравнению с климатическими значениями (см. рис 1.6 и табл. 1.4)

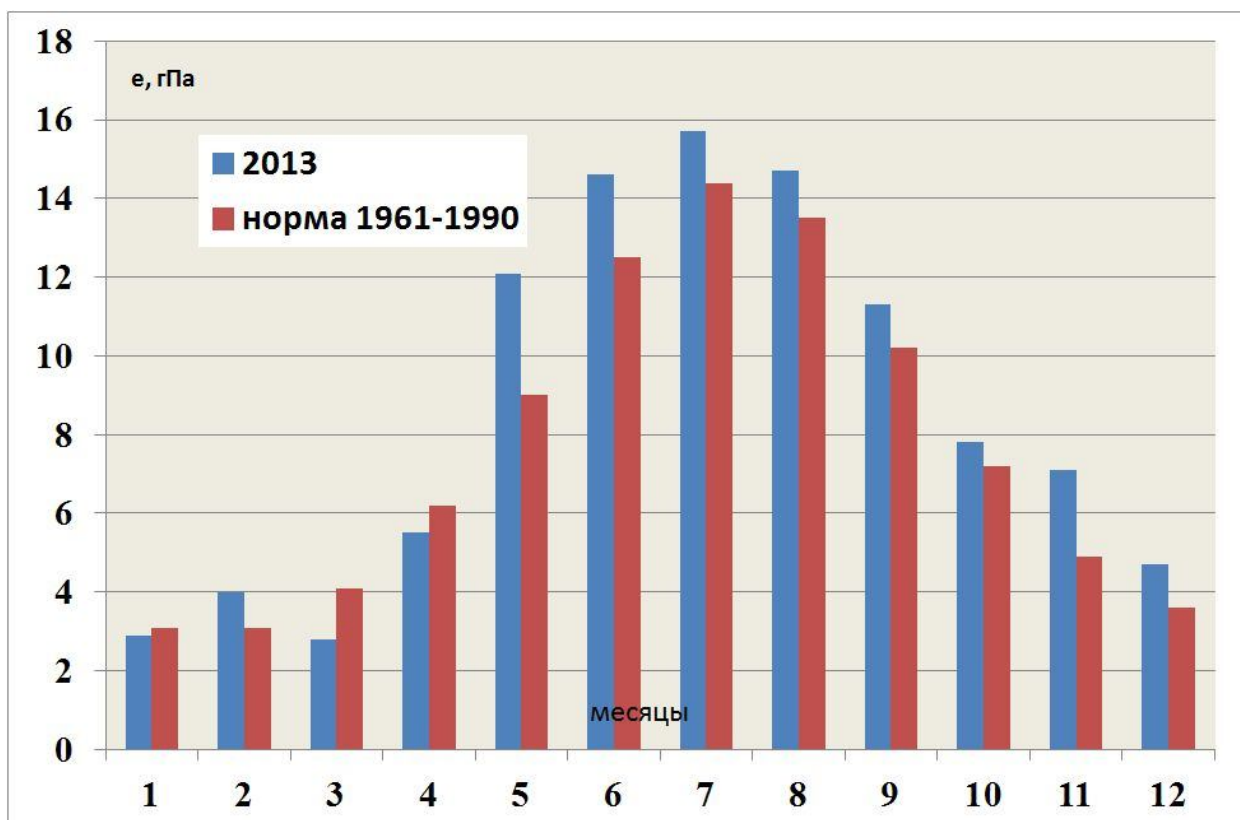


Рисунок. 1.6 - Сравнение среднемесячной упругости водяного пара в 2013 году с климатической нормой.

Таблица 1.4 - Среднемесячная упругость водяного пара в 2013 году и климатическая норма.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Упругость водяного пара, гПа 2013 год	2,9	4,0	2,8	5,5	12,1	14,6	15,7	14,7	11,3	7,8	7,1	4,7	8,6
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	-0,2	0,9	-1,3	0,7	3,1	2,1	1,3	1,2	1,1	0,6	2,2	1,1	0,9

На рисунке 1.6, 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 (что повторяется уже не первый год - Беликов et al., 2013). Вообще за весь год отрицательные аномалии были отмечены только в январе (-0,2) и в марте (-1,3). Последняя объясняется как более низкими температурами, так и высоким количеством атмосферных осадков, хоть и в виде снега.

Положительная годовая аномалия упругости водяного пара составила 0,9 гПа. Для сравнения в 2012 и 2011 годах, которые заметно различались по средней температуре, аномалии были меньше – порядка 0,6 гПа. Это подтверждает предположение о том, что аномалии упругости не столько зависят от температуры воздушных масс, преобладавших в течение года, а от их географического региона образования и количества выпавших атмосферных осадков.

Кратко характеризуя термический и гигрометрический режим 2013 года, следует отметить:

1. 2012 год в целом можно охарактеризовать как самый теплый с 2010 года и один из самых теплых за всю историю наблюдений в МО МГУ вообще
2. Четыре месяца оказались теплее нормы сразу на 4(!) градуса и выше – февраль, май, ноябрь, декабрь.
3. За период 2010-2013 гг, в течение теплого периода года ни разу не отмечалось отрицательной аномалии среднемесячной температуры.

4. Ноябрь стал рекордно теплым за всю историю метеорологических наблюдений в МО МГУ
5. Наиболее заметная отрицательная аномалия наблюдалась в марте (-3,8 С), март оказался холоднее февраля, что также сочеталось с чрезвычайно высокими значениями высот снежного покрова.

Литература

1. Беликов, И., Горбаренко, Е., Ерёмина, И., Жданова, Е., Константинов, П., Корнева, И., Локощенко, М., Незваль, Е., Скороход, А., Чубарова, Н., Шиловцева, О., Шумский, Р., Ахиярова, К., Ремизов, А. *Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2012 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ, под редакцией Н.Е. Чубаровой*. МАКС Пресс Москва, 2013.
2. Справочник эколого-климатических характеристик г.Москвы (по наблюдениям метеорологической обсерватории МГУ) Том 1 под редакцией А.А.Исаева М., изд-во МГУ, 2003.
3. Шерстюков Б.Г. Сценарии климата Московского региона до 2050 г. // Метеорология и гидрология. 2005. №7. С. 26–32.
4. СНИП 23.01.1999

2. Особенности термического режима грунта

И.А. Корнева

2.1. Общие сведения об измерениях температуры грунта в МГУ.

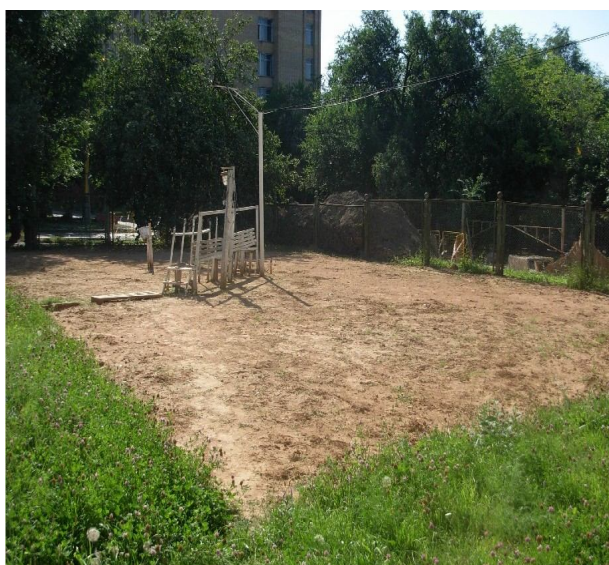
Наряду с основными метеорологическими параметрами (температурой воздуха, давлением, количеством атмосферных осадков и др.) в Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) проводятся также наблюдения за температурой почвы и грунта. Непрерывные наблюдения за термическим режимом грунта здесь ведутся с 1955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

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

Также в МО МГУ проводятся измерения температуры почвы в пахотном слое – от поверхности до глубины 20 см. Измерения производятся здесь точно так же, как и на подстилающей поверхности, единственной их особенностью является коленчатая форма четырёх ртутных термометров Савинова ТМ-5, устанавливаемых вглубь почвы с шагом 5 см (Справочник, 1971). Термометры устанавливаются на специальном обрабатываемом участке с оголённой поверхностью. Данный вид наблюдений является сезонным, с наступлением холодного времени года коленчатые термометры убираются, поскольку при замерзании почвы возможны их повреждения.

Измерения на больших глубинах, начиная с 20 см, производятся с помощью вытяжных почвенно-глубинных термометров на уровнях 20 см, 40 см, 60 см, 80 см, 120 см, 160 см, 240 см и 320 см одновременно на двух участках: с обнажённой поверхностью и под естественным покровом (рис. 2.1). Вытяжной почвенно-глубинный термометр ТПВ-50 состоит из почвенно-глубинного термометра ТМ-10, защитной трубки с наконечником и деревянной палки (Кедролитанский, 1937). Отсчёты по вытяжным термометрам

производятся в дневной срок один раз в сутки, кроме глубин 20 и 40 см, на которых измерения осуществляются в стандартные метеорологические сроки (восемь раз в сутки на участке под естественным покровом и четыре раза – на участке с обнажённой поверхностью). При значительной высоте снежного покрова зимой (более 15 см при его росте и более 5 см при сходе) наблюдения по всем восьми вытяжным термометрам производятся только один раз в сутки (Наставление, 1969). Участок с оголённой поверхностью площадью 12×20 м (рисунок 2.1 а) в МГУ не предусмотрен действующими Наставлениями Росгидромета и является долгосрочным научным экспериментом, начатым ещё в 1955 году – одновременно с основанием Метеорологической обсерватории (Справочник, 2003). Температурный режим здесь воспроизводит условия городских поверхностей, очищаемых зимой от снега: тротуаров, дорожных покрытий и т.п. Такие одновременные измерения температуры грунта на глубинах на двух различных участках являются, по-видимому, уникальными на всей территории Европейской России. Информация о подобных экспериментальных участках, организованных в XIX веке, содержится в работе (Ваннари, 1897).



а)



б)

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

2.2 Основные особенности термического режима грунта в 2013 году.

Рассмотрим термический режим грунта в 2013 году в слое 20–320 см. Под естественным покровом на глубинах от 40 до 320 см среднегодовые значения температуры

грунта (T_r) превышали многолетние средние за весь период наблюдений с 1955 по 2012 гг. на 1,0–1,3 °С (см. табл. 2.1). По сравнению со средними значениями за первые тринадцать лет XXI века, T_r в 2013 году была выше на 0,5–0,7 °С, а по сравнению с предыдущим относительно тёплым 2012 годом – на 0,1–0,3 °С. Наибольшая разность по сравнению со средними многолетними под естественным покровом отмечается на глубине 20 см, где в 2013 году значение T_r в среднем за год достигло +9,4 °С, что на 1,8 °С и на 1,1 °С больше, чем в среднем за периоды 1955–2012 гг. и 2000–2012 гг. соответственно. Такое высокое значение T_r связано с обогревающим влиянием мощного и продолжительного снежного покрова, наблюдавшегося в 2013 году.

Превышение значений T_r на оголённом участке по сравнению со средними многолетними за 1955–2012 гг. на протяжении всего профиля составляет +0,8–1,2 °С. В отличие от естественной поверхности, T_r под оголённой поверхностью в 2013 году была ниже, чем за период 2000–2012 гг. на всех глубинах в среднем на 0,3–0,4 °С. Это, вероятно, связано с погодными особенностями 2013 года, а именно с продолжительным промерзанием, наблюдавшимся вплоть до конца апреля – начала мая, а также с относительно холодной погодой во второй половине лета и осенью.

Таблица 2.1 - Среднегодовая температура грунта в МГУ на различных глубинах за 2010, 2011, 2012 гг. и в среднем за период 1955-2012 гг.

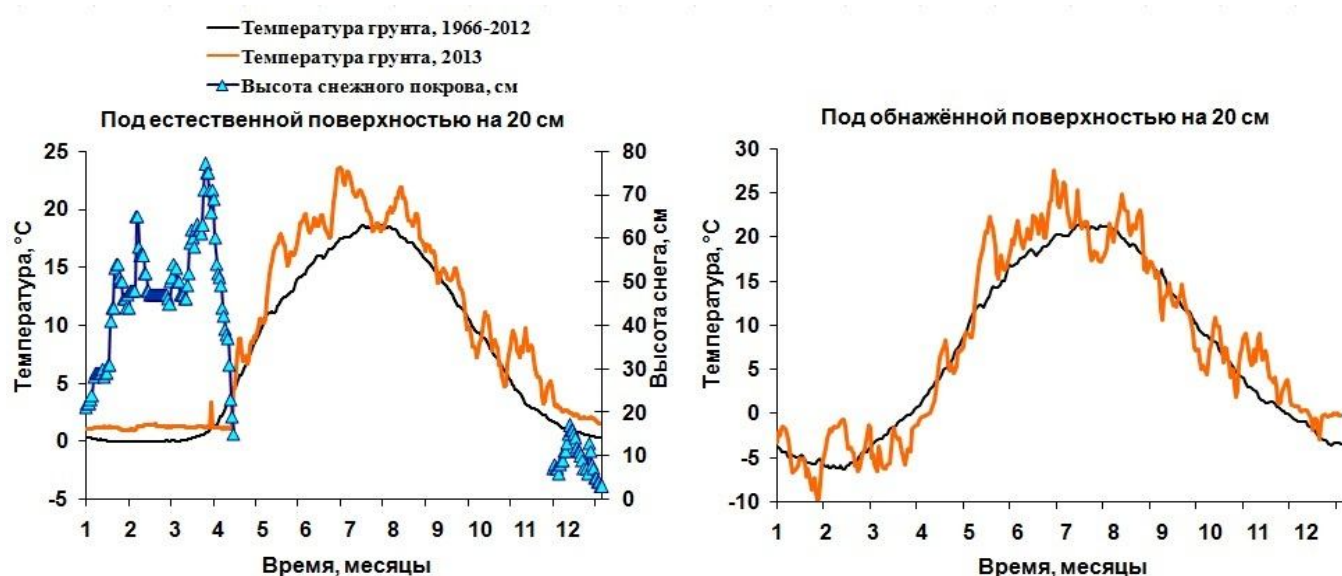
Участок под естественным покровом					Участок под оголённой поверхностью				
Глубина, см	1955-2012	2000-2012	2012	2013	Глубина, см	1955-2012	2000-2012	2012	2013
20	7,6	8,3	9,3	9,4	20	6,7	8,0	7,7	7,9
40	7,6	8,2	8,8	8,9	40	6,6	8,1	7,2	7,7
60	7,6	8,1	8,5	8,8	60	6,7	8,0	7,5	7,6
80	7,6	8,2	8,5	8,8	80	6,8	8,0	7,7	7,7
120	7,6	8,1	8,4	8,7	120	7,0	8,2	8,0	7,8
160	7,7	8,3	8,6	8,8	160	7,5	8,5	8,4	8,1
240	7,6	8,2	8,6	8,8	240	8,1	9,6	9,1	8,9
320	7,7	8,1	8,5	8,7	320	8,8	10,0	10,0	9,7

Рассмотрим более подробно особенности годового хода температуры грунта в сравнении разного типа поверхности на глубинах 20 и 160 см в 2013 г. (рис. 2.2). На уровне 20 см (рис. 2.2 а) температура почвы обладает наибольшей изменчивостью по сравнению с

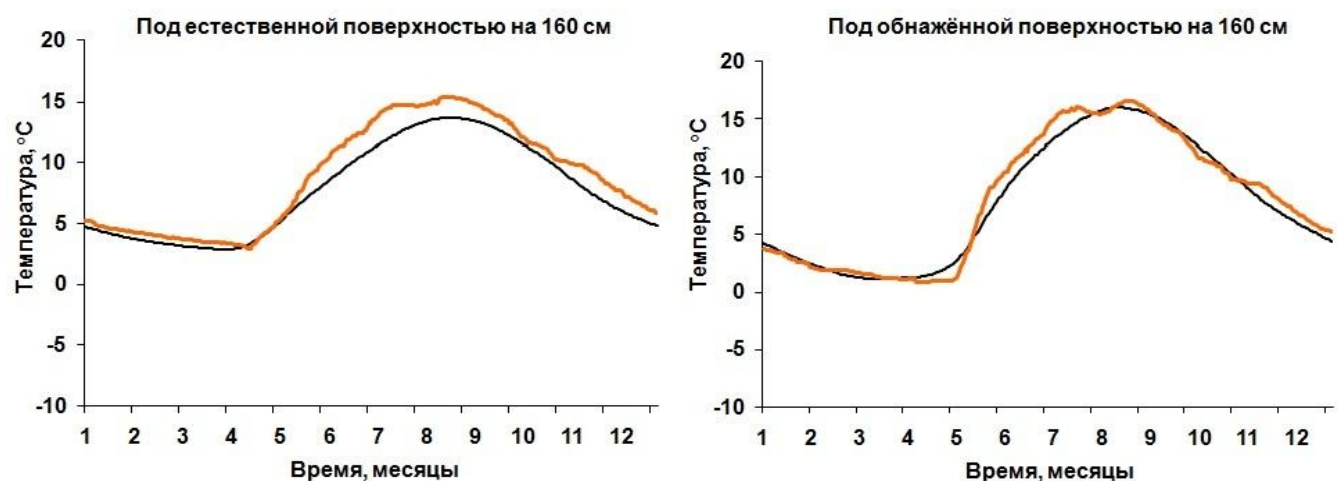
более глубокими слоями, благодаря более сильному влиянию состояния подстилающей поверхности. Поэтому годовой ход на этой глубине под естественным покровом и оголённой поверхностью существенно отличается. Под естественной поверхностью абсолютная амплитуда годового хода в 2013 г. составляла 22,6 °С (при среднем многолетнем значении 18,6 °С за период 1966–2012 гг.), в то время как под оголённой поверхностью она достигала 37,5 °С (при среднем многолетнем значении 27,8 °С) благодаря отсутствию здесь теплоизолирующего слоя в верхних горизонтах (снежного покрова зимой и слоя дернины, а также травяного покрова летом). Характерной особенностью в распределении температуры на данной глубине под естественной поверхностью является то, что с января по середину апреля она оставалась практически постоянной. Это явление связано с наличием устойчивого снежного покрова в эти месяцы, который препятствует выхолаживанию почвы в зимний период и нагреву в весенний период. Зима 2013 года в Москве была одной из самых снежных за всю историю метеонаблюдений (максимальная высота снега достигла 77 см 26 марта), что существенно сказалось на термическом режиме почвы и грунта. На рис. 2.2 а) отчётливо видно, что сразу после схода снежного покрова 15 апреля 2013 г., произошло резкое увеличение температуры грунта (на 8 °С за 10 дней). Рост T_r на глубине 20 см весной 2013 г. начался примерно на месяц позже, чем в среднем за 1966–2012 гг. Ещё одной отличительной особенностью этого года является довольно жаркая погода в период с середины мая до середины июля, в результате чего T_r в эти месяцы превышала средние многолетние значения вплоть до 6 °С. Октябрь 2013 года характеризовался очень переменной погодой, с чередованием волн холода и тепла, что также очень ярко проявилось и в распределении T_r , которая в начале и конце октября была ниже средних многолетних значений на 1–1,5 °С, а в середине месяца наоборот превышала их примерно на ту же величину. Аномально тёплые ноябрь и декабрь, причём ноябрь был одним из самых тёплых за всю историю метеонаблюдений за температурой воздуха, привели к высоким значениям T_r в эти месяцы – превышение над средними многолетними составило 5–5,5 °С в ноябре и 1,5–2 °С в декабре.

Оголённый участок в зимний период ежедневно очищается от снега, поэтому здесь на глубине 20 см наблюдаются отрицательные температуры грунта (рис. 2.2 а). В частности, очень ярко выражена аномалия температуры в феврале, который стал 3-м самым тёплым февралём в истории метеонаблюдений по данным о температуре воздуха. Превышение T_r

над средним многолетним значением в этом месяце достигло $4,7^{\circ}\text{C}$. В отличие от февраля, март 2013 года был очень холодным (со средней температурой воздуха $-6,7^{\circ}\text{C}$, что на 4°C ниже нормы), что привело к довольно низким значениям $T_{\text{г}}$ на оголённом участке – 23 марта $T_{\text{г}}$ на глубине 20 см понизилась до $-5,7^{\circ}\text{C}$. В летний период на глубине 20 см в годовом ходе $T_{\text{г}}$ отчётливо выделяется значительное понижение в первой декаде августа, которое было связано с адвекцией холодного воздуха на территорию Центральной России в начале месяца, что привело к падению $T_{\text{г}}$ на 7°C за 8 дней (в свою очередь под естественным покровом $T_{\text{г}}$ понизилась всего на $2,4^{\circ}\text{C}$).



а)



б)

Рисунок 2.2 - Годовой ход температуры грунта под естественным и оголённым участками за 2013 г. и в среднем за период 1966–2012 гг. на глубине: а) 20 см; б) 160 см.

На глубине 160 см, как под естественным, так и под оголённым участком (рис. 2.2 б) температура грунта в среднем за 2013 год была выше, чем за период 1966–2012 гг. Однако, например, влияние холодного марта и позднего окончания зимы проявилось на обоих участках. Так, с учётом запаздывания с глубиной, минимум в годовом ходе на участке с естественным покровом наблюдался 15 апреля (2,9 °С), а на участке с оголённой поверхностью – 9 апреля, составив 0,8 °С, и данное значение на этом участке оставалось практически неизменным вплоть до 17 апреля. Стоит отметить, что T_r под оголённой поверхностью оставалась ниже средних многолетних значений вплоть до начала мая, что по-видимому связано с охлаждающим влиянием промёрзшего грунта и последующим его оттаиванием. Отрицательные аномалии августа и сентября проявились на этой глубине в основном под оголённым участком, где значения T_r были в пределах среднего за период с 1966 по 2012 гг. или немного ниже – на 0,3–0,5 °С. Абсолютная амплитуда годового хода в 2013 году на уровне 160 см составила 12,4 °С под естественным покровом и 15,8 °С под обнажённой поверхностью.

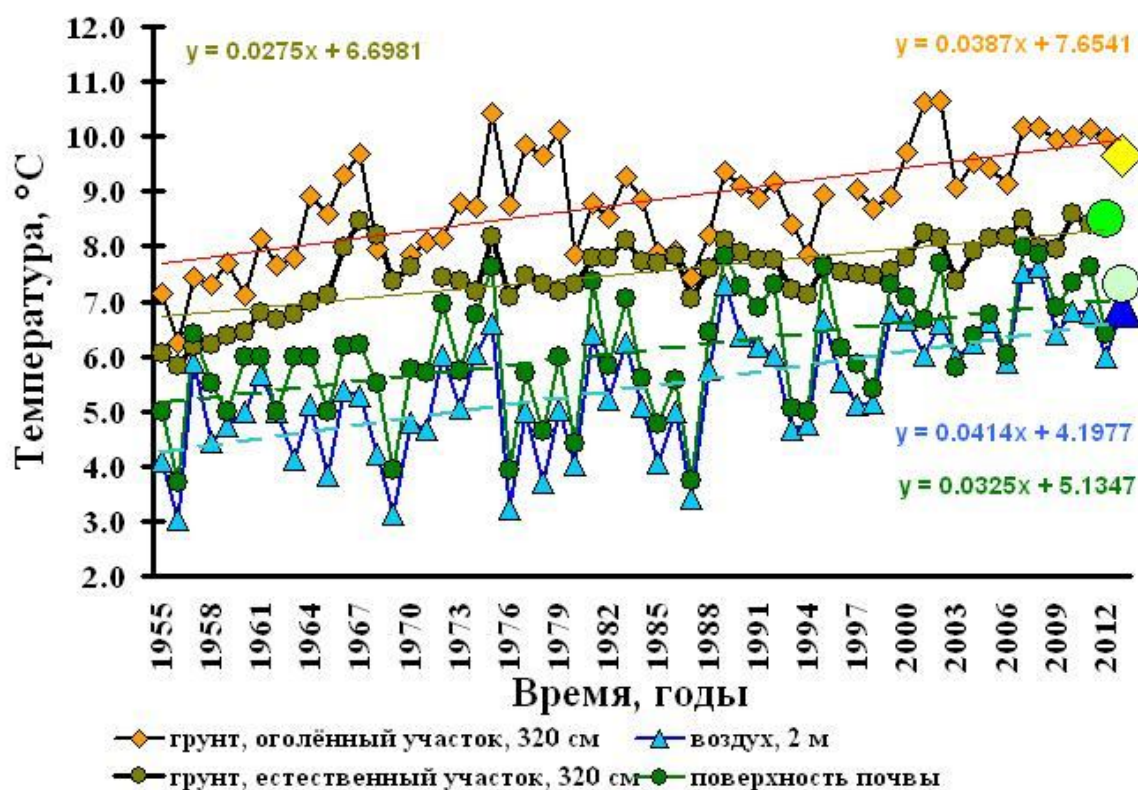


Рисунок 2.3 - Изменения температуры поверхности почвы, температуры грунта на глубине 320 см под участками с естественной и оголённой поверхностью и температуры воздуха за период с 1955 по 2013 гг. в МО МГУ.

Многолетнюю динамику температуры грунта на глубине 320 см можно проследить по рис. 2.3. Скорость потепления грунта на этом уровне за весь период измерений с 1955 по 2013 гг. составила $+0,03$ °C/год под естественным покровом и $+0,04$ °C/год под оголённым участком. Заметим, что скорость роста T_r под оголённой поверхностью совпадает с точностью до сотых с коэффициентом тренда температуры воздуха на 2 м (Корнева, Локощенко, 2013). Уменьшение скорости потепления под естественным покровом, по-видимому, связано с влиянием снежного и травяного покрова, которые замедляют теплообмен с атмосферой (Корнева, Локощенко, 2012). По-видимому, засчёт влияния снежного покрова с той же скоростью происходит и повышение температуры поверхности почвы – $+0,03$ °C/год. Среднегодовое значение T_r за 2013 год под естественным покровом находится в ряду самых высоких значений, однако под оголённым участком благодаря продолжительному промерзанию грунта и, возможно, отчасти, прохладной осени, оно оказалось ниже, чем за предыдущие 6 лет.

Таким образом, для 2013 г. характерны следующие особенности термического режима грунта:

- Среднегодовые значения температуры грунта на всех глубинах в слое 20–320 см на обоих участках превысили многолетние средние за период 1955–2012 гг., однако, благодаря продолжительному промерзанию, температура грунта под оголённым участком была ниже, чем за предыдущие 6 лет;
- Погодные особенности 2013 года проявились и в термическом режиме грунта вплоть до глубины 160 см, что привело к более позднему весеннему повышению температур грунта, а также её высоким значениям в мае-июне и ноябре-декабре;
- Существенное влияние на термический режим под естественной поверхностью в холодный сезон оказывает снежный покров, а под оголённой поверхностью – промерзание грунта, что наиболее ярко проявилось на примере 2013 года.

Литература

Ваннари П.И. О температуре почвы в некоторых местностях Российской Империи // Зап. Имп. Акад. Наук, 1897, т. V, №7, с. 1-58.

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

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

Корнева И.А., Локощенко М.А.. Динамика температуры грунта и её связи с метеорологическими величинами. В сб.: Тезисы конференции молодых специалистов по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. НПО «Тайфун», Обнинск, 2013, с. 138-141.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Л., Гидрометеиздат, 1969, вып. 3, ч. 1.

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

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

3. Промерзание и оттаивание грунта

М.А. Локощенко

3.1. Краткие сведения о наблюдениях за промерзанием и методические вопросы.

Глубины промерзания и оттаивания грунта традиционно измеряются в МГУ с помощью пяти мерзлотомеров двух систем: Ратомского (МР) и Данилина (прибор МД-50 и его современные модификации). Три из пяти мерзлотомеров установлены в центральной части специального оголённого участка рядом с правым краем речного помоста вытяжных почвенно-глубинных термометров: два прибора МР (№№ 1 и 2) и один МД (№ 3). Ещё два мерзлотомера, один МР (№6) и один МД (№7), установлены на участке под естественным покровом. Опорными в базе данных МГУ на обоих участках традиционно считаются показания мерзлотомера Ратомского, точнее отражающие промерзание как физическое явление. Оба прибора МР № 1 и № 2 под оголённой поверхностью абсолютно идентичны и установлены рядом друг с другом для обеспечения непрерывности наблюдений в случае поломки основного опорного мерзлотомера № 1. На участке под естественным покровом опорным является также мерзлотомер системы Ратомского – № 6. Дополнительными на обоих участках являются мерзлотомеры Данилина – № 3 и № 7.

Методические вопросы наблюдений за промерзанием подробно освещены автором в сборниках трудов данной серии за предыдущие годы. Отсчёты всех глубин, связанных с любыми границами слоя промёрзшего грунта, производятся один раз в сутки, в дневной срок наблюдений. Заметим, что основными причинами пропусков в данных о промерзании и оттаивании могут служить отрыв и падение мерзлотомера в скважину, невозможность взятия отсчётов вследствие примерзания мерзлотомера к стенкам защитной оправы (что иногда происходит при сильных морозах), а также высыхание глины (особенно весной в верхнем слое грунта, при регистрации глубины оттаивания) в мерзлотомерах Ратомского или утечка воды в мерзлотомерах Данилина.

Все мерзлотомеры устанавливаются на метеорологической площадке МГУ уже в сентябре, перед началом холодного сезона. Тем не менее, дата образования промерзания на очень малых глубинах при кратковременном похолодании бывает подчас пропущена, поскольку визуально это явление не определяется. Однако после образования устойчивого промерзания грунта наблюдения за ним ведутся вполне надёжно и продолжаются вплоть до полного исчезновения промерзания на глубинах.

Заметим, что столь подробных наблюдений за промерзанием и оттаиванием грунта, как в МГУ, нет ни на одной другой метеорологической станции в России.

3.2 – Промерзание под обнажённой поверхностью в холодном сезоне 2012-2013 гг.

Осенью 2012 года наименьшая за сутки температура воздуха впервые стала отрицательной 23 октября, а среднесуточная – 30 октября. Однако заморозки в то время были слабыми, и промерзания не возникло. Анализ данных на участке под оголённой поверхностью осложняется тем, что в течение всего холодного сезона 2012-2013 гг. два раза был сломан основной опорный прибор № 1 и один раз – запасной прибор № 2 (к счастью, поломки происходили не одновременно). Поэтому сводный ряд данных о промерзании на этом участке представляет собой объединение данных обоих мерзлотометров: до 15 декабря – данные второго, с 16 декабря (в этот день показания по обоим приборам совпали) до 31 декабря – данные первого; с 01 по 09 января – вновь данные второго, и с 10 января вплоть до исчезновения промерзания 20 апреля – вновь данные первого.

Первый отсчёт промерзания был получен только 03 декабря: глубина промерзания составила 2 см. Столь малый отсчёт внушает надежду, что дата начала промерзания определена правильно. Действительно, в этот день отмечалась морозная погода со среднесуточной температурой воздуха $T_{\text{ср.}} = -4,0$ °С. Накануне же, в начале дня, температура воздуха T была ещё положительной. Таким образом, погодные условия подтверждают, что промерзание под оголённой поверхностью началось именно 03 декабря. На следующий день при кратковременном потеплении и повышении температуры воздуха до $+2,4$ °С промерзание исчезло, однако уже на завтра, 05 декабря, появилось вновь, составив опять 2 см. В это время T стала вновь устойчиво отрицательной. Начиная с этого дня, промерзание по мерзлотометрам Ратомского отмечалось уже непрерывно вплоть до 20 апреля 2013 года (в продолжение 137 дней). Таким образом, устойчивое промерзание явилось вторым по счёту в холодном сезоне 2012-2013 гг. с перерывом между явлениями лишь в один день. По данным дополнительного мерзлотометра № 3 системы Данилина, промерзание – точнее, слой замёрзшей дистиллированной воды – появилось впервые 06 декабря (4 см) и существовало вплоть до 03 мая (всего – 149 дней). Сводные данные всех приборов показаны на рис.00.

Как видно на рис.3.1, степень согласия в ходе глубин по всем данным очень высокая. Правда, при сравнении обоих мерзлотометров Ратомского наблюдается систематическое

смещение значений глубины в сторону небольшого завышения показаний основного опорного прибора № 1 по сравнению с запасным № 2 (или занижения показаний запасного мерзлотомера по сравнению с опорным). В среднем за весь холодный сезон разность

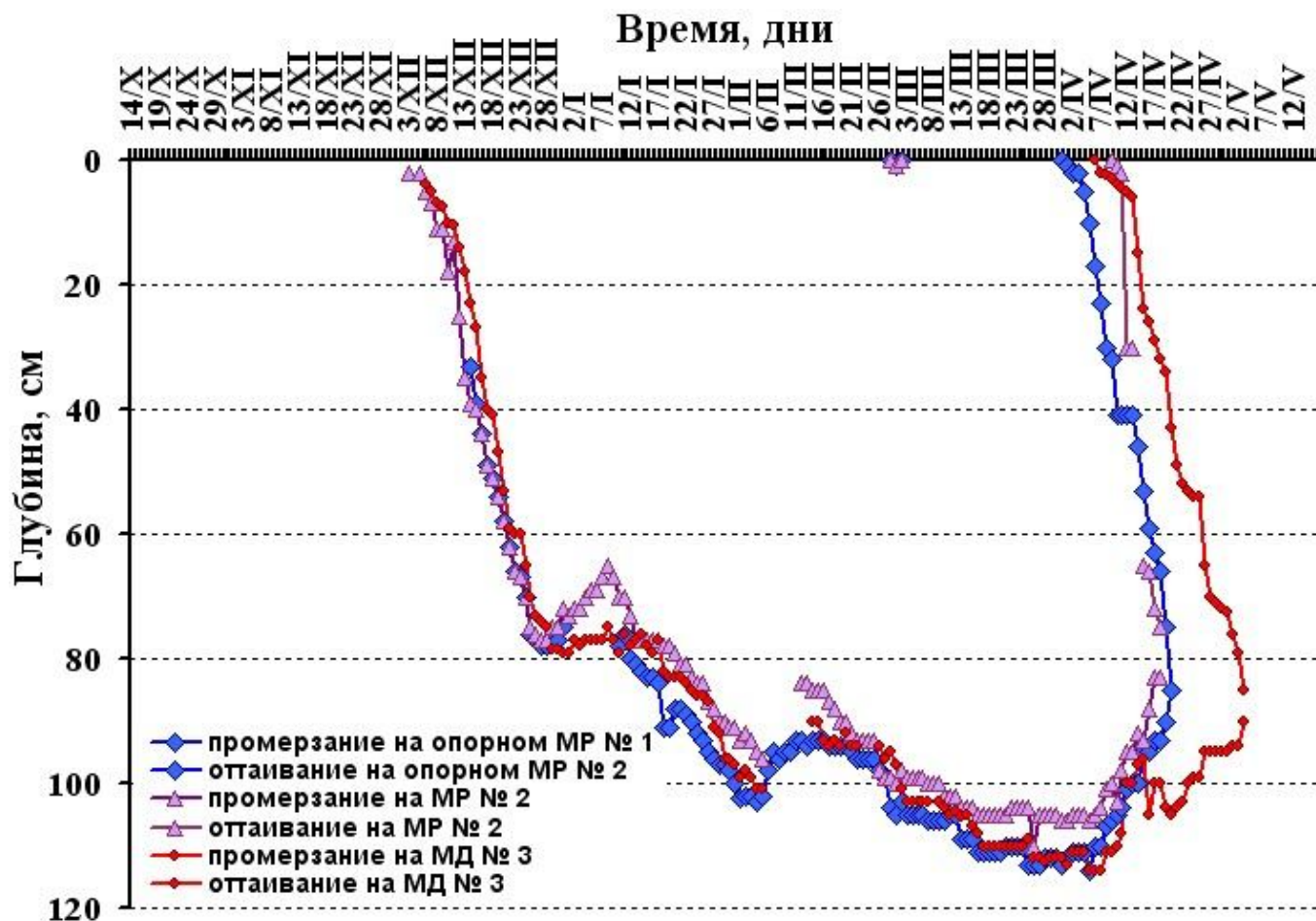


Рисунок 3.1 – Ход глубин промерзания и оттаивания грунта в 2012-2013 гг. в МГУ по данным всех трёх приборов на участке под оголённой поверхностью.

значений (№ 1 – № 2) составила +5 см при $\sigma = 3$ см, хотя при увеличении глубины промерзания в начале зимы значения почти совпадали (с 15 по 28 декабря эта же разность составляла в среднем лишь +0,2 см). Причиной подобной систематической невязки могут быть неточности в определении места нуля мерзлотомеров, повреждения их защитной оправы, неоднородный слой глины в разных приборах, а также микроклиматические различия в глубине промерзания даже на предельно малых расстояниях порядка 1 м.

Данным прибора МД № 3 присуща значительная инерция замерзания и оттаивания столба воды в полихлорвиниловой трубке, в силу чего показания этого мерзлотомера отстают от данных МР как при увеличении глубины промерзания в начале зимы, так и при её уменьшении, а также при росте глубины оттаивания весной. Более поздняя дата окончания промерзания (на 13 дней) по данным этого прибора, возможно, также частично

связана с инерцией таяния столба дистиллированной воды. В середине же холодного сезона, при отсутствии быстрых изменений установившейся глубины, показания мерзлотомера Данилина (красная кривая на рис.3.1) занимали в целом промежуточное положение между данными обоих мерзлотомеров Ратомского.

В целом, как видно на рис.3.1, динамика глубины промерзания была в сезоне 2012-2013 гг. довольно обычной: рост её в течение зимы, особенно быстрый в декабре, замедлился в январе и феврале, а затем сменился недолгой стабилизацией значений во второй половине марта и в начале апреля. Очевидно, подобная стабилизация отражает приблизительное равенство потоков тепла в вертикальном направлении. Рост глубины промерзания зимой не был, как видим, монотонным и дважды прерывался при оттепелях её временным уменьшением – в первой декаде января и в первой половине февраля. Заметим, что прекращение роста и даже небольшое уменьшение глубины промерзания происходит по данным МР с запаздыванием на 3-4 дня после начала повышения температуры воздуха.

Наибольшая глубина промерзания составила 114 см как по опорному МР № 1, так и по МД № 3 (по запасному МР № 2 – 110 см). По данным опорного мерзлотомера № 1 это наибольшее значение было отмечено 05 апреля; по данным мерзлотомера Данилина № 3 – в течение трёх дней подряд, с 05 по 07 апреля. Затем началось быстрое уменьшение этой глубины с одновременным ростом глубины оттаивания, образовавшегося в приповерхностных горизонтах грунта. Если 19 апреля глубины промерзания и оттаивания составляли ещё по опорному мерзлотомеру соответственно 90 и 75 см, то на следующий день они уже совершенно совпали: 85 см. Кажущееся странным подобное совпадение отсчётов может иметь место, если последние остатки промерзания были обнаружены наблюдателем в очень тонком слое глубиной лишь несколько мм. В этом случае, с округлением до одного и того же значения в см обеих глубин, за дату окончания промерзания следует принять не следующий день, как это обычно принято, а день последнего отсчёта – 20 апреля. По данным запасного МР № 2 последние достоверные отсчёты обеих глубин были получены двумя днями ранее, 18 апреля: 83 и 75 см. Как видим, окончание промерзания происходило в очень близком диапазоне глубин по данным обоих приборов. На следующий день отсчёты по прибору № 2 уже отсутствуют, а за 20-е апреля в исходных материалах приведены явно ошибочные значения (29 и 1 см), не вошедшие в электронный архив данных. По данным мерзлотомера Данилина № 3 последние отсчёты глубин промерзания и оттаивания были получены 03 мая:

соответственно 90 и 85 см. Таким образом, по данным этого прибора, промерзание (точнее, нахождение в грунте нулевой изотермы) исчезло 04 мая.

Что касается оттаивания грунта, то впервые оно было отмечено 01 марта по данным обоих мерзлотометров МР: № 1 и № 2. Образование оттаивания было связано с оттепелью (наибольшая за сутки температура воздуха $T_{\max}$ составила 28 февраля 3,6 °С, а 01 марта – 2,8 °С). В этот день его глубина составила лишь 1 см, а уже на следующий день оттаивание исчезло, поскольку температура вновь стала отрицательной. Во второй и в последний раз в сезоне оттаивание образовалось по данным опорного мерзлотометра № 1 месяц спустя – 01 апреля (по данным МД № 3 – 07 апреля, по данным МР № 2 – лишь 10 апреля).

О том, насколько режим промерзания в сезоне 2012-2013 гг. на участке под оголённой поверхностью был близок к климатической норме, свидетельствует рис.3.2.

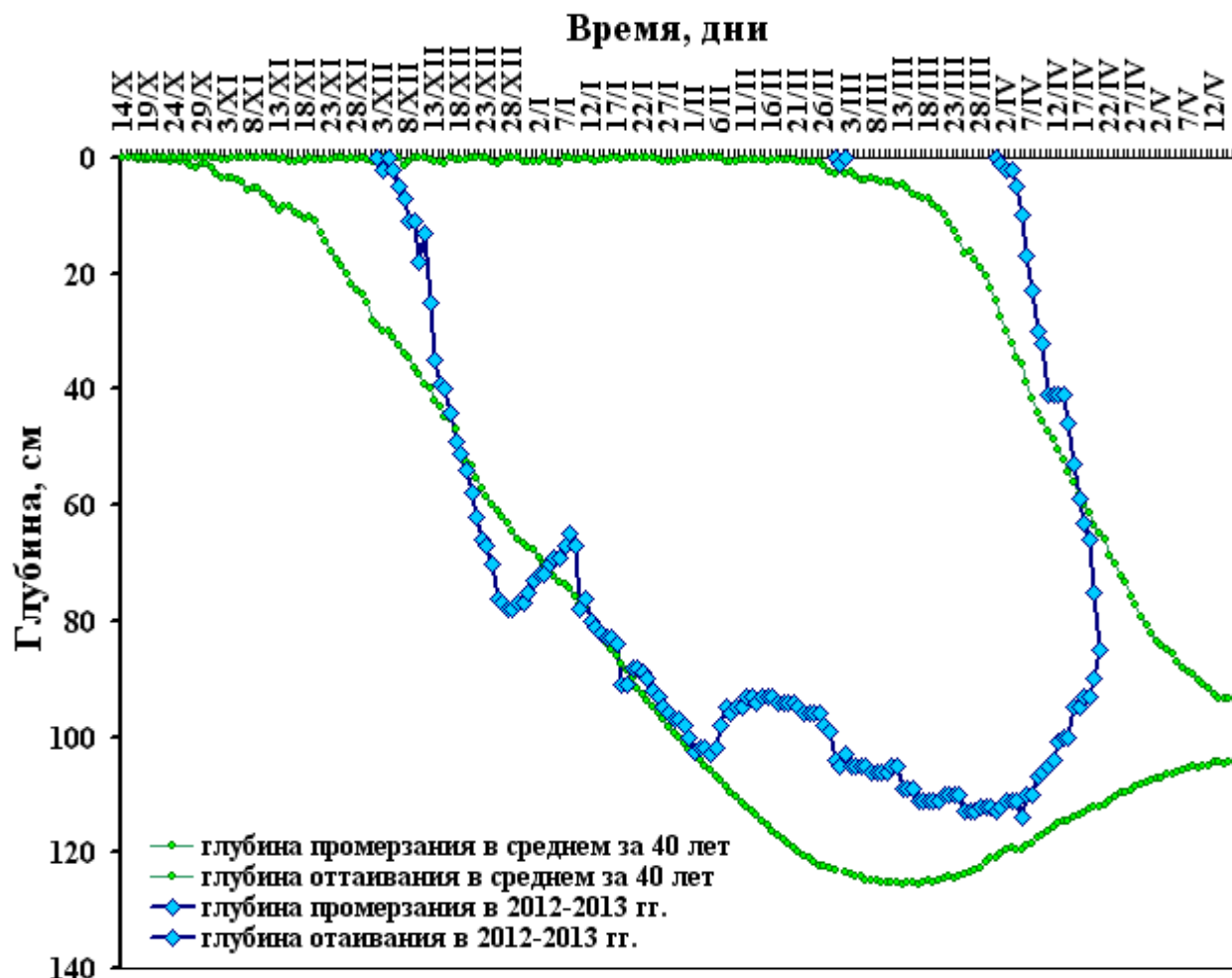


Рисунок 3.2 – Глубины промерзания и оттаивания грунта в 2012-2013 гг. в сравнении со средненголетними (за период 1961-2001 гг.) значениями по данным мерзлотометров Ратомского № 1 и № 2 на обнажённом участке.

Как видим, промерзание осенью 2012 г. началось существенно позднее обычного, поскольку и октябрь, и ноябрь выдались в Москве очень тёплыми. Зато в продолжение всего декабря, оказавшегося значительно холоднее климатической нормы (среднемесячная T составила $-8,6$ °C при среднем значении для декабря за 1961-1990 гг. $-6,2$ °C) глубина промерзания очень быстро росла: как правило, на 4-5 см в день. В результате, уже к середине месяца она превысила среднемноголетние значения. Затем, что после небольшого уменьшения, в период приблизительно с 10 января до 02 февраля, глубина промерзания почти точно соответствовала климатической норме, в качестве которой мы здесь условно принимаем средние значения этой глубины за 41 год. После этого она уже всегда была меньше нормы, приблизившись к ней ещё только один раз, 05 апреля, когда была достигнута максимальная глубина – 114 см.

3.3 – Промерзание под естественным покровом в холодном сезоне 2012-2013 гг.

На участке под естественным покровом промерзание в холодном сезоне 2012-2013 гг. оказалось слабым, недолгим и неустойчивым. С одной стороны, этому способствовала тёплая осень, определившая позднюю дату его образования (14 декабря по данным опорного мерзлотомера системы Ратомского № 6 и лишь 21 декабря по данным дополнительного мерзлотомера системы Данилина № 7). С другой стороны, промерзание на этом участке очень рано исчезло из-за аномально снежной зимы, поскольку при очень большой высоте снежного покрова оно обычно отсутствует. Так и произошло: уже 20 января был получен последний отсчёт глубины промерзания (3 см) по данным опорного прибора МР № 6, а по данным прибора МД № 7 – ещё раньше, 06 января (1 см). Наибольшая глубина составила по опорному мерзлотомеру 22 см 26 декабря, а по дополнительному – лишь 5 см, причём отсчёт этот был отмечен четыре раза (27-28 и 30-31 декабря). Естественно, при столь малых значениях глубины промерзания оттаивание на этом участке не отмечалось вовсе.

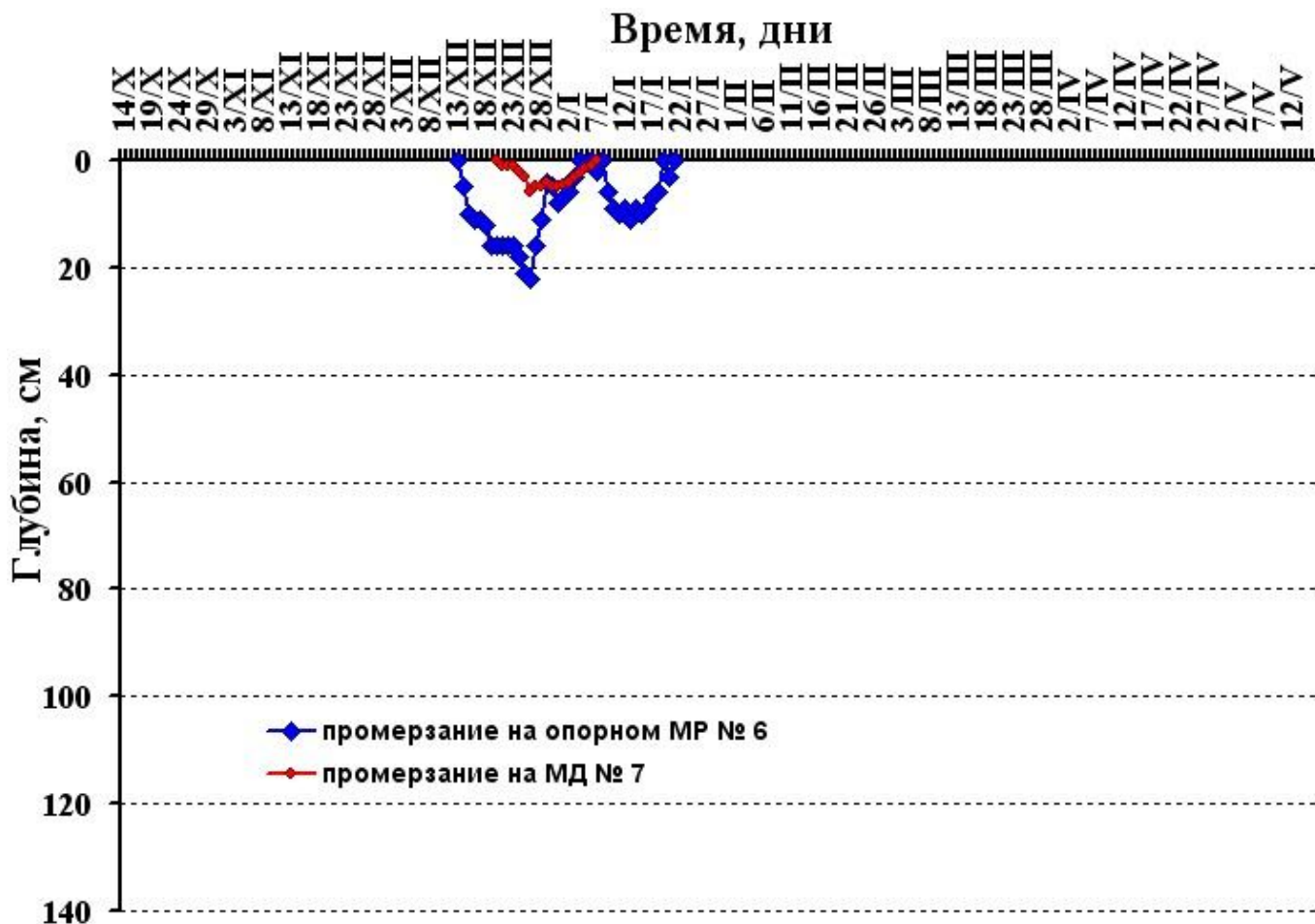


Рисунок 3.3 – Ход глубин промерзания и оттаивания грунта в 2012-2013 гг. в МГУ по данным обоих мерзлотометров на участке под естественным покровом.

В общей сложности, таким образом, промерзание на участке под естественным покровом отмечалось в сезоне 2012-2013 гг. с небольшими перерывами в течение 33 дней по данным МР № 6 и лишь 17 дней по данным МД № 7.

3.4 – Общие выводы.

Приведённые выше сведения о промерзании кратко обобщены в Таблице 3.1. Как видим, в целом промерзание в этот год оказалось менее долгим и менее глубоким, чем в другие годы, особенно на участке под естественным покровом, где из-за аномально снежной зимы оно исчезло необычно рано. В то же время под оголённой поверхностью, по данным мерзлотометра МД № 3, промерзание существовало очень долго – вплоть до первых дней мая, что отмечается в практике наблюдений сравнительно редко.

Таблица 3.1 – Основные показатели промерзания грунта в МГУ в 2012-2013 гг.

	Обнажённый участок		Участок под естественным покровом	
	Опорные данные (МР)	Дополнительные данные (МД)	Опорные данные (МР)	Дополнительные данные (МД)
Дата начала промерзания:	03 / XII	06 / XII	14 / XII	21 / XII
Дата начала устойчивого промерзания:	05 / XII	06 / XII	14 / XII	21 / XII
Дата достижения наибольшей глубины:	05 / IV	05-07 / IV	26 / XII	27-31 / XII
Наибольшая глубина, см:	114	114	22	5
Дата начала оттаивания:	01 / III	07 / IV	не было	не было
Дата начала устойчивого оттаивания:	01 / IV	07 / IV	не было	не было
Дата исчезновения устойчивого промерзания:	20 / IV	04 / V	21 / I	07 / I
Дата окончательного исчезновения промерзания:	20 / IV	04 / V	21 / I	07 / I

Подтверждён сделанный автором ранее вывод о значительной инерции мерзлотометров Данилина по сравнению с мерзлотометрами Ратомского, что приводит к запаздыванию их отклика на изменения в значениях любых глубин. Это доказывает необходимость сохранения в МГУ мерзлотометров Ратомского и впредь в качестве опорных приборов в наблюдениях за промерзанием.

4. Снежный покров

М.А. Локощенко

4.1. Наблюдения за снежным покровом в МГУ.

Наблюдения за снежным покровом, в соответствии с Наставлениями Росгидромета (в прошлом – Госкомгидромета СССР), сводятся на обычных наземных станциях к определению степени его покрытия и измерению высоты. Эти измерения осуществляются ежедневно в утренний срок с использованием трёх основных реек М-103, а также дополнительной четвёртой рейки вблизи речного помоста вытяжных термометров. В прошлом в Метеорологической обсерватории МГУ осуществлялись также измерения плотности снега, однако впоследствии они были прекращены.

Средняя высота снежного покрова традиционно рассчитывается как среднее из показаний только по трём основным рейкам; четвёртая используется в наблюдениях за температурой грунта на глубинах. Однако в электронном архиве обсерватории МГУ представлены данные всех четырёх реек. Предельная простота конструкции снегомерной рейки М-103 обеспечивает однородность имеющегося ряда данных и сводит к минимуму возможные погрешности в измерениях высоты снежного покрова. Более подробно методические вопросы, связанные с этим видом измерений, рассмотрены автором в аналогичном сборнике за 2012 год. В целом наблюдения за снежным покровом и его высотой отличаются высокой степенью надёжности.

4.2. Показатели снежного покрова в МГУ в 2012-2013 гг.

Первым событием в холодном сезоне, связанном со снегом и снежным покровом, является выпадение твёрдых осадков. Впервые твёрдые осадки в холодном сезоне 2012-2013 гг. выпали 24 октября: это был обложной и, затем, ливневый снег. Первое залегание снежного покрова было отмечено двумя днями позднее, 26 октября. Уже на следующий день, 27 октября, он, по-видимому, полностью сошёл при положительной температуре и воздуха, и поверхности почвы. Во второй раз снежный покров образовался уже на завтра, 28 октября, и продержался два дня. Третье по счёту залегание произошло 01 ноября. Однако в условиях тёплой осени каждое из этих событий было недолгим; уже третьего октября снежный покров полностью растаял.

Устойчивый снежный покров явился четвёртым по счёту в холодном сезоне 2012-2013 гг. и образовался лишь 26 ноября – сравнительно поздно. Ничто тогда не предвещало

удивительной климатической аномалии, связанной с поистине чудовищной, огромной высотой, которой снежный покров достиг к концу марта.

Значения средней по трём рейкам высоты снежного покрова в сравнении со средними значениями за период 1954-2003 гг. для каждого отдельного дня приведены на рис.4.1. Более подробно ход изменений высоты снежного покрова показывает рис.4.2, на котором за каждый день показаны отсчёты каждой из четырёх снегомерных реек.

Как видно на рис. 4.1, уже на четвёртый день, 29 ноября, снежный покров увеличился за сутки сразу на 19 см, превысив обычное среднее многолетнее значение для этого дня более чем в три раза. Начиная с этого момента, высота снежного покрова ни в один из последующих дней, вплоть до окончательного его схода, не была меньше среднемноголетних значений, а в конце сезона, 11 и 12 апреля, она превышала средние значения даже в 15-16 раз (!). Причиной столь уникального явления стали необычно обильные твёрдые осадки, выпадавшие при прохождении целой серии обширных и довольно глубоких циклонов. Если до 17 января высота была ещё вполне сопоставима с многолетними значениями (31 см), то спустя пять дней она выросла на целых 23 см –



Рисунок 4.1 – Ход средней высоты снежного покрова в холодном сезоне 2012-2013 гг. в сравнении со среднемноголетними значениями.

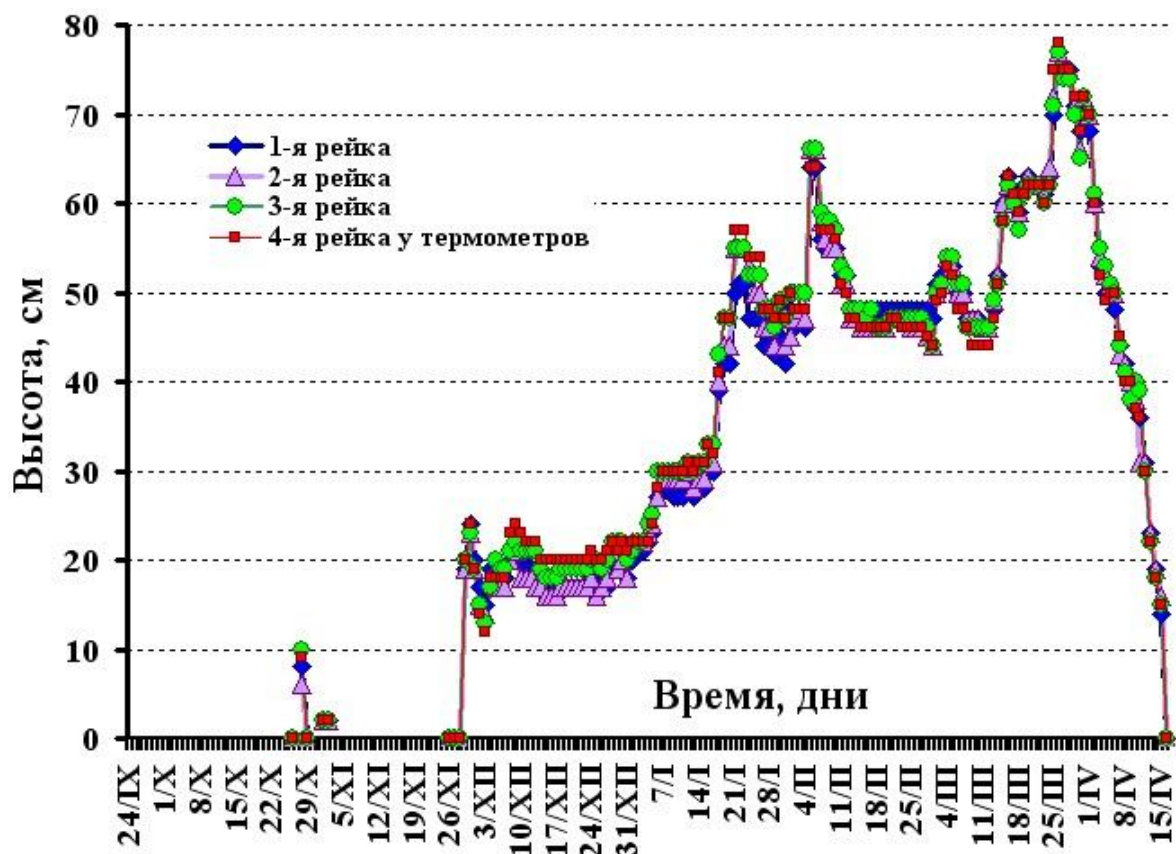


Рисунок 4.2 – Ход высоты снежного покрова в холодном сезоне 2012-2013 гг. по данным измерений на отдельных рейках.

до 54 см. В последующие дни снежный покров немного осел под действием ветрового и гравитационного уплотнения – высота его сократилась до 48 см. Однако вскоре, 05 февраля, прохождение очередного циклона привело к резкому росту высоты вплоть до 65 см. Затем последовало новое уплотнение и стабилизация высоты снежного покрова на уровне 47 см (это значение отмечалось 13 дней подряд, с 15 по 27 февраля). Обычно, как видно на рис.4.1, в начале марта высота начинает уже устойчиво уменьшаться. Однако в 2013 году март выдался необычно холодным и при этом, как ни странно, необычно снежным (подобное совпадение бывает редко). Среднемесячная температура воздуха составила $-6,0^{\circ}\text{C}$ при климатической норме за период 1961-1990 гг. для этого месяца $-2,2^{\circ}\text{C}$, а количество осадков (85 мм) почти в два с половиной раза превысило обычное для марта значение. В результате этого высота снежного покрова, вопреки обычному своему уменьшению, продолжала расти в течение всего месяца, достигнув 26 марта почти катастрофического значения 77 см. Это явилось следствием прохождения накануне очередного атмосферного фронта в системе обширного циклона с центром южнее

столицы. Утром в этот день данное значение (77 см) показали все три основные рейки, а на дополнительной четвёртой с участием автора был получен даже отсчёт 78 см (рис.4.3).

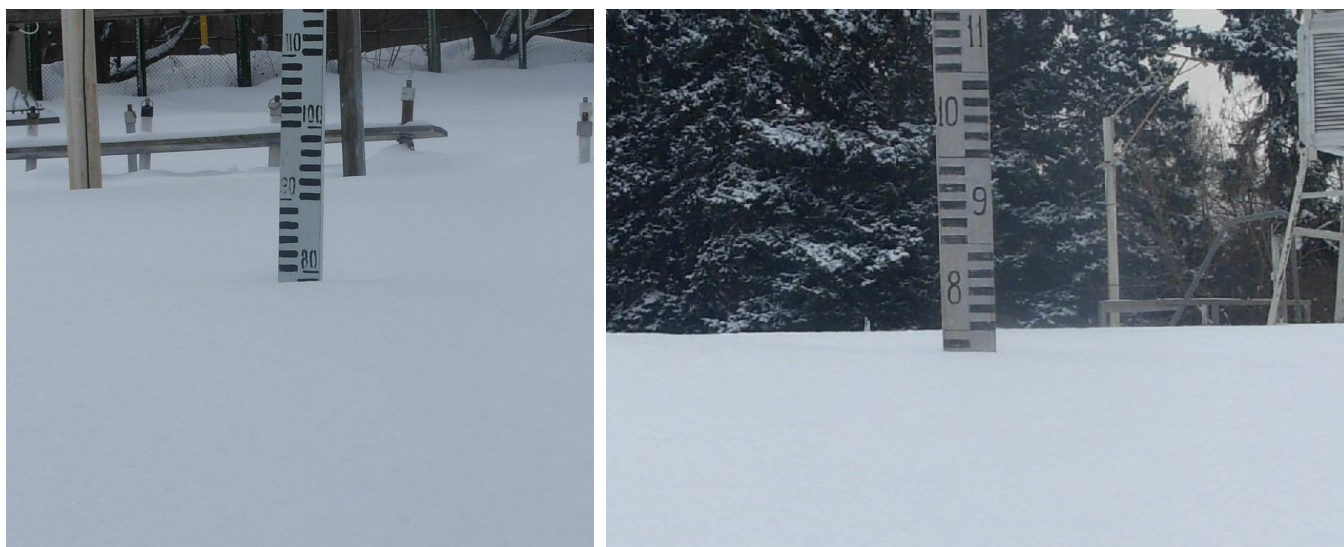


Рисунок 4.3 - Показания снегомерных реек в МГУ 26 марта 2013 года.

Столь огромной высоты снежного покрова в Метеорологической обсерватории не отмечалось никогда прежде, с самого момента её основания в 1954 году. Предыдущий рекорд наибольшей средней по трём рейкам высоты составлял за весь период наблюдений 72 см и был отмечен трижды: в 1969-70, 1993-94 и 2000-01 гг. В те же годы наибольший разовый отсчёт по отдельным рейкам достигал 74 см. Наконец, в холодном сезоне 2009-2010 гг. по показаниям одной из реек рекордный разовый отсчёт высоты был превзойдён (75 см). Таким образом, сезон 2012-2013 гг. оказался уникальным: абсолютный рекорд средней высоты был превышен на целых 5 см, а максимум-максимум, рекорд единичного отсчёта – на 3 см.

Подобные погодные условия явились в Москве настоящим стихийным бедствием, став причиной транспортного коллапса, массового обрыва электрических проводов и многих других проблем в городском хозяйстве столицы.

Лишь в последние дни марта началось, наконец, таяние снега. Благодаря огромной высоте, оно затянулось на полмесяца, и лишь 14 апреля появились первые проталины. На следующий день, 15 апреля, были произведены последние отсчёты по всем четырём снегомерным рейкам, составившие от 14 до 16 см. Назавтра снежный покров отсутствовал уже вблизи всех реек, но его остатки ещё три дня отмечались в окрестностях станции. Только 19 апреля снежный покров сошёл полностью, и после этого уже не образовывался.

Последнее выпадение твёрдых осадков (обложной снег) произошло в сезоне 2012-2013 гг. ещё раньше, 09 апреля.

Таблица 4.1 – Календарные даты динамики снежного покрова в Москве (МГУ) в 2012-2013 гг. и в сравнении со средними значениями за период 1954-2003 гг.

	Первое выпадение твёрдых осадков	Появление первого снежного покрова	Образование устойчивого снежного покрова	Исчезновение последних проталин	Достижение наибольшей высоты	Появление первых проталин	Сход устойчивого снежного покрова	Последнее залегание снежного покрова	Последнее выпадение твёрдых осадков
Средняя дата за 50 лет	8 / X	22 / X	21 / XI	6 / XII	22 / II	25 / III	8 / IV	17 / IV	28 / IV
Дата в 2012-2013 гг.	24 / X	26 / X	26 / XI	26 / XI	26 / III	14 / IV	19 / IV	19 / IV	09 / IV

Обобщение всех календарных показателей в их сравнении со среднемноголетними значениями за полвека приведено в Таблице 4.1. Как видим, большинство дат в сезоне 2012-2013 гг. оказались смещёнными во времени вперёд, то есть наблюдались позднее обычного. Особенно поздно – более чем на месяц позднее, чем в среднем за 50 лет – была отмечена дата наибольшей высоты снежного покрова.

Отметим также, что отдельные значения высоты снежного покрова по всем четырём рейкам в МГУ были очень близки (это видно из рис.4.2). Наибольшая разность отсчётов между отдельными рейками в одни и те же дни не превысила по абсолютной величине 8 см, а средние за весь сезон разности составили лишь от $-0,9$ до $+0,2$ см.

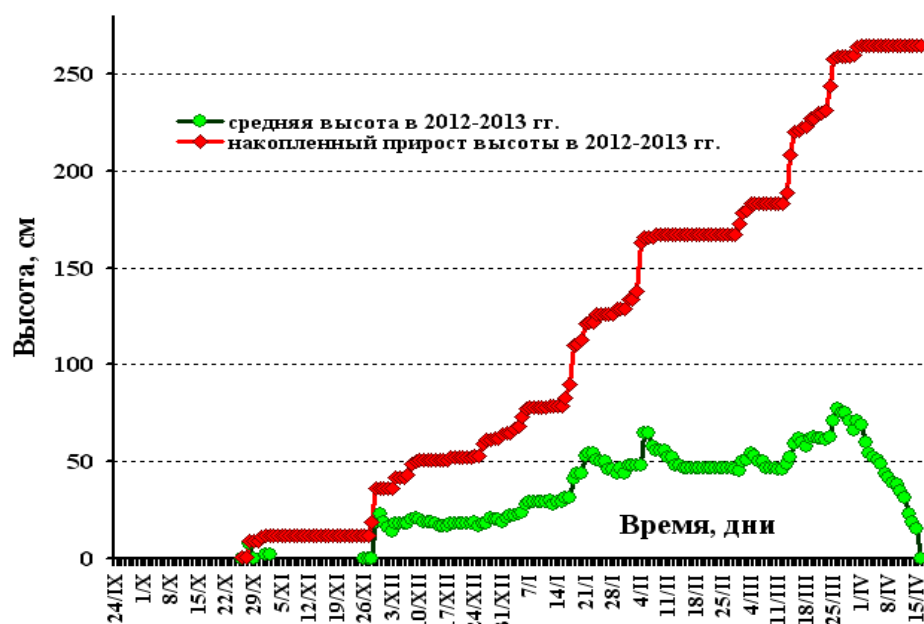


Рисунок 4.4 – Ход средней высоты и её накопленного прироста в холодном сезоне 2012-2013 гг.

На рисунке 4.4, помимо средней высоты снежного покрова, приведены также значения её накопленного прироста. Этот нестандартный показатель сводится к измерению высоты свежавыпавшего снега на плоской поверхности (обычно для этого используется поверхность круга ледоскопа) дважды в сутки после каждого снегопада. Данные измерения представляют потенциально возможную максимальную высоту снежного покрова без учёта процессов таяния и уплотнения. Как видим, накопленный прирост к концу холодного сезона составил также рекордно высокое значение: 265 см.

Таким образом, основной особенностью снежного покрова в сезоне 2012-2013 гг. явилось рекордно высокое значение высоты, составившее впервые за всю историю метеорологических наблюдений в МГУ 77 см, а по одной из реек – даже 78 см. Столь большая высота была достигнута, несмотря на сравнительно позднее установление снежного покрова. Это стало возможным благодаря особенностям погодных условий – прежде всего, исключительному снежному и при этом холодному марту.

5. Атмосферные осадки

П.И. Константинов

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

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

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

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

Изменение климата в Москве также заметно сказывается на внутригодовом режиме осадков. Если исследовать соотношение между собой норм 1961-1990 и 1981-2010 года, то можно отметить, что по-прежнему самым сухим месяцем остается март (36 и 38 мм соответственно), а вот в теплый период самым влажным месяцем стал июнь.

Наметившаяся ранее тенденция «сухих июлей» в 2010-2012 годах прервалась – исключительный по запасу влаги 2013 год не подтвердил предположение, высказанное в (Беликов et al., 2013) о том, что тенденция к уменьшению июльских осадков не меняется вне зависимости от того, является ли год в целом относительно влажным или относительно сухим.

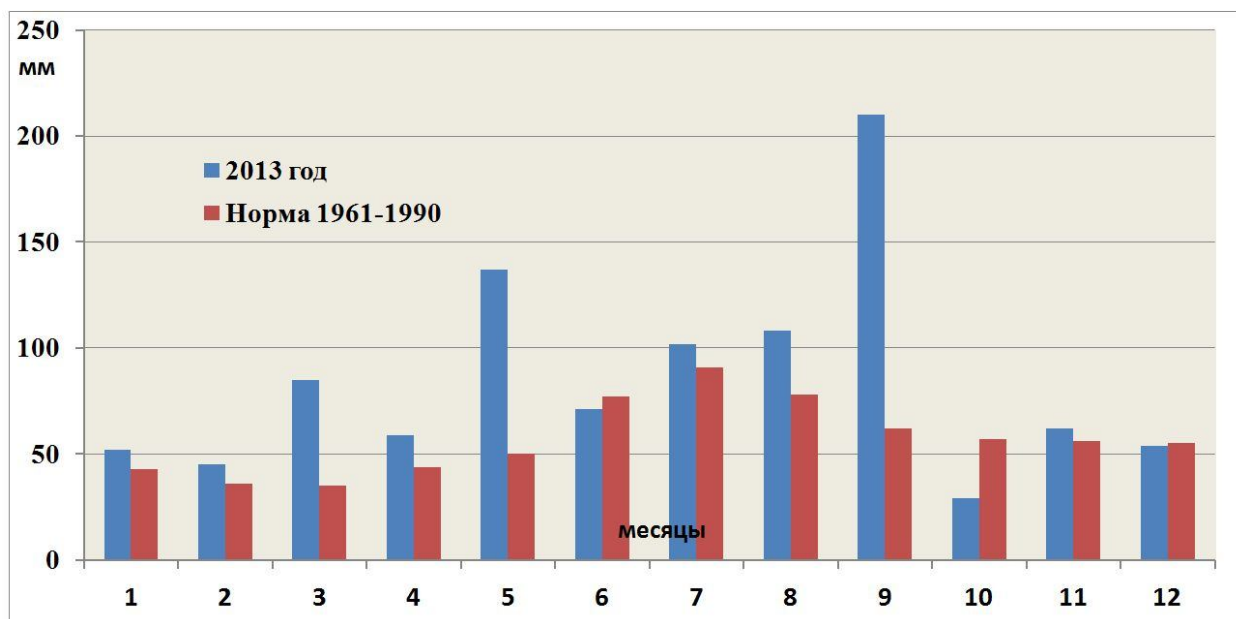


Рисунок 5.1- Сравнение месячных сумм осадков в 2013 году с климатической нормой.

Таблица 5.1- Месячные суммы осадков в 2010-2013 годах и климатическая норма .

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Месячная сумма осадков,мм 2013 год	52	45	85	59	137	71	102	108	210	29	62	54	1015
Месячная сумма осадков,мм 2012 год	56	42	60	54	49	90	62	89	46	142	84	46	820
Месячная сумма осадков,мм 2011 год	33	37	23	48	33	62	72	58	75	47	40	72	600
Месячная сумма осадков,мм 2010 год	17	68	19	32	64	65	7	69	66	43	70	87	607
климатическая норма,мм 1961-1990	43	36	35	44	51	77	91	78	62	57	56	55	684

Из этого графика 5.1 и таблицы 5.1 видно, что режим увлажнения в отчетном году был устойчиво избыточным. По итогам девяти месяцев из двенадцати сумма осадков превысила месячные нормы, а в сентябре, сумма осадков почти в три с половиной раза превысила климатическую норму (210 мм против 63х). Более сухими, нежели обычно выдались только июнь, октябрь и декабрь.

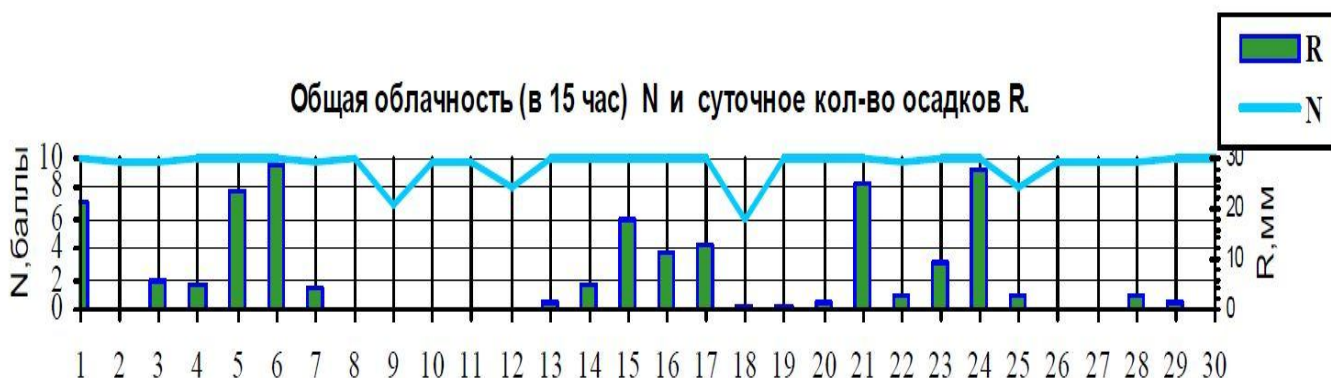


Рисунок 5.2 -Режим облачности и атмосферных осадков в сентябре 2013 года

Это произошло во многом благодаря высокой повторяемости атлантических циклонов в осенний период, а 5-6 сентября Московская область оказалась в центре настоящего дождевого кошмара – за двое суток в районе МГУ выпало 52 мм осадков (всего на 10 мм меньше всей месячной нормы). Циклон оказался довольно компактным, но проходящие один за другим атмосферные фронты принесли в отдельные пункты Московской области до 100-120 мм дождей, что уже способно вызывать локальные подтопления (рис.5.3). Вторая серия исключительно сильных осадков наблюдалась в зоне центра циклона 21-24 сентября (Рис 5.4) – когда вопреки обычной осенней манере циклон надолго застрял над центром ЕТР. В районе МГУ за эти дни выпало 62 мм осадков. Обычно в сентябре серии циклонов буквально проносятся над Московским регионом.

В итоге, год оказался на 48% влажнее, чем положено по климатической норме.

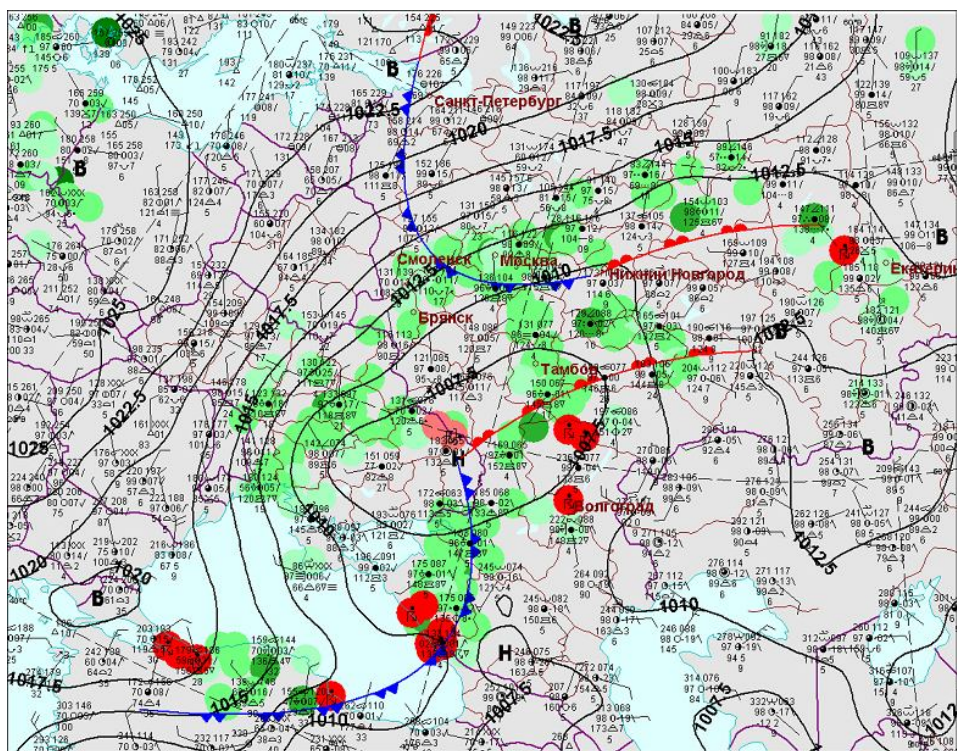


Рисунок 5.3- Фактическая карта погоды на 9:00 по Гринвичу 04 октября 2013 г. © Гидрометцентр России.

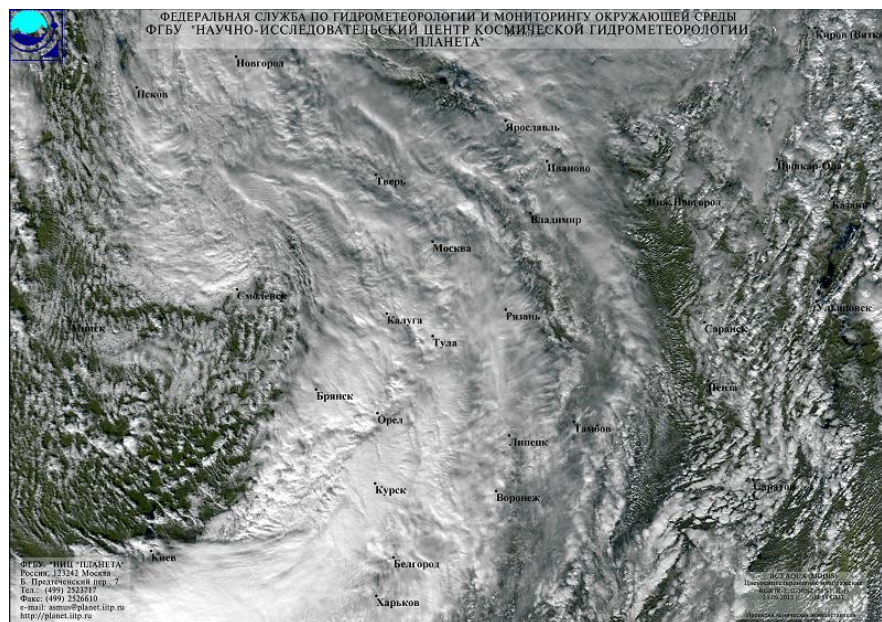


Рис 5.4. Облачная спираль малоподвижного циклона над ЕТР (данные НИИЦ Планета (с))

Подводя итог, режим осадков 2013 года можно охарактеризовать следующим образом:

1. По режиму увлажнения 2013 год оказался **исключительно влажным** – количество осадков составило **1015 мм** при норме 684 мм, что на 48% выше нормы.
2. Начало года было гораздо влажнее обычного – с января по май положительная аномалия осадков составила 149 мм. Такая же ситуация наблюдалась и в 2012 году – но там к апрелю аномалия составила лишь 54 мм (почти в три раза меньше)
3. Только в июне, октябре и декабре количество осадков не превышало месячную норму, остальные 9 месяцев были гораздо влажнее обычного. В сентябре общее количество осадков составило 338% от нормы, и таким образом, сентябрь 2013 года вошел в историю как **самый дождливый месяц за всю историю наблюдений в МетеоОбсерватории МГУ**.

Литература:

1. Справочник эколого-климатических характеристик г.Москвы (по наблюдениям метеорологической обсерватории МГУ) Том 1 под редакцией А.А.Исаева М., изд-во МГУ, 2003.
2. Беликов, И., Горбаренко, Е., Ерёмина, И., Жданова, Е., Константинов, П., Корнева, И., Локощенко, М., Незваль, Е., Скороход, А., Чубарова, Н., Шиловцева, О., Шумский, Р., Ахиярова, К., Ремизов, А. *Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2012 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ, под редакцией Н.Е. Чубаровой*. МАКС Пресс Москва, 2013.

6. Атмосферное давление

П.И.Константинов

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

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

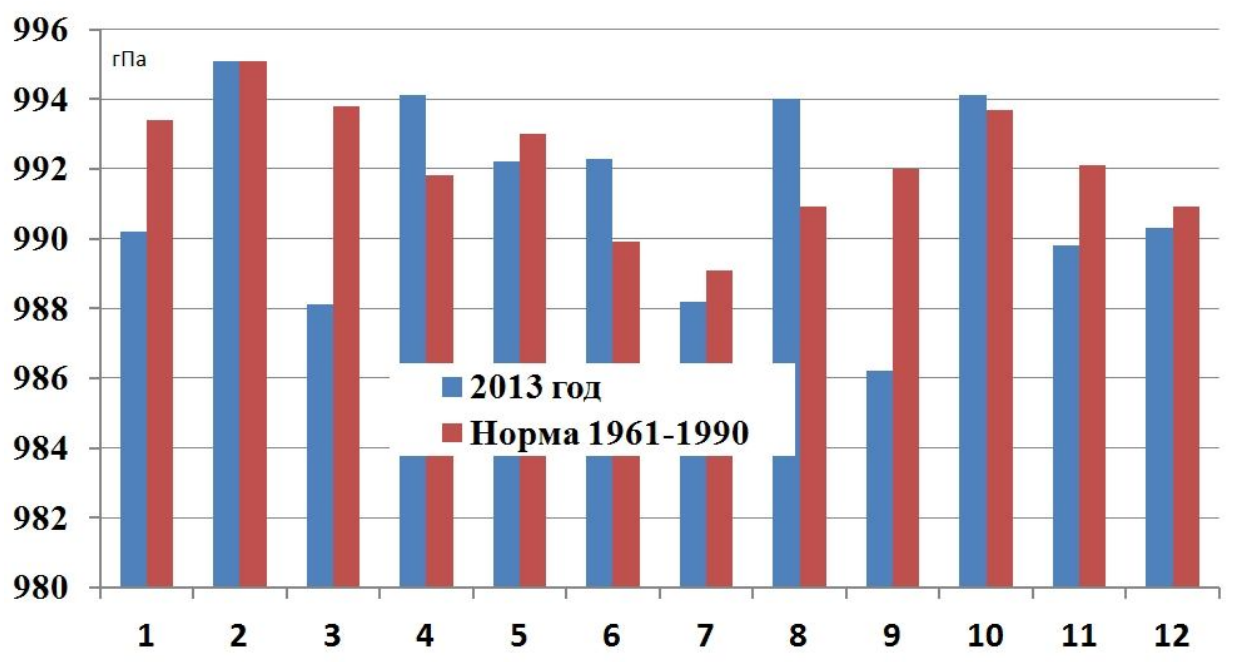


Рисунок 6.1 - Сравнение среднемесячных значений атмосферного давления в 2013 году с климатической нормой.

Однако, в 2013 году распределение давления (см рис.6.1) несколько отличалось от климатического. Максимум был достигнут в феврале (полностью повторив характерное климатическое значение для этого месяца). Однако высокие значения свыше 994 гПа достигались в апреле, августе и октябре. А вот самое низкое значение было достигнуто в сентябре (который, напомним, был исключительно дождливым). Из-за глубоких циклонов аномалия составила 5,8 гПа с отрицательным знаком. На рисунке 6.2. приведено

барическое поле на 500 гПа, за 24 сентября, где видно, что центр циклона практически располагается над Московской областью.

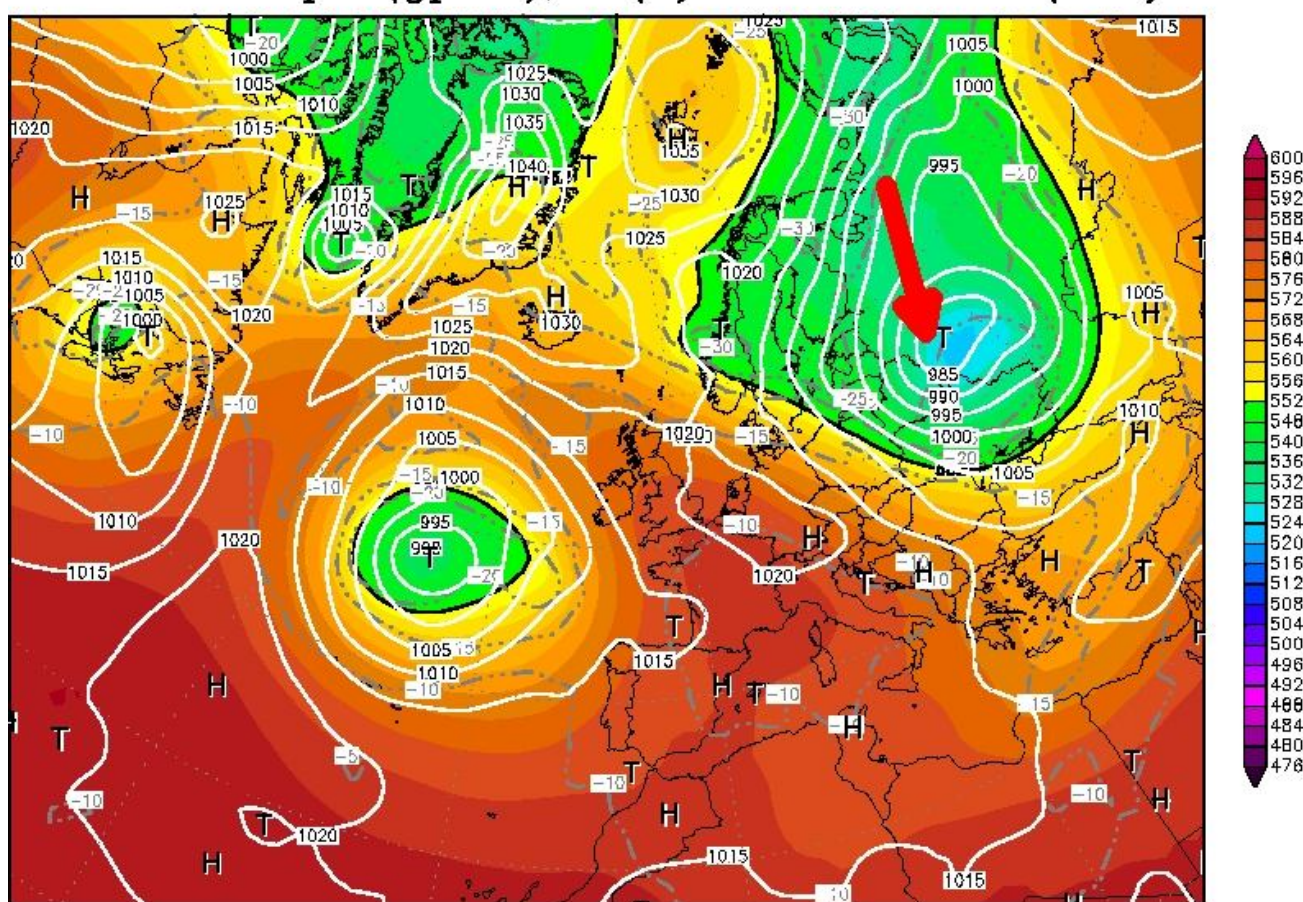
Следует особенно отметить, что такая ситуация неоднократно повторялась в этом месяце, что в принципе не соответствует характеру сентябрьской погоды в столице.

Другим значимым отклонением стал март месяц – отклонение составило - 5,7 гПа на среднемесячном уровне осреднения (и так же с отрицательным знаком).

Init : Tue,24SEP2013 00Z

Valid: Tue,24SEP2013 00Z

500 hPa Geopot.(gpm), T (C) und Bodendr. (hPa)



Daten: GFS—Modell des amerikanischen Wetterdienstes
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Рисунок 6.2 - Карта погоды за 00 часов по Гринвичу 24 сентября 2013 года. Стрелкой обозначено расположение МО МГУ (Москва).

Таблица 6.1- Среднемесячные значения атмосферного давления в 2013 году и климатическая норма.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Среднемесячное атмосферное давление на уровне станции 2013 год	990,2	995,1	988,1	994,1	992,2	992,3	988,2	994,0	986,2	994,1	989,8	990,3	991,2
Среднемесячное атмосферное давление на уровне станции (климатическая норма 1961-1990)	993,4	995,1	993,8	991,8	993	989,9	989,1	990,9	992	993,7	992,1	990,9	992,1
Аномалия, 2013 год	-2,8	0	-5,7	2,3	-0,8	2,4	-0,9	3,1	-5,8	0,4	-2,3	-0,6	-0,9

Резюмируя, следует отметить что в целом за 2013 год фон давления оказался заметно ниже нормы – отрицательная аномалия составила 0,9 гПа за год, в отдельные месяцы (март и сентябрь) отрицательная аномалия превышала значение 5 гПа (-5,7 и -5,8 гПа соответственно).

7. Ветровой режим в нижнем 500-метровом слое.

М.А. Локощенко

7.1. Общие сведения об акустическом зондировании атмосферы в МГУ.

Акустическое зондирование атмосферы осуществляется в Метеорологической обсерватории МГУ вот уже четверть века – начиная с 1988 года. Здесь работают два акустических локатора (содара): с 1988 года – вертикальный одноканальный содар «ЭХО-1» производства ГДР и с 2004 года – доплеровский трёхканальный содар «MODOS» производства фирмы МЕТЕК (Германия). Если первый даёт очень подробные данные о температурной стратификации, наличии задерживающих слоёв инверсий и высоте слоя перемешивания, то с помощью второго измеряются высотные профили скорости и направления ветра, а также ряд дополнительных показателей ветрового режима и мелкомасштабной термической турбулентности. В 2013 году содар «ЭХО-1» временно не работал вследствие сложной поломки, зондирование же с помощью содара «MODOS» было стабильным и непрерывным в продолжение всего года. Оно осуществляется в слое воздуха от 40 до 500 м, значения измеряемых показателей (прежде всего, скорости и направления ветра) доступны в среднем за каждые 10 мин и с шагом по высоте 20 м. За весь 2013 год не произошло ни одной поломки аппаратуры содара «MODOS». Как видно из таблицы 7.1, данные о ветре были получены в течение всех 365 календарных дней года, причём лишь 28 дней оказались отмечены пропусками в данных дольше 1 ч. Небольшие перерывы в зондировании были редкими и продолжались обычно не более 3-4 ч. Самый долгий перерыв в зондировании продолжился 16 ч 40 мин 04 и 05 ноября, ещё дважды пропуски в данных составили 12-13 ч (18-19 марта и 28-29 октября); в остальных же случаях они были значительно короче. В основном перерывы в зондировании были связаны с самопроизвольными остановками содарной аппаратуры вследствие сбоя датчика времени, но, благодаря почти безотлучному нахождению автора на работе, подобные случаи обычно вовремя замечались, и содар успешно перезапускался. Помимо спонтанных остановок в зондировании, в редких случаях данные о ветре могли быть также пропущены зимой при обильных снегопадах – до окончания выпадения снега и последующей очистки антенн.

Таблица 7.1 – Продолжительность содарных измерений в 2013 г., дни.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Всего:
31 (30)	28 (27)	31 (27)	30 (29)	31 (27)	30 (28)	31 (29)	31 (31)	30 (30)	31 (25)	30 (28)	31 (26)	365 (337)

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 часа.

Заметим, что дополнительное усиление регистрируемого эхо-сигнала, которым содарная аппаратура была снабжена в процессе её ремонта в 2011 году, 01 апреля 2013 года было немного уменьшено посредством соответствующего изменения установочных параметров в программном обеспечении содара. Это было сделано для осуществления методического эксперимента – проверки гипотетического влияния дополнительного усиления эхо-сигнала на результаты доплеровских измерений. Причиной такого долгосрочного эксперимента послужили довольно большие среднемесячные значения скорости ветра в течение большей части предыдущего 2012 года, хотя само по себе это влияние крайне маловероятно и, скорее всего, 2012 год был, действительно, очень ветреный. Начиная с 01 апреля 2013 г., усиление эхо-сигнала остаётся неизменным.

Ниже приведены основные данные о ветровом режиме в нижнем полукилометровом слое воздуха по результатам зондирования содаром «MODOS» в 2013 году.

7.2. Годовой ход скорости ветра.

Годовой ход средней скорости ветра в слое воздуха от 40 до 200 м за каждый месяц 2013 года приведён на рисунке 7.1 (чёрные квадраты) в сравнении с другими годами за всё время работы содара «MODOS». В дополнение к этому, на рисунке 7.2 те же самые данные за 2013 год сопоставлены со средними многолетними значениями за период 2004-2013 гг. Как видим, прошедший год был довольно обычным в ветровом режиме; среднегодовая скорость ветра в слое 40-200 м составила 5,1 м/с – значение, близкое к среднемноголетнему за весь предшествующий период 2004-2012 гг.: 5,3 м/с. В целом довольно ветреные зима и весна были уравновешены очень тихой погодой в летние и осенние месяцы. Как видно на рис.7.1, самым заметным отличием от остальных лет стал очень тихий август: среднемесячная скорость ветра в этом месяце (3,7 м/с) оказалась

намного ниже, чем во все другие годы. Самым же ветреным месяцем в 2013 году явился декабрь: 7,0 м/с (лишь один раз в декабре, в 2011 году, среднемесячная скорость ветра была ещё больше). В сравнении со среднемноголетними значениями на рис.7.2 видно, что среднемесячная скорость ветра в течение целых восьми месяцев 2013 года вышла за пределы доверительной вероятности 0,95. Так, очень ветреным, помимо декабря, оказался также апрель, а необычно тихой погодой были отмечены все месяцы подряд с июня по ноябрь.

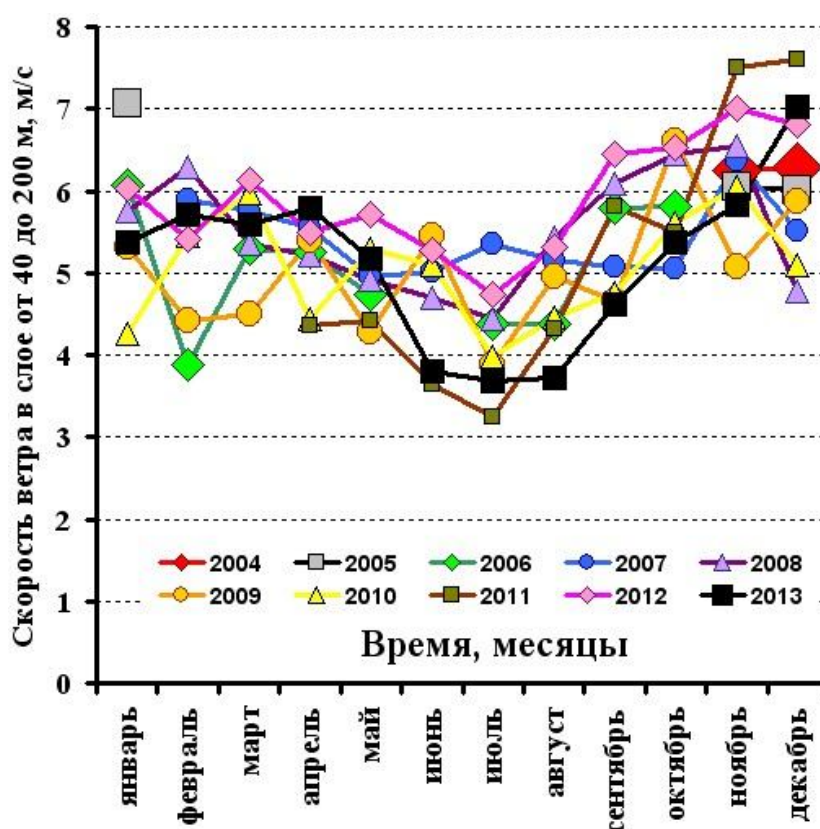


Рисунок 7.1 - Годовой ход среднемесячных значений скорости ветра в слое воздуха от 40 до 200 м за период 2004-2013 гг. По горизонтали – время, месяцы; по вертикали – скорость, м/с.

Как видно на рисунке 7.3, общий вид гистограммы всех значений скорости ветра в 2013 году характеризуется, как и обычно, положительной асимметрией и наличием единственной и чётко выраженной моды в диапазоне от 3 до 4 м/с. Повторяемость как штилевых условий, так и значений скорости более 15 м/с сравнительно мала.

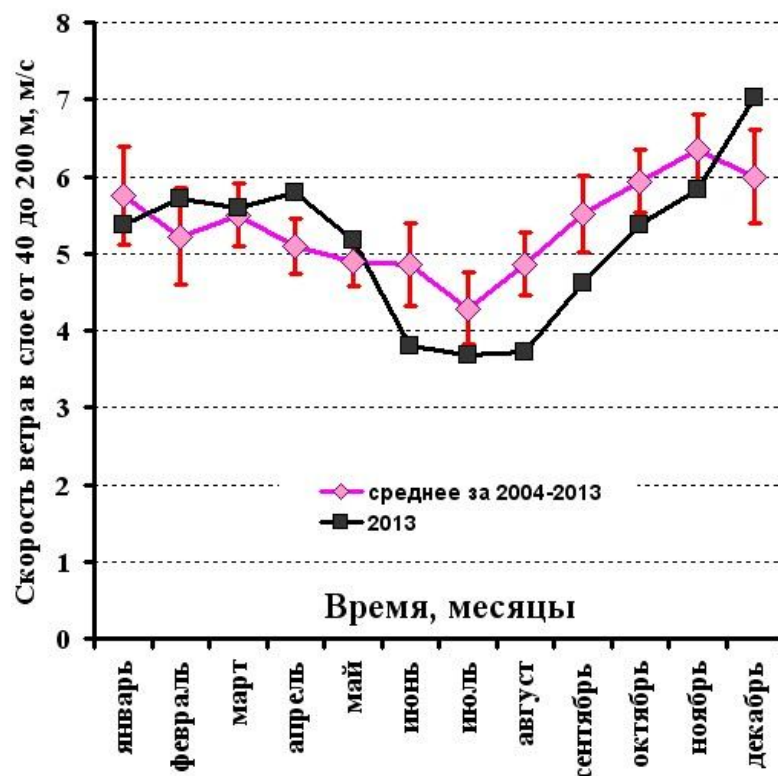


Рисунок 7.2 - Годовой ход среднемесячных значений скорости ветра в слое воздуха от 40 до 200 м в 2013 году и в среднем за все годы. По горизонтали – время, месяцы; по вертикали – скорость ветра, м/с. Доверительные интервалы построены с уровнем значимости 5 %.

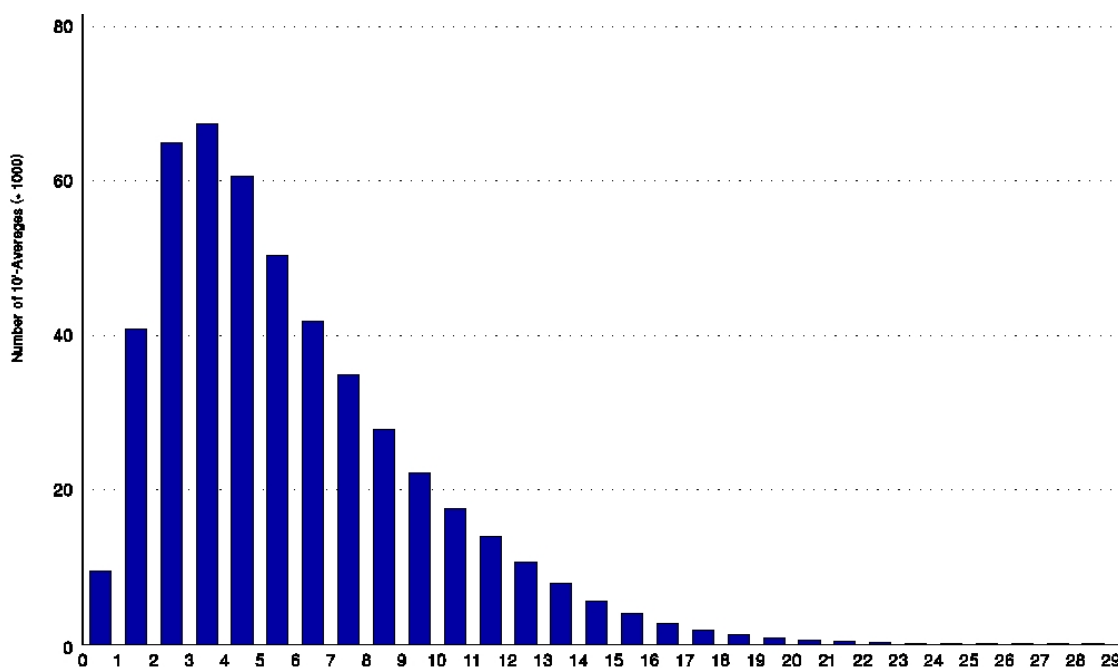


Рисунок 7.3-Распределение значений скорости ветра по содарным данным в МГУ в слое воздуха от 40 до 500 м за 2013 год.

7.3. Наибольшие значения скорости ветра.

В Таблице 7.2 приведены наибольшие значения скорости ветра в среднем за 10 минут в разные месяцы 2013 года. В отличие от средней скорости, приведённой выше для слоя воздуха от 40 до 200 м, наибольшие её значения рассмотрены во всём диапазоне зондирования вплоть до высоты 500 м. Заметим, что реальная верхняя граница содарных данных о ветре – непостоянная во времени, поскольку зависит от степени интенсивности развития мелкомасштабной термической турбулентности. Это означает, что уровень 500 м является лишь самым верхним пределом, на котором ещё возможны содарные данные о ветре; на деле же они отмечаются здесь менее чем в 10 % случаев. Поэтому вполне вероятно, что в реальности скорость ветра могла достигать в нижнем 500-метровом слое и бóльших значений по сравнению с приведёнными в Таблице 7.2.

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

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2013	24,1	23,9	23,3	24,7	24,3	23,1	18,0	18,3	17,0	25,1	25,5	28,4

Примечание: красным цветом показано наибольшее за год значение.

Как видим, аномально сильный ветер со скоростью более 30 м/с в 2013 году по данным содара «MODOS» не отмечался над Москвой вовсе. Наибольшее значение средней за 10 минут скорости ветра составило 28,4 м/с и было отмечено 13 декабря в 8.20 на высоте 500 м (рис.7.4). Достоверность этого значения подтверждается очень близкой скоростью ветра как на нижележащем уровне 480 м в это время (27,4 м/с), так и на том же самом уровне 500 м ранее и позднее (26,4 м/с в 8.10 и 27,8 м/с в 8.30 и 8.40). Заметим, что в 8.40 на уровне 480 м значение скорости ветра оказалось почти столь же высоким: 28,0 м/с. В эти часы Москва находилась в тёплом секторе глубокого циклона с центром над Финляндией, в зоне интенсивных градиентных течений. Как известно, нахождение места зондирования на периферии крупных барических образований с большим горизонтальным градиентом атмосферного давления служит необходимым условием достижения рекордно высоких значений скорости ветра.

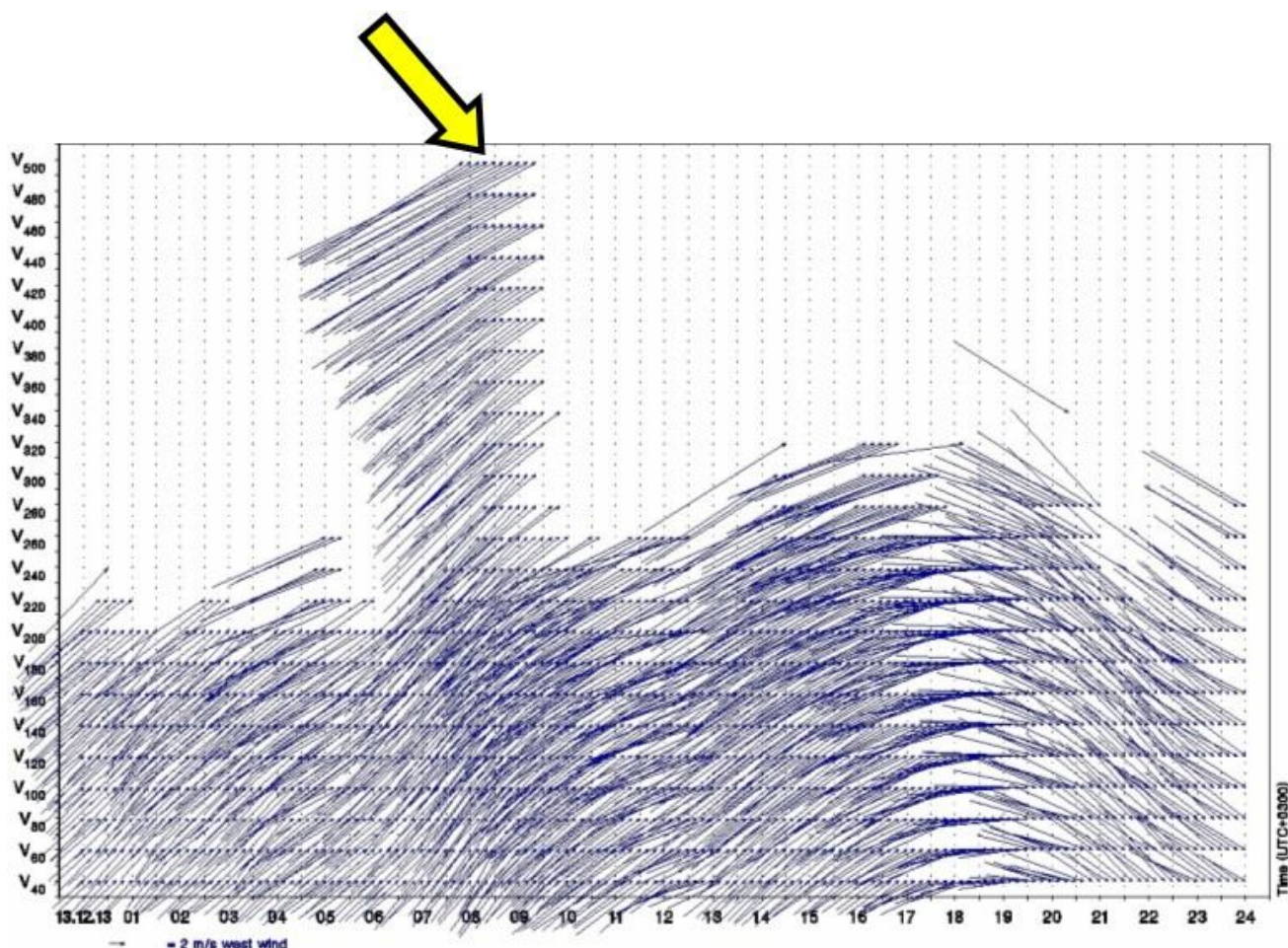


Рисунок 7.4 = Скорость ветра по содарным данным в слое воздуха от 40 до 500 м 13 декабря 2013 года. Время – зимнее; масштаб длины стрелок приведён внизу рисунка. Наибольшее значение показано жёлтой стрелкой.

7.4. Направление ветра.

На рисунке 7.5 приведена роза ветров за 2013 год. Здесь в единой графической форме представлены данные как о направлении ветра (в обычной ориентации по странам света), так и о его скорости (в виде концентрических кругов разного радиуса, соответствующих разным диапазонам значений). Как видно, в целом роза ветров близка к аналогичным распределениям за предыдущие годы, приведённым в сборниках данной серии. Так, главная мода распределения, отражающая общий западный перенос, заключена в пределах от 225° до 235° направления и от 5 до 10 м/с скорости ветра (чёрный цвет в цветовой шкале повторяемостей). Дополнительной особенностью этого года явилось наличие в распределении вторичной моды, связанной с относительно частой регистрацией восточно-северо-восточного ветра в границах от 75° до 85° со скоростью от 15 до 20 м/с.

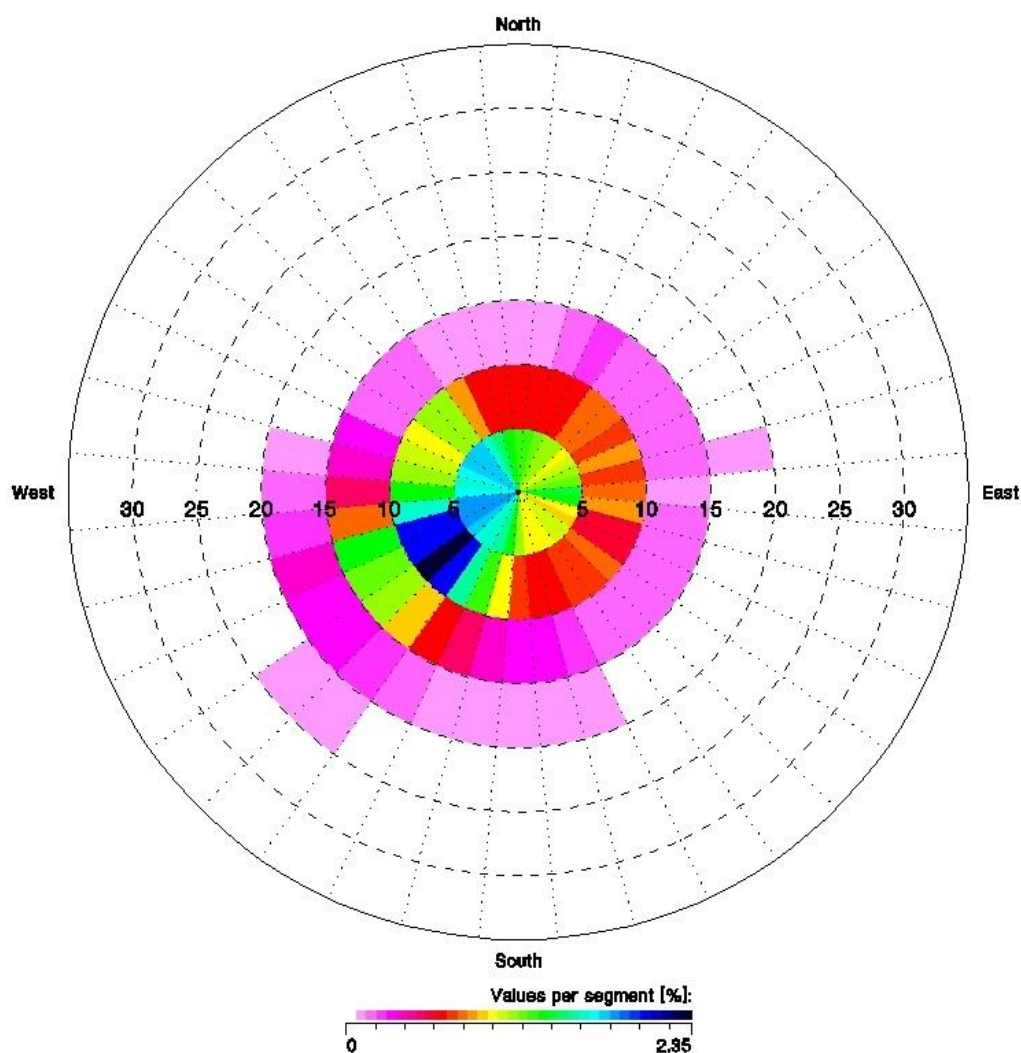


Рисунок 7.5. Роза ветров по данным содара «MODOS» в МГУ в слое воздуха от 40 до 500 м за 2013 год.

Заметим, что вторичная мода с данным направлением отмечалась и в некоторые другие годы (например, в 2006 и в 2012 гг.) и даже проявилась при осреднении за восьмилетний период зондирования 2004-2012 гг. в соседнем сегменте (от 65° до 75°) и в том же самом диапазоне скорости (от 15 до 20 м/с). Однако с добавлением 2013 года сводная роза ветров за девять лет уже не показывает дополнительной моды в данном секторе направления. Остаётся пока неясным, является ли повышенная повторяемость в Москве восточно-северо-восточного ветра следствием лишь случайных особенностей синоптических условий в отдельные годы или отражает устойчивую климатическую закономерность.

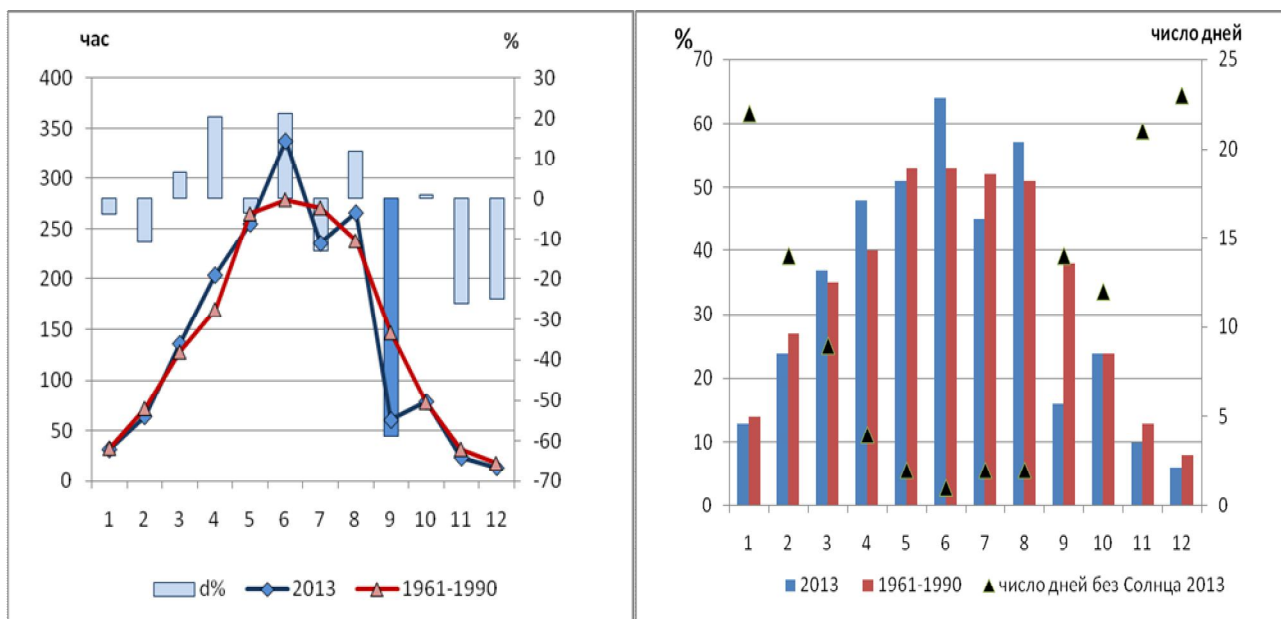
8. Особенности облачного покрова и продолжительности солнечного сияния

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

В таблице 8.1 представлены средние месячные значения ПСС, балла облачности в 2013 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 2012 года.

В 2013 году продолжительность солнечного сияния (ПСС) была на 1% ниже климатической нормы и составила 38 % от возможной ПСС. Число дней без Солнца на 18 дней превысило среднее значение. Традиционно пасмурными были месяцы ноябрь и декабрь на 26%, 25% ПСС ниже нормы соответственно. Эти месяцы в годовом ходе ПСС характеризуются минимальными значениями, и понижение ПСС не приводит к существенному уменьшению годового значения продолжительности солнечного сияния. Главной особенностью режима ПСС в 2013 году стал необыкновенно пасмурный сентябрь, меньшее значение ПСС было отмечено только в 1990 году. Сентябрьское значение ПСС на 59% ниже нормы, что составило всего 16% от возможной ПСС (табл.8.1, рис.8.1). Такое понижение ПСС в сентябре, месяце, когда астрономические факторы определяют большой приход радиации к земной поверхности, существенно повлияло на радиационный режим. Третий год подряд ниже нормы ПСС отмечается в традиционно ясном феврале (на 11%). Пасмурным и дождливым был июль, ПСС на 13% ниже нормы. Значительное повышение ПСС на 20% от нормы отмечено в апреле и июне. В августе ПСС превысило норму на 12%. Июньское значение ПСС составило 64% от возможной, при норме 53% , августовское 57%, при норме 51%, что и определило малое уменьшение годовой ПСС от климатической нормы. Больше половины года суточные суммы ПСС за отдельные дни были ниже средних многолетних значений (рис.8.2). Тем не менее, в отдельные дни (два дня в январе, три дня марте, один день в апреле) суточные значения ПСС незначительно превысили максимальную ПСС для этого дня за весь период наблюдений (рис.8.2).



а)

б)

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

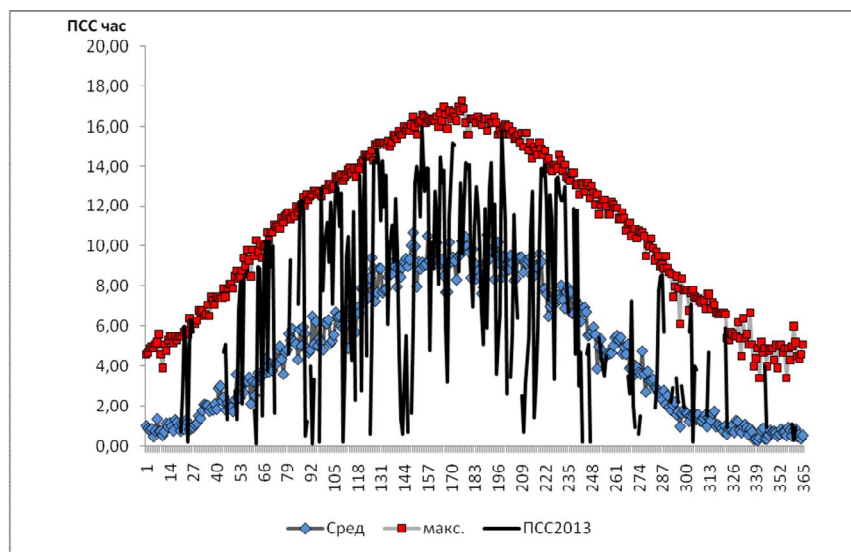


Рисунок 8.2 - Ход суточных значений PSS за каждый день года.

Отклонения от теоретического распределения PSS, обусловленного астрономическими факторами, вызвано особенностями режима облачности.

В целом за год балл и нижней и общей облачности выше среднего значения за период 1965-2012 гг. Среднее годовое значение балла общей облачности соответствует максимальному значению за весь период наблюдений (табл.8.1, рис.8.3). Годовой ход отклонений PSS в 2013 от нормы полностью согласуется с внутригодовым распределением облачности.

Таблица 8.1 - Продолжительность солнечного сияния и облачность

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
ПСС час.													
2013	31,7	64,2	136,2	204,1	255,2	337,7	235,5	266,2	60,5	78,7	23,7	13,5	1707
1961-1990	33	72	128	170	265	279	271	238	147	78	32	18	1731
d%	-4	-11	6	20	-4	21	-13	12	-59	1	-26	-25	-1
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
ПСС % от возможного													
2013	13	24	37	48	51	64	45	57	16	24	10	6	38
1961-1990	14	27	35	40	53	53	52	51	38	24	13	8	38
Δ	-1	-3	2	8	-2	11	-7	6	-22	0	-3	-2	0
1999-2009	11	22	40	50	57	55	58	53	47	23	12	8	42
число дней без Солнца													
2013	22	14	9	4	2	1	2	2	14	12	21	23	126
Сред.	19	13	8	5	2	1	1	2	4	11	19	22	108
балл общей облачности													
2013	9,2	8,2	8,1	8	8,3	7,1	9,2	7,6	9,7	8,9	9,5	9,5	8,6
1965-2012	8,7	8,2	7,9	7,9	7,3	7,4	7,3	7,2	8,0	8,7	9,1	9,1	8,1
Δ	0,5	0,0	0,2	0,1	1,0	-0,3	1,9	0,4	1,7	0,2	0,4	0,4	0,5
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	8,53
год	2004	2002	1988	1973	1980	2005	1993	1987	1990	2006	2010	2000	2012
балл нижней облачности													
2013	7,5	7	4,9	4,4	4,5	4	5,7	4,6	8,4	6,6	8,4	8,5	6,2
1965-2012	7,1	6,2	5,5	5,1	4,6	5,0	4,9	4,9	5,7	7,0	8,1	7,9	6,0
Δ	0,4	0,8	-0,6	-0,7	-0,1	-1,0	0,8	-0,3	2,7	-0,4	0,3	0,6	0,2
1999-2009	8	6,9	5,6	4,5	4,6	5,1	4,7	4,9	4,9	7,2	8,2	8,4	6,1
мин	3,6	1,7	2,8	3,5	2,8	2,9	2,3	3,2	3,3	4,4	5,3	5,3	4,8
год	1973	1969	1969	2009	1967	1972	1996, 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 в метеорологические сроки													
2013о	9,1	8,7	7,8	7,4	8	7	9	7,3	9,7	8,6	9,3	9,3	8,4
2013н	7,8	7	4,8	4,1	4,3	3,6	5,5	4,3	8,5	6,5	8,1	8,3	6,1

В сентябре и июле отмечен максимальный балл общей облачности за весь период наблюдения: для сентября балл общей облачности 9.7 на 1.7, а нижней 8.4 на 2.7 балла выше нормы. Относительно малооблачная погода была в июне. Только в июне балл общей облачности ниже нормы. Для нижней облачности 6 месяцев в году балл ниже нормы (рис.8.4).

В 2013 году нарушен характерный для нашего региона годовой ход балла нижней и общей облачности. Максимальное значение балла для общей облачности отмечено в сентябре. Для нижней облачности сентябрьское значение сравнялось со значениями в ноябре и декабре и даже на 0.4 балла превысило среднее многолетнее сентябрьское значение балла общей облачности. Июльский максимум также не характерен для климата нашего региона (рис.8.3).

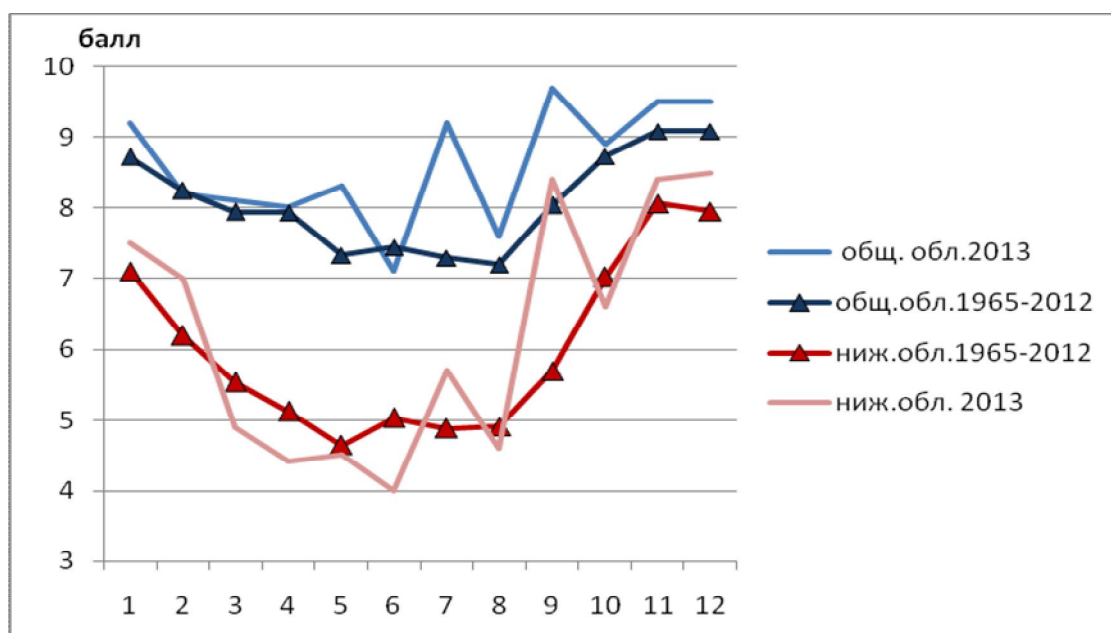
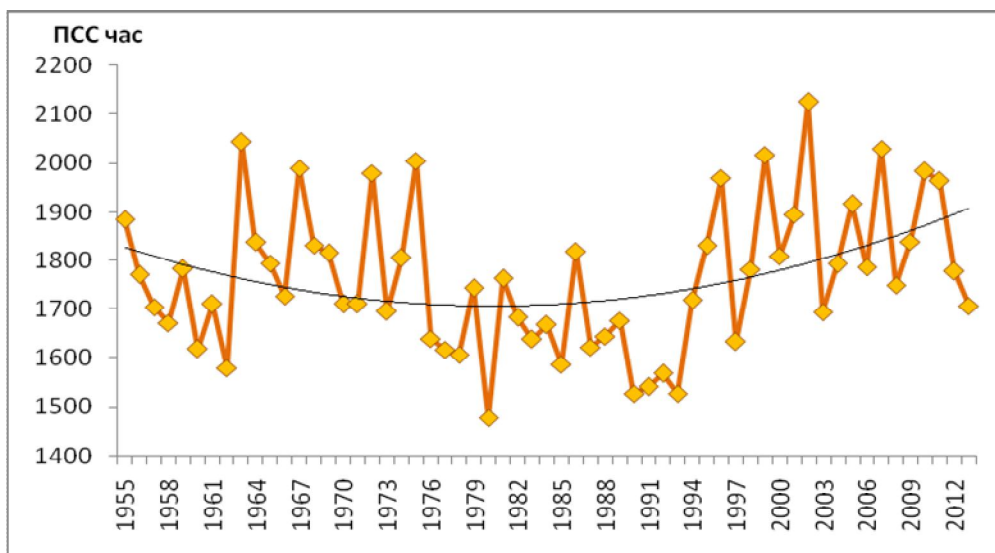
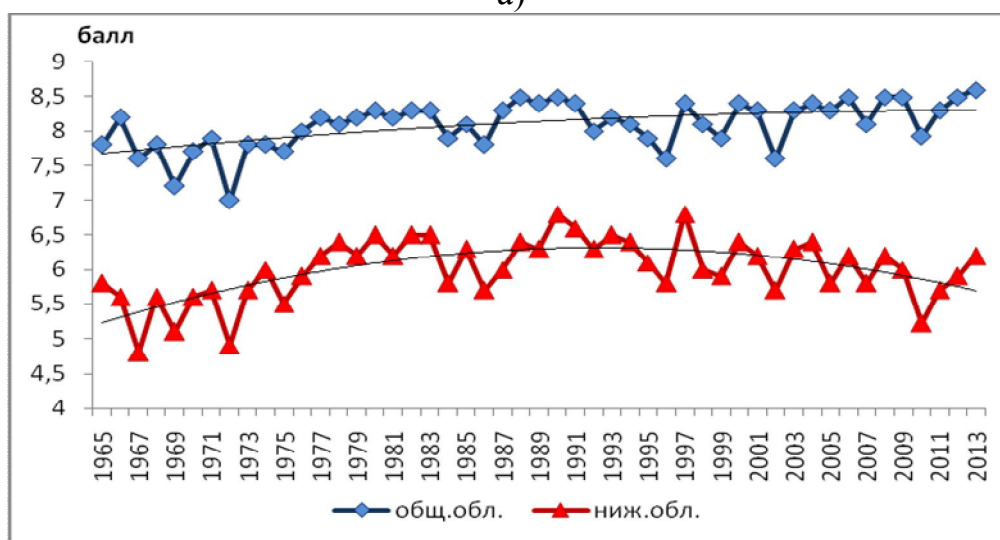


Рисунок 8.3 - Годовой ход балла облачности в сравнении с нормой (полученного за светлое время суток).

Среднемесячные значения балла как нижней, так и общей облачности, полученные осреднением за светлое время суток и по метеорологическим срокам, согласуются и отличаются между собой в среднем на 0.3 балла, что считается допустимым для визуальных наблюдений.



а)



б)

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

В сравнении с нормой ВМО в 2013 году отмечены тенденции уменьшения годовых значений ПСС и увеличения количества нижней и общей облачности (рис. 8.4).

9. Характеристика прозрачности атмосферы и составляющих радиационного баланса

Е.В. Горбаренко

Наблюдения за составляющими радиационного баланса подстилающей поверхности и их обработка в Метеорологической обсерватории МГУ производятся строго по наставлению гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям (РД 52.04.562-96 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 5, часть I. Актинометрические наблюдения на станциях. Росгидромет, М. 1997).

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 влагосодержания атмосферы (Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В., 2008).

В течение всего 2013 года прозрачность атмосферы существенно выше средних значений. (табл.9.1, рис.9.1). Среднее годовое значение коэффициента прозрачности атмосферы в 2013 г. на 9% выше нормы.

Таблица 9.1 - Характеристики прозрачности атмосферы.

Коэффициент прозрачности атмосферы													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
2013	0,813	0,77	0,784	0,756	0,747	0,737	0,738	0,739	-	0,816	0,824	-	0,772
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%	8	3	7	9	8	5	6	7		8	7		9
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													
2013	0,03	0,13	0,12	0,14	0,14	0,15	0,15	0,14		0,03	0,01		0,10
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%	-83	-35	-45	-50	-50	-38	-40	-46		-81	-93		-57
1999-2009	0,05	0,10	0,13	0,20	0,15	0,13	0,18	0,19	0,20	0,12	0,06	0,04	0,13
d%	-40	32	-10	-29	-8	20	-18	-25		-75	-83		-22
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	0,09	0,09	0,07	0,1	0,1	0,06	0,04	0,01	0,01	0,11
год	2009	1989	1997	2012	1997	2004, 1994	1980	2000	2003	> 3 лет	2003	2007, 1999	> 3 лет

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

Годовое значение АОТ550, более чем в два раза меньше нормы и равно абсолютному минимуму за весь период наблюдений. Это значение на 22 % ниже среднего годового значения последнего десятилетия, когда почти ежегодно отмечались значения АОТ550 на 20-40% ниже нормы.

В течение всего года АОТ550 существенно ниже нормы (табл.9.1), практически во все месяцы года АОТ550 близки к минимальным значениям за весь период наблюдения. Уже третий год подряд в годовом ходе АОТ550 не наблюдается 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. Сход снежного покрова в последние годы начинается во второй декаде апреля. В этот период температуры воздуха и почвы уже высоки и свободные от асфальта поверхности, являющиеся основным источником естественного аэрозоля в городе, достаточно быстро покрываются растительным покровом. В течение всего теплого периода значения АОТ550 остаются практически постоянными и низкими. Лето было дождливое, аэрозоль вымывался из атмосферы, можно сказать, что и летний максимум в 2013 году не проявился. Таким образом, характерный для Москвы годовой ход с двумя максимумами (рис.9.1) в 2013 году не наблюдался.

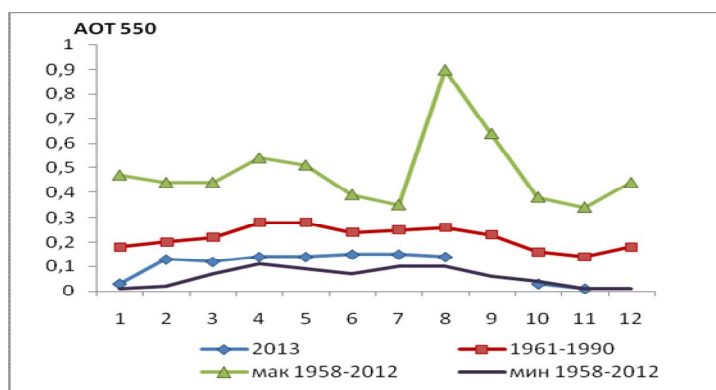


Рисунок 9.1 - Годовой ход аэрозольной оптической толщины на 550 нм

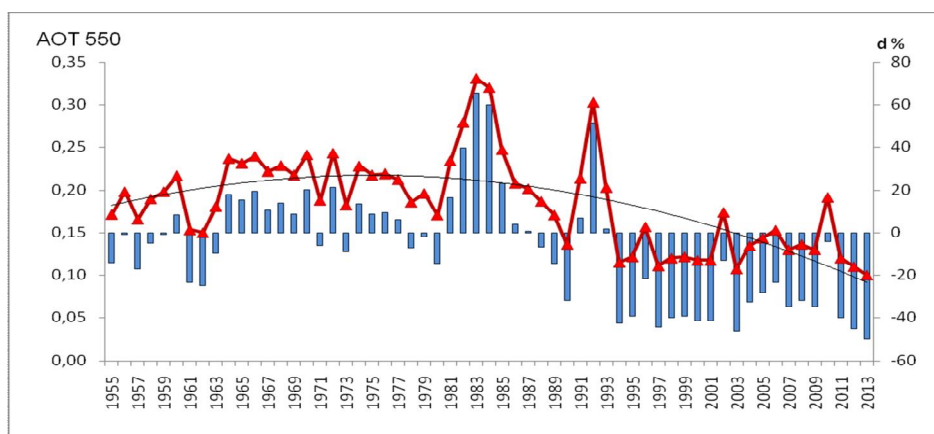


Рисунок 9.2 - Многолетняя изменчивость аэрозольной оптической толщины на 550нм.

Минимальные значения АОТ в ноябре - 0.01. Надо отметить, что это значение получено по трем измерениям в один день, что нельзя признать достоверным. В сентябре и декабре не было условий для расчета параметров прозрачности атмосферы по методике, принятой в РФ.

В многолетней изменчивости параметров прозрачности атмосферы над Москвой сохранилась тенденция к увеличению прозрачности атмосферы (рис.9.2).

Приход суммарной интегральной солнечной радиации в 2013 году ниже нормы на 5% . Внутригодовое изменение суммарной радиации полностью отражает изменения ПСС и облачности. В течение восьми месяцев года месячные суммы Q ниже нормы. Существенное уменьшение суммарной радиации, в соответствие с ПСС и облачностью отмечено в ноябре и декабре (на 26% и 25% ниже нормы соответственно) и практически вдвое уменьшился приход Q в необыкновенно пасмурном сентябре, что стало **абсолютным минимумом** за весь период наблюдений. В остальные месяцы отмечено незначительное превышение нормы (табл.9.2, рис.9.3а).

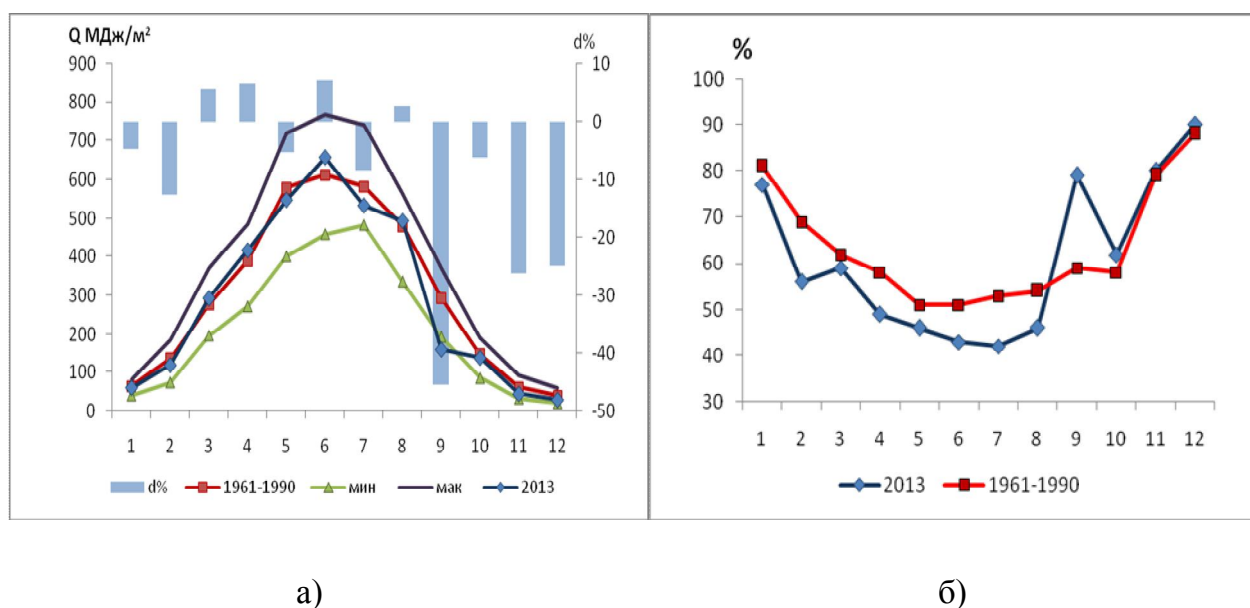


Рисунок 9.3 - Годовой ход: а- суммарной радиации, б – отношения D/Q .

Суммарная радиация в течение года состояла, в основном, из рассеянной $D/Q=52\%$. Увеличение доли прямой радиации в суммарном потоке ($D/Q \leq 50\%$) относительно нормы отмечено с апреля по август. Существенное превышение D/Q (на 20%) от среднего значения отмечено в пасмурном сентябре (рис.9.3.б).

Таблица 9.2 - Составляющие радиационного баланса.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Месячные суммы суммарная радиация Q (МДж/м ²)													
2013	61	119	293	416	547	656	533	493	160	138	45	30	3491
1961-1990	64	136	277	390	578	612	582	480	293	147	61	40	3660
d%	-5	-13	6	7	-5	7	-8	3	-45	-6	-26	-25	-5
1999-2009	52	122	285	423	590	599	604	468	311	140	54	34	3682
d%	17	-4	3	-2	-7	10	-12	5	-48	-2	-17	-12	-5
мин 1958-2012	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 1958-2012	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 (%)													
2013	77	63	57	49	46	43	42	46	79	62	80	90	52
1961-1990	81	69	62	58	51	51	53	54	59	58	79	88	57
Δ%	-4	-13	-3	-9	-5	-8	-11	-8	20	4	1	2	-5
1999-2009	85	73	58	51	47	49	49	52	54	69	80	88	53
Отраженная радиация Rk (МДж/м ²)													
2013	44	74	206	120	118	140	111	114	32	27	11	16	1013
1961-1990	40	87	131	68	117	126	117	96	58	32	24	22	918
d%	10	-15	57	76	1	11	-5	19	-45	-15	-54	-27	10
1999-2009	31	74	136	79	116	116	109	85	58	26	17	17	863
d%	41	0	51	51	2	21	2	35	-44	5	-36	-4	17
мин 1958-2012	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 1958-2012	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/м ²)													
2013	-10	-6	12	169	285	355	273	244	66	29	-7	-11	1399
1961-1990	-34	-26	30	159	267	299	284	212	99	19	-20	-31	1258
d%	42	77	-60	6	7	19	-4	15	-33	53	65	65	11
1999-2009	-15	-11	39	182	289	302	321	224	122	31	-9	-16	1461
d%	71	190	-70	-7	-1	17	-15	9	-46	-8	22	31	-4
мин 1958-2012	-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 1958-2012	4	11	97	206	354	373	374	279	141	42	4	-4	1631
год	2006	2002	2002	2009	2002	1999	2010	2004	2007	2007	2009	2000	2011
Альбеде подстилающей поверхности А* (%)													
2013	72	62	70	29	22	21	21	23	20	20	24	53	29
1961-1990	63	64	46	17	20	21	20	20	20	21	39	56	25
Δ	9	0	24	12	2	1	1	3	0	-1	-15	-3	4
1999-2009	60	59	47	19	20	19	18	18	19	18	31	48	25
мин 1958-2012	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 1958-2012	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

Примечание: *- А рассчитано по месячным суммам

Средние суточные значения суммарной радиации (ΣQ_c) изменяются ото дня ко дню в соответствии с ПСС и облачностью. ΣQ_c в марте, апреле, июне и августе превысили норму и средние многолетние значение за период 1958-2012 (табл. 9.3). Максимальные средние суточные суммы ΣQ_c 2013 года не превысили максимальных значений за период 1958 -2012 гг. В феврале минимальная суточная сумма стала абсолютным минимумом за весь период наблюдений.

Таблица 9.3 - Суточные суммы интегральной суммарной радиации (МДж/м²).

Период (годы)	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1. Средняя суточная сумма												
1958-2012	1,95	4,61	9,06	13,34	18,66	20,29	19,19	15,25	9,70	4,63	1,96	1,23
1961-1990	2,06	4,81	8,92	12,97	18,62	20,39	18,73	15,44	9,74	4,72	2	1,28
2013	1,96	4,24	9,45	13,88	17,64	21,87	17,19	15,91	5,33	4,48	1,50	0,95
σ	0,93	2,08	3,98	5,61	6,18	6,37	6,20	5,34	4,26	2,72	1,24	0,62
2. Максимальная суточная сумма												
1958-2012	5,15	10,57	18,95	24,77	30,14	31,82	31,44	26,41	20,62	13,89	6,69	3,29
Число	30	27	31	30	23	19	8	1	1	1	1	1
Год	1998	1975	2001	1988	1996	1977	1973	1980	1994	1967	1975	2002
2013	4,57	10,05	18,32	24,43	26,61	29,32	26,29	22,29	11,00	9,82	4,18	2,09
3. Минимальная суточная сумма												
1958-2012	0,23	0,63	1,19	1,23	2,17	1,68	1,62	1,69	0,98	0,38	0,1	0,12
Число	1	7	4	14	24	15	20	14	16	10	19	15,25
Год	1995	2002	1989	1970	1974	1993	1973	2004	1981	1983	1987	1960, 1989
2013	0,56	0,48	2,17	3,01	4,74	6,02	6,29	2,30	1,08	0,66	0,37	0,30

Для 10 дней года отмечен абсолютный максимум суммарной суточной суммы интегральной радиации в эти дни за весь период наблюдений (рис.9.4).

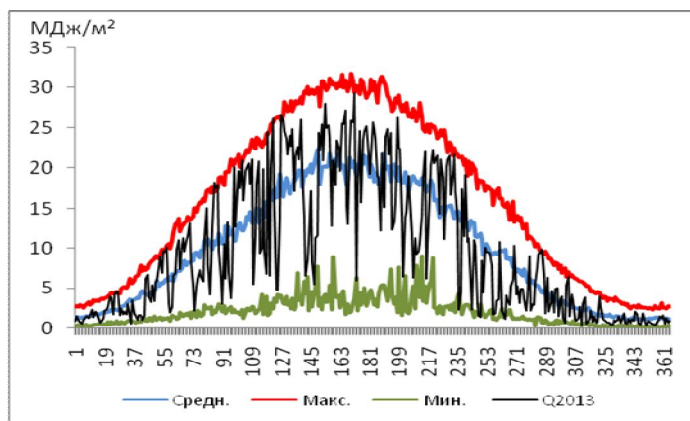


Рисунок 9.5 - Суточные суммы суммарной радиации за каждый день года

Величина альbedo подстилающей поверхности в среднем за 2013 г на 4 % больше нормы. Увеличение среднего годового альbedo определялось, прежде всего, существенным повышением отражающих свойств снежного покрова. Снежный покров в 2013 году характеризовался сохранением своих свойств с декабря по апрель, альbedo превысило норму в эти месяцы. Наибольшее превышение нормы отмечено в марте (на 24%) и апреле (на 12%). Дни с оттепелями, которые ухудшили состояния снежного покрова, начали отмечаться только в апреле и снежный покров продержался до середины месяца.

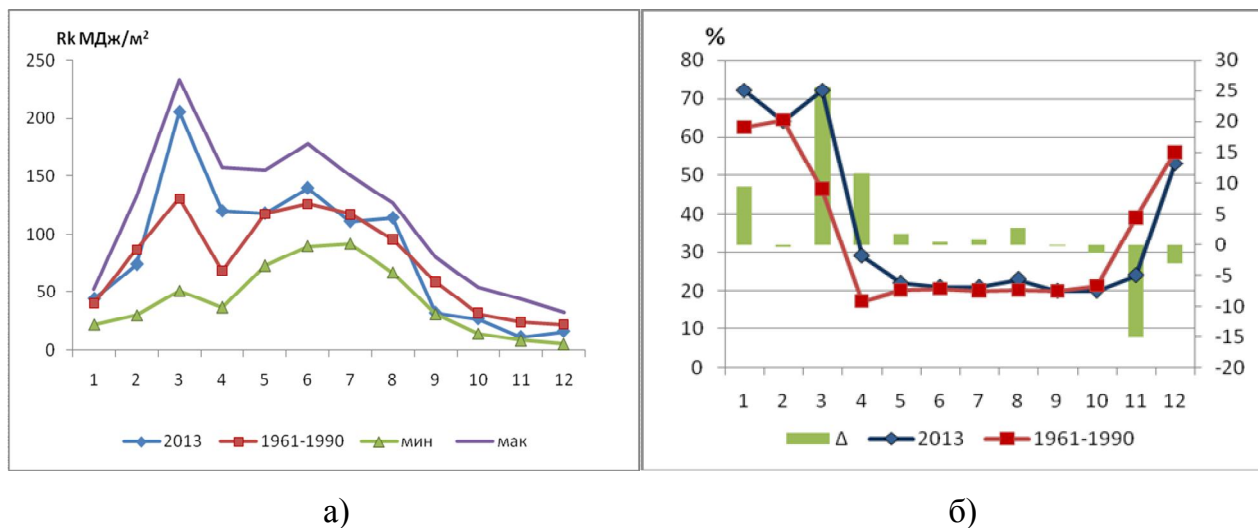
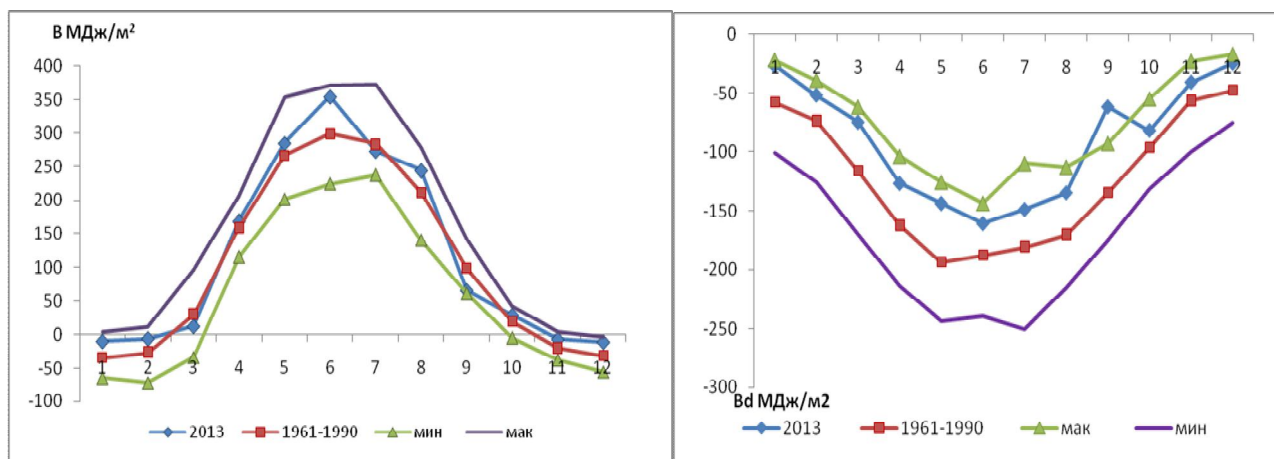


Рисунок 9.6 - Годовой ход: а- отраженной радиации, б- альbedo подстилающей поверхности.

Наибольшее уменьшение альbedo от нормы в ноябре (на 15 %) связано с отсутствием снежного покрова, что не соответствует климату нашего региона, но стало наблюдаться постоянно в последние годы (табл.9.2, рис.9.6.б).

Изменчивость отраженной радиации связана как с приходом суммарной радиации, так и с состоянием подстилающей поверхности. В соответствии с изменением состояния подстилающей поверхности максимальное отклонение месячных значений R_k от нормы происходит в месяцы установления и схода снежного покрова: превышение в марте (на 57%) и в апреле (на 76%); уменьшение в ноябре (на 54%). Существенное уменьшение R_k в сентябре (на 45%) определялось уменьшением общего прихода суммарной солнечной радиации в этом месяце также на 45% (табл.9.2, рис.9.6.а). В среднем за год отраженная радиация на 10% выше нормы.



а)

б)

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

В 2013 году наблюдается уменьшение приходной и увеличение расходной части общего радиационного баланса, что привело к уменьшению годовой суммы В относительно последних лет (1999-2009 гг.) на 4% (рис. 9.8). Но тенденция роста относительно климатической нормы сохранилась, превышение от нормы составило 11%. Значительную часть года земная поверхность больше получала тепла, чем отдавала. Для 9 месяцев года месячные суммы радиационного баланса выше нормы (табл.9.4, рис.9.7а). Существенное уменьшение В в марте (-60%) за счет увеличения отраженной радиации (устойчивый снежный покров сохранялся весь месяц).

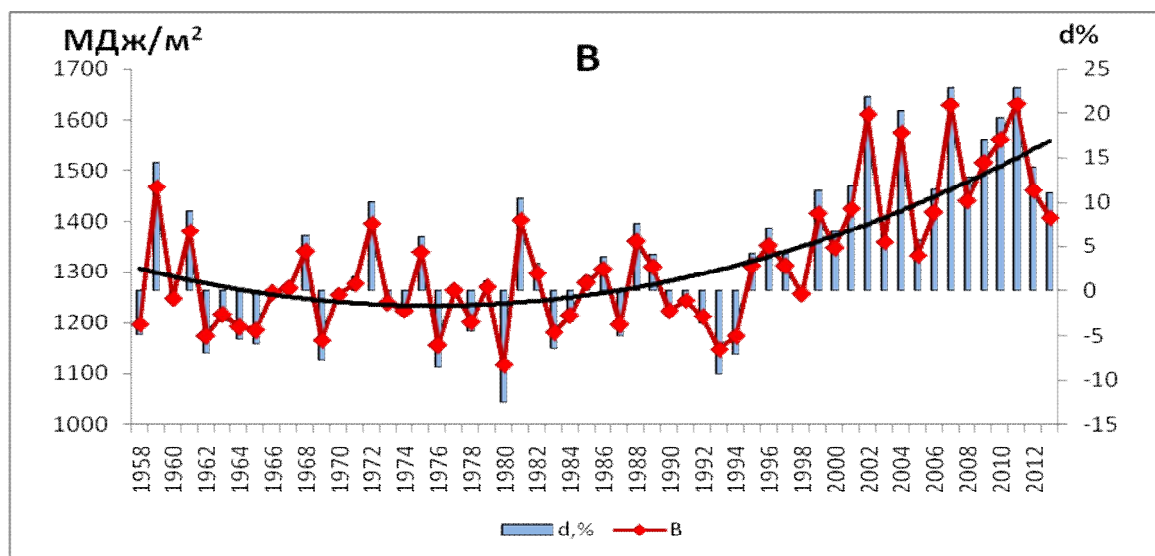


Рисунок 9.8 - Многолетние изменения радиационного баланса и отклонения годовых значений от нормы.

Годовой ход суточных сумм В повторяет годовой ход месячных сумм В (табл. 9.5). Для 118 дней в году суточные суммы В превысили средние многолетние значения. Такое превышение наблюдалось практически во все дни, когда суточная сумма радиационного баланса меньше нуля. Дней с отрицательной суточной суммой в 2013 году было 77, что близко к минимальному значению (75) за весь период наблюдений. Для девяти месяцев в году средние суточные значения превысили средние многолетние за период 1958-2012 гг. Суточная сумма радиационного баланса 29 апреля 2013 стала абсолютным максимумом апрельской суточной суммы за весь период наблюдений (табл. 9.5). Для 22 дней значения суточной сумм В превысило максимальные значения для этих дней из выборки 1955-2007гг. (рис.9.10).

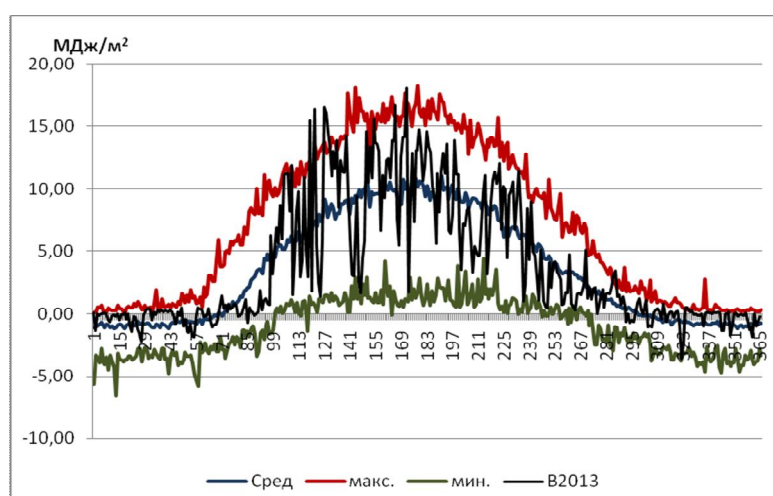


Рисунок 9.10 - Суточные суммы общего радиационного баланса за каждый день года

Таблица 9.5- Суточные суммы общего радиационного баланса (МДж/м²).

Период (годы)	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя многолетняя суточная сумма												
1958-2012	-0,89	-0,73	0,97	5,53	8,80	10,05	9,61	6,89	3,41	0,67	-0,58	-0,85
1961-1990	-1,1	-0,91	0,98	5,28	8,58	9,93	9,15	6,83	3,28	0,57	-0,67	-0,99
2013	-0,35	-0,22	0,38	5,65	9,18	11,82	8,84	7,85	2,22	0,95	-0,25	-0,35
Максимальная суточная сумма												
1958-2012	0,98	1,94	10,07	13,84	18,05	18,66	17,55	15,73	10,77	5,54	2,73	0,73
Число	25	23	30	28	23	5	8	9	6	3	30	6
Год	1971	2002	2004	2012	2002	2012	1973	2007	2004	2008	1969	1961
2013	0,46	0,55	1,46	15,48 (29)*	16,51	18,03	14,63	12,08	5,15	3,45	0,81	0,17
Минимальная суточная сумма												
1958-2012	-6,6	-6,04	-3,54	-2,09	0,11	-0,12	0,54	0	-1,27	-2,98	-4,64	-4,68
Число	13	27	13	3	20	12	17	20	31	11	30	9
Год	1971	2000	1971	1972	1965	1994	2000	1962	1985	1962	1965	1986
2013	-2,25	-0,32	-0,67	0,19	1,44	1,79	3,30	1,06	0,30	-1,06	-3,55	-1,88

Увеличение значений общего радиационного баланса в 2013 году происходило за счет роста месячных сумм длинноволнового баланса (B_d). Практически в течение всего года (за исключением июня) месячные суммы коротковолнового баланса ниже нормы, что привело к **минимальной** (на 10% ниже нормы) за весь период наблюдений годовой сумме B_k . Длинноволновый баланс только в июле ниже нормы, а в сентябре месячная сумма B_d – абсолютный максимум. Годовое значение длинноволнового баланса в 2013 году стало **абсолютным максимумом** (на 28% выше нормы) за весь период наблюдений (табл.9.4).

Таблица 9.4 - Месячные и годовые значения коротковолнового и длинноволнового баланса.

Месячные суммы коротковолнового баланса B_k (МДж/м ²)													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
2013	17	45	87	296	429	516	422	379	128	111	34	14	2478
1961-1990	24	48	147	321	461	487	465	383	234	115	37	17	2738
d%	-29	-7	-41	-8	-7	6	-9	-1	-45	-4	-7	-19	-9
1999-2009	21	48	149	344	474	483	495	383	253	115	37	17	2819
мин 1958-2012	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 1958-2012	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)													
2013	-27	-51	-76	-127	-144	-161	-149	-135	-62	-82	-41	-25	-1080
1961-1990	-58	-74	-116	-163	-194	-188	-181	-171	-135	-97	-57	-48	-1482
d%	41	31	32	18	17	3	-7	13	25	32	5	37	27
1999-2009	-36	-59	-109	-161	-185	-181	-174	-159	-131	-83	-46	-33	-1358
мин 1958-2012	-101	-125	-170	-213	-243	-239	-250	-215	-175	-131	-100	-75	-1726
год	1973	1969	1996	1960	1993	1995	1992	1992	1974	1987	1958	1962	1967
мак 1958-2012	-22	-39	-62	-104	-126	-144	-110	-113	-93	-55	-23	-17	-1167
год	2004	1990	1966	1973	1980	2003	2000	1958	1958	1970	2003	2007	2012

Таблица 9.6 - Годовые значения характеристик прозрачности атмосферы и составляющих радиационного баланса

	P_2	AOT550	A%	Srop.	D	Q	Rk	B
2013	0,772	0,10	29	1658	1833	3491	1013	1399
1961-1990	0,709	0,24	25	1584	2073	3660	918	1258
d, %	9	-58	16	4	-12	-5	10	11

Таким образом, в 2013 году отмечены следующие тенденции (табл.9.4):

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

- уменьшение суммарной интегральной радиации
- увеличение отраженной радиации
- увеличение общего радиационного баланса, его длинноволновой части и уменьшение коротковолновой

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.

РД 52.04.562-96 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 5, часть I. Актинометрические наблюдения на станциях. Росгидромет, М. 1997.

10. Особенности режима фотосинтетически активной радиации

О.А.Шиловцева

Солнечная радиация в видимом участке спектра 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 2013 году в МО МГУ продолжались наблюдения за суммарной ФАР по приборам: LI-190SL № 40631 до 28 февраля 2013 г, и LI-190SL № 46141 с 1 марта 2013 г. Градуировка регистратора ФАР проводилась в теплый период (апрель-октябрь) по контрольному прибору LI-190SL № 46767.

Сравнение данных наблюдений 2013 г. проводились со средними величинами ФАР, полученными за период 1999-2009 гг.

В 2013 г. годовая сумма суммарной ФАР (Q_f) оказалась практически равной сумме за прошлый 2012 года меньше средней многолетней величины всего на 0,5% (рис. 10.1). Она находится в середине ранжированного ряда $\sum_r Q_f$ (рис. 10.2).

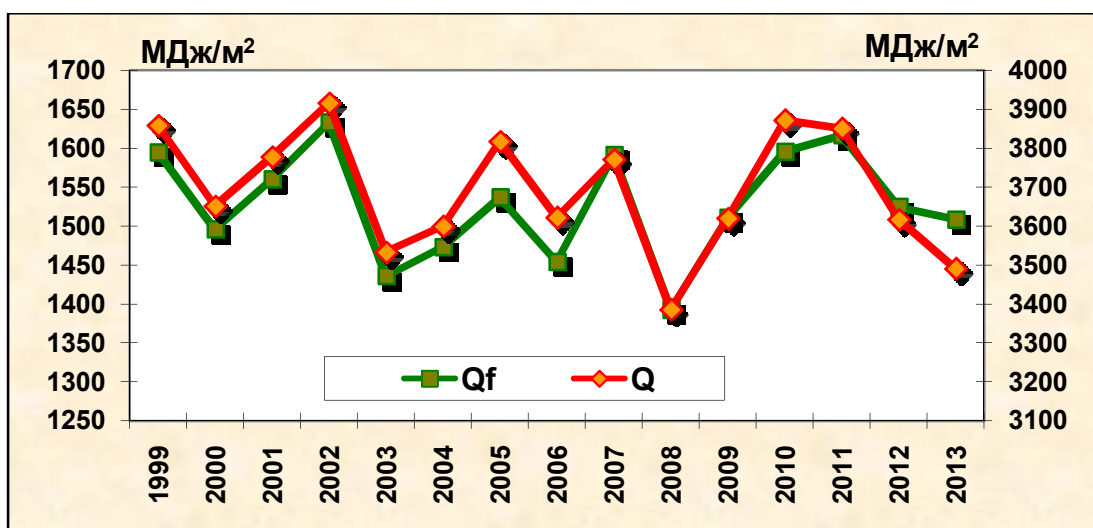


Рисунок 10.1- Многолетнее изменение годовых сумм суммарной ФАР и ИР.

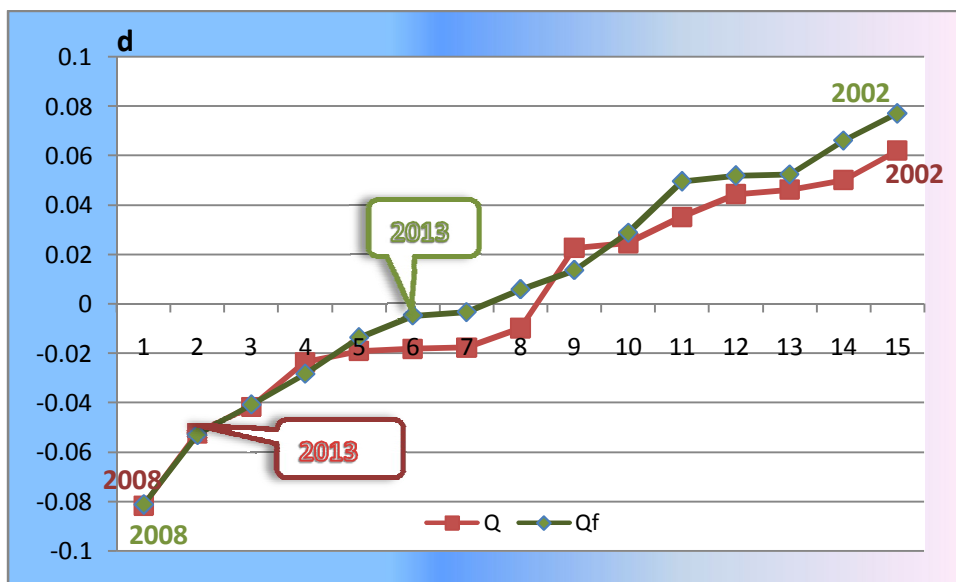


Рисунок 10.2 -Ранжированный ряд относительных аномалий годовых сумм суммарной интегральной (Q)и фотосинтетически активной (Q_f) за период 1999-2012:

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

Сезонные суммы суммарной ФАР зимой 2012-2013 гг.продолжили тенденцию предыдущих трёх лет и превысили средние значения за 1999-2009 гг.на8%. Это не превышаетсреднюю естественную изменчивость суммы ФАР зимой (коэффициент корреляции $V_{зима}=\pm 10\%$). Этому способствовал характер изменения всех факторов, определяющих приход радиации к земной поверхности: уменьшение облачного покрова, значимый рост прозрачности атмосферы, альбедо подстилающей поверхности и продолжительности солнечного сияния, (табл.10.1).В результате зима 2012-2013 гг.в ранжированном ряду сезонных сумм ФАР - десятаяпо счету за период 1999-2013 гг.(рис. 10.3,зима).

Весной и летом 2013года сезонныесуммы Q_f близки к средним значениям (см. табл. 10.1, рис. 10.3). Осень 2013 г. оказалась экстремально обеднённой видимой радиацией не только за период с 1999-2009 гг., но и за весь период наблюдений (с 1980 г.).Этому способствовали изменения радиационных факторов:значительный рост общей и нижней облачности и уменьшение продолжительности солнечного сиянияпочти вдвое по сравнению с нормой (см. табл. 10.1).

Анализ тенденций изменения сезонных сумм ФАР за последние 14 лет показал, что зимой и летом отмечен рост ΣQ_f , а весной и осенью, наоборот, уменьшение (рис. 10.3).

Таблица 10.1 - Суммарная ФАР, интегральная радиация и факторы, определяющие их приход, по сезонам 2013 года и в среднем за период 1999-2009 гг.

	Зима *	Весна	Лето	Осень
$Q_f, \text{МДж/м}^2$				
2013 г.	86	535	739	153
1999-2009 гг. $\pm$ ДИ***	80 $\pm$ 5	530 $\pm$ 24	714 $\pm$ 36	202 $\pm$ 9
$\delta^{**}, \%$	+8	+1	+5	-24
$Q, \text{МДж/м}^2$				
2013 г.	225	1256	1682	343
1999-2009 гг.	209	1298	1676	505
$\delta^{**}, \%$	+8	-3	0	-32
Коэффициент прозрачности атмосферы P_2				
2013 г.	0.796	0.762	0.738	0.820
1999-2009 гг.	0,789	0,743	0,727	0,751
$\delta^{**}, \%$	1	3	2	9
Аэрозольная оптическая толщина AOT_{550}				
2013 г.	0.06	0.13	0.15	0.02
1999-2009 гг.	0,062	0,161	0,165	0,127
$\delta^{**}, \%$	-3	-17	-11	-84
ПСС, час				
2013 г.	140	596	839	163
1999-2009 гг.	102	648	841	287
$\delta^{**}, \%$	37	-8	0	-43
Доля от возможной ПСС,				
2013 г.	19	45	55	17
1999-2009 гг.	13	49	56	28
Общая облачность, балл				
2013 г.	8.6	8.1	8.0	9.4
1999-2009 гг.	9,1	7,8	7,6	8,6
$\delta^{**}, \%$	-5	4	5	9
Нижняя облачность, балл				
2013 г.	6.9	4.6	4.8	7.8
1999-2009 гг.	7,8	4,9	4,9	6,8
$\delta^{**}, \%$	-12	-6	-2	15
Альbedo подстилающей поверхности, A				
2013 г.	64	41	22	21
1999-2009 гг.	56	28	19	23
$\delta^{**}, \%$	14	45	17	-6

*При расчетах взят декабрь предыдущего года.; ** $\delta = (2013 - \text{Среднее}_{1999-2009}) / \text{Среднее}_{1999-2009}$

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

Наиболее значим относительный тренд ($P=0,90$) осенью, он составил 4% от средней суммы Q_f ; в остальных сезонах эта величина порядка 1%.

Месячные суммы суммарной ФАР в течение 2013 года изменялись от 13 Мдж/м² в декабре до 292 Мдж/м² в июне, главным образом, следуя за годовым ходом облачности и

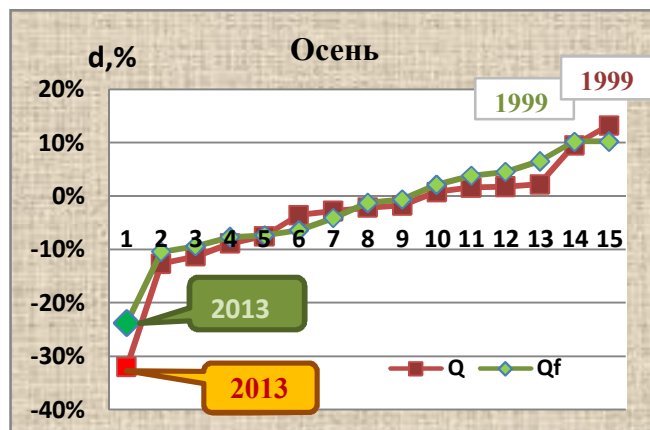
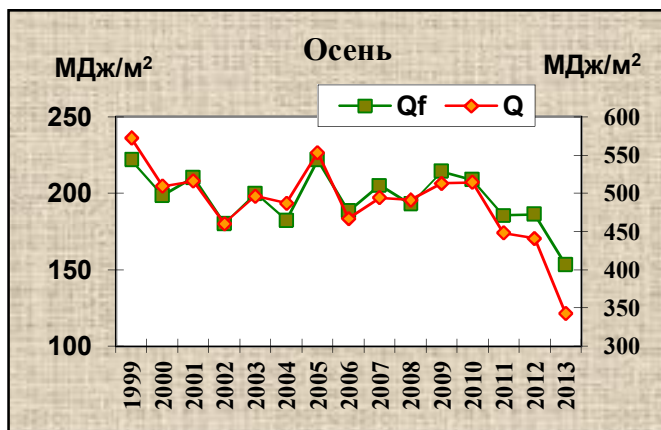
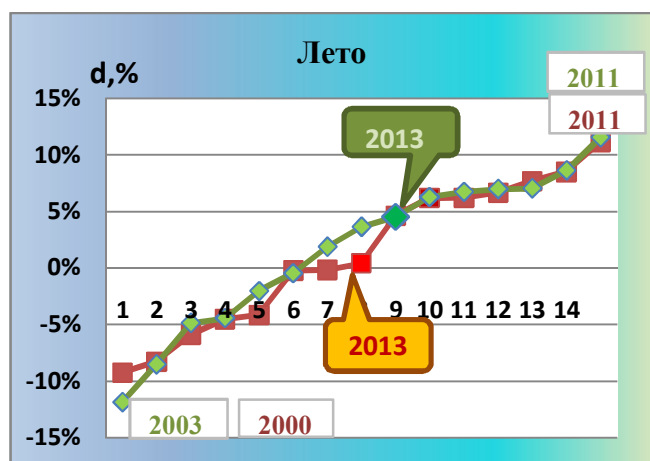
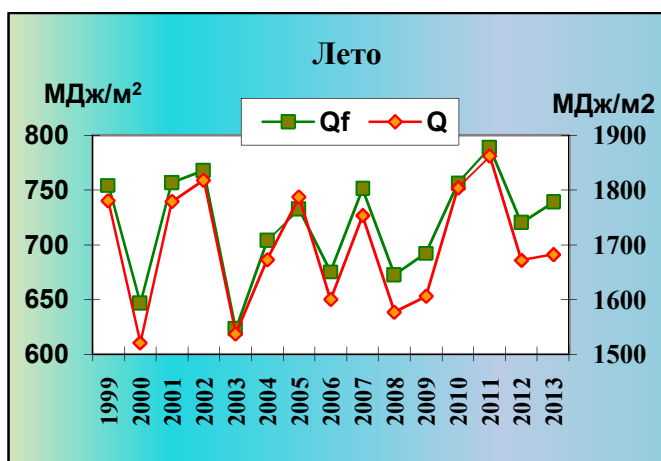
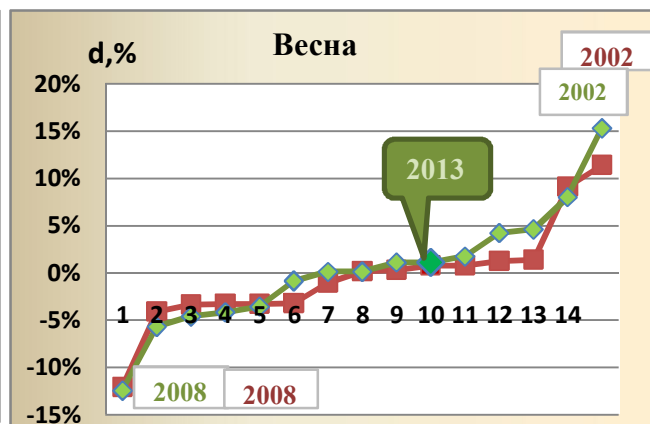
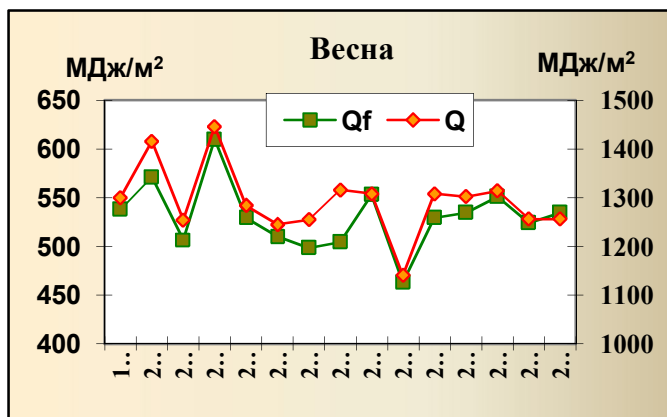
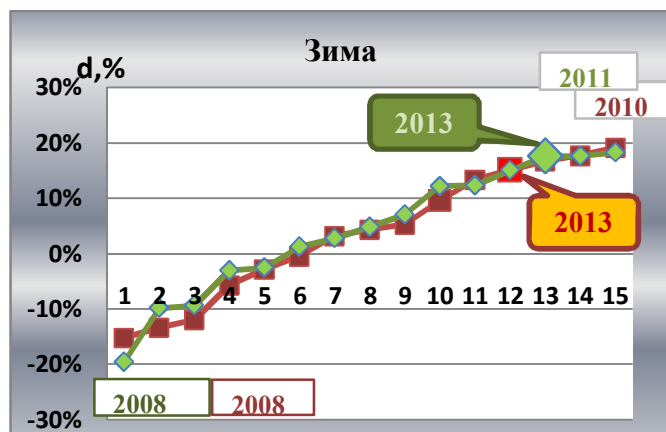
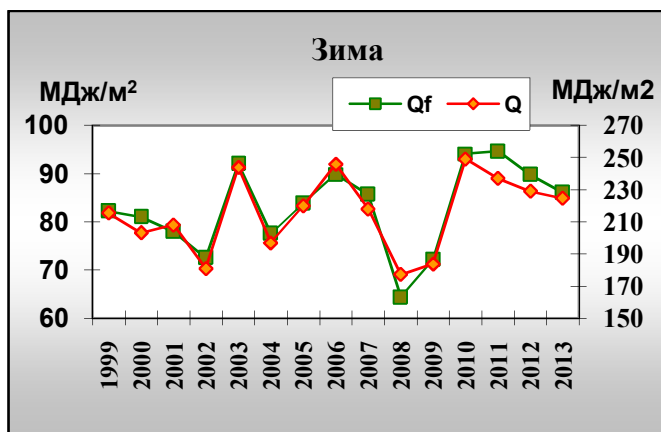


Рисунок 10.3- Многолетние изменения сезонных сумм суммарной ФАР и интегральной солнечной радиации за период 1999-2013 гг.

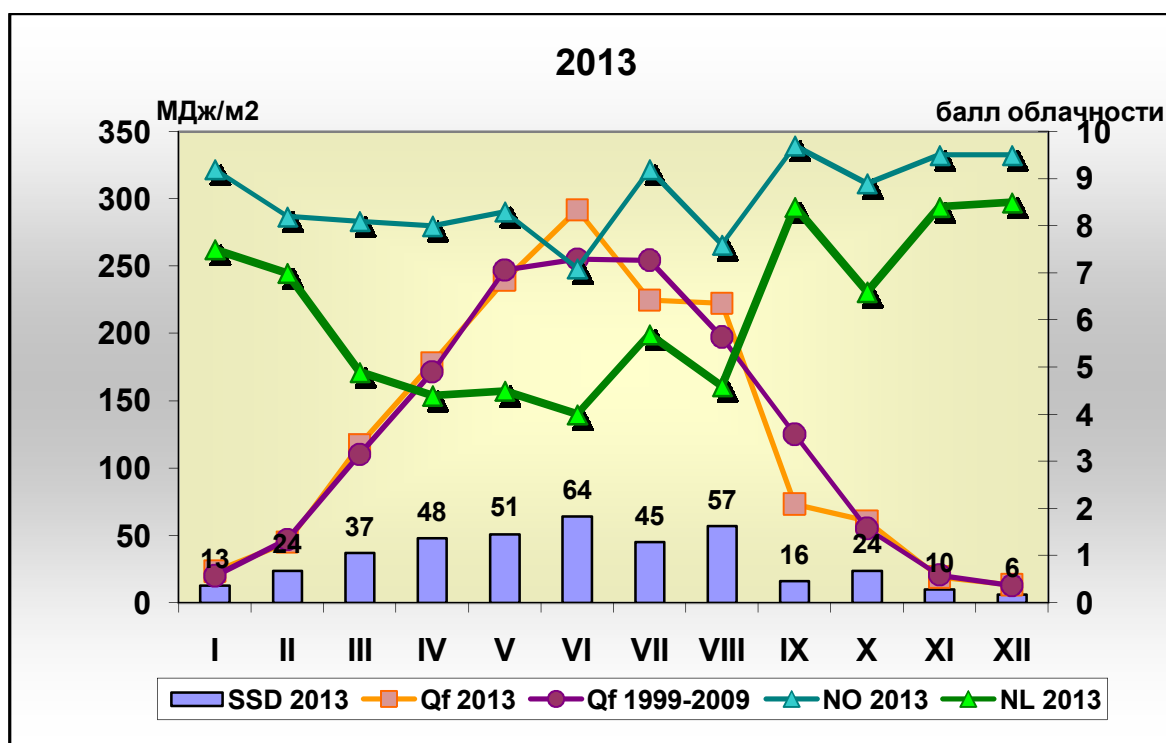


Рисунок 10.4 - Годовой ход месячных сумм суммарной ФАР (Q_f , МДж/м²), относительной продолжительности солнечного сияния (SSD, %) и среднего за месяц общей (NO, балл) и нижней облачности (NL, балл) в 2013 году

продолжительности солнечного сияния (рис. 10.4, см. табл. 8.1). Только в пяти месяцах из двенадцати сумма $Q_f/2013$ года значительно больше средней ($\delta > V$) (табл. 10.2).

Основной вклад в отмеченное выше значительное увеличение зимней суммы ФАР, так же, как и в 2012 году, внес январь. Хотя в ранжированном ряду она заняла 10 место, разность между суммой 2013 г. и средней за 1999-2009 гг. на 3% превысила среднее

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

Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
2013г.	23	45	117	178	239	292	225	222	73	61	19	13	1509
1999-2009	20	47	110	172	247	255	254	197	125	55	21	13	1516
*±ДИ	1.6	4.4	8.7	7.6	19.0	22.8	11.7	16.2	5.9	6.0	2.5	2.3	53
**V	14	16	13	8	12	13	8	13	7	18	20	31	5
δ 2013,	17	-4	7	4	-3	14	-12	13	-41	10	-7	4	-0.5
Максимум	32	60	129	191	303	315	316	249	140	78	30	22	1633
Год	2010	2007	1999	2002	2002	1999	2010	2005	2001	2005	1999	2002	2002
Минимум	16	35	77	147	216	192	211	164	112	44	15	9	1393
Год	2007	2002	2008	2003	2005	2003	2000	2008	2011	2002	2003	2006	2008
Доли ФАР в суммарной интегральной радиации ()													
2013 г.	39	38	40	43	44	44	42	45	46	44	43	44	43
1999-2009	39	39	40	41	42	43	42	42	40	39	39	38	41

* ДИ – доверительный интервал средней суммы ФАР с уровнем значимости $\alpha=0,05$; ** V - коэффициент вариации месячных сумм ФАР.

квадратическое отклонение (СКО) Q_f . Такое значительное поступление суммарной ФАР в этом месяце связано с небольшим ростом ПСС, некоторым уменьшением облачного покрова и со значительным увеличением прозрачности атмосферы именно за последние 14 лет (см. табл. 8.1, 9.1).

Наиболее значительный рост месячной суммы ФАР в 2013 году относительно средних отмечен в июне, чему способствовали и максимум в годовом ходе положительности солнечного сияния, и минимум облачности (см. табл. 10.2, 8.1).

Уменьшение осенней суммы ФАР в 2013 г. произошло за счет рекордного уменьшения поступления ФАР в сентябре (см. табл. 10.2, рис. 10.4). Это явилось главной особенностью режима ФАР 2013 года: был перекрыт предыдущий сентябрьский минимум, который наблюдался в 2011 г. и оказался на 35% выше минимума 2013 г. Это связано с экстремально пасмурной погодой, которая наблюдалась в этом сентябре: в течение месяца 14 дней были без солнечного сияния, тогда как в среднем в этот период их обычно бывает 4-5 дней (см. табл. 8.1).

Вклад ФАР в годовую сумму суммарной интегральной радиации составил 43%, изменяясь в месячных суммах в пределах 38-46% (см. табл. 10.2).

Средние суточные суммы суммарной ФАР в течение 2013 года менялись от 0,43 Мдж/м² в декабре до 9,7 Мдж/м² в июне (табл. 10.3). Приход суммарной ФАР может колебаться в широких пределах от дня ко дню. Это хорошо видно при анализе среднеквадратического отклонения суточных сумм ФАР и их экстремальных величин (табл. 10.3, рис. 10.5).

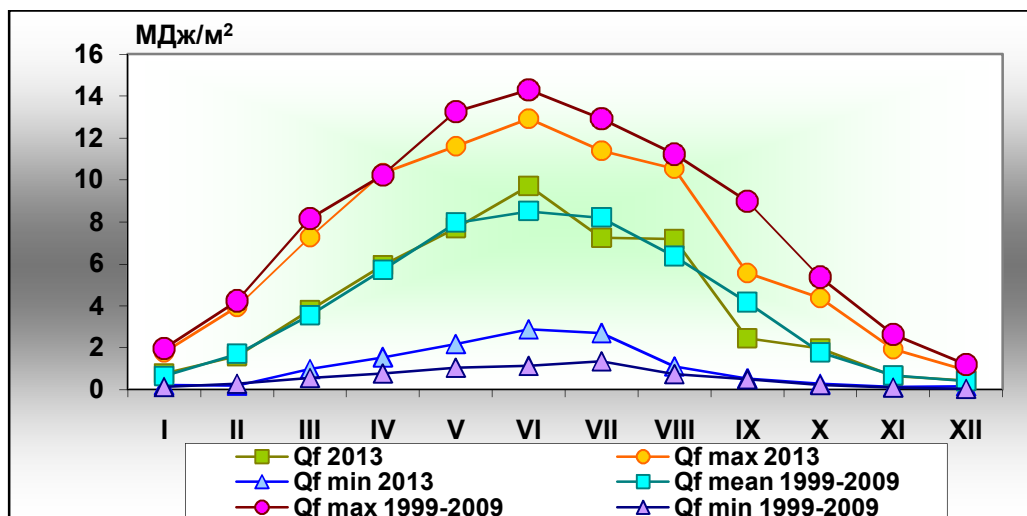


Рисунок 10.5 - Годовой ход средних за месяц и экстремальных суточных сумм суммарной ФАР в 2013 г. и за период 1999-2009 гг.

Таблица 10.3 - Суточные суммы суммарной фотосинтетически активной радиации в 2013 г. и в среднем за 1999-2009 гг.

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2013 год												
Средняя, МДж/м ²	0,76	1,60	3,78	5,94	7,72	9,73	7,25	7,17	2,44	1,96	0,64	0,43
Максимум, МДж/м ²	1,76	3,92	7,26	10,32	11,61	12,91	11,38	10,54	5,54	4,35	1,91	0,91
Дата	26	26	29	29	19	21	17	3	2	13	1	10
Минимум, МДж/м ²	0,22	0,20	0,98	1,55	2,17	2,87	2,70	1,11	0,54	0,28	0,14	0,18
Дата	5	4	1	1	4	22	21	24	21	28	26	22
σ, МДж/м ²	0,45	1,17	1,67	2,67	3,20	2,31	2,45	2,62	1,62	1,20	0,54	0,22
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
Максимум МДж/м ²	1,96	4,23	8,15	10,23	13,24	14,28	12,92	11,22	8,97	5,36	2,63	1,20
Дата	31/2002	26/2007	30/2004	30/2006	25/2007	3/2007	7/1999	9/2007	3/2007	1/2005	1/2005	1/2002
Минимум, МДж/м ²	0,12	0,28	0,57	0,78	1,05	1,13	1,36	0,74	0,49	0,22	0,11	0,04
Дата	7,12/2007	8/2008	16/2001	19/2005	25/2008	25/2009	17/2000	14/2004	28/2002	31/2004	30/2008	8/2008
σ, МДж/м ²	0,37	0,92	1,85	2,42	2,91	2,95	2,58	2,31	1,87	1,24	0,48	0,25

В 2013 году были перекрыты «рекорды» минимальных суточных сумм только в феврале, а максимальных – в апреле (см. табл.10.3). Это можно объяснить неравномерным залеганием снежного покрова этих месяцев, что в феврале наблюдалась очень сильная оттепель, когда снежный покров почти сошел. Примечательно, что альбедо в феврале оказалось меньше, чем в марте (см. табл.9.2). И, наоборот, в апреле снег лежал до середины месяца, что и привело к росту суточных сумм ФАР.

При сравнении экстремальной суточной суммы за 1999-2009 г. с суммой 2013 г. на конкретный день, то получилось, что максимальные суммы ФАР в прошедшем году превышены 22 раза, причем наибольшее число раз – 6 – наблюдалось в первую половину апреля за счет значительного альбедо снежного покрова. Больше всего число дней, когда суммы ФАР оказались меньше минимальных за 1999-2009 гг., наблюдалось в сентябре – 11 случаев, а всего за год - в 40 случаях. Последнее объясняется экстремальной повторяемостью пасмурной погоды в первом месяце осени (см. табл.8.1).

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

Таблица 10.4 -Максимальная энергетическая освещенность суммарной ФАР в 2013 г.

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ФАР ₂ КВт/м ²	0,12	0,18	0,35	0,45	0,54	0,51	0,47	0,49	0,43	0,32	0,17	0,09
День	27	23-26	26	22	6	7 8	9 23	2	2	2	2	3
Время*	12 ¹⁹	13 ¹² 11 ³⁶ 11 ⁵¹ 11 ⁵⁹	11 ²⁵	11 ²⁶	11 ³⁹	12 ¹⁹ 11 ³³	12 ⁰⁴ 11 ²⁷	10 ⁴³	12 ⁵³	11 ⁴¹	12 ⁴⁹	12 ¹⁵
Характер погоды	☀ [10]/0 CiCeAc	☀ ² ☀ ² 3-5/0 CiCeAc	☀ [10]/7 Ci Cb Sc	☀ 8/8 Sc	☀ [10]/8 Ac Sc Cu	☀ 7/7 Sc [10]/8 Ac Cu Sc	☀ [10]/6 Ci Cc Ac Cu Cb Sc [10]/[10]] Cu Sc Cb	☀ 8/7 Ac Sc Cu	☀ [10]/7 Ci Cu	☀ 7/5 Ac Sc	☀ 8/7 Ci Cc Ac Sc	☀ [10]/[10]] Sc
среднее за 1999-2012	0.13	0.22	0.34	0.43	0.50	0.53	0.49	0.46	0.38	0.29	0.16	0.09

*Время истинное солнечное

теплое время года максимумы наблюдаются при наличии перистой, высоко-кучевой и кучевой облачности.

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 была рассчитана длительность вегетационного периода (ВП) и соответствующие ему суммы суммарной ФАР, температуры воздуха и осадков для периодов с устойчивыми средними за сутки температурами воздуха выше 0°C (ВП0), 5°C (ВП5), и 10°C (ВП10). Рассмотрены последние 6 лет – 2008-2013 гг. Согласно (Доклад..., 2012) 2008 год был высокоурожайным, а 2010 год, наоборот, в силу экстремальных засушливых условий – неурожайным (табл. 10.5). Эти 2 года служат «граничными условиями», относительно которых удобно проводить сравнительный анализ.

В среднем продолжительность ВП0 в Москве длится 216 дней (31/03-4/11), ВП5 - 154 дня (15/04-15/10) и ВП10 - 138 дней (4/05-18/09). Все соответствующие показатели 2013 года больше средних многолетних (см. табл. 10.5).

Продолжительность периода с положительными температурами в 2013 г. составила 8 месяцев, а в течение пяти с половиной месяцев температура за сутки не опускалась ниже +5°C, при этом 88% от этого периода среднесуточная температура была выше 10°C. Из 6 анализируемых лет длительность ВП0 в 2013 г. оказалась такой же, как в экстремально

Таблица 10.5–Характеристика вегетационных периодов в 2008-2013 гг.

	t≥0°C					t≥5°C					t≥10°C					ГКТ
	ВП		Σt	ΣQ _f	ΣR	ВП		Σt	ΣQ _f	ΣR	ВП		Σt	ΣQ _f	ΣR	
	период	дни	°C	МДж /м ²	мм	период	дни	°C	МДж/м ²	мм	период	дни	°C	МДж/м ²	мм	
2008	22.II - 9.XII	292	3133	1339	749	1.IV – 2.XI	216	2954	1230	587	26.IV-10.IX	138	2257	986	410	1,8
2009	28.III-04.XII	252	2922	1347	480	23.IV-28.X	189	2751	1190	390	26.IV-29.IX	157	2542	1103	275	1,1
2010	26.III-20.XI	240	3517	1377	383	30.III-11.X	196	3310	1230	305	30.IV-28.IX	152	2972	1146	267	0,9
2011	2.IV - 4.XI	217	3156	1379	396	17.IV-13.X	180	3000	1293	342	22.IV-24.IX	156	2792	1220	297	1,1
2012	6.IV-29.X	207	3064	1278	501	14.IV-22.X	192	3035	1246	416	16.IV-5.X	173	2880	1213	361	1,3
2013	31.III-26/XI	241	3139	1304	772	13.IV - 25/IX	166	2759	1159	666	30/IV-22/IX	146	2579	1037	587	2,3

жарком 2010 г. Наоборот, продолжительность ВП10 невелика, меньше только длительность ВП10 в 2008 г. По сравнению с 2012 г. продолжительность ВП10 и ВП5 уменьшилась, а ВП0 возросла.

Все характеристики вегетационного периода - суммы температур, количество осадков и суммы ФАР - также оказались меньше, чем аналогичные величины в 2012 г. за исключением количества осадков. Вегетационный период 2013 года можно охарактеризовать как избыточно увлажненный, т.к. гидротермический коэффициент Селянинова оказался максимальным за последние 6 лет (см. табл. 10.5).

Следует отметить, что расчет продолжительности вегетационных периодов с различными термическими порогами оказался в 2013 г затруднителен из-за значительных колебаний температуры воздуха в переходные сезоны. Например, в середине апреля в течение недели температура превышала 10°C, а затем снизилась до 6-8°C. Особенно существенные колебания температуры происходили осенью и в предзимье. Так, в третьей декаде сентября – первой декаде октября температура воздуха опустилась ниже 5°C, а затем в течение 4 дней наблюдались температуры выше 10°C. Подобные существенные возвраты тепла отмечены в второй половине октября и почти до середины ноября (рис. 10.6). Надо заметить, что за последние годы положительные температуры в ноябре и декабре и отсутствие снежного покрова стали скорее нормой, чем исключением из правил.

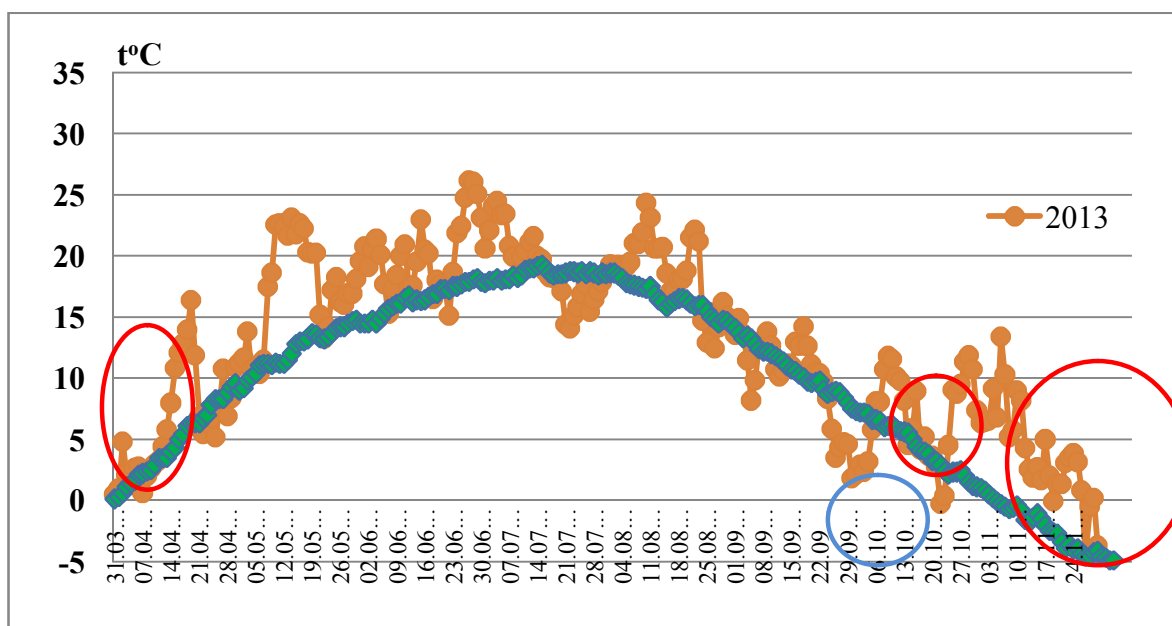
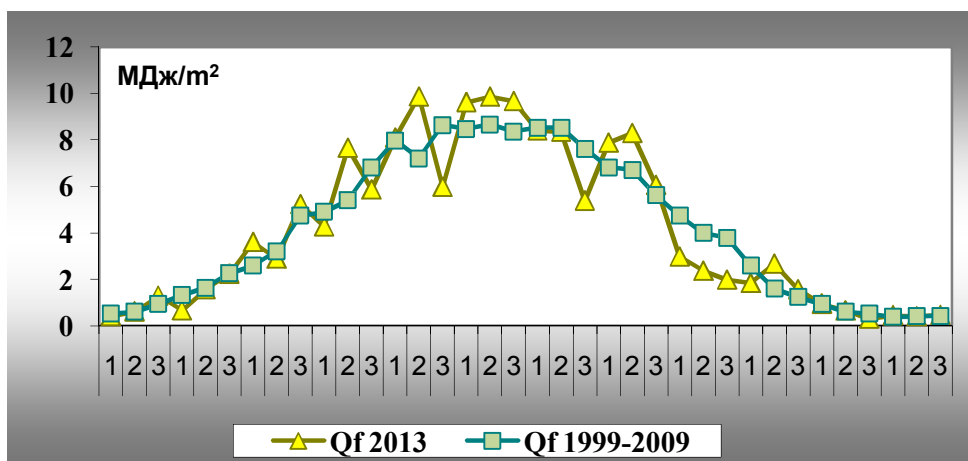


Рисунок 10.6 - Изменение среднесуточной температуры воздуха за теплый период 2013 г.

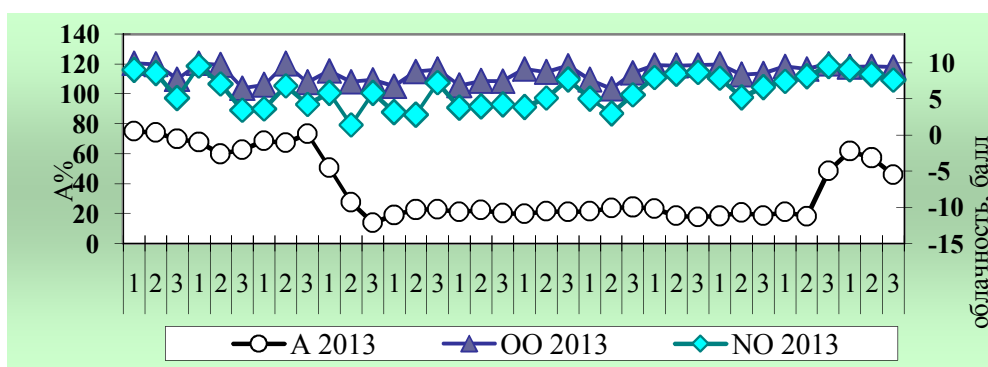
В среднем период с отрицательной средней суточной температурой воздуха ниже нуля должен начинаться в первой декаде ноября (после 5 ноября). В среднем многолетнем сумма температур за ноябрь- декабрь составляет -280°C . За период с 2008 года дважды - в 2008 и 2013 г. - она была положительной: $+7^{\circ}\text{C}$ и $+58^{\circ}\text{C}$ соответственно. Да и за весь рассматриваемый период аномалия сумм температур положительна, а сами суммы на 20-120% больше средней многолетней величины. Это не способствует "спокойному" уходу растений на зимний покой.

Соответствующие суммы ФАР в 2013 году оказались самыми небольшими для периода с положительными температурами, тогда как для ВП10, наоборот, они максимальны (см. табл. 10.5). Это связано с продолжительной пасмурной погодой в июле и сентябре.

Анализ средних суточных сумм за декаду в 2013 г. показал, что в годовом ходе



а.



б.

Рисунок 10.7 - Годовой ход средних за декаду суточных сумм ФАР (Q_{2013}) в 2013 году и за 1999-2009 (Q_f 1999-2009) (а) средних за декаду альбедо (A 2013) и баллов общей (ОО 2013) и нижней (NO 2013) облачности в 2013 г. (б).

они меняются от 0,31 МДж/м² в третьей декаде ноября (как следствие значительной повторяемости пасмурной погоды и отсутствии постоянного снежного покрова) до 9,87 МДж/м² в середине мая и июня (рис.10.7). Наибольшая разница в сторону уменьшения между средними многолетними величинами $Q_{\text{д}}$ суммами 2013 г. достигала 50% в первой декаде февраля. Конечно, выделяется и сентябрь, когда все суммы ФАР меньше средних многолетних на 38-48%.

Максимальная разница в сторону увеличения средней за декаду суммы $Q_{\text{д}}$ по сравнению с средней за 1999-2009 гг. отмечено во второй декаде апреля (+42%) и второй декаде октября (+67%), также следуя, главным образом, за ходом облачности и альбедо подстилающей поверхности.

Таким образом, теплое полугодие 2013 г. с точки зрения условий произрастания и развития зеленых насаждений и агрокультур по температурным условиям можно считать вполне благоприятным, чего нельзя сказать о поздней осени и ранней зиме. Кроме того, условия увлажнения в течение всего периода с положительными температурами были избыточными. Но в период наиболее активной вегетации (период с начала вегетации до примерно середины июля) приход ФАР был достаточен для произрастания растений и формирования урожая.

В заключение отметим особенности прихода ФАР в 2013 году:

- хотя годовая сумма суммарной ФАР близка к норме за 1999-2009, внутри года наблюдались значительные отличия месячных сумм от средних значений. Наиболее значительная положительная разница характерна для зимы (+8%), продолжая тенденцию предыдущих четырех лет.
- одной из главных особенностей режима ФАР в 2013 г. следует считать значительное уменьшение поступления ФАР осенью - на 24% по сравнению с нормой. В этом году был зафиксирован минимум за период 1999-2013 гг.
- наиболее значительные отклонения от средней многолетней месячной суммы ФАР (больше среднего квадратического отклонения) отмечены: в положительную сторону в январе (+17%), и июне (+14%), в отрицательную – в июле (-12%) и сентябре (-41%).
- максимальная суточная сумма ФАР наблюдалась 21 июня (12,9 МДж/м²). В 2013 г., так же, как и в 2012 г., минимальная суточная сумма ФАР отмечена не в декабре, а 26 ноября (0,14 МДж/м²). В феврале и октябре 2012 г. «перекрыты» минимумы

суточных сумм ФАР за период 1999-2009 гг. Максимальная энергетическая освещенность суммарной ФАР (0,51 МДж/м²) наблюдалась 7 и 8 июня;

- Температурно-влажностные и радиационные условия вегетационного периода 2013 г. в Московском регионе характеризуются избыточным увлажнением. Согласно (Доклад...,2014), по количеству выпавших осадков 2013 г. оказался рекордным за период наблюдений с 1936 г. В совокупности с уменьшением поступления ФАР в третьей декаде мая и июля в силу очень облачной погоды, это могло создавать сложности для произрастания растений. Особенностью вегетационного периода 2013 г. можно считать значительную продолжительность периода с положительными температурами, особенно поздней осенью и в предзимье.
- В сентябре 2013 года был «перекрыт» минимум месячной суммы ФАР за период 1999-2009 гг.

Литература

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

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации в 2013 г. 2014.//М.: Росгидромет. 109 с.

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

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

11. Режим естественной освещенности земной поверхности

О.А.Шиловцева

Раздел посвящен анализу режима естественной освещенности в 2013 году. Естественная освещенность земной поверхности - это фотометрическая величина, которую создает солнечное излучение в диапазоне длин волн 380-760 нм и которую оценивают по зрительному восприятию человека. Она измеряется в фотометрических единицах – килोलюксах (клк). Количество освещения в Метеообсерватории МГУ (МО МГУ) оценивается в килोलюкс-часах или мегалюкс-часах (клк·ч или Млк·ч= 10^3 ·клк·ч).

В МО МГУ непрерывная регистрация суммарной и рассеянной освещенности проводится с 1964 года, текущий год сопоставляется с нормой, рассчитанной за период 1964-2003 гг. В течение всего 2013 года на записи суммарной освещенности стоял прибор LI-210SL №8917 американской фирмы LI-COR (www.licor.com), рассеянной - оригинальный прибор РЕО-4 (регистратор естественной освещенности), сконструированный в метеообсерватории МГУ мастером по точным приборам А.В.Высоцким (Никольская и др., 1972). Контроль приборов, стоящих на регистрации, проводился ежемесячно по фотометру LI-210SL №9498.

Годовое количество освещения суммарным светом (E_Q) в 2013 году - 109 Млк·ч, что меньше средней многолетней величины или нормы ($E_{Qcp}=109,7$ Млк·ч) всего на 0,7%. Количество освещения рассеянным светом ($E_{D2013}=59$ Млк·ч) меньше нормы ($E_{Dcp}=64,8$ Млк·ч) - на 9%: это минимальная величина за все годы наблюдений, т.е. в 2013 г. был перекрыт предыдущий минимум E_D , наблюдавшийся в 1974 г. (рис.11.1). Годовая сумма освещения прямой радиацией ($E_{S2013}=49,9$ Млк·ч) такая же, как и в 2012 году, и увеличилась на 11% по сравнению с нормой ($E_{Scp}=44,9$ Млк·ч).

Анализ многолетней изменчивости количества освещения за 50 лет показал, что на фоне квазипериодической изменчивости прослеживается линейная тенденция к значительному росту E_S и, соответственно, к уменьшению E_D , оба тренда статистически значимы с $P>0.99$. Так как увеличение количества освещения прямым светом более

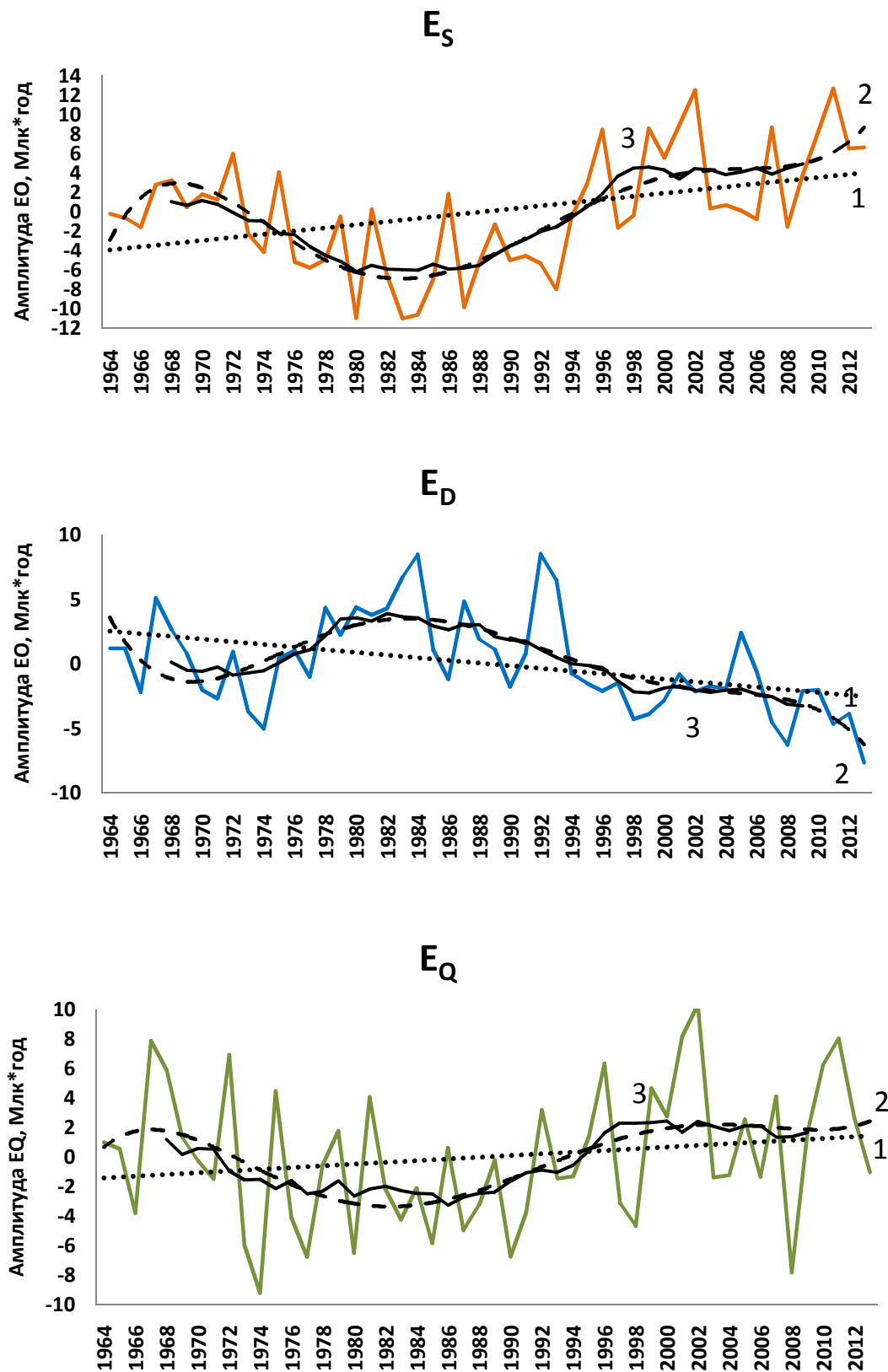


Рисунок 11.1 -Многолетнее изменение годового количества естественного освещения в Москве: 1 – линейный тренд, 2 – полином 5 степени, 3 – 10 летние скользящие средние.

заметно (E_S возросла на 20%, E_D уменьшилась на 7%), то линейный тренд E_Q тоже положителен, хотя статистически незначим ($P=0.79$).

Приход E_Q в календарные сезоны 2013 года был немного выше нормы в течение всех сезонов года, за исключением осени (табл. 11.1). В целом зимой, весной и летом разница между суммами E_Q 2013 г. и нормами не превысила средних квадратических отклонений (СКО) соответствующих сезонных сумм, поэтому можно считать, что уровень освещения в суммарным светом первые три четверти года был близок к норме. Осень оказалась самым "темным" временем года в результате экстремального увеличения облачного покрова в сентябре. Осенняя сумма E_Q в 2013 г. составила 3/4-х от нормы и оказалась минимальной за весь период наблюдений, побив предыдущий "рекорд" 1997 г.

Таблица 11.1 - Сезонные суммы количества освещения суммарным (E_Q), рассеянным (E_D) и прямым (E_S) светом в 2013 г. и в среднем за 1964-2003 гг. (норма)

		Зима *	Весна	Лето	Осень
E_Q , клк•час	2013 г.	6498	38745	53220	10804
	норма	6316	37452	51303	14628
	ДИ***	±279	±870	±893	±452
	V, %	14	7	6	10
	δ^{**} , %	3	3	4	-26
E_D , клк•час	2013 г.	4568	19823	26874	7852
	норма	5109	22831	29478	10026.5
	ДИ	±178	±490	±596	±202
	V, %	11	7	6	6
	δ^{**} , %	-11	-2	-9	-22
E_S , клк•час	2013 г.	1930	18923	26346	2952
	норма	1207	14621	21824	4602
	ДИ	±165	±988	±1082	±408
	V, %	44	21	15	27
	δ^{**} , %	60	10	21	-36

*Взят декабрь предыдущего года; ** - $\delta=(2010-Норма)/Норма$;
ДИ – доверительный интервал среднего с уровнем значимости $\alpha=0,05$

Количество освещения рассеянным светом, наоборот, было меньше нормы во все сезоны года. Разница между ними больше СКО отмечена летом, вполне вероятно, за счет значительного увеличения прозрачности атмосферы и уменьшения облаков нижнего яруса (см. п.8 и 9). По-прежнему, осенний период оказался экстремально мало обеспечен рассеянным светом, получив минимальную сумму освещения за весь период наблюдений. Предыдущая минимальная сумма $E_{Dосенью}$ наблюдалась в 1997 г. и была на 15% выше.

Самый значительный рост сезонных сумм в 2013 г. наблюдался для количества освещения прямым светом, продолжая тенденцию, наметившуюся с 2010 года. Наиболее заметно сезонная сумма E_S выросла: разница между ней и нормой превысила СКО почти на 40% (см. табл. 11.1). Это можно объяснить значительной прозрачностью атмосферы, которая наблюдалась в годовом ходе AOT_{550} и P_2 согласно п.9. Осенью 2013 г. также отмечено значительное уменьшение E_S , хотя абсолютный минимум, отмеченный в 1991 г., "устоял".

Таким образом, 2013 характеризуется экстремально малым поступлением естественного света в осенний период в силу значительной облачности в результате наблюдавшихся циркуляционных условий (см. табл. 11.1 и раздел Метеорология).

В течение 2013 года суммы E_Q за месяц изменялись от 886 клк·час в декабре до 20697 клк·час в июне. Поступление суммарного освещения в течение 5-ми месяцев было больше нормы (табл. 11.2). Наибольшее положительное отклонение месячной суммы E_Q в 2013 году наблюдалось в июне (+11%), значительными были превышения в марте и апреле, следуя за годовым ходом продолжительности солнечного сияния, облачности и альбедо подстилающей поверхности (см. п. 8). Наиболее «темным» был сентябрь, когда уменьшение E_Q составило более 40% от нормы. В этот месяц был перекрыт предыдущий минимум суммарного количества освещения, который наблюдался в 1990 году. Уменьшение количества нижней облачности в первую половину года и её значительный рост в осенние месяцы привели к тому, что зимой и весной суммы E_Q за месяц были либо больше средних значений, либо близки к ним, а осенью естественное освещение было очень низким. Это отличительная особенность 2013 года (табл. 11.2, см. п. 8).

В 2013 г. продолжилась тенденция к уменьшению поступления рассеянного освещения, которая наблюдается, по крайней мере, последние 6 лет. И если в 2012 г. суммы рассеянного освещения были меньше нормы в десяти месяцах из двенадцати, то в 2013 г. - уже в течение всего года. Причем разница между ними превысила СКО в семи месяцах из двенадцати (см. табл. 11.2). Это может быть объяснено как особенностью годового хода облачности, так и тем, что прошедший год характеризуется очень высокой прозрачностью атмосферы, отсутствием устойчивого снежного покрова в ноябре-декабре (см. п. 8,9). Отличительной особенностью годового хода E_D можно считать достижение абсолютных минимумов рассеянной освещенности в мае и сентябре 2013 года за 50 лет наблюдений. Причем предыдущий минимум в мае был отмечен в 2012 г.

Таблица 11.2 - 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												
2013 г.	1.74	3.55	9.02	12.73	16.99	20.70	16.83	15.70	5.07	4.35	1.39	0.89
1964-2003гг.	1.67	3.62	8.20	11.64	17.60	18.64	18.05	14.64	8.73	4.20	1.69	1.03
ДИ	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,7$	$\pm 0,6$	$\pm 0,6$	$\pm 0,4$	$\pm 0,4$	$\pm 0,2$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$
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 2013, %	4	-2	10	9	-3	11	-7	7	-42	4	-18	-14
Рассеянная освещенность, E_D												
2013 г.	1.37	2.29	5.29	6.38	8.15	9.29	10.00	7.58	3.97	2.75	1.13	0.82
1964-2003гг.	1.45	2.74	5.39	7.53	9.92	10.53	10.32	8.59	5.61	3.04	1.41	0.93
ДИ	$\pm 0,06$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,04$
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 2013, %	-6	-17	-2	-15	-18	-12	-3	-12	-29	-9	-20	-12
Прямая освещенность, E_S												
2013 г.	0.37	1.26	3.74	6.35	8.84	11.40	6.83	8.12	1.09	1.59	0.26	0.06
1964-2003гг.	0.22	0.87	2.80	4.11	7.69	8.10	7.73	6.05	3.11	1.16	0.28	0.10
ДИ	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,6$	$\pm 0,6$	$\pm 0,5$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,2$	$\pm 0,1$	$\pm 0,02$
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 2013, %	70	44	33	54	15	41	-12	34	-65	38	-7	-35
Доли рассеянной освещенности в суммарной (%)												
2013 г.	79	64	59	50	48	45	59	48	78	63	81	93
1964-2003гг.	87	76	66	65	56	57	57	59	64	72	83	90
Световые эквиваленты (лм/Вт)												
LE_Q 2013	103	108	111	110	112	114	114	115	114	113	111	106
LE_Q 1964-2003	99	101	106	108	109	110	111	110	108	105	104	95
LE_D 2013	104	110	113	114	118	118	117	121	114	115	113	110
LE_D 1964-2003	105	108	118	120	122	122	123	122	118	112	109	99
LE_S 2013	100	103	108	107	107	110	108	110	-	110	106	77
LE_S 1964-2003	73	84	90	90	97	98	98	97	95	90	84	68
Отношение сумм освещения к возможным (%)												
E_{Q2013}/E_{Q0}	72	67	70	70	68	76	63	77	36	47	38	46
$E_{Q1964-2003}/E_{Q0}$	69	69	64	64	70	68	68	72	62	46	46	54
E_{D2013}/E_{D0}	92	94	118	101	111	127	130	99	74	83	64	70
$E_{D1964-2003}/E_{D0}$	97	113	120	119	135	144	135	112	105	92	79	79
E_{S2012}/E_{S0}	40	44	45	54	50	57	36	64	13	27	14	9
$E_{S1964-2003}/E_{S0}$	24	31	34	35	43	40	41	48	36	20	15	13

Для годового хода месячных сумм E_S 2013 года, во-первых, характерна бимодальность: первый максимум отмечен в июне, второй – в августе (см. табл. 11.2). Сумма E_S в июле оказалась меньше июньской на 40%, а августовской - на 16%.

Во-вторых, сумма E_S в сентябре оказалась на 31% меньше октябрьской и даже на 13% меньше февральской. Однако минимум за 50 лет наблюдений перекрыт не был, в отличие от рассеянной и суммарной освещенности.

Указанные особенности годового изменения прямого и рассеянного освещения в суммарном потоке, наблюдавшиеся в 2013 г., нашли свое отражение и в годовом ходе величины E_D/E_Q . В среднем в годовой сумме суммарного освещения больше половины приходится на ее рассеянную составляющую (59% для периода 1964-2003 гг.). Вклад E_D в годовую сумму E_Q в 2013 г. оказался на 5% ниже. Также во все месяцы года в среднем $E_D > E_S$ (см. табл. 11.2), однако в 2013 г. в апреле-июне и августе суммарный световой поток более, чем наполовину состоял из прямой освещенности, следуя за годовым ходом продолжительности солнечного сияния, облачности и прозрачности атмосферы. Максимальный вклад рассеянного освещения в суммарный поток отмечен в декабре при наименьшей высоте Солнца, значительной облачности и отсутствии постоянного снежного покрова.

Отношение фактического количества суммарного освещения к возможному (которое имеет место при отсутствии облаков в течение всего месяца) показало, что в целом за 2013 год к земной поверхности поступило 65% от возможной суммы E_Q (что близко к средним оценкам этой величины для 1964-2003 гг. – 66%). Так как облака приводят к росту рассеянной компоненты, то и отношение E_D/E_{D_0} при фактических условиях больше, чем при безоблачном небе, поэтому $E_D/E_{D_0} = 105\%$ для 2013 года. Это оказалось даже меньше, чем для средних величин ($E_D/E_{D_0} = 115\%$ для периода 1964-2003 гг.) в силу устойчивой тенденции к уменьшению E_D в последние годы. В целом за год сумма E_S в 2013 г. больше нормы на 4% и составила 45% от E_{S_0} . Наиболее «темными» месяцам были, как уже отмечалось выше, сентябрь - декабрь (менее 50% от возможного количества E_Q , менее 80% от возможного количества E_D и менее 30% от возможного количества E_S). В эти месяцы наблюдалось уменьшение всех световых потоков по сравнению с ясным небом, даже рассеянного.

Максимум от возможного количества E_Q поступило в июне и августе (более 75%), а от возможного количества E_D – в июле, очевидно, в силу значительного рассеяния освещенности кучевыми облаками. Максимум же величины E_S/E_{S_0} оказался сдвинут на август (64%), но и в первую половину года поступление E_S также было очень значительным (более 50%, см. табл. 11.2).

Световые эквиваленты средней за месяц интегральной суммарной радиации (LE_Q) колеблются в меньших пределах (103-114 лм/Вт), чем аналогичные величины отношения E_{Dk} сумме за месяц рассеянной радиации (104-121 лм/Вт), и чем для E_S (77-110 лм/Вт), причем чем меньше вклад рассеянной освещенности в суммарную, тем разница между LE_Q и LE_D больше (см. табл. 11.2).

Анализ суточного хода суммарной освещенности в сентябре 2013 г. (самого экстремального месяца прошедшего года) показал, что среднее количество суммарного освещения за час оказались меньше нормы на 40-50% (рис. 11.2).

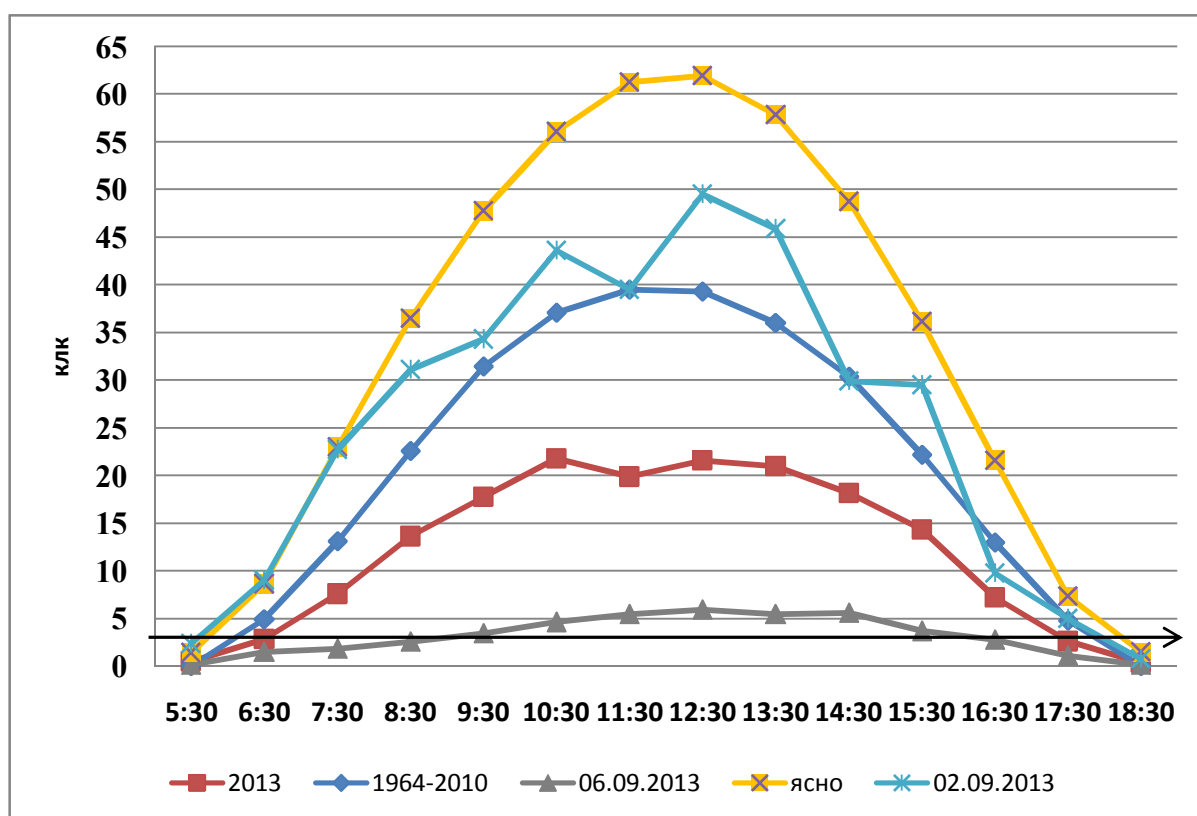


Рисунок 11.2 - Суточный ход суммарной освещенности в сентябре при безоблачном небе (ясно), в среднем за 2013 год и за период 1964-2010 гг., в пасмурный день (06/09/2013) и с небольшой облачностью (02/09/2013)

Представленные в таблице 11.3 максимальные значения освещенности дают возможность оценить одномоментный уровень E_{Qi} E_D . Надо отметить, что время наступления максимальных значений рассеянной и суммарной освещенности совпадает редко. Анализ характера погоды в моменты, когда наблюдалась наибольшая рассеянная освещенность показал, что в эти моменты, как правило, солнечный диск был закрыт

полупрозрачными облаками верхнего и среднего яруса(отметка диска Солнца "ноль"). Суммарная максимальная освещенность, так же, как и ФАР и интегральная радиация, наблюдается, как правило, при отметке диска Солнца "первая степень" или "2" и наличии облаков разных ярусов. Для сравнения представлены средние многолетние максимальные значения E_Q и E_D .

Таблица 11.3 -Максимальные значения освещенности (клк) в 2013 году

Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Максимальная суммарная освещенность, клк												
E_Q	31.8	53.5	97,9	118.0	136.1	130.7	136.0	120.8	100.9	81,6	51,1	19.5
Дата	27	23	26	22	6	7	9	2	2	2	1	15
*Время	12 ¹⁹	13 ¹²	11 ²⁵	11 ²⁶	11 ³⁹	12 ¹⁹	12 ⁰⁴	10 ⁵⁵	12 ⁵³	11 ⁴⁴	12 ¹⁷	12 ⁵¹
Характер погоды	☀ [10]/0 CiCeAc с	☀ ² ☀ ² 3-5/0 CiCeAc	☀ [10]/7 Ci Cb Sc	☀ 8/8 Sc	☀ [10]/8 Ac Sc Cu	☀ 7/7 Sc	☀ [10]/6 Ci Cc Ac Cu Cb Sc	☀ 8/7 Ac Sc Cu	☀ [10]/7 Ci Cu	☀ 7/5 Ac Sc	☀ 8/7 Ci Cc Ac Sc	☀ 6/6 Sc
среднее за 1975-2013	32	52	81	99	115	122	118	110	92	70	41	23
Максимальная рассеянная освещенность, клк												
E_D	22.3	33.5	51.9	61.6	75.5	65,0	71.3	63.6	50.9	40.0	23.6	15,1
Дата	31	5	6	17	29	12	20	5	3	2	2	2
Время*	12 ¹²	13 ⁰⁴	11 ³⁶	12 ¹⁶	11 ⁴⁹	10 ¹⁶	12 ²⁹	12 ⁵⁵	12 ¹⁸	11 ⁴²	12 ⁴⁹	10 ⁵⁵
Характер погоды	☀ ⁰ [10]/8 As Sc	☀ ⁰ [10]/7 Ci Cc Sc	☀ ⁰ [10]/1 As Ac Sc	☀ 5/1 Ci Cu	☀ ⁰ [10]/8 Ci Cu Sc	☀ ⁰ [10]/5 Ci Cc Ac Cu	☀ ⁰ [10]/7 Cc Ac Cu Cb Sc	☀ ⁰ 9/7 Ac Sc Cb	☀ ⁰ [10]/6 Ci Cc Ac Cu Cb	☀ 7/5 Ac Sc	☀ ⁰ 9/7 Ci Cc Ac Sc	☀ [10]/[10] Sc
среднее за 1975-2013	24	37	55	64	68	74	74	69	58	41	28	18

*время истинное солнечное

Результаты мониторинга освещенности могут быть использованы для оценки световых условий помещения. Учет данных о естественном световом режиме E_D и E_Q необходим при взаимной увязке норм естественного и искусственного освещения, для экономических расчетов, связанных с оценкой вариантов и т.д. При нормировании освещения в здании задан критический уровень естественной освещенности горизонтальной поверхности - освещенность в момент включения (вечером) и выключения (утром) искусственного освещения в помещении. Она равна 5 клк (Гусев, 1968).

Опираясь на этот критерий, можно оценить продолжительность использования естественного освещения в помещении, используя данные мониторинга E_Q . В качестве примера рассмотрим уровень освещения в сентябре (см. рис.11.2). Расчеты

продолжительности использования естественного освещения выше критической были сделаны при условии безоблачного неба и средних условий облачности для двух периодов (2013 год и 1964-2010 гг.), а также для двух конкретных дней: малооблачного дня 2 сентября и пасмурного дня 6 сентября 2013 г. (табл.11.4, рис. 11.2). Это позволяет оценить, насколько облачность уменьшает возможную продолжительность использования естественного освещения не только в среднем, но и для конкретных дней. Хорошо видно, что в сентябре 2013 года в среднем использование ресурсов естественного освещения сокращено на час по сравнению со средними многолетними значениями. В малооблачный день эта величина оказалась всего на 17 минут меньше возможной, тогда как в ненастный пасмурный день 6 сентября 2013 г. формально она меньше в три раза, а фактически она равно нулю, т.к. величина освещенности не превысила 6 клк (см. рис.11.2).

Таблица 11.4 - Время наступления критической освещенности, равной 5 клк, и продолжительность использования естественного освещения в Москве (П, час) в сентябре

	ясное небо	средние условия облачности 1964-2010 гг.	среднее за 2013 г.	06/09/2013, пасмурно	02/09/2013, малооблачно
утро ¹	6:00	6:31	6:57	11:00	5:54
вечер	17:53	17:28	16:58	14:48	17:30
продолжительность использования, час	11 ч. 53 м.	10 ч. 57 м.	10ч. 01 м.	3ч. 48 м	11ч. 36 м.

Примечание: 1 – моменты критической освещенности указаны по истинному солнечному времени

Таким образом:

- суммарное освещение в 2013 году близко к норме. При этом продолжается тенденция к уменьшению рассеянного освещения, которая наблюдается уже на протяжении последних 10 лет(на 9%) и рост освещения прямым светом (на 11%);
- 2013 характеризуется экстремально малым поступлением естественного света в осенний период и предзимье.Продолжительность использования естественного освещения в Москве и области в сентябре 2013 г. оказалась в среднем на час меньше по сравнению со средними величинами;
- в мае и сентябре 2013 г. были перекрыты минимумы количества освещения рассеянным светом E_D за период 1964-2012 гг.;

- максимальная суммарная освещенность (136 клк) отмечена в мае и июле, а рассеянная (76 клк) - в мае.

Литература

Гусев Н.М., Киреев Н.Н. 1968. Освещение промышленных зданий. М.: Изд-во литературы по строительству. 1968. с. 160.

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

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.

12. Особенности режима УФ радиации 300-380 нм

Е.И.Незваль

В Метеорологической обсерватории МГУ осуществляется непрерывная регистрация суммарной и рассеянной ультрафиолетовой радиации (УФР) в области спектра 300-380нм (Беликов и др. 2011, 2012, 2013). 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). В июле 2005 г. была произведена привязка показаний контрольного уфиметра МО МГУ №9 к данным спектрорадиометра Bentham DTM-300 Медицинского университета в Инсбруке. Начиная с декабря 2008 г. для измерения суммарной радиации 300-380 нм используется УФ пиранометр UVA-1 Yankee Environmental Systems, Inc (www.yesinc.com/products/data/uvb1/index/html), проградуированный в области спектра 300-380 нм. Возможность использования УФ пиранометра UVA-1 для измерения суммарной УФ радиации в области спектра 300-380нм показана в работах (Nezval', Chubarova , 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).

12.1. Методика градуировки и обработки данных. В июле 2008 г. и в сентябре 2011 г. контрольный УФ пиранометр UVA-1 №060902 был отградуирован по спектрорадиометру Bentham DTM-300 Медицинского университета в Инсбруке в области 300-380 нм. В соответствии с результатами градуировки контрольного прибора были изменены переводные множители регистратора суммарной УФ радиации – УФ пиранометра UVA-1 № № 031201.

Как уже говорилось в предыдущих выпусках, при обработке данных учитываются переводные множители, а также спектральные и косинусные погрешности УФ приборов. В 2008 г. в Инсбруке была определена кривая спектральной чувствительности контрольного прибора UVA-1 YES и его косинусная характеристика (отклонения показаний прибора от закона косинусов). На основании этих данных по модельным расчетам были определены спектральная и косинусная поправки для ясного и пасмурного неба, которые учитывались при обработке

результатов измерений (Незваль, Чубарова, 2011). В 2011 г. вновь была определена спектральная кривая чувствительности контрольного прибора, которая практически совпала с данными 2008 г.

УФ пиранометр UVA-1 №031201, который был использован для непрерывной регистрации суммарной УФ радиации ($Q_{\text{уфр}}$), был откалиброван в области спектра 300-380 нм по контрольному прибору в 2008 г. Спектральная поправка регистратора была рассчитана по кривой спектральной чувствительности, приведенной в паспорте прибора. Косинусная поправка была взята такой же, как для контрольного прибора, так как в паспорте приборов UVA-1 YES косинусные характеристики не приводятся.

На протяжении всех лет работы прибора UVA-1(с 2007 г.) периодически проводится запись суммарной УФ радиации параллельно двумя приборами. Эта работа была продолжена и в 2013 г.

На рис.12.1 представлены средние за периоды сравнений отклонения (d) показаний регистратора ($Q_{\text{уфр, рег}}$) от данных контрольного прибора ($Q_{\text{уфр, контр}}$), выраженные в процентах, с мая 2009 г. по сентябрь 2013 г.:

$$d = (Q_{\text{уфр, контр}} / Q_{\text{уфр, рег}} - 1) \cdot 100 \dots \dots \dots (1)$$

За исключением аномально жаркого лета 2010 г. различия в показаниях контрольного прибора и регистратора в целом для всех данных (и при отсутствии, и при наличии прямой радиации) колеблются в пределах от $\sim 2\%$ в августе-сентябре 2013 г. до $\sim -1\%$ в январе 2013 года. Наибольшие различия отмечаются для случаев, когда наблюдалась прямой радиация, наименьшие – при ее отсутствии. Так же как в 2009, 2011 и 2012 гг. в течение 2013 г. в виду небольших средних значений d , а также учитывая различия в знаке d и расхождения в величине d при наличии и отсутствии прямой радиации, данные регистратора к показаниям контрольного прибора не приводились. Таким образом, погрешность в показаниях регистратора UVA-1 составляет в среднем $\pm 2\%$. Для июня-сентября 2010 г. показания регистратора были приведены к показаниям контрольного прибора.

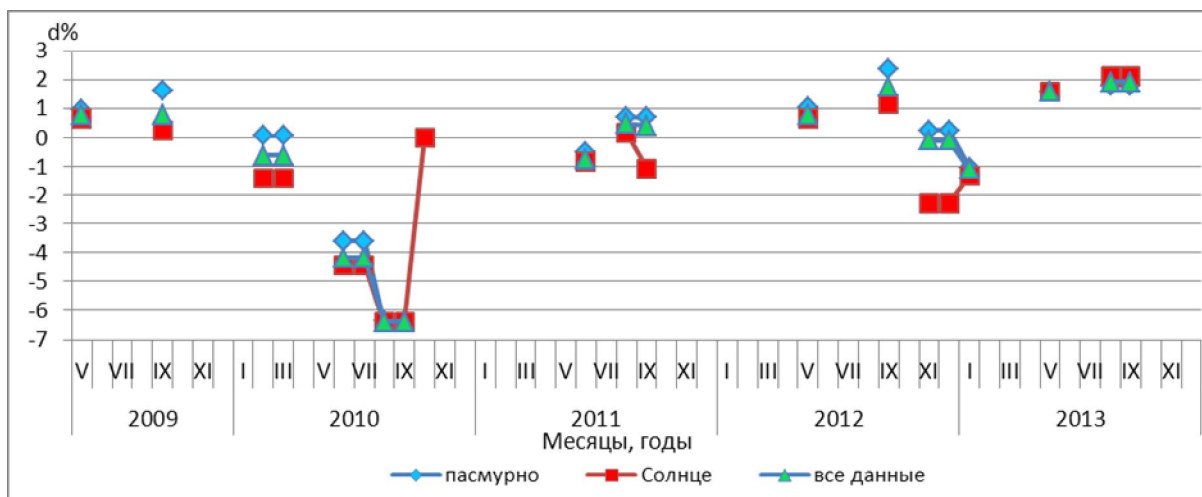


Рисунок 12.1 – Отклонения показаний прибора UVA-1 - регистратора от показаний контрольного прибора UVA-1 с мая 2009 г. по сентябрь 2013 г.

Как было показано ранее, по данным градуировки в Инсбруке в сентябре 2011 г. переводный множитель контрольного прибора вырос на 2.1% по сравнению с градуировкой в июле 2008 г. В связи с этим значения переводного множителя регистратора с сентября 2011 г. также были увеличены на 2.1%. Различия в переводных множителях регистратора за период с июля 2008 г. по сентябрь 2011 г. были линейно проинтерполированы и учтены в результатах измерений.

12.2 Оценка возможности использования прибора UV-S-A-T Kipp&Zonen для определения суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм. За рубежом при измерениях радиации в различных участках УФ спектра широко используются приборы фирмы Kipp&Zonen (Нидерланды). В настоящее время ряд станций актинометрической сети России оснащается приборами фирмы Kipp&Zonen как для измерения составляющих радиационного баланса, так и для измерения УФ радиации. Главная Геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова уже располагает специально разработанным на фирме Kipp&Zonen стендом для градуировки этих приборов. В настоящее время осуществляется наладка спектрофотометра для градуировки УФ приборов. Таким образом, трудоемкая и дорогая процедура, связанная с отправкой приборов на градуировку в Нидерланды, может быть значительно упрощена. Преимуществом приборов Kipp&Zonen являются также хорошие по сравнению с приборами фирмы Yankee Environmental Systems косинусные характеристики. Поэтому представляет интерес оценить возможность использования

прибора Kipp&Zonen UVS-A-T (www.kippzonen.com/Product/26/UVS-A-T-UV-Radiometer/html), предназначенного для измерения радиации в области УФ-А (315-400 нм), для продолжения в дальнейшем мониторинга суммарной радиации в области спектра 300-380 нм. На рис. 12.2 представлена кривая спектральной чувствительности двух экземпляров прибора UVS-A-T. Можно видеть, что большая часть кривой чувствительности лежит в пределах области спектра 300-380 нм, а кривые спектральной чувствительности для обоих приборов практически совпадают.

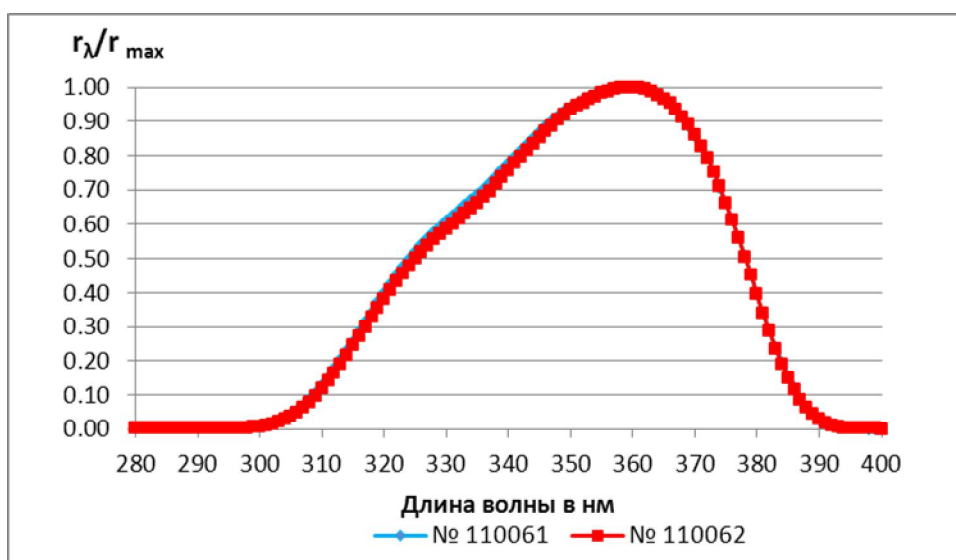


Рисунок 12.2 – Относительная спектральная чувствительность приборов UVS-A-T фирмы Kipp&Zonen (r_λ).

На основании данных спектральной чувствительности, используя методику, подробно рассмотренную в работах (Nezvzl', Chubarova, 2007, 2008), по расчетам, выполненным по модели TUV - Tropospheric Ultraviolet and Visible Radiation Model, модернизированной Н.Е.Чубаровой (Madronich, Flocke, 1998 Н.Е.Чубарова, 2006), были получены отношения переводного множителя при высоте Солнца h к соответствующей величине при $h=30^\circ$. В паспорте приборов типа UVS-A-T не приводится косинусная характеристика, а указывается, что до высот Солнца $h=20^\circ$ отклонения показаний прибора от закона косинусов малы - менее 2.5%, поэтому погрешности за счет отклонений от закона косинусов не принималась во внимание. Таким образом, отношение a_h/a_{30° рассматривалось как спектральные поправки при различных высотах Солнца, обусловленные отклонением кривой спектральной

чувствительности прибора от П-образной формы в пределах заданного спектра, т.е. в области спектра 300-380 нм. Для безоблачного неба и средних условий мутности атмосферы (аэрозольная оптическая толщина для длины волны $\lambda = 380$ нм (АОТ380) равна 0.325), за счет спектральных погрешностей прибора при измерениях в области спектра 300-380 нм переводный множитель при $h=10^\circ$ будет завышен примерно на 3% , а при $h=60^\circ$ занижен на 2.5% по сравнению с переводным множителем при $h=30^\circ$ (рис.12.3). В условиях пасмурного неба при облачном слое с оптической толщиной 40 спектральные поправки изменяются от -2% до +3% при изменении высоты Солнца от $h=10^\circ$ до $h=60^\circ$ (см. рис.12.3). Ниже приведены уравнения для определения спектральной поправки приборов в зависимости от высоты Солнца для безоблачного и пасмурного неба.

При ясном небе

$$y = -0.00001114x^2 + 0.001857x + 0.9543 \text{ - для прибора № 110061} \quad (2)$$

Величина достоверности аппроксимации $R^2=1.000$, x – высота Солнца h .

$$y = -0.0000134x^2 + 0.002008x + 0.9522 \text{ – для прибора № 110062} \quad (3)$$

$$R^2=1.000.$$

при пасмурном небе

$$y = -0.0000150x^2 + 0.002104x + 0.9591 \text{ – для прибора № 110061} \quad (4).$$

$$R^2=0.999.$$

Для прибора № 110062 при пасмурном небе значения спектральных погрешностей при различных высотах Солнца и АОТ380 практически совпадают с данными прибора №110061. Различия в величине a_h/a_{30} составляют 0.001, поэтому для обоих приборов можно использовать одно уравнение.

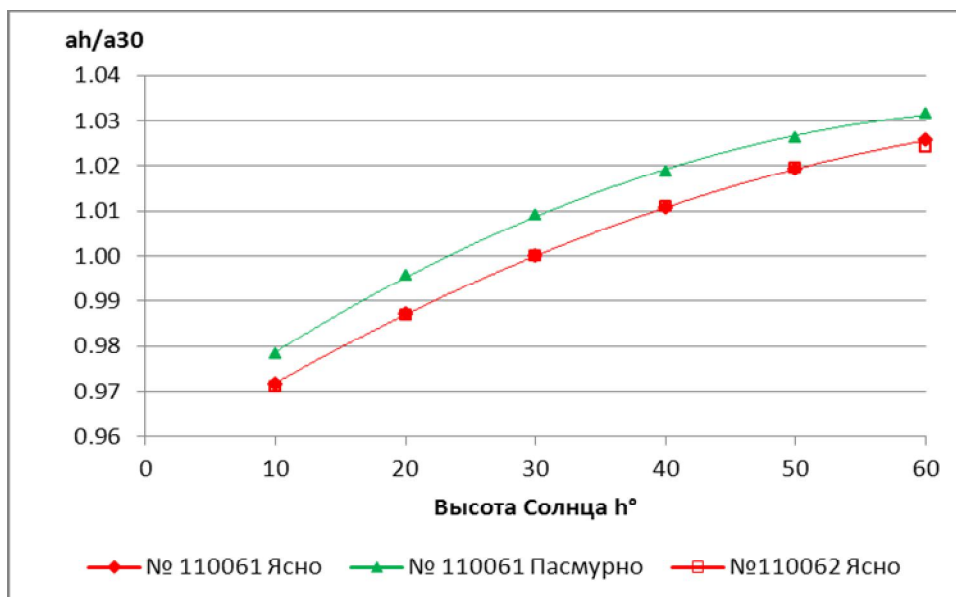


Рисунок 12.3 – Спектральные поправки для приборов UVS-A-T в области спектра 300-380 нм по отношению к ее величине при высоте Солнца $h=30^\circ$ и $AOT_{380}=0.325$.

В течение 2013 г. неоднократно проводилась одновременно регистрация суммарной радиации по УФ пиранометру UVA-1 YES № 031201, являющемуся регистратором суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм в МО МГУ и по прибору Kipp&Zonen UVS-A-T № 110062.

При градуировке в Инсбруке зависимость переводного множителя контрольного УФ пиранометра UVA-1 YES № 060902 от высоты Солнца была получена при условиях малооблачной погоды, на основании которой были определены переводные множители для $h=30^\circ$. Обработка данных при других высотах Солнца проводилась с учетом суммарной поправки, составляющей сумму спектральной и косинусной поправок для случаев при наличии прямой радиации и при ее отсутствии. В случае пасмурного неба поправки определялись относительно величины при $h=30^\circ$ для безоблачного неба и $AOT_{380}=0.325$. Аналогично проводилась и обработка данных и регистратора № 031201.

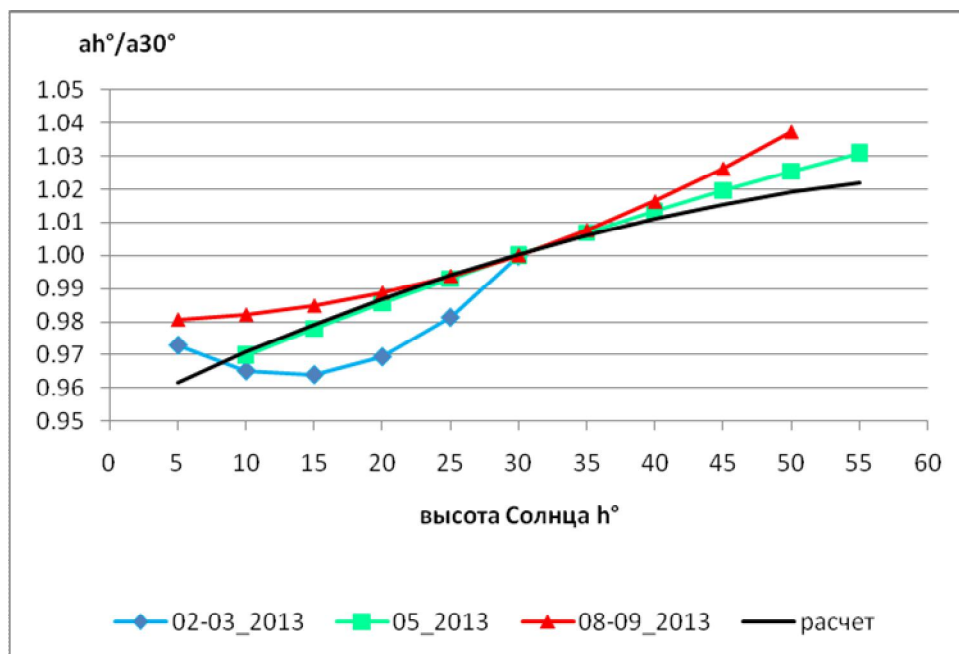
На основании параллельных измерений по регистратору UVA-1 YES и прибору №110062 фирмы Kipp&Zonen получена зависимость переводного множителя прибора №110062 от высоты Солнца. В табл.12.1 приведены средние значения переводного множителя прибора № 110062 при высоте Солнца $h=30^\circ$, полученные в различные периоды сравнений 2013 г.

Таблица 12.1 – Переводные множители прибора №110062 Kipp&Zonen, при высоте Солнца $h=30^\circ$. полученные по регистратору суммарной УФ радиации UVA-1 YES № 031201, Вт/м² В.

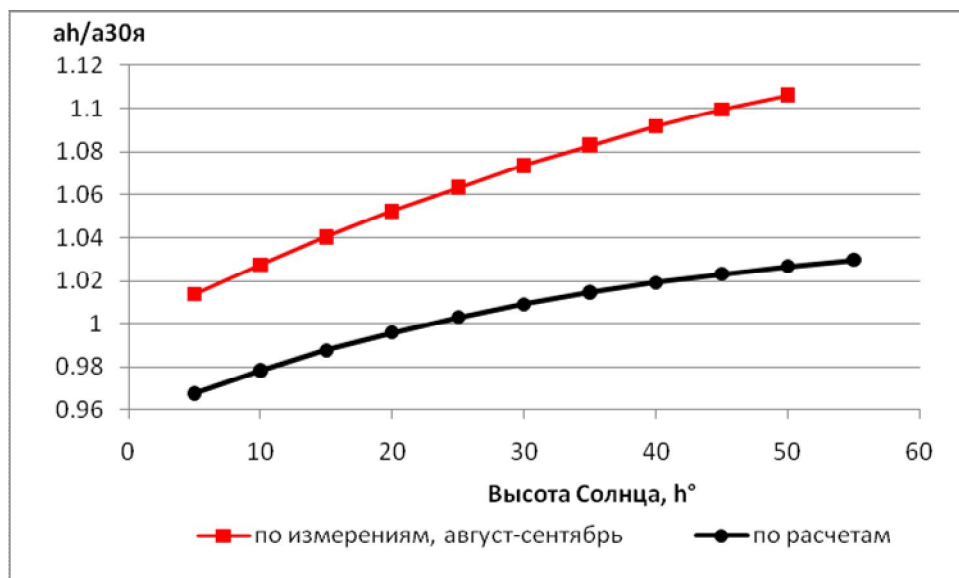
Условия градуировки	Период наблюдений в 2013 г.		
	15 февраля – 12 марта	7–13 мая	21 августа – 3 сентября
При Солнце	20.67	20.59	20.42
Пасмурно	21.79		21.94

Можно отметить, что переводные множители при $h=30^\circ$ оставались стабильными (в пределах $<1\%$) в течение 6 месяцев. Однако отмечены значительные различия между переводными множителями, полученными при наличии прямой радиации и при ее отсутствии. При отсутствии прямой радиации переводный множитель при $h=30^\circ$ на 5.4% выше в феврале-марте и на 7.4% выше в августе-сентябре по сравнению с переводным множителем при наличии прямой радиации.

На рис. 12.4 а и 12.4 б приведены отношения переводных множителей a_h к переводному множителю при $h=30^\circ$ - a_{30} , представляющие собой спектральные поправки соответственно при наличии и отсутствии прямой радиации. При сплошной облачности значения переводных множителей a_h относились к величине a_{30} , полученной при наличии прямой радиации. На этом рисунке приведены также расчетные по модели значения спектральных поправок (см. рис. 12.3). Можно видеть, что при наличии прямой радиации измеренные и модельные значения достаточно хорошо согласуются между собой. Для сплошного покрова плотных облаков спектральные поправки по результатам наблюдений на $5\div 8\%$ выше при изменении высоты солнца от $h=10^\circ$ до $h=55^\circ$ по сравнению с данными модельных расчетов.



а.



б.

Рисунок 12.4 - Спектральные поправки прибора UV-S-A-T №110062 Kipp&Zonen по измерениям в различные периоды 2013 г. и по модельным расчетам при наличии прямой радиации (а) и при отсутствии прямой радиации (б).

Таким образом, можно отметить, что прибор фирмы Kipp&Zonen UVS-A-T может быть использован для измерения УФ радиации в области спектра 300-380 нм. В случае малооблачной погоды спектральные погрешности прибора малы и по отношению к величине при $h=30^\circ$ изменяются всего на $\pm 2.5-3.5\%$ в широком диапазоне высот Солнца. Результаты измерений близки к модельным расчетам. При измерениях

при плотной облачности спектральные поправки возрастают и заметно отличаются от расчетных величин. Начатые исследования необходимо продолжить.

12.3 Результаты. В целом за 2013 год приход суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм был близок к норме (1968-2007 гг.). В 2013 г. отмечено незначимое уменьшение суммарной УФ радиации на 1.0% по отношению к норме и на 2.3 %, а по сравнению с более поздним периодом – 1999-2009 гг. По сравнению с 45-летним периодом (1968-2012 гг.) годовая сумма в 2013 г. ниже на 1.3% (табл. 12.2).

Наибольшая положительная аномалия в 2013 г. приходится на июнь. В июне 2013 г. месячная сумма превышает норму на 10%. В 2013 г. значимые положительные отклонения от нормы отмечаются также в марте, апреле и августе. По отношению к периоду 1999-2009 гг. значимая положительная аномалия имеет место только в июне в связи с большими значениями доверительных интервалов средних значений, полученных за 11-летний период.

В 2013 г. экстремально большая отрицательная аномалия отмечалась в сентябре (см. табл. 12.2). Приход суммарной УФ радиации в сентябре 2013 г. был на 35-36% ниже по сравнению с нормой и периодом 1968-2012 гг. и на 38% ниже, чем в среднем за период 1999-2009 гг. Месячная сумма суммарной УФ радиации оказалась самой низкой за все годы наблюдений. Существенно более низкий приход суммарной УФ радиации относительно нормы наблюдался также в феврале, июле, ноябре и декабре. Однако по отношению к средним за период 1999-2009 гг. в ноябре и декабре аномалия в 2013 г. оказалась незначимой.

На рис.12.5 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 ($d_{\text{ПСС}}$) за 2013 г.. Положительные аномалии в приходе суммарной УФ радиации сопровождаются отрицательными аномалиями нижней облачности (при этом знак изменения общей облачности в отдельные месяцы может быть противоположным, например, в марте, апреле, мае, августе и октябре) и положительными аномалиями продолжительности солнечного сияния и наоборот. Так, например, наибольшая положительная аномалия суммарной УФ радиации в июне сопровождалась уменьшением нижней облачности более чем на 20% и лишь небольшим уменьшением общей облачности (менее 5%).

Таблица 12.2 - Месячные и годовые суммы суммарной УФ радиации 300-380 нм за 2013 год и за периоды 1968-2007 гг. , 1968-2012 гг. и 1999-2009 гг. МО МГУ.

Пара- Метры	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Месячные и годовые суммы суммарной УФ радиации 300-380 нм, МДж/м ²													
2013 г.	2.46	4.47	11.5	16.2	22.2	27.2	22.5	20.2	7.41	5.67	2.00	1.43	143.2
1968- 2007 г. Д.И.	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
	0.10	0.24	0.46	0.51	0.70	0.78	0.59	0.59	0.43	0.27	0.14	0.08	2.43
1968- 2012 г. Д.И.	2.37	5.01	10.7	15.0	22.5	24.8	24.3	19.3	11.5	5.62	2.32	1.55	145.1
	0.09	0.22	0.42	0.48	0.64	0.71	0.62	0.57	0.39	0.24	0.12	0.08	2.32
1999- 2009 гг. Д.И.	2.30	4.91	11.1	15.7	22.8	24.8	24.7	19.3	12.0	5.50	2.32	1.46	147.0
	0.19	0.35	0.86	0.66	1.71	1.84	0.96	1.35	0.67	0.44	0.32	0.23	4.42
Отклонения месячных и годовой сумм УФ радиации за 2013 г. (d%) от средних многолетних величин													
1968- 2007 г.	4.3	-11.5	6.7	8.6	-1.1	10.2	-6.3	3.9	-35.4	0.8	-14.4	-8.9	-1.0
1968- 2012 г.	3.7	-10.8	7.0	7.5	-1.5	9.5	-7.4	4.6	-35.6	0.9	-13.8	-7.7	-1.3
1999- 2009 г.	7.0	-8.9	3.8	3.1	-3.0	9.4	-8.7	4.6	-38.5	3.0	-13.9	-2.3	-2.6
Максимальные и минимальные месячные и годовые суммы за период 1968-2012 гг., МДж/м ²													
Q _{макс}	2.93	6.23	13.6	18.1	27.3	30.5	30.1	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	15.5	8.38	3.39	1.48	1.16	132.1
Год	1989	1974	1979	1986	1980	2003	1984	2008	1990	1982	1976	2006	1980
Доли месячных и годовых сумм рассеянной УФ радиации в суммарной, %													
2013 г.	96	94	88	75	71	74	85	77	93	91	99	99.6	80
1968- 2007 г.	98	94	87	84	78	78	79	80	85	92	97	99	82
Доли месячных и годовых сумм суммарной УФ радиации в месячных и годовых суммах суммарной интегральной радиации, %.													
2013 г.	4.0	3.8	3.9	3.9	4.1	4.1	4.2	4.1	4.6	4.1	4.4	4.8	4.1
1968- 2007 г.	4.0	3.9	3.8	3.8	3.9	4.1	4.1	4.1	4.0	3.9	4.1	4.1	4.0

Примечание: Д.И. – доверительный интервал с доверительной вероятностью $\alpha=0.05$ средних за 1968-2007 гг., 1968-2012 гг. и 1999-2009 гг. Красным и синим цветом отмечены соответственно положительные и отрицательные значимые аномалии. Доли рассеянной УФ радиации в суммарной получены по данным уфиметра МО МГУ.

Напротив, экстремально низкое значение суммарной УФ радиации в сентябре обусловлено ростом нижней и общей облачности соответственно на 44 и 22%, большим числом дней без Солнца - 14 (раздел 8) и резким снижением продолжительности солнечного сияния на 60%. Следует отметить, что во все месяцы, где отмечаются значимые аномалии, рост суммарной коротковолновой радиации совпадает с ростом суммарной УФ радиации и наоборот. Интересно отметить, что в случае значимых аномалий ослабление коротковолновой суммарной радиации выражено более резко по сравнению с УФ радиацией, что объясняется большим вкладом прямой радиации в суммарную для всего солнечного спектра по сравнению с УФ радиацией, так как прямая радиация полностью экранируется сплошным покровом облаков нижнего яруса.

Доля суммарной УФ радиации в суммарной интегральной радиации в течение года в среднем за 40 лет колебалась незначительно (см. табл.12.2). В 2013 г. наиболее заметные отклонения величины $Q_{\text{уф}}/Q_{\text{ир}}$ от средней многолетней величины наблюдались в сентябре и декабре. В сентябре резко выросла доля рассеянной радиации в суммарной (93%), а в декабре она составила почти 100%. Как было показано ранее (Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы. Т.1.Под ред. А.А.Исаева, 2003, Абакумова и др.,2012), доля рассеянной УФ радиации в месячных суммах рассеянной интегральной радиации значительно выше, чем доля суммарной УФ радиации в месячных суммах суммарной интегральной радиации.

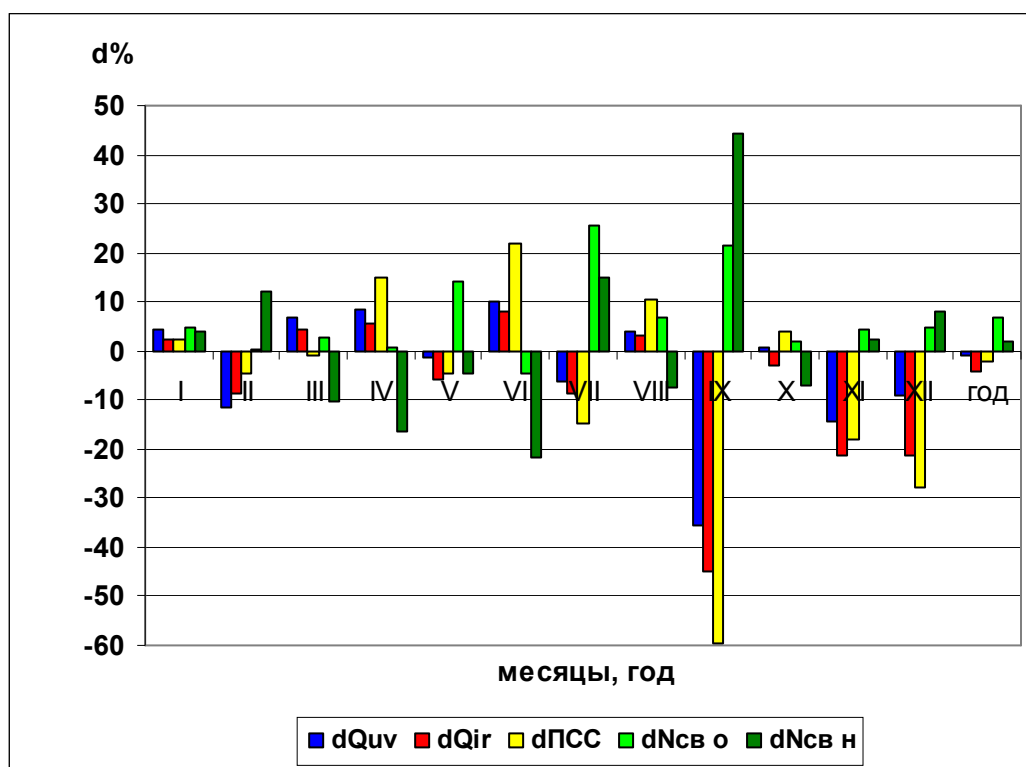


Рисунок 12.5 - Отклонения ($d\%$) от нормы (1968-2007 гг.) месячных значений суммарной УФР ($dQ_{\text{уфр}}$), суммарной интегральной радиации ($dQ_{\text{ир}}$), общей (dN_{O}) и нижней (dN_{H}) облачности за светлую часть суток и продолжительности солнечного сияния ($d_{\text{ПСС}}$) за 2013 год.

В целом за весну и лето сумма суммарной УФ радиации в 2013 г. превосходит соответствующие значения за 1967-2007 гг. (табл.12.3). Зимой 2013 г. сумма несколько ниже нормы, однако различия не значимы. Суммы за зиму, весну и лето в 2013 г. близки средним за период 1999-2009 гг. Осенью 2013 г. приход суммарной радиации оказался самым низким за все годы наблюдений и был на 22% ниже нормы и на 24% ниже средней за период 1999-2009 гг. Основная роль в уменьшение суммарной УФ радиации осенью в 2013 г. принадлежит сентябрю, о чем говорилось выше, но и в ноябре отрицательная аномалия достигала 14%.

Максимальные за каждый месяц суточные суммы в 2013 г. ниже максимальных суточных сумм за все предыдущие годы (табл.12.4, рис.12.6. Однако для отдельных дней года отмечались самые высокие суточные суммы за весь период наблюдений (рис.12.7). Максимальные суточные суммы для отдельных дней отмечались 27, 28 марта и 3 августа (87, 88 и 216). В скобках указан номер дня года.

Таблица 12.3 - Суммы суммарной УФ радиации за сезоны 2013 г. и за период 1968-2007 гг. и 1999-2009 гг., МДж/м².

Период	Характеристики-	Зима	Весна	Лето	Осень
2013 г.		8.67	49.84	69.87	15.07
1968-2007 гг.	Средняя	9.00	48.09	68.12	19.42
	Доверительный Интервал	0.33	1.13	1.23	0.55
	d %	-3.7	3.7	2.6	-22.4
1999-2009 гг.	Средняя	8.73	49.62	68.80	19.86
	Доверительный интервал	0.50	2.13	2.26	1.01
	d%	-0.7	0.5	1.6	-24.1
1968-2012 гг.	Максимум	10.88	54.82	76.06	23.16
	Год	1968 1996	2000	1968	1994
	Минимум	6.83	40.20	60.75	16.67
	Год	1990	1980	1984	1982

Примечание: В сумму за зиму входит сумма за декабрь предыдущего года. Красным и синим цветом отмечены соответственно положительные и отрицательные значимые аномалии.

В эти дни наблюдалась или безоблачная погода (27.03), или отмечались облака верхнего яруса в сочетании с кучевыми облаками, не экранирующими диск Солнца (28.03, 03.08). 4 февраля 2013 г. (35) была отмечена самая низкая за весь период наблюдений для февраля суточная сумма суммарной УФ радиации (см. табл. 12.4). Она оказалась на 27% ниже минимума за 1968-2012 гг. В этот день отмечалось 10 баллов кучево-дождевых облаков в сочетании с разорванно-дождевыми облаками. Минимальные суточные суммы были зарегистрированы также для следующих дней: 11 февраля (42), 24 августа (237) и 6, 20 и 21 сентября (250, 264, 265). В эти дни отмечался сплошной покров плотных облаков нижнего яруса (слоисто-кучевые облака в сочетании с кучево-дождевыми или разорванно-дождевыми облаками или слоисто-

дождевые в сочетании с разорванно-дождевыми облаками. Если максимальные для отдельных дней суточные суммы превосходят максимальные значения для этих дней за все предыдущие годы на 1-2%, то минимальные суточные суммы 24 августа и 6 сентября были ниже когда-либо наблюдавшихся в эти дни на 40%.

Таблица 12.4 - 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 2013 г., средние квадратические отклонения (σ), кДж/м ² и коэффициенты вариации (V),%.												
Q _{средн}	79	160	371	539	715	905	727	651	247	183	67	46
Q _{макс}	149	327	652	897	1013	1140	1068	945	505	361	162	79
Число	27	26	29	29	19	21	17	3	2	6	1	10
Q _{мин}	26	29	115	155	255	344	346	126	68	37	20	18
Число	5	4	15	1	4	22	27	24	21	28	26	17
σ	34	92	136	210	241	177	204	206	133	84	39	17
V	42	58	37	39	34	20	28	32	54	46	59	37
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	53	54	43
1999-2009 гг.												
Q _{средн}	74	174	357	523	737	827	796	623	401	177	77	47
V	43	42	41	36	31	29	27	31	36	54	53	44
Максимальные и минимальные суточные суммы за период 1968-2012 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

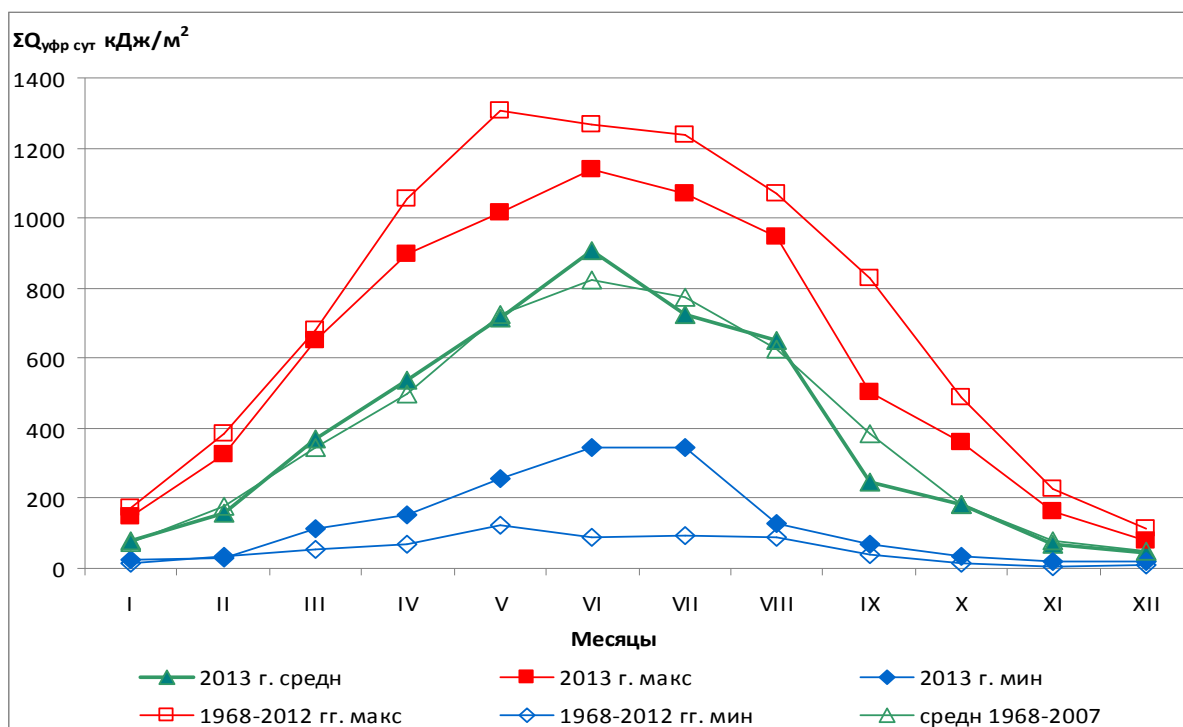


Рисунок 12.6 - Годовой ход средних суточных сумм суммарной УФ радиации за 2013 год и за период 1968-2007 гг. (норма) и максимальных и минимальных величин за 2013 г. и период 1968-2012 гг.

Для большинства месяцев изменчивость суточных сумм близка к средней многолетней величине (рис.12.8). Исключение составляют высокие значения коэффициента вариации для февраля и сентября и низкие значения для июня. Низкие значения коэффициента вариации в июне определяются преобладанием однотипной погоды – солнечной погодой при наличии переменной облачности, приход УФ радиации ото дня ко дню менялся мало. За весь месяц лишь для 4 дней суточные суммы суммарной УФ радиации были существенно ниже нормы, отмечался всего один день без солнца (см. раздел 8). Высокую межсуточную изменчивость в феврале и сентябре можно объяснить тем, что в феврале имели место дни с очень низкими (абсолютный минимум для февраля) и очень высокими суточными суммами, а в сентябре на фоне общего низкого прихода суммарной УФ радиации отмечались заметные колебания между средними многолетними и минимальными значениями суточных сумм.

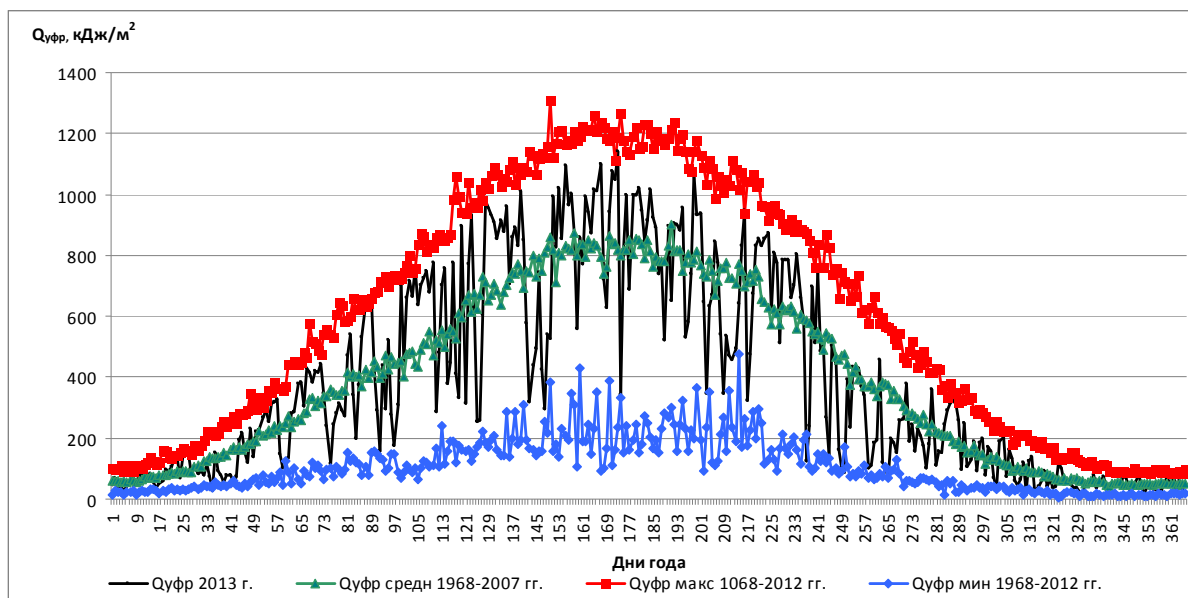


Рисунок 12.7 - Изменение суточных сумм суммарной УФ радиации в течение 2013г.

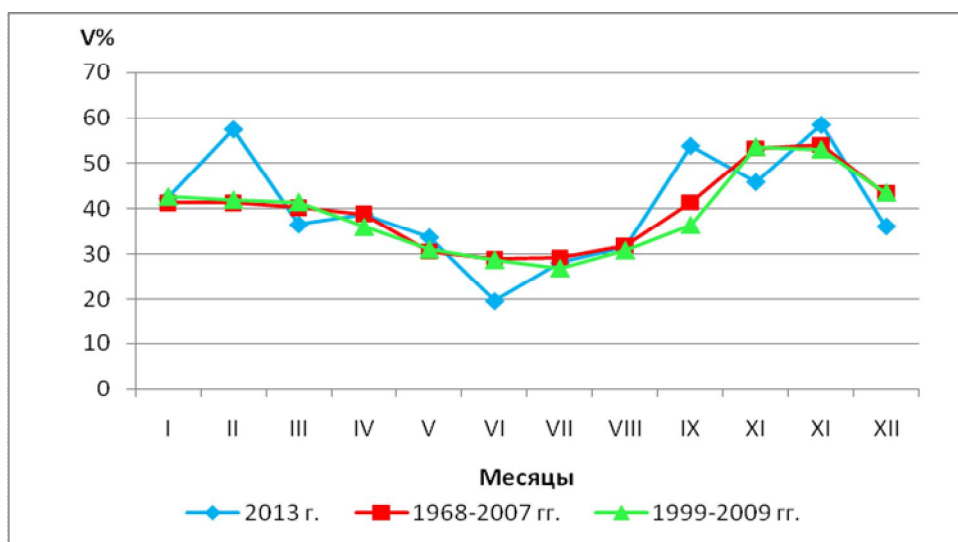
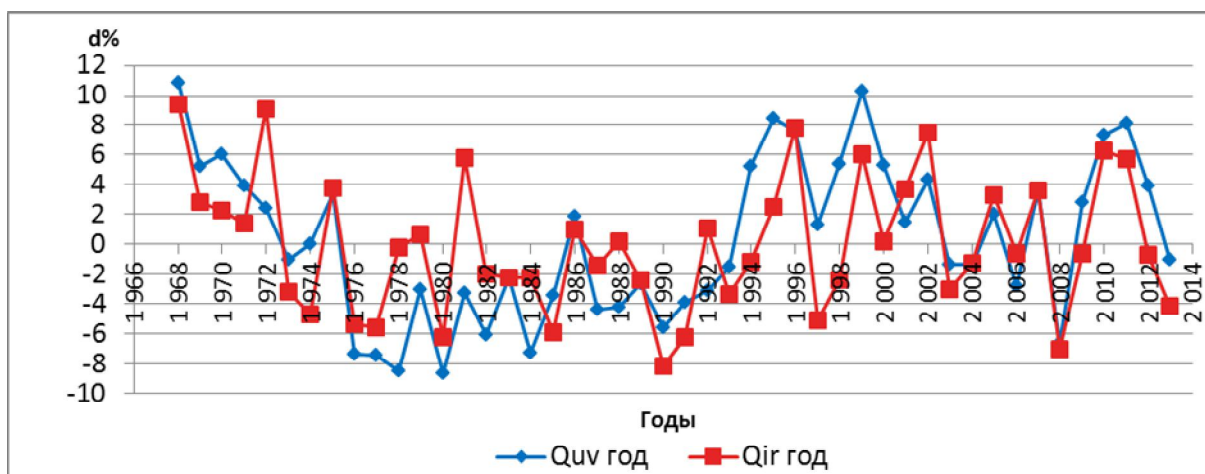


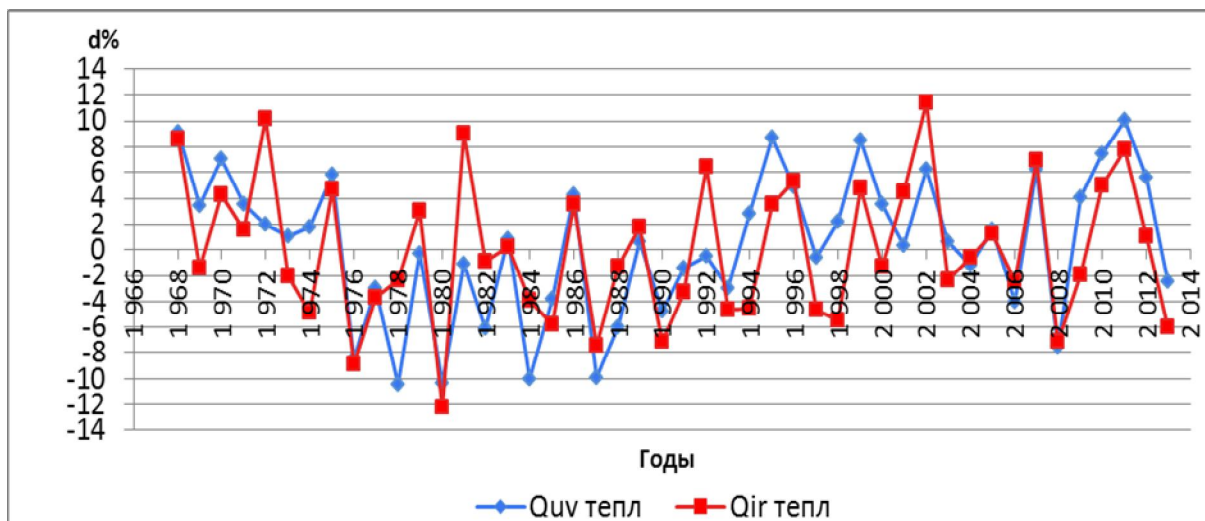
Рисунок 12.8 - Годовой ход коэффициента вариации суточных сумм суммарной УФ радиации в 2013 г. и в различные периоды наблюдений.

Характер многолетних изменений в приходе суммарной УФ радиации, как в целом за год, так и за теплый период (май-сентябрь) представлен на рис. 12.9. В целом ход многолетних изменений прихода суммарной УФ радиации достаточно хорошо согласуется с изменениями суммарной интегральной радиации. Высокие положительные аномалии отмечены в начале периода наблюдений. Существенное

снижение в приходе радиации приходится на вторую половину 70-х – начало 90-х годов, что обусловлено ростом облачности. Высокий приход суммарной УФ радиации отмечается со второй половине 90-х годов до 2002 годов. Начиная с 2003 г. имело место понижение в приходе солнечной радиации, достигшее наибольшей величины в 2008 г., что обусловлено заметным ростом облачности в эти годы (см. раздел 8). С 2008 г. по 2011 г. - отмечался рост прихода суммарной УФ радиации как в целом за год, так и за теплый период. В 2011 г. годовой приход УФ радиации достиг очень больших значений.



а



б.

Рисунок 12.9 - Отклонения (d%) от нормы (1968-2007 гг.) суммарной УФ и интегральной радиации. а – суммы за год, б – суммы за теплый период (май-сентябрь).

Это четвертая по величине годовая сумма радиации за весь период наблюдений. Она превысила норму на 8%. Приход УФ радиации за май-сентябрь в 2011 г.

оказался наибольшим за весь период наблюдений и превысил норму на 10%. За эти же годы максимум суммарной интегральной радиации приходился на 2011 г. только для теплого периода, а в целом за год отмечался в 2010 г. Начиная с 2012 г. приход суммарной УФ радиации заметно снижался и в 2013 г. оказался уже ниже нормы на 1% для года (отклонения не значимы) и на 2.5 % ниже нормы для теплого периода. В 2013 г. суммарная интегральная радиация была соответственно на 4 и 6 % ниже средней величины за 1968-2007 гг.

Таким образом, приход суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм в целом за 2013 г. был близок к норме, в то же время он был примерно на 5 % ниже по сравнению с 2012 г.

Литература

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

Беликов И.Б., Горбаренко Е.В., Еремина И.Д., Константинов П.И., Локощенко М.А., Незваль Е.И., Чубарова Н.Е., Шиловцева О.А., Шумский Р.А. Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2010 г по данным Метеорологической Обсерватории МГУ, под ред. Н.Е. Чубаровой, М.: МАКС Пресс, 2011 - 180 с. ISBN 978-5-317-03592-1. Компакт диск.

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

Беликов, И., Горбаренко, Е., Ерёмина, И., Жданова, Е., Константинов, П., Корнева, И., Локощенко, М., Незваль, Е., Скороход, А., Чубарова, Н., Шиловцева, О., Шумский, Р., Ахиярова, К., Ремизов, А. *Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2012 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ, под редакцией Н.Е. Чубаровой.* МАКС Пресс Москва, 2013.

Незваль Е.И., Чубарова Н.Е. Разработка методики сохранения однородности ряда УФ радиации в диапазоне длин волн 300-380 нм при переходе на современную

аппаратуру. «Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2010 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ». М., Макс Пресс, 2011, CD-ROM 978-5-317-03592-1, с.155-170.

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

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

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

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

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

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.kippzonen.com/Product/26/UVS-A-T-UV-Radiometer/html

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

13. Оценка биологически-активной УФ радиации

Е.Ю. Жданова, Н.Е. Чубарова

13.1. Краткая характеристика приборов и методические аспекты измерений.

Измерения эритемной УФ-радиации в 2013 году осуществлялись пиранометром UV-S-E-T KIPP&Zonen №120056. Спектральная кривая прибора показана на рис.13.1. До 2013 года измерения эритемной УФ-радиации осуществлялись приборами типа UVB-1 YES. С целью сохранения однородности ряда измерений были проведены сравнения данных параллельных измерений приборами UV-S-E-T №120056 и UVB-1 №920602, которые обусловили введение дополнительного множителя, равного 1.06, для измерений прибора UV-S-E-T №120056.

Для контроля качества измерений были проведены серии одновременных измерений с контрольным прибором UVB-1 №060904 в мае (13.05-31.05), сентябре (3.09-24.09), и в ноябре (31.10-3.11).

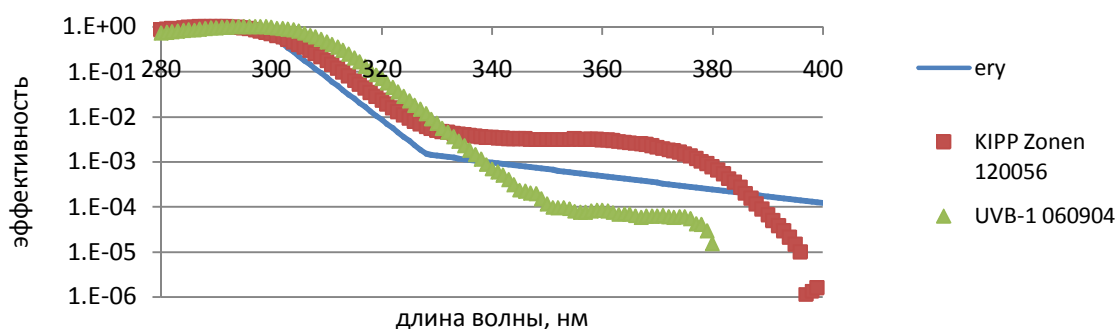


Рисунок 13.1 - Спектральные кривые приборов: контрольного UVB-1 №060904, UV-S-E-T KIPP Zonen №120056 и кривая эритемного действия (ery).

По данным наблюдений в мае 2013 года было выявлено, что измерения регистрирующего и контрольного прибора хорошо согласуются при всех высотах Солнца (относительная разница - около нуля) (табл.13.1). В среднем в мае 2013 года величина отношения (№120056/№060904) при высотах Солнца 29-31° составила -1%.

Таблица 13.1- Отношения измерений регистрирующего прибора (#120056) к контрольному (#060904) в мае 2013 года.

Диапазон высот Солнца	Qer(#120056)/Qer(#060904)-1					
	среднее	медиана	мин	макс	Квартиль 25	Квартиль 75
5-9	3%	3%	-9%	16%	0%	6%
9-15	-1%	0%	-9%	8%	-3%	2%
15-21	-1%	0%	-9%	8%	-3%	2%
21-27	0%	0%	-10%	9%	-3%	2%
27-33	0%	0%	-7%	6%	-2%	1%
33-39	-1%	-1%	-5%	4%	-2%	1%
39-45	0%	-1%	-6%	6%	-2%	1%
45-51	-1%	-2%	-8%	6%	-3%	1%
51-57	0%	0%	-10%	10%	-3%	2%

Однако в сентябре 2013 года величина отношения (№120056/№060904) сместилась в сторону отрицательных значений и при высотах Солнца 27-33° составила -6% (табл.13.2). Отметим, что тенденция к занижению измерений эритемной УФ-радиации регистрирующим прибором в период с мая по октябрь 2013 года подтверждается и сравнениями его измерений с данными модельных расчетов в отдельные дни при ясном небе. В связи с этим переводные множители регистратора UV-S-E-T №120056 за период май-сентябрь были линейно интерполированы. Более высокие переводные коэффициенты также учитывались при анализе данных за октябрь-декабрь.

Таблица 13.2 – Различия данных измерений регистрирующего прибора (#120056) по сравнению с контрольным (#060904) в сентябре 2013 года.

Диапазон высот Солнца	Qer(#120056)/Qer(#060904)-1					
	среднее	медиана	мин	макс	Квартиль 25	Квартиль 75
5-9	-8%	-9%	-20%	4%	-11%	-5%
9-15	-9%	-10%	-18%	-2%	-12%	-8%
15-21	-9%	-10%	-16%	-2%	-11%	-7%
21-27	-7%	-8%	-15%	-1%	-9%	-6%
27-33	-6%	-6%	-12%	1%	-7%	-4%
33-39	-4%	-4%	-11%	3%	-6%	-3%
39-45	-1%	0%	-12%	9%	-4%	2%

13.2. Анализ данных измерений биологически активной УФ радиации в 2013 г.

Годовая сумма эритемной УФ-радиации (Q_{er}) в 2013 году составила 394 Дж/м²(эфф), что на 9% ниже среднего значения за 1999-2013 гг. На рис.13.2 показан сезонный ход среднесуточных сумм Q_{er} в 2013 год, среднесуточные суммы Q_{er} за период 1999-2013 гг, а также относительная разница между среднесуточными суммами в 2013 году и средними многолетними значениями.

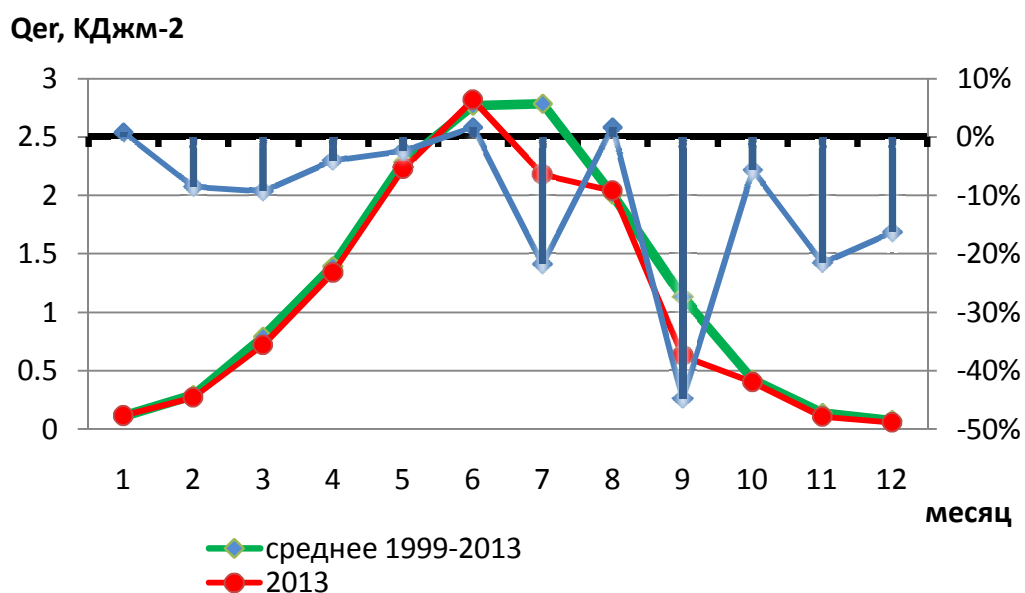


Рисунок 13.2 - Сезонный ход среднесуточных сумм Q_{er} в 2013 году, за период 1999-2013 гг.(левая ось) и относительные изменения Q_{er} по сравнению с средними многолетними значениями (правая ось).

Из рис. 13.2 видно, что эритемная УФ-радиация испытывала в годовом ходе довольно сильную изменчивость от -45% в сентябре до +2% - в июне. В целом 2013 год характеризовался пониженными значениями биологически активной УФ-радиации во все месяцы года. Абсолютные минимумы месячных сумм Q_{er} отмечены в июле, сентябре: они были меньше средних величин на 22%, 45%, соответственно.

Для выяснения причин вариаций эритемной УФ-радиации в 2013 году была использована модель реконструкции УФР, позволяющая оценивать изменения

радиации с месячным и более осреднением (Chubarova, 2008). Отметим, что модель учитывает изменения Q_{er} за счет оптической толщины облаков только за период май-сентябрь, поэтому сравнение измеренных и рассчитанных вариаций эритемной УФ-радиации приведено на рис.13.3 для теплого периода года.

Вариации эритемной УФ-радиации за период май-сентябрь в 2013 году относительно средних значений (1999-2013гг) по данным измерений и по расчетам модели реконструкции хорошо согласуется между собой в июле и сентябре и расходятся в октябре, что может быть в некоторой степени связано с неучетом влияния вариаций оптических толщин облаков.

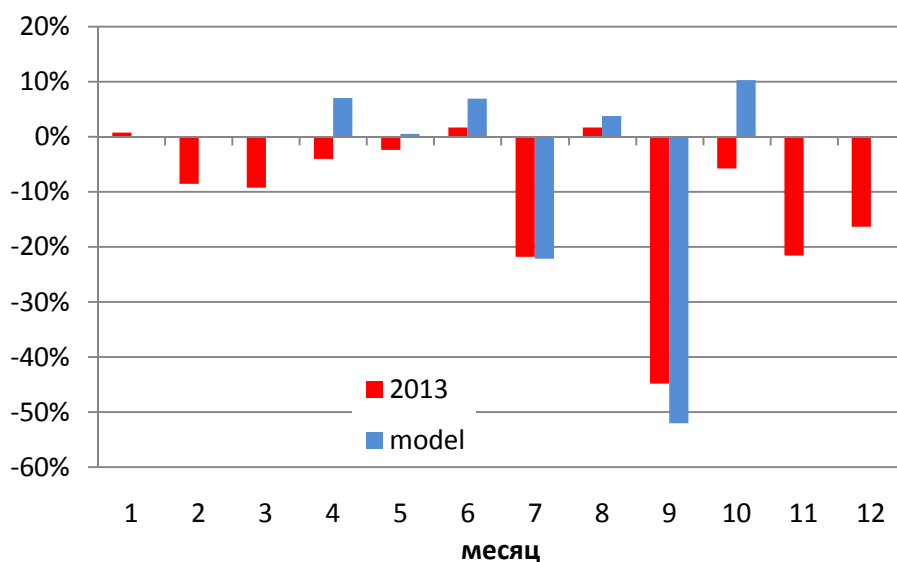


Рисунок 13.3 – Относительные изменения эритемной УФ-радиации по данным измерений и модели реконструкции.

На рис. 13.4 показан вклад различных факторов (вариации общего содержания озона, аэрозольной оптической толщины, эффективного балла облачности, оптической толщины облаков) в наблюдаемые изменения Q_{er} по результатам модели реконструкции для теплого периода.

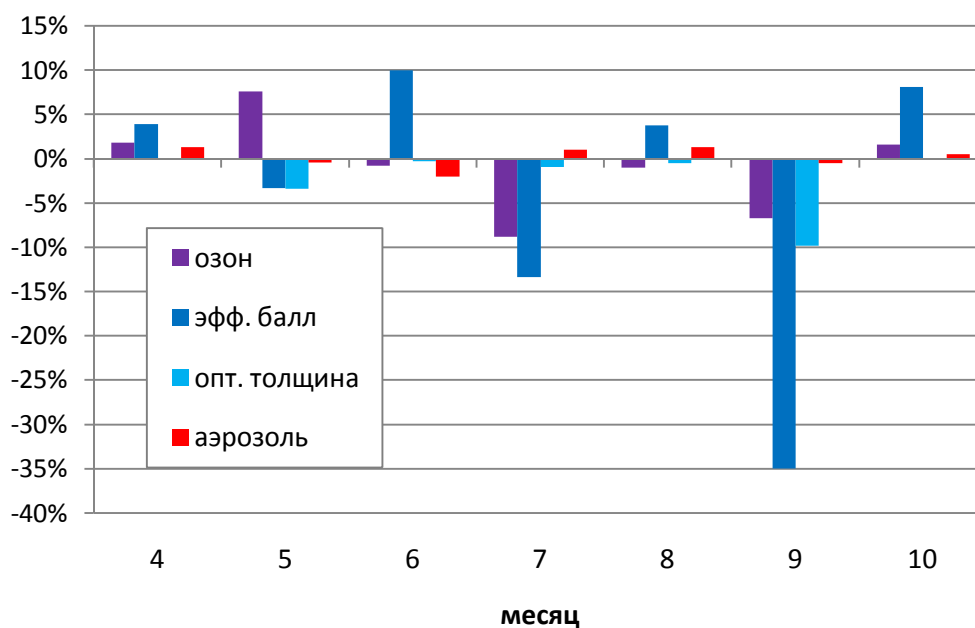


Рисунок 13.4 - Относительные изменения эритемной УФ-радиации за счет различных факторов в 2013 г. относительно средней величины за 1999-2013 г. период наблюдений. Модель реконструкции.

Согласно рис. 13.4 существенные отрицательные изменения Q_{er} в теплый период (в июле и сентябре) связаны, главным образом, с увеличением эффективного балла облачности и общего содержания озона относительно средних значений (1999-2013 гг). В мае отмечался рост Q_{er} на 8% за счет уменьшения общего содержания озона, а в июне рост Q_{er} на 10% в связи с преобладанием ясной погоды по сравнению со средними условиями.

Заметим, что в июле 2013 года наблюдалось максимальное среднеемесячное значение общего содержание озона (345 DU) за период 1999-2013 гг.

На рис.13.6 показаны максимальные УФ-индексы в 2013 году и их абсолютные максимумы за 1999-2013 гг. В 2013 году абсолютные максимумы УФ-индексов превышены не были.

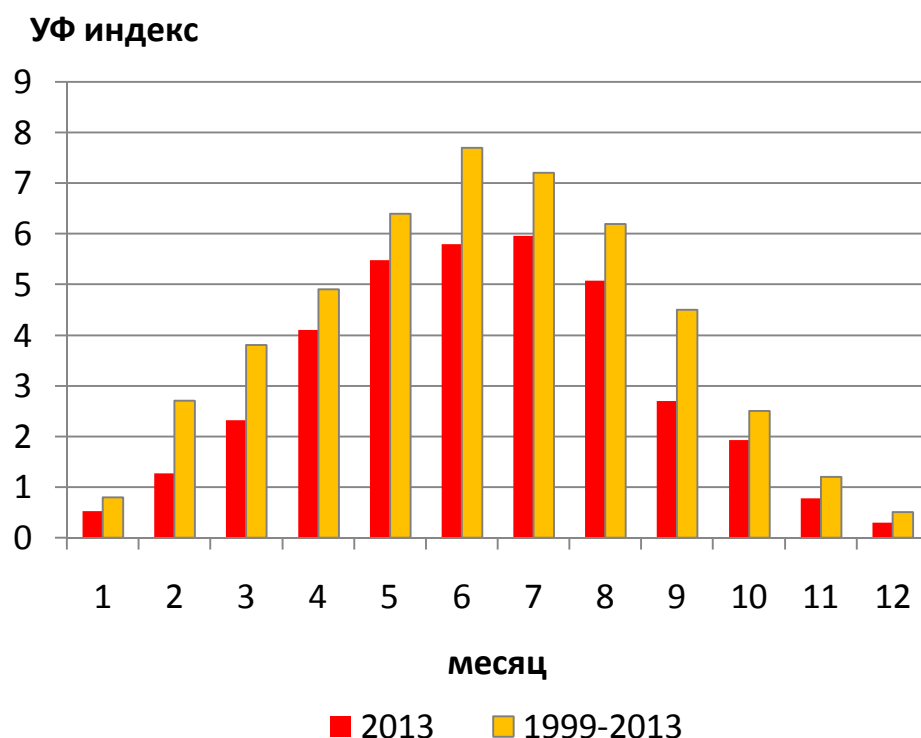


Рисунок 13.6 - Максимальные часовые значения УФ-индексов в 2013 году и абсолютные максимумы за 1999-2013 гг.

Таким образом, уменьшение эритемной УФ-радиации в 2013 году составило 9% относительно среднего уровня (1999-2013 гг.), главным образом, за счет отрицательных аномалий в июле и сентябре, связанных с увеличением общего содержания озона и уменьшением облачного пропускания. В июле и сентябре были отмечены абсолютные минимумы эритемной УФ-радиации за весь период наблюдений.

13.3. Анализ УФ-ресурсов в Москве.

УФ-радиация оказывает существенное влияние на здоровье населения, как отрицательное, связанное с образованием эритемы, что впоследствии может привести к развитию рака кожи, так и положительное (образование витамина D). В связи с этим была разработана классификация УФ ресурсов позволяет характеризовать уровень УФ радиации с точки зрения ее воздействия на кожу человека. Условия 100% УФ-недостаточности обозначают, что в течение суток

нельзя получить дозу ультрафиолетовой радиации, необходимую для образования витамина D; условия полуденной УФ-недостаточности говорят о том, что невозможно получить необходимую дозу для образования витамина D в течение часа около полудня, но можно - в течение суток. Условия УФ-оптимума характеризуются тем, что в течение околополуденного времени в течение часа уже возможно получить дозу ультрафиолетовой радиации для формирования витамина D, но величина радиации не превосходит опасного значения, с которым связано появление эритемы. Если величины поступающей УФ радиации, превосходят опасный уровень для образования эритемы, то такие условия характеризуются УФ-избыточностью. В зависимости от уровня УФ радиации выделяется несколько градаций УФ-избыточности. Методику расчета УФ-ресурсов можно найти в (Chubarova, Zhdanova, 2013). По степени пигментации выделяют различные типы кожи.

Согласно рис.13.7 в 2013 году для людей со вторым типом кожи в Москве УФ-недостаточность наблюдалась зимой, причем в январе отмечалась полная 100-% УФ-недостаточность. Наибольшая вероятность УФ-оптимума наблюдалась в сентябре и октябре, а УФ-избыточность была возможна с апреля по август.

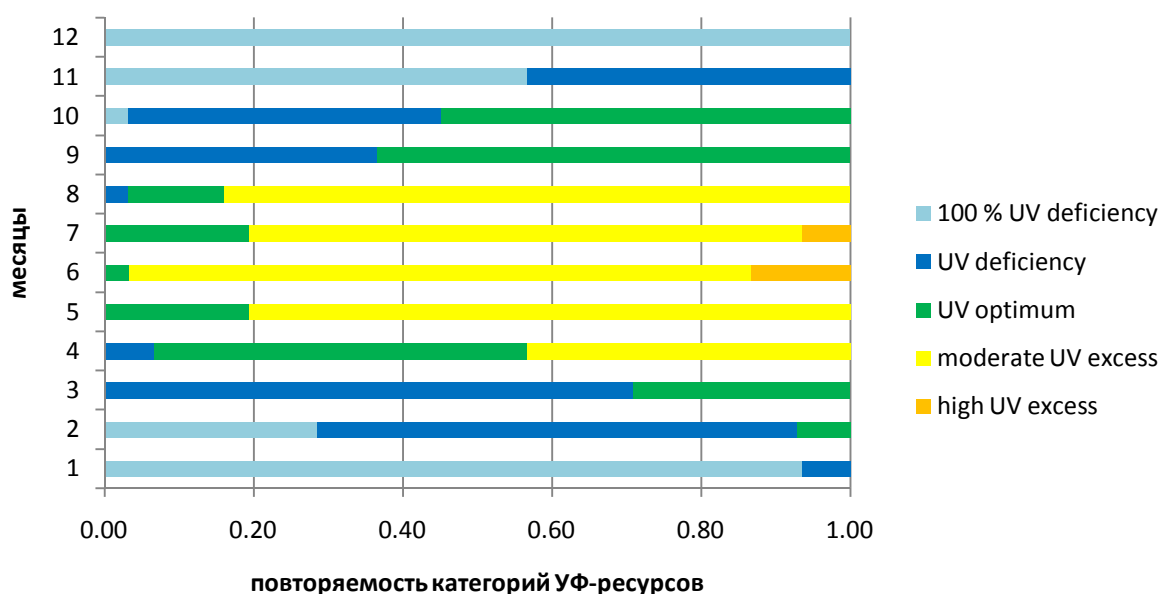


Рисунок 13.7 - Повторяемость категорий УФ-ресурсов в Москве в 2013 году для второго типа кожи.

В связи с низкими дозами УФ-радиации в 2013 году увеличилась повторяемость категории 100% УФ-недостаточности в зимний период, а также повторяемость полуденной УФ-недостаточности в весенне-осенний период, а летом снизилась повторяемость высокой категории УФ-избыточности.

Литература

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

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

Chubarova N., Zhdanova Ye. Ultraviolet resources over northern eurasia // Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. — 2013. — Vol. 127. — P. 38–51.

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

Н.Е. Чубарова, А.А. Полюхов, И.Д. Горлова

14.1 Особенности аэрозольных измерений в 2013 году.

Начиная с 2001 года, в метеорологической обсерватории МГУ проводятся регулярные измерения аэрозольных свойств атмосферы с помощью солнечно-небесных фотометров CIMEL CE 318–2 в рамках международной программы AERONET (Holben et al., 1998; Chubarova et al., 2011). Напомним, что измерения солнечного излучения 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 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. На официальном сайте программы AERONET <http://aeronet.gsfc.nasa.gov> доступны данные нескольких уровней. Изначально данным присваивается уровень 1.0. Данные измерений проходят автоматический контроль качества: измерения, искаженные влиянием облаков, отбраковываются, а оставшимся результатам измерений присваивается уровень 1.5 (Smirnov et al., 2000). Далее, после вторичной калибровки фильтров и дополнительного контроля, данным присваивается уровень 2.0. В МО МГУ, в дополнение к основному алгоритму, принятому на сети AERONET, используются и дополнительные критерии, которые основаны на визуальных наблюдениях за облачностью (Улюмджиева, Чубарова, Смирнов, 2005), что позволяет проводить более качественный отбор измерений. Для обработки данных с учетом дополнительных критериев фильтрации было разработано программное обеспечение, которое также позволяет подготавливать ежемесячный электронный бюллетень основных аэрозольных характеристик атмосферы.

В 2013 году в первой половине года по июнь работал прибор №64, во второй половине года - № 37. После вторичной калибровки прибора №64 в июле 2013 г. были получены вторичные приборные константы, которые существенно отличались от первичных (см. табл.14.1). Отметим, что обычно различия за счет вариаций калибровочных констант не превышают погрешности 1%, однако в нашем случае различия составляли до 6-7% в год.

Различия между аэрозольной оптической толщиной τ_{int} , полученной с учетом интерполяции приборных констант, и первичной, τ_1 , можно рассчитать, используя следующее выражение:

$$\Delta\tau = \tau_{int} - \tau_1 = -\frac{\ln \frac{V_0}{V_{oint}}}{m} = \frac{\ln(1 + (\Delta \frac{(D-D_0)}{(D_e-D_0+365)}))}{m} \quad (14.1)$$

где V_0 и V_{oint} –соответственно первичная приборная константа и линейно интерполированная константа с учетом двух калибровок и юлианского дня, Δ -относительное изменение калибровки за весь период в долях (см. табл. 14.1), D, D_0 и D_e – дни по юлианскому календарю, соответствующие непосредственно измерению АОТ, а также измерениям первичной и вторичной аппаратурной константы.

Таблица 14.1- Изменения градуировки фильтров в приборе №64 в 2012 – 2013 гг.

Длина волны, нм	Первичная константа V_0	Вторичная константа V_{02}	изменение, %	изменение в год, %
1020	13176.9	11807.3	-10.4	-7.3
870	15741.6	14433.5	-8.3	-5.9
675	19014.8	17521.1	-7.9	-5.5
440	12221.0	10932.1	-10.5	-7.4
500	16600.0	15197.6	-8.4	-6.0
380	25370.8	23167.2	-8.7	-6.1
340	24514.2	23566.2	-3.9	-2.7

Как видно из формулы (14.1), величина поправки $\Delta\tau$ определяется не только изменением аппаратных констант, но и массой атмосферы. Зависимость $\Delta\tau$ от массы атмосферы при изменении калибровки на 1%, 2%, 6% показана на рисунке 14.1.

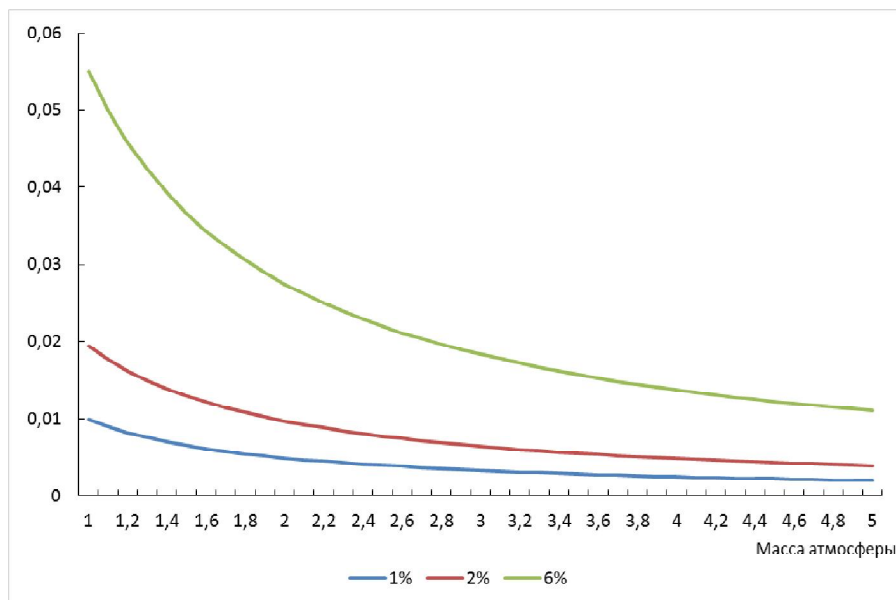


Рисунок 14.1 - Зависимость $\Delta\tau$ от массы атмосферы при изменении калибровочных констант на 1%, 2%, 6%.

Дополнительно были проанализированы измерения АОТ в июне 2013 г., полученные непосредственно перед отправкой прибора на вторичную (заключительную) калибровку, поскольку эти данные должны были обладать максимальной погрешностью (таблица 14.2). Было получено, что в этот период в условиях ясного неба при использовании интерполяционных констант с учетом вторичной калибровки наблюдались отрицательные оптические толщины и нереальные значения волнового показателя Ангстрема (от 7 до 11). В то же время при использовании только первичных калибровочных констант результаты были типичными для июня. Дополнительный анализ сравнений с данными АОТ, полученными на ЗНС, также выявил существенное систематическое занижение результатов измерений в Москве, если использовать переводные множители с учетом вторичных констант.

Таким образом, было доказано, что резкое изменение свойств фильтров прибора произошла уже после окончания наблюдений в Москве, скорее всего, в процессе его

транспортировки в США. После согласований с сотрудниками AERONET было принято решение вернуться к первичным калибровочным константам фильтров, полученным в 2012 г.

Таблица 14.2 - Примеры обработки измерений аэрозольных оптических толщин и волнового показателя Ангстрема 20 и 21 июня 2013 года с учетом вторичных калибровочных констант 2013 г. и с первичными калибровочными константами из 2012 г.

Дата	Время	1020нм	870нм	670нм	Волновой показатель Ангстрема в диапазоне 500-870нм
С учетом вторичных калибровочных констант 2013 г.					
20 июня 2013	6:32:04	N/A	-0.007	0.005	7.32
20 июня 2013	6:47:04	N/A	N/A	0.002	11
21 июня 2013	10:47:14	N/A	N/A	N/A	N/A
С учетом только первичных калибровочных констант 2012г.					
20 июня 2013	6:32:04	0.045	0.05	0.06	1.40
20 июня 2013	6:47:04	0.043	0.048	0.058	1.43
21 июня 2013	10:47:14	0.125	0.152	0.227	1.74

В настоящем анализе используются данные уровня 2 с дополнительной фильтрацией по облачности с января по июнь 2013 г. включительно, и данные уровня 1.5 – для остального периода, поскольку солнечный фотометр, работавший в 2013 году, на сегодняшний момент еще не прошел вторичную калибровку в США.

Измерения аэрозольных характеристик в 2013 году проводились в течение 126 дней, что примерно соответствует среднему числу дней измерений по солнечному фотометру Cimel в Москве.

14.2 Сезонные вариации аэрозольных характеристик атмосферы в 2013 г.

На рисунке 14.2 показаны сезонные изменения среднемесячных значений аэрозольной оптической толщины на разных длинах волн, полученные по данным измерений в 2013 г. и за весь период - с 2001 г. В таблице 14.3 приведены основные статистики для некоторых АОТ в ультрафиолетовом, видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра, статистики для волнового показателя Ангстрема (параметра Ангстрема), который качественно характеризует размер частиц, а также - для содержания водяного пара. Хорошо видно, что в 2013 году наблюдается согласованный сезонный ход

АОТ во всех спектральных каналах с максимумом, смещенным на август-сентябрь. Кроме того, в 2013 году в сезонном ходе АОТ наблюдалось отсутствие выраженного весеннего максимума, сдвиг летнего локального минимума с июня на июль, и более низкие значения АОТ в осенне-зимний период за исключением сентября и декабря (рис.14.3).

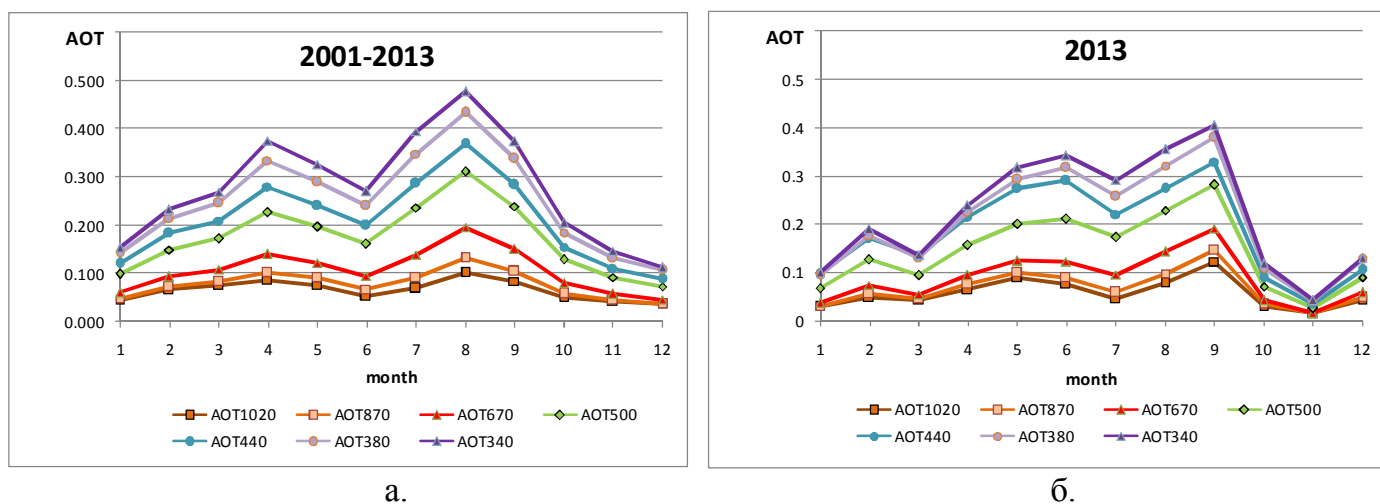


Рисунок 14.2 - Вариации среднемесячных значений аэрозольной оптической толщины на разных длинах волн по данным AERONET в среднем за период 2001-2013 (а) и в 2013 году (б). Уровень 2.0 и 1.5. Москва.

Абсолютный минимум АОТ в марте (до -47% для АОТ500) по сравнению со средним месячным многолетним значением за период 2001-2013 г. связан с адвекцией арктического чистого, сухого воздуха (см. рис. 14.4.) и с отсутствием дополнительной генерации аэрозоля с поверхности, покрытой снегом из-за аномально длительного существования снежного покрова до середины апреля, что препятствовало эмиссии минерального аэрозоля и существенно понизило в том числе и апрельские величины АОТ (см. табл.14.3). В июне 2013 года типичного для этого месяца локального минимума АОТ не наблюдается: величина АОТ500 была выше 50% квантиля за период 2001-2013 гг. на 0,06. Анализ синоптических карт и обратных траекторий показал, что в мае и июне практически не было арктических вторжений воздуха, с которыми обычно связаны низкие значения АОТ. Несколько пониженные значения АОТ в июле могут быть связаны с большим количеством осадков и отсутствием условий для накопления и генерации аэрозоля. Повышенные значения АОТ в сентябре 2013 связаны с адвекцией теплого запыленного воздуха с востока и юго-востока и хорошо согласуются с повышенным влагосодержанием воздуха,

близкому к абсолютному максимуму. Очень низкие значения АОТ наблюдались в октябре и ноябре (абсолютные минимумы среднемесячных значений за период 2001-2013 г.). В октябре низкие значения АОТ в целом наблюдаются вместе с пониженными значениями влагосодержания воздуха, что свидетельствует об адвекции более холодного и сухого воздуха из северных регионов. Низкое среднемесячное значение АОТ и влагосодержание в ноябре не отражают сезонные закономерности, поскольку из-за облачной погоды условия для фотометрических измерений наблюдались лишь в течение одного дня (см. табл. 14.3). Это также отмечено в разделе 9 настоящего выпуска.

В сезонном ходе влагосодержания (рис. 14.3б) наблюдается максимум в июле, близкий к медианному значению, и минимум в марте, который является абсолютным минимумом за весь период наблюдений и связан с адвекцией холодного сухого арктического воздуха. Отмечаются абсолютные максимумы W в феврале и декабре, которые связаны с адвекцией теплого, более насыщенного влагой воздуха (см. раздел 1)

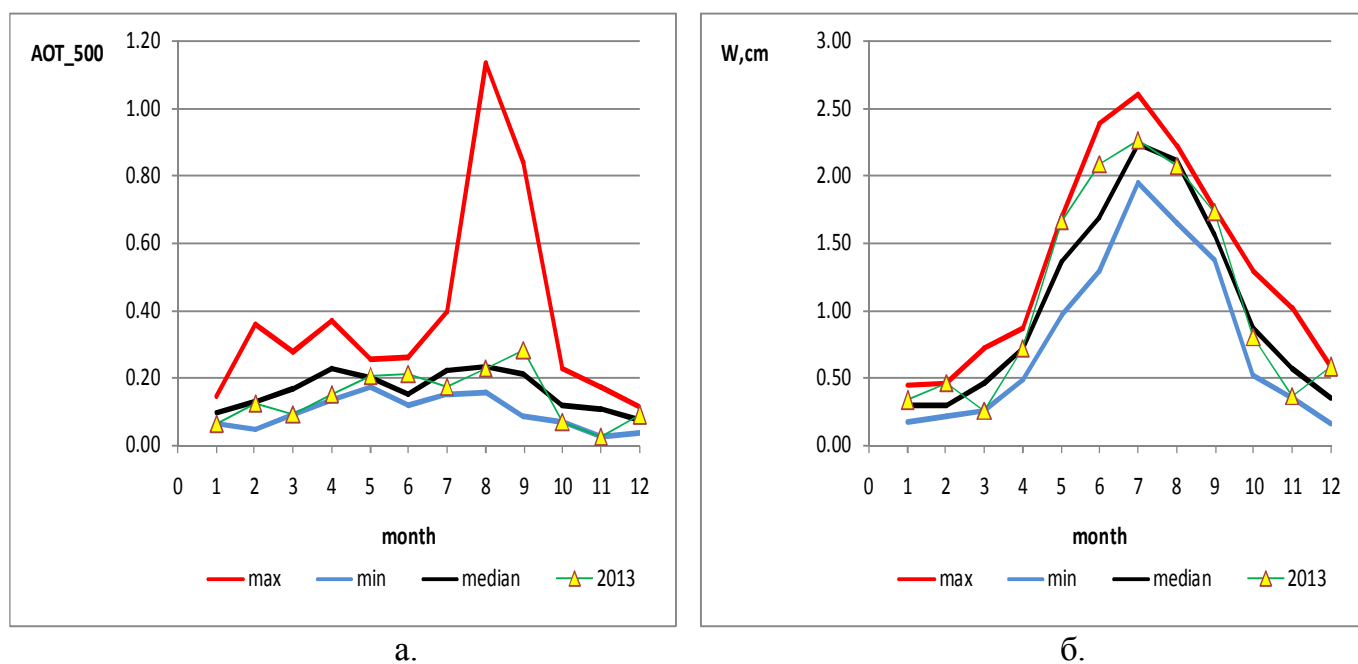
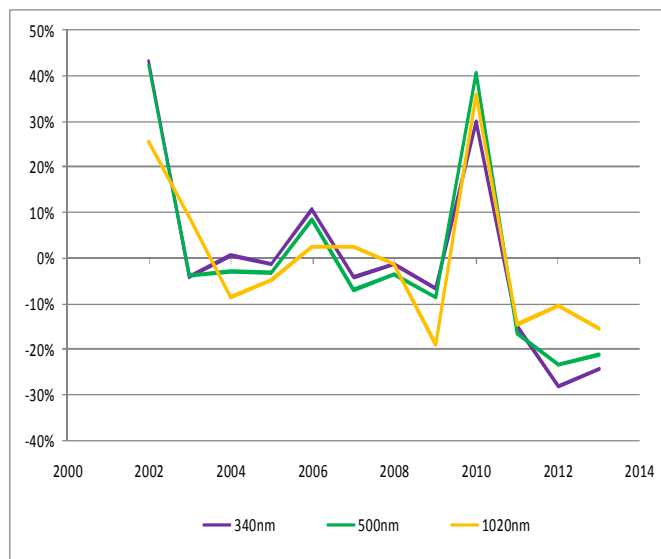


Рисунок 14.3 – Сезонный ход максимальных, минимальных, медианных среднемесячных значений АОТ на длине волны 500нм (а) и влагосодержания атмосферы (б) за период 2001-2013 г., а также среднемесячных значений АОТ500 в 2013 г.

14.3. Межгодовая изменчивость аэрозольных характеристик и влагосодержания атмосферы.

На рисунке 14.4 приведена межгодовая изменчивость средних значений АОТ500 за весь период наблюдений. В этом случае 2001 г. не рассматривался, так как наблюдения были начаты лишь со второй половины года и годовые оценки могли быть смещены в сторону более низких значений.



а.



б.

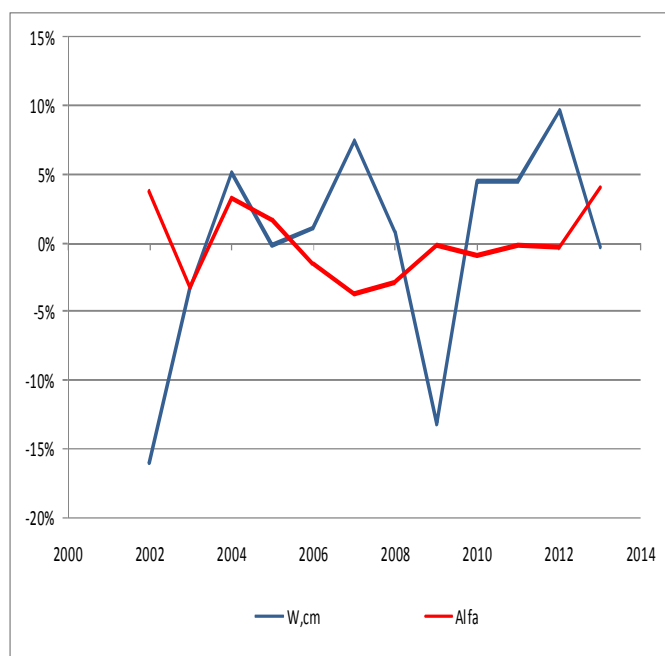
Рисунок 14.4 - Межгодовая изменчивость средних (а) и медианных (б) оценок аэрозольных оптических толщин.

Как и предыдущий 2012 г., 2013 г. характеризовался довольно низкими значениями АОТ, но они были несколько выше, чем в 2012 г. В целом за год среднее значение АОТ500 было равно 0.144, что на 0.04 меньше, чем за период 2002-2013 гг. и на 10-12% ниже величин, наблюдавшихся в 2003-2009 годы, когда лесные пожары в московском регионе не отмечались. Отметим, что величины АОТ500 в последние годы (2011, 2012 и 2013 г.) существенно меньше (более, чем на 20%), чем за весь период наблюдений в 21 веке. Отметим, что для ближней инфракрасной области эти тенденции наблюдаются слабее. Интересно, что вариации месячных значений последних трех лет с низким аэрозольным

содержанием практически не совпадают (Беликов и др. 2013). Однако есть и общие тенденции: уменьшение АОТ в весенний и осенний периоды года.

Для медианных значений тенденция понижения АОТ в последние годы в целом сохраняется, однако максимум АОТ смещен на 2006 г. Разница между медианными значениями АОТ₅₀₀ в 2013 г. и за период 2002-2013 гг. составляет 0.03 (значения аэрозольной оптической толщины соответственно равны 0.138 и 0.165).

На рис. 14.5 приведена межгодовая изменчивость средних и медианных значений влагосодержания W и параметра Ангстрема. Отмечается значительная изменчивость величин W с минимумами в 2002 г и 2009 гг., которая проявляется как в средних (10-15%), так и с медианных величинах ($\pm 30\%$).



а



б

Рисунок 14.5 - Межгодовая изменчивость средних (а) и медианных (б) значений влагосодержания атмосферы и параметра Ангстрема (alfa)

Таблица 14.3- Средние, минимальные, максимальные за месяц значения и коэффициенты вариации (Cvar,%)* аэрозольных оптических толщин АОТ на 500нм, 340нм и 1020 нм, влагосодержания атмосферы (W,см), параметра Ангстрема α^{**} , в 2013 году и их относительные разницы (R,%) сравнению со средними многолетними значениями за период 2001-2013г. Москва, МО МГУ. Уровень 2 и 1.5.

Месяц	Число дней	АОТ500					АОТ340					АОТ1020					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. %	Среднее	Cvar,%	Min	Max	R. %
1	4	0.06	12.13	0.05	0.09	-34%	0.10	12.37	0.07	0.13	-38%	0.03	7.35	0.02	0.04	-35%	0.33	30.48	0.18	0.47	15%	1.73	3.09	1.56	1.91	25%
2	5	0.12	54.92	0.06	0.27	-16%	0.19	55.94	0.08	0.38	-20%	0.05	51.63	0.03	0.10	-26%	0.46	15.27	0.33	0.56	43%	1.70	8.15	1.45	1.97	22%
3	10	0.09	25.48	0.03	0.17	-47%	0.13	28.82	0.04	0.26	-50%	0.04	27.20	0.02	0.11	-44%	0.25	29.97	0.13	0.48	-47%	1.66	6.45	1.14	2.01	19%
4	15	0.15	45.81	0.06	0.41	-33%	0.23	48.05	0.08	0.59	-38%	0.06	29.14	0.03	0.14	-26%	0.72	36.02	0.36	1.34	2%	1.53	12.75	1.10	1.85	4%
5	17	0.21	41.59	0.06	0.48	5%	0.33	41.45	0.10	0.70	1%	0.09	43.66	0.03	0.23	23%	1.66	40.49	0.58	3.20	24%	1.49	17.20	0.91	2.06	2%
6	23	0.21	45.72	0.07	0.63	32%	0.34	45.81	0.11	0.92	25%	0.08	37.23	0.03	0.17	41%	2.09	27.62	0.95	3.29	22%	1.71	10.61	1.06	1.99	6%
7	13	0.17	49.01	0.06	0.36	-27%	0.29	46.81	0.08	0.46	-26%	0.04	58.24	0.00	0.12	-35%	2.26	18.01	1.30	2.96	1%	2.02	34.19	0.92	3.94	17%
8	22	0.23	53.15	0.04	0.50	-26%	0.35	48.80	0.06	0.74	-26%	0.08	58.79	0.02	0.26	-23%	2.07	28.76	0.98	3.44	2%	1.54	12.73	0.91	1.87	-3%
9	5	0.28	50.64	0.09	0.57	18%	0.41	46.48	0.14	0.73	9%	0.12	75.96	0.03	0.28	46%	1.73	16.23	1.25	2.00	10%	1.38	29.39	0.69	1.77	-10%
10	8	0.07	48.86	0.04	0.21	-45%	0.12	50.70	0.05	0.33	-42%	0.03	29.53	0.02	0.06	-41%	0.81	45.86	0.44	1.98	-10%	1.45	20.70	0.33	1.89	3%
11	1	0.03	0.00	0.02	0.03	-71%	0.04	0.00	0.03	0.05	-71%	0.02	0.00	0.01	0.02	-62%	0.37	0.00	0.34	0.39	-39%	1.26	0.00	1.16	1.37	-6%
12	3	0.09	48.09	0.05	0.15	24%	0.13	45.35	0.07	0.20	16%	0.04	29.29	0.03	0.06	20%	0.58	72.31	0.29	1.06	72%	1.16	15.61	0.94	1.33	-18%
Среднее	126***	0.14	39.62	0.05	0.32	-18%	0.22	39.21	0.08	0.46	-22%	0.06	37.33	0.02	0.13	-13%	1.11	30.08	0.59	1.77	8%	1.55	14.24	1.01	2.00	5%

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

**Параметр Ангстрема определяется как $\alpha = -\ln(AOT_{\lambda}) / \ln \lambda$. 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.

***-общее число дней.

Межгодовая изменчивость параметра Ангстрема составляет небольшую величину. В 2013 г. он был чуть выше средней многолетней величины (+4%) и на 1% выше, чем величина 50%-го квантиля. Отметим, что использовать этот параметр сам по себе для характеристики размеров частиц можно лишь с большой осторожностью, поскольку распределение аэрозольных частиц заметно отличается от распределения Юнге.

Таким образом, 2013 год можно охарактеризовать как год со сравнительно низким содержанием аэрозоля: величина АОТ была лишь несколько выше абсолютного минимума, наблюдавшегося в 2012 г. В сезонном ходе АОТ500 абсолютные минимумы наблюдались в марте, октябре, и ноябре. При этом наименьшее значение влагосодержания также наблюдалось в марте, а наибольшие значения W за период с 2001 по 2013 гг. отмечалось в феврале и декабре при адвекции теплого воздуха.

Литература

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

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

Chubarova N., Smirnov A., Holben B.N.: Aerosol properties in Moscow according to 10 years of AERONET measurements at the Meteorological Observatory of Moscow State University // Geography, Environment, Sustainability, 4, 1, 19-32, 2011.

Holben, B.N., T.F. Eck, I. Slutsker, D. Tanré, J.P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J.A. Reagan, Y.J. Kaufman, T. Nakajima, F. 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.

Smirnov A., B. N. Holben, T. F. Eck, O. Dubovik and I. Slutsker, (2000) Cloud screening and quality control algorithms for the AERONET data base. Remote Sens. Environ., N73, pp. 73,337-73349.

15. Химический состав атмосферных осадков.

И.Д.Еремина

В 2013 г. были продолжены наблюдения за химическим составом осадков и их кислотностью. Собрано и проанализировано 170 проб твердых и жидких осадков, подвергнутых полному химическому анализу (максимальное за все годы наблюдений), и 16 проб, в которых было определено только значение кислотности (из-за малого количества образца). Из всех проб 103 – это пробы дождя, 49 – снега и 18 проб – смешанных осадков. Общее количество полностью проанализированных осадков составило 1007,5 мм (99,2% всех выпавших в этом году).

15.1. Кислотность осадков. Среднее годовое значение рН составило 4,91 рН – близкое к среднему многолетнему (4,88). Минимальное значение в 2013 г. равно 3,85 рН (дождь 17 июля 2013 г.), и это был единственный случай выпадения осадков с $\text{pH} < 4,0$. Максимальное значение 7,50 рН получено для пробы смешанных осадков 14 ноября 2013 г. По количеству проб кислотных осадков 2013 г. похож на предыдущие 5 лет - было около 30 % осадков с $\text{pH} < 5$. В теплый период их выпало 43% от всех проб дождей, а в холодные месяцы кислотных осадков было около 11%.

Среднее значение рН осадков за теплый период года равно 4,82 (кислое), а для холодных месяцев 5,27 рН. (рис.15.1). Видно, что есть тенденция уменьшения рН для проб снега (т.е. кислотность увеличивается), и, в отличие от наблюдений 80-х и начала 90-х годов, разница средних значений рН для теплого и холодного периодов невелика.

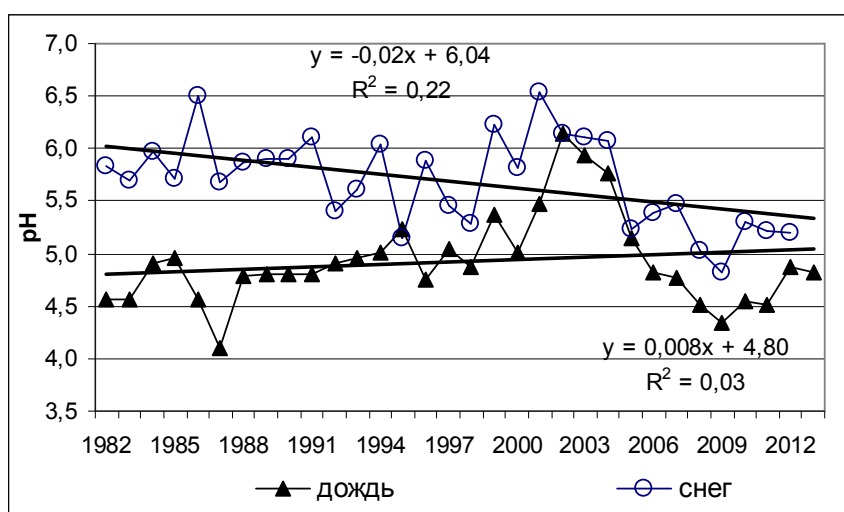


Рисунок 15.1 - Средние сезонные значения рН осадков за все годы наблюдений.

Распределение проб по градациям pH для проб теплого и холодного периодов в этом году очень различаются (рис.15.2). Максимальное количество проб дождей в этом году имело кислотное значение pH от 4 до 5 (чаще бывает от 5 до 6), а максимум снежных проб – от 6 до 7 pH (как обычно), и более 20 % проб снега имели слабо-щелочную реакцию (pH от 7 до 8).

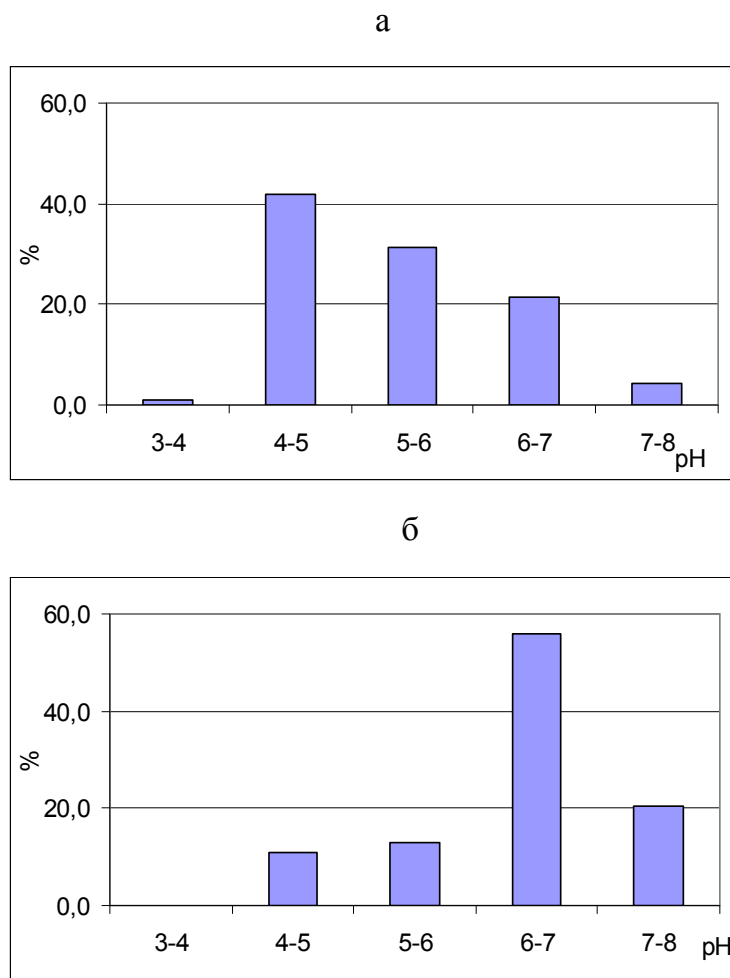


Рисунок 15.2 - Распределение проб осадков по градациям pH в теплый (а) и холодный (б) периоды 2013г.

Годовой ход pH осадков в 2013 г. (рис.15.3) соответствует среднему многолетнему, и по-прежнему с марта по сентябрь среднемесячные значения осадков кислые ($\text{pH} < 5$). Самое кислое среднемесячное значение $\text{pH} = 4,57$ получено в августе.

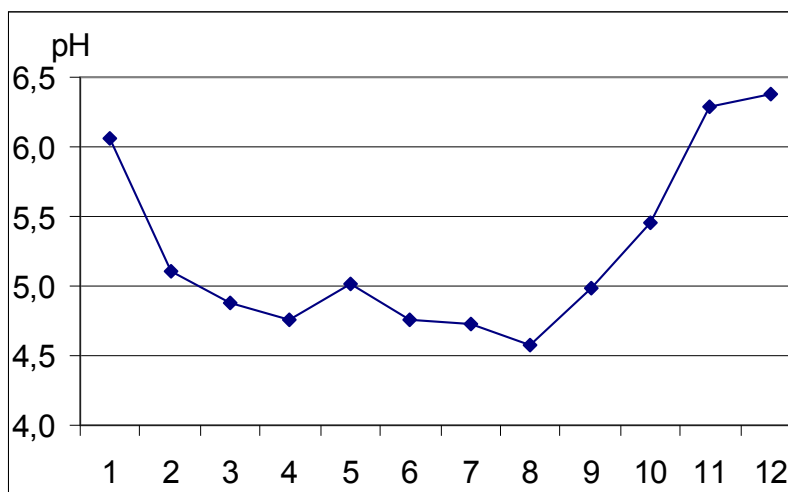


Рисунок 15.3 - Годовой ход pH осадков в 2013 г.

15.2. Ионный состав осадков. В табл.15.1 приведены осредненные данные химического состава осадков за 2013 г. по сравнению с прошлым годом и средними многолетними значениями. Видно, что и минерализация, и содержание отдельных ионов в 2013 г. ниже, чем в прошлом году, и концентрации многих ионов (гидрокарбонатов, сульфатов, кальция) и сумма ионов значительно меньше, чем и средние многолетние. Конечно, основная причина этого – рекордное количество осадков в 2013 г.(1015,8 мм). Но даже на этом фоне концентрации хлоридов выше средних с многолетних, как и во все последние годы. Среднее годовое значение содержания хлоридов в осадках за период 2005-2013 гг. равно 4,1 мг/л.

Таблица 15.1 - Средневзвешенные значения концентраций ионов в осадках в 2012, 2013 гг. и осредненные данные за все годы наблюдений.

Сезон	Концентрация ионов, мг/л										
	pH	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Сумма ионов
2012 г.											
Год	4,95	0,9	3,4	4,5	1,70	2,5	0,13	0,43	0,16	1,26	15,0
Тепл. (IV-X)	4,87	0,5	4,0	4,6	1,69	2,7	0,14	0,17	0,16	1,46	15,4
Хол. (I-III, XI-XII)	5,15	1,5	2,3	4,3	1,72	2,3	0,12	0,89	0,14	0,89	14,2
2013 г.											
Год	4,91	1,0	1,8	4,4	1,67	2,2	0,09	0,49	0,15	1,04	12,8
Тепл. (IV-X)	4,82	0,6	1,8	4,3	1,55	2,2	0,09	0,14	0,14	1,05	11,9
Хол. (I-III, XI-XII)	5,27	1,7	1,8	4,7	1,96	2,1	0,09	1,35	0,16	1,0	14,9
Многолетние данные (1982-2012 гг)											
Год	4,88	3,0	4,9	3,3	1,81	3,2	0,18	0,37	0,17	0,89	17,8
Тепл. (IV-X)	4,76	2,0	4,7	3,6	1,73	3,0	0,18	0,22	0,18	1,04	16,7
Хол. (I-III, XI-XII)	5,51	4,9	4,6	2,8	1,98	3,6	0,17	0,70	0,14	0,61	19,4

Средние значения минерализации для теплого периода в 2013 г. также меньше, чем в прошлом году и многолетних, а для проб холодного периода минерализация ниже, чем многолетняя, но близка к прошлогодней. Также отметим малое количество сульфатов и карбонатов и повышенные содержания хлоридов для обоих сезонов 2013 г.

Распределение значений минерализации по градациям загрязненности осадков 2013 г. отличается от многолетнего тем, что максимальное число проб имело значение суммы ионов в интервале до 10 мг/л, самых чистых осадков (рис.15.4), обычно максимум приходится на градацию 10-20 мг/л. Зато проб с минерализацией более 30 мг/л по всем градациям в 2013 г. немного меньше, чем по многолетним данным. Это понятно, учитывая большое количество осадков и максимальное число проб, собранных за год, значит, атмосфера очищалась достаточно регулярно.

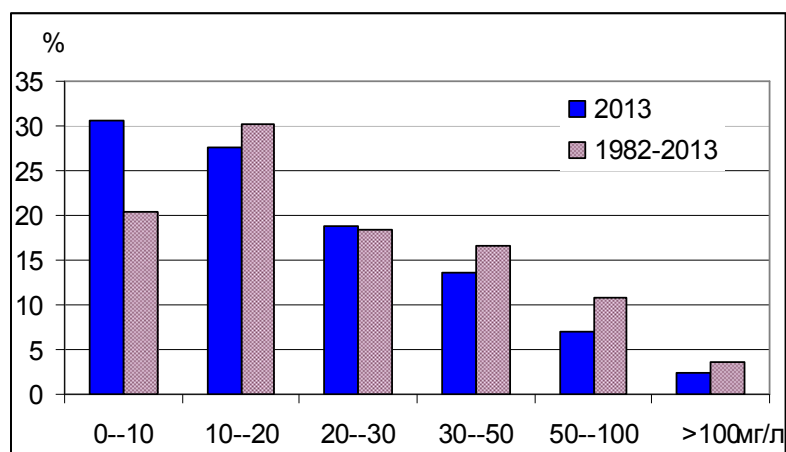


Рисунок 15.4 - Распределение значений минерализации проб 2013 г. по сравнению с многолетним.

Сравнительное содержание всех компонентов осадков теплого и холодного периодов 2013 г (рис.15.5) показывает, что в пробах и дождя, и снега среди катионов, как обычно, преобладал ион кальция. Вторым по содержанию являлся ион аммония, и содержание этих двух катионов примерно одинаково в пробах теплого и холодного периодов. Очень много в снежных пробах этого года было натрия - почти в 10 раз больше, чем в пробах дождя. Обычно в пробах холодного периода натрия больше в 3-5 раз, чем в теплый период. Преобладающим анионом является хлорид, убывание концентраций анионов происходит в ряду $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{HCO}_3^-$. Содержание анионов примерно одинаково в пробах теплого и холодного периодов, за исключением иона гидрокарбоната –

в дождях его всегда меньше, чем в снеге, потому что летом выпадают кислотные осадки в большом количестве, а в кислых пробах ион HCO_3^- разлагается.

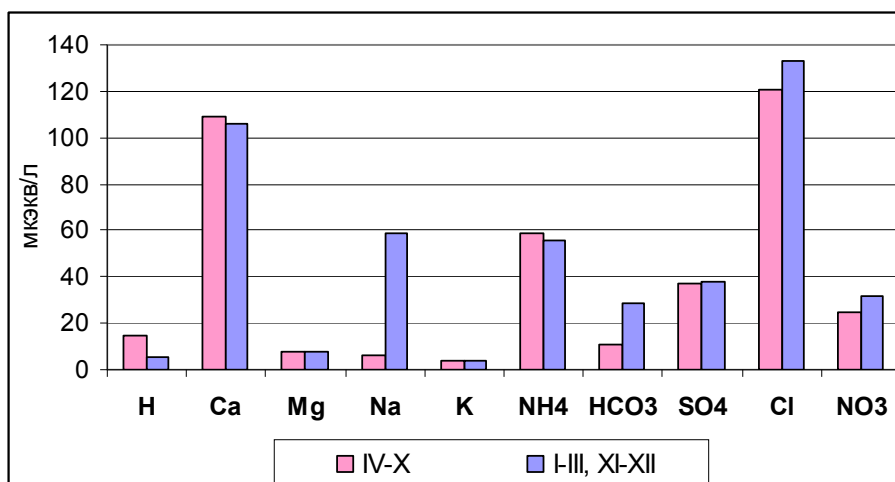


Рисунок 15.5 - Содержание анионов и катионов в пробах дождя и снега в 2013 г.

В 2013 г. с атмосферными осадками на подстилающую поверхность выпало 129,8 кг/га минеральных солей (среднее многолетнее значение составляет 127,9 кг/га в год). Из них 44,7 кг/га хлоридов (34,4%), 18,2 кг/га – сульфатов (14,0%) и 22,0 кг/га солей кальция (16,9%).

15.3. Сезонные пробы снежного покрова. В марте 2013 г., как обычно, отбирались пробы сезонного снега по Москве. Схема расположения точек отбора в Москве приводилась в работе «Эколого-климатические характеристики 2011 г.», раздел 22. Первая группа проб собиралась в центре Москвы (примерно в пределах Третьего Транспортного Кольца) – 8 проб, вторая группа – на окраинах Москвы вблизи МКАД – 7 проб. Две пробы были собраны в Подмосковье на расстоянии около 50 км от Москвы в южном направлении. И для сравнения всегда отбираются 2 пробы сезонного снега на площадке метеообсерватории.

Результаты анализа сезонных проб во всех группах отбора в 2013 г. представлены в табл. 15.2. Кислотность проб близка к нейтральным значениям, кислых проб с $\text{pH} < 5$ не было ни одной. Значения pH для всех проб изменялись в довольно узком диапазоне от 6,30 pH (Подмосковье) до 7,55 pH (Новый Арбат). Как и в прошлые годы, судя по сумме ионов, самый грязный сезонный снег собран в центре Москвы. На втором месте – пробы с окраин Москвы, и затем – из МО МГУ. Самые чистые пробы получились в Подмосковье, но лишь потому, что их всего 2, и собраны на последней отметке - 50 км (отмечено значком *). В

прошлые сезоны пробы в Подмоскowie отбирали по четырем направлениям на разном удалении от Москвы (5, 15, 25 и 40-50 км), поэтому и средние были выше. Видно, что эта закономерность от наибольших концентраций в центре к минимальным в Подмоскowie сохраняется для главных ионов – гидрокарбонатов, хлоридов, кальция, натрия (в табл.15.2 выделены цветом). Самая загрязненная проба в центре Москвы собрана на Новом Арбате (сумма ионов 98,2 мг/л и максимальные концентрации основных ионов), на окраинах – в Рублевском лесу близ Осенней улицы (34,4 мг/л и максимальное содержание сульфатов и калия).

Таблица 15.2 - Осредненный состав сезонных проб в 2013 г.

	Концентрация ионов, мг/л										
	pH	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Сумма ионов
Центр Москвы	7,1	11,6	2,4	15,7	1,4	7,8	0,5	6,9	0,5	0,1	46,8
Окраины Москвы	6,6	3,8	2,7	7,5	2,0	3,5	0,3	3,1	0,7	0,4	24,0
МО МГУ	6,6	2,5	1,4	3,8	1,9	2,2	0,1	2,0	0,2	0,0	13,9
Подмоскowie*	6,4	1,2	0,8	2,6	1,4	1,4	0,1	1,2	0,1	0,1	8,7

При сравнении минерализации проб в разных районах за 3 года наблюдений (табл. 15.3) получено, что в центре Москвы в 2013 г. средние значения сезонного снега немного чище, чем в прошлые годы; по остальным группам различия невелики.

Таблица 15.3 - Средняя минерализация сезонных проб снега в различных районах в 2011-2013 гг.

	Среднее значение минерализации (сумма ионов), мг/л			
Район сбора снега	Центр Москвы	Окраины Москвы	Подмоскowie	МО МГУ
2011 г.	60,2	19,6	16,1	12,8
2012 г.	71,1	18,8	15,1	13,4
2013 г.	46,8	24,0	8,7*	13,9

В этом году вновь взяли несколько последовательных проб на разном расстоянии от шоссе (рис.15.6), и этот эксперимент подтвердил, что влияние дороги сказывается не

далее 30 м. Самое заметное уменьшение концентраций ионов с расстоянием отмечено для натрия и хлорида – основных компонентов противогололедных реагентов.

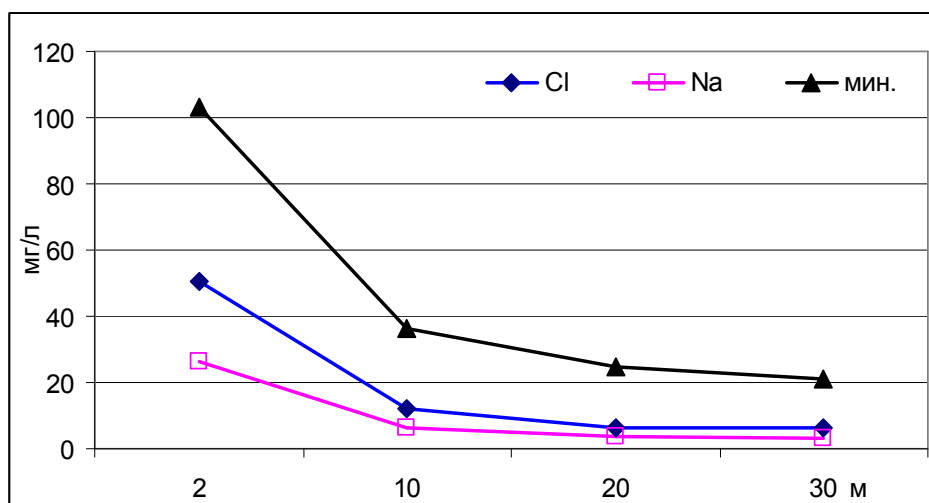


Рисунок 15.6 – Содержание ионов натрия и хлорида и значения минерализации в последовательных пробах снега при удалении от дороги.

Выводы.

- В 2013 г. кислотных проб осадков было собрано примерно столько же, как и в последние 5 лет – около 30%. В 2013 г. среднее значение pH дождей было чуть менее кислым, а снежных проб, наоборот, чуть более кислым по сравнению с многолетними значениями
- В ионном составе 2013 г. заметно некоторое снижение концентраций отдельных ионов и общей минерализации, по сравнению с прошлым годом благодаря максимальному количеству осадков.
- Особенности химического состава снежного покрова в Москве и Подмосковье повторяют закономерности прошлого года – самые грязные пробы снега наблюдались в центре Москвы, самые чистые – в МО МГУ.

Литература

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

16. Малые газовые и аэрозольные примеси в приземном воздухе

И.Б. Беликов, А.И. Скороход

16.1. Общие сведения.

Малые газовые и аэрозольные примеси в приземном воздухе измеряются в МО МГУ на станции наблюдений состава атмосферы (далее - станция), созданной совместно Географическим факультетом МГУ им. М.В. Ломоносова и ИФА им. А.М. Обухова РАН в феврале 2002 года (Эколого-климатические характеристики атмосферы..., 2012).

Основой станции является автоматизированный интегрированный комплекс аппаратуры для мониторинга параметров состава атмосферы (Беликов, 2004), размещенный в специально оборудованном помещении (экологическом павильоне). Измерительная аппаратура комплекса по своим характеристикам приближается к используемой на станциях мировой сети ВМО, а также обеспечивалась калибровочными средствами, поставляемыми ведущими мировыми научными центрами.

Программа наблюдений на станции включает непрерывный мониторинг основных климатически и химически активных газовых и аэрозольных примесей атмосферы. Перечень наблюдаемых на станции параметров и применяемых измерительных приборов приведен в таблице 16.1. Все перечисленные параметры измеряются непрерывно и круглосуточно (кроме указанных в строках 9, 10 и 12 таблицы).

Станция характеризуется также полной автоматизацией измерений. Обеспечивается постоянный контроль большинства технических параметров функционирования приборов, и дистанционное слежение за работой станции через сеть Internet. Контроль функционирования приборов газового анализа в настоящее время производится в соответствии с их инструкциями по эксплуатации по поверочным газовым смесям, поставляемым ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. В состав оборудования станции входит генератор "нулевого" (не содержащего примесей) воздуха.

Все без исключения данные станции подвергаются как автоматизированной, так и ручной обработке с целью удаления недостоверных значений. При автоматизированной обработке данных анализируются ранее записанные параметры функционирования измерительных приборов, и производится удаление данных, в случае выхода этих параметров за установленные пределы.

Таблица 16.1 - 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
2	Приземная концентрация NO и NO ₂	APNA-360, № 575419021 (Horiba Inc.. Япония)	0,5 - 2000 ppb
3	Приземная концентрация CO	TE48S № 48S-54487-300 (Thermo Inc., США)	0,05 - 1000 ppm
4	Приземная концентрация CO ₂	LI6262, № IRG3-990 (LiCor Inc., США)	1 - 3000 ppm
		ET20-200 (ООО "ЭТЭК", Россия)	1 - 1000 ppm
5	Приземная концентрация SO ₂	APSA-360, № 8512250410 (Horiba Inc.. Япония)	0,5 - 500 ppb
6	Приземная концентрация NH ₃	M201A, № 2779 (Teledyne API Inc., США)	1 - 2000 ppb
7	Содержание NO ₂ в вертикальном столбе атмосферы	Спектрометр MS-260i, № 133 (Oriel Inc., США)	
8	Концентрация атмосферного аэрозоля PM _{2,5}	TEOM 1400ab, № 140AB258010508 (Thermo Inc., США)	2,5 мкг/м ³ - 5 г/м ³
9	Распределение аэрозольных частиц по размерам	1.108 № 8F090014 (Grimm, Германия)	0,3 - 10 мкм 1 - 2 10 ⁶ 1/л
10	Приземные концентрации ЛОС	PTR-MS № (C16)07/C05 (Ionicon Inc., Австрия)	0,5 - 500 ppb
11	Вертикальный профиль температуры	МТП-5 № 28 (НПО "Агтех", Россия)	0 - 600 м -40 - 40 град С
12	Параметры турбулентности в приземном слое	USA-1 № 0101011329 (Metek GmbH, Германия)	

Общий анализ выявленных закономерностей вариаций концентраций газовых примесей в приземном слое атмосферы г. Москвы был выполнен, главным образом, в работе (Еланский, 2007), а также в (Эколого-климатические характеристики атмосферы..., 2010) и аналогичных изданиях 2011 и 2012 годов. В данной работе будут проанализированы, в основном, особенности поведения концентраций в 2013 году, а также некоторые аспекты вариаций данных за 2011 - 2013 годы.

16.2. Ряды среднесуточных концентраций

Ряды данных концентраций основных наблюдаемых на станции газовых примесей в приземном слое атмосферы, полученные за 2013 год, показаны на рисунке 16.1. Измеренные значения пересчитаны в величины массовой концентрации, с использованием также измеряемых в МО МГУ температуры воздуха и атмосферного давления.

Как видно из графиков, ряды всех наблюдаемых малых газовых и аэрозольных примесей практически непрерывны (кроме ряда PM_{2.5}, в котором наблюдается разрыв в июне 2013 года, вызванный технической неисправностью прибора).

На графики нанесены значения среднесуточных предельно допустимых концентраций ПДК_{сс} (ГН 2.1.6.1338-03, ГН 2.1.6.1983-05, ГН 2.1.6.2604-10). Указанные значения также приведены в таблице 16.2.

Таблица 16.2 - Значения максимальных разовых и среднесуточных предельно допустимых концентраций измеряемых газовых и аэрозольных примесей.

Примесь	Химическая формула	ПДК _{мр}	ПДК _{сс}
Озон	O ₃	160 мкг/м ³	30 мкг/м ³
Оксид азота	NO	400 мкг/м ³	60 мкг/м ³
Диоксид азота	NO ₂	200 мкг/м ³	40 мкг/м ³
Оксид углерода	CO	5 мг/м ³	3 мг/м ³
Диоксид серы	SO ₂	500 мкг/м ³	50 мкг/м ³
Аммиак	NH ₃	200 мкг/м ³	40 мкг/м ³
PM _{2.5}	PM _{2.5}	160 мкг/м ³	35 мкг/м ³

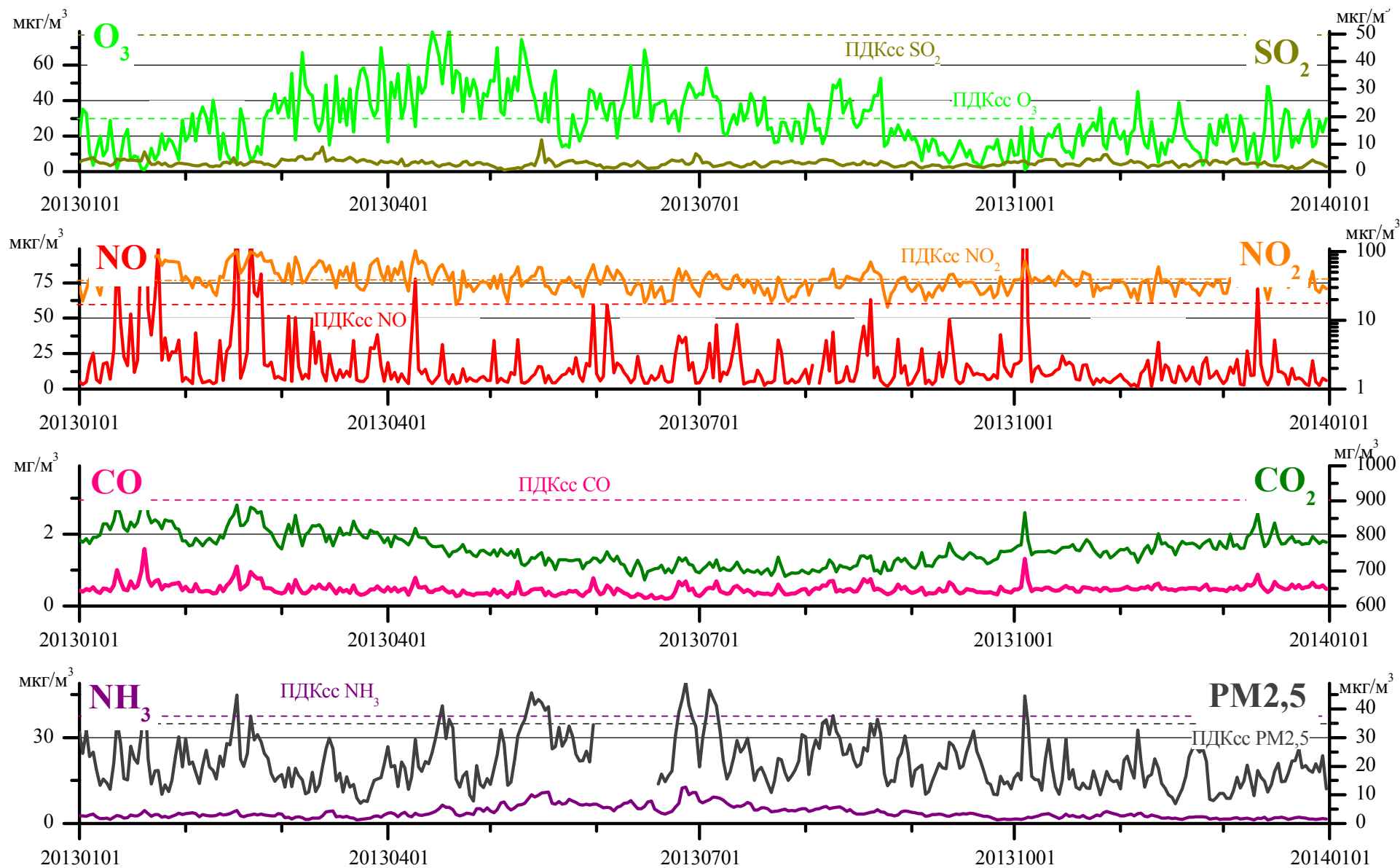


Рисунок 16.1 - Ряды среднесуточных концентраций газовых примесей за 2013 г.

Представляет интерес исследование характера превышения измеряемых концентраций над значениями ПДК_{мр} и ПДК_{сс}. В таблице 16.3 представлено общее число дней в 2013 году, в которых имело место превышение указанных значений по каждому из измеряемых компонентов. При этом согласно РД 52.04.667-2005, ПДК_{сс} сравнивалось с величиной концентрации, осредненной за сутки, а ПДК_{мр} - с величиной концентрации, осредненной за период измерений в 20 минут.

Таблица 16.3 - Число дней в 2013 году с превышением максимальных разовых и среднесуточных предельно допустимых концентраций измеряемых газовых и аэрозольных примесей.

Примесь	Химическая формула	Число дней с превышением ПДК _{мр}	Число дней с превышением ПДК _{сс}
Озон	O ₃	0	143
Оксид азота	NO	3	14
Диоксид азота	NO ₂	0	142
Оксид углерода	CO	0	0
Диоксид серы	SO ₂	0	0
Аммиак	NH ₃	0	0
PM2.5	PM2.5	0	31

Среднесуточная наблюдаемая концентрация озона в существенном числе случаев находится выше значения ПДК_{сс}, которое составляет всего 30 мкг/м³. При характерных концентрациях приземного озона в десятки мкг/м³, превышение его ПДК становится уже обычным явлением.

Как видно из приведенных графиков, превышение среднесуточной концентрации NO над значением ПДК_{сс} имеет место преимущественно в зимний период.

Для концентрации NO₂ значение ПДК_{сс} составляет 40 мкг/м³. При характерных измеряемых концентрациях приземного NO₂ в десятки мкг/м³, превышение ее значения над уровнем ПДК_{сс} также происходят весьма часто.

Прошедший 2013 год не характеризовался погодными аномалиями, имевшими место

в 2002 и 2010 годах (Эколого-климатические характеристики атмосферы..., 2011), когда обширные торфяные и лесные пожары в Московской области привели к формированию в г. Москве дымной мглы и формированию рекордно высоких концентраций СО, существенно превышающих предельно допустимые. В 2013 году, как видно из рисунка 16.1, значения среднесуточных концентраций СО были существенно ниже соответствующего ПДКсс, а случаев превышения этого значения в течение года не было.

Также много ниже ПДКсс оказалась в 2013 году и концентрация аммиака. Концентрация атмосферного аэрозоля РМ_{2,5} преимущественно оказывалась ниже ПДК. Однако в течение года имел место 31 случай превышения ПДК, как в теплый, так и в холодный период года.

Представляет интерес сопоставление числа случаев превышения предельно допустимых концентраций в 2013 году и в предшествующих, 2011-2012 годах. Соответствующие данные представлены в таблице 16.4

Таблица 16.4 - Число дней с превышением максимальных разовых и среднесуточных предельно допустимых концентраций измеряемых газовых и аэрозольных примесей в 2011 - 2012 годах.

Химическая формула примеси	2011 год		2012 год	
	Число дней с превышением ПДК _{мр}	Число дней с превышением ПДК _{сс}	Число дней с превышением ПДК _{мр}	Число дней с превышением ПДК _{сс}
O ₃	3	176	0	155
NO	2	10	2	16
NO ₂	1	166	0	171
CO	1	0	1	0
SO ₂	0	0	0	0
NH ₃	0	0	0	0
PM _{2.5}	0	4	0	10

Как видно из таблицы, число дней с превышением предельно допустимых концентраций, во все года с 2011 по 2013, имеет примерно одинаковый порядок величин. Касательно превышения максимально разовых ПДК, как видно из таблиц, в течение года

имеет место незначительное количество дней с их превышением (не более 2 -3 за год).

16.3. Среднемесячные характеристики.

Особенности режима концентраций приземных газовых примесей, характерные для 2013 года, по сравнению со средними значениями за весь период работы станции показаны на графиках рисунков 16.2 и 16.3, на которые нанесены также среднемесячные значения концентраций за 2002 - 2013 годы и отдельно за 2013 год.

По концентрации озона характер сезонных вариаций в 2013 году практически полностью совпадает со средним за 2002 - 2013 годы. Некоторое снижение концентрации в период с июля по сентябрь может быть связано с вкладом в общее среднее отмеченных выше погодных аномалий в 2002 и 2010 годы, когда концентрация озона была повышенной.

Концентрации оксида азота NO в атмосфере в 2013 году были меньше средних значений за 2002 - 2013 годы во все месяцы года, кроме января и июня. Максимум среднемесячной концентрации NO в сентябре в 2013 году практически не был выражен.

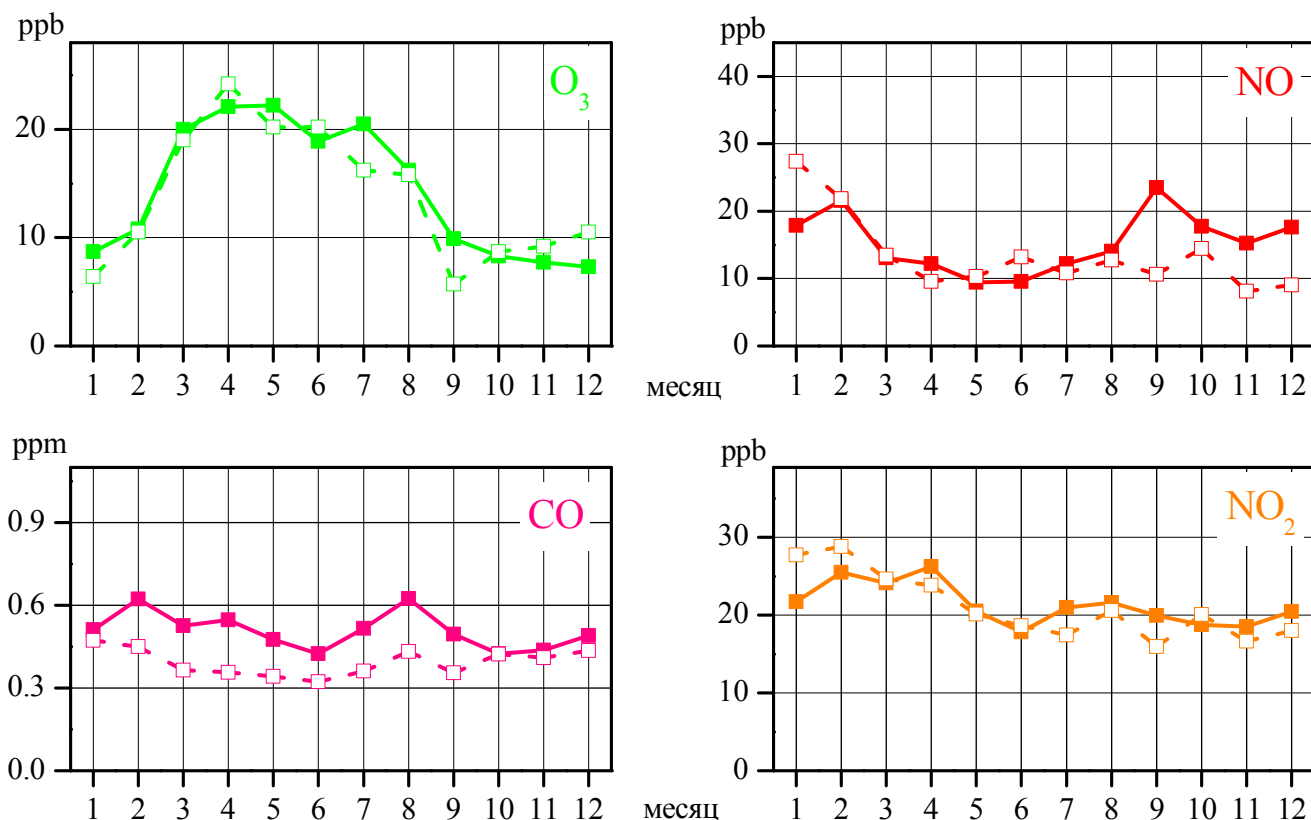


Рисунок 16.2 - Среднемесячные приземные концентрации O₃, CO, NO и NO₂, осредненные за 2002 - 2013 годы (сплошные линии) и за 2013 год (пунктир).

Концентрации оксида углерода CO за 2013 год существенно меньше средних значений, а общий характер сезонных вариаций в 2013 году повторяет средний по всем годам наблюдений. Следует отметить, что в течение всего времени работы станции имели место случаи аномально высокого загрязнения, в частности, в 2002 и 2010 годы (Эколого-климатические характеристики атмосферы..., 2011). При не столь большой длине общего статистического ряда (11 лет) вклад этих аномалий в общее среднее значение оказывается существенным.

Непрерывное измерение концентраций PM_{2,5} и NH₃ было включено в программу наблюдений на станции только в 2011 и 2012 годах соответственно. Сезонный ход концентрации NH₃ характеризуется ее ростом в теплый период года, и снижением - в холодный период.

По концентрации CO₂ наблюдается заметное превышение концентрации за 2012 год над средней за все года наблюдений, практически за все месяцы года

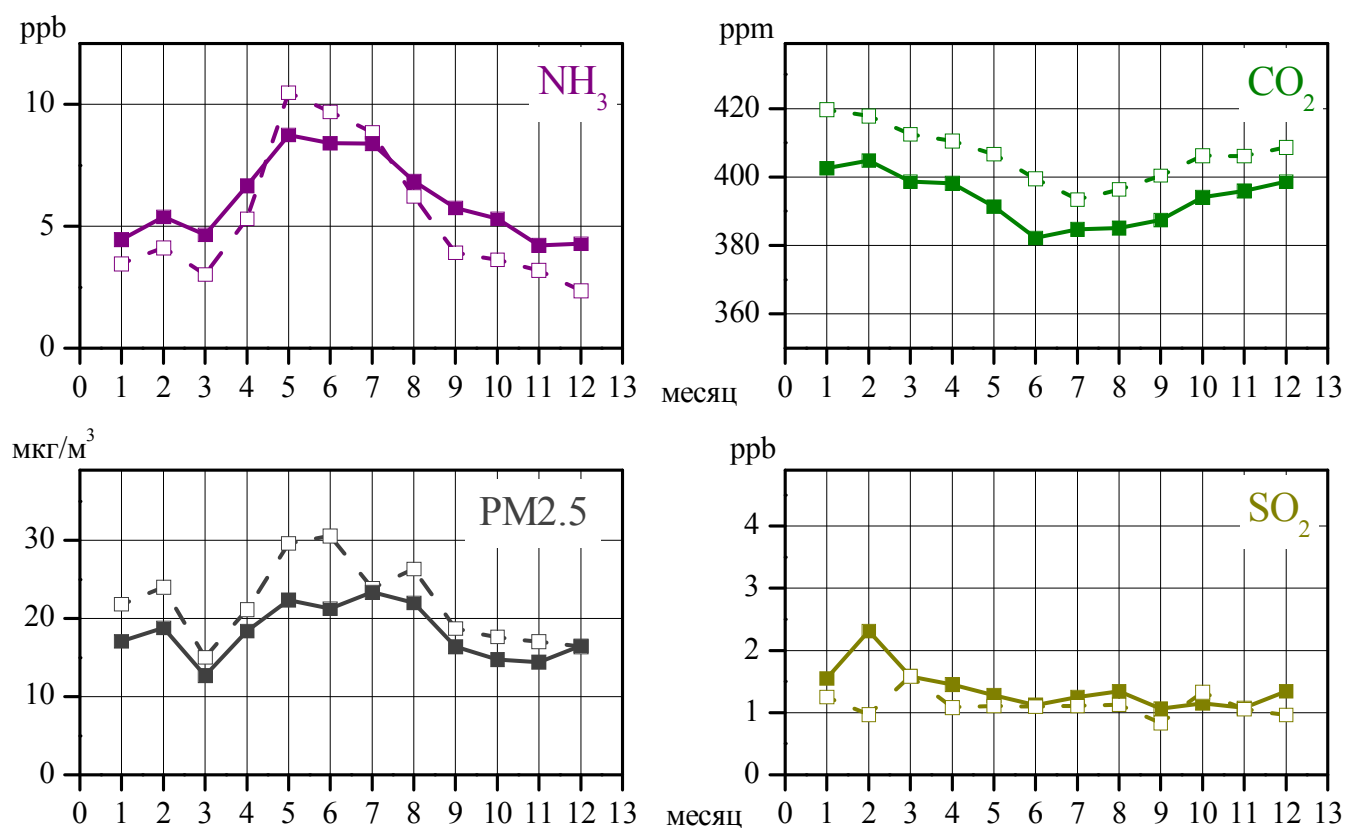


Рисунок 16.3 - Среднемесячные приземные концентрации CO₂, NH₃, PM_{2,5} и SO₂, осредненные за 2002 - 2013 годы (сплошные линии) и за 2013 год (пунктир).

Общий характер сезонного хода концентрации CO_2 в 2013 году практически повторяет средний за все годы наблюдений.

Касательно вариаций концентрации диоксида серы, SO_2 , в 2013 году оказался весьма слабо выражен характерный максимум этой примеси в феврале, что, как правило, связывают с сжиганием серосодержащего топлива в отопительных системах г. Москвы в периоды резких похолоданий годы (Эколого-климатические характеристики атмосферы..., 2012)

16.4. Среднегодовые характеристики.

На рисунках 16.4 и 16.5 показаны среднегодовые значения по всем измеряемым концентрациям.

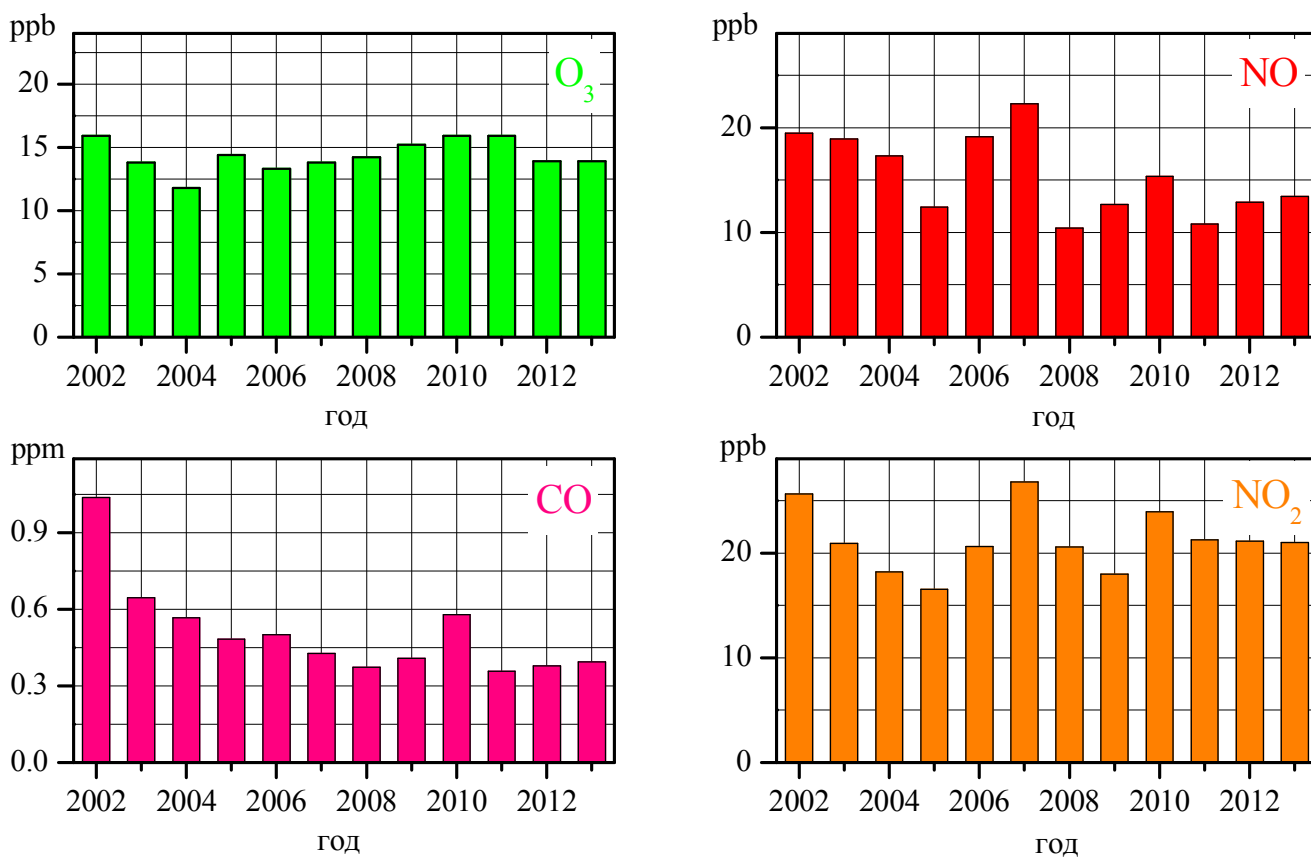


Рисунок 16.4 - Среднегодовые значения концентраций O_3 , CO , NO и NO_2 за 2002 - 2013 годы.

Как видно из представленных диаграмм, с 2002 по 2012 год практически ни по одному из измеряемых параметров не наблюдается устойчивого продолжительного тренда. Исключения составляют оксид углерода CO , концентрация которого в г. Москве от года к

году заметно снижалась, а также диоксид углерода CO_2 , концентрация которого устойчиво увеличивается.

Среднегодовые концентрации NO и NO_2 варьируют от года к году, не обнаруживая устойчивой тенденции к росту или снижению. Для 2013 года среднегодовые концентрации этих примесей, а также озона и CO , находятся, примерно, на уровне 2012 года.

По концентрации NH_3 , наблюдения которой на станции продолжаются только 2 года, на настоящий момент не представляется возможным сделать выводы о тенденции ее увеличения или уменьшения.

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

Особенности вариаций концентрации $\text{PM}_{2.5}$ будут рассмотрены ниже.

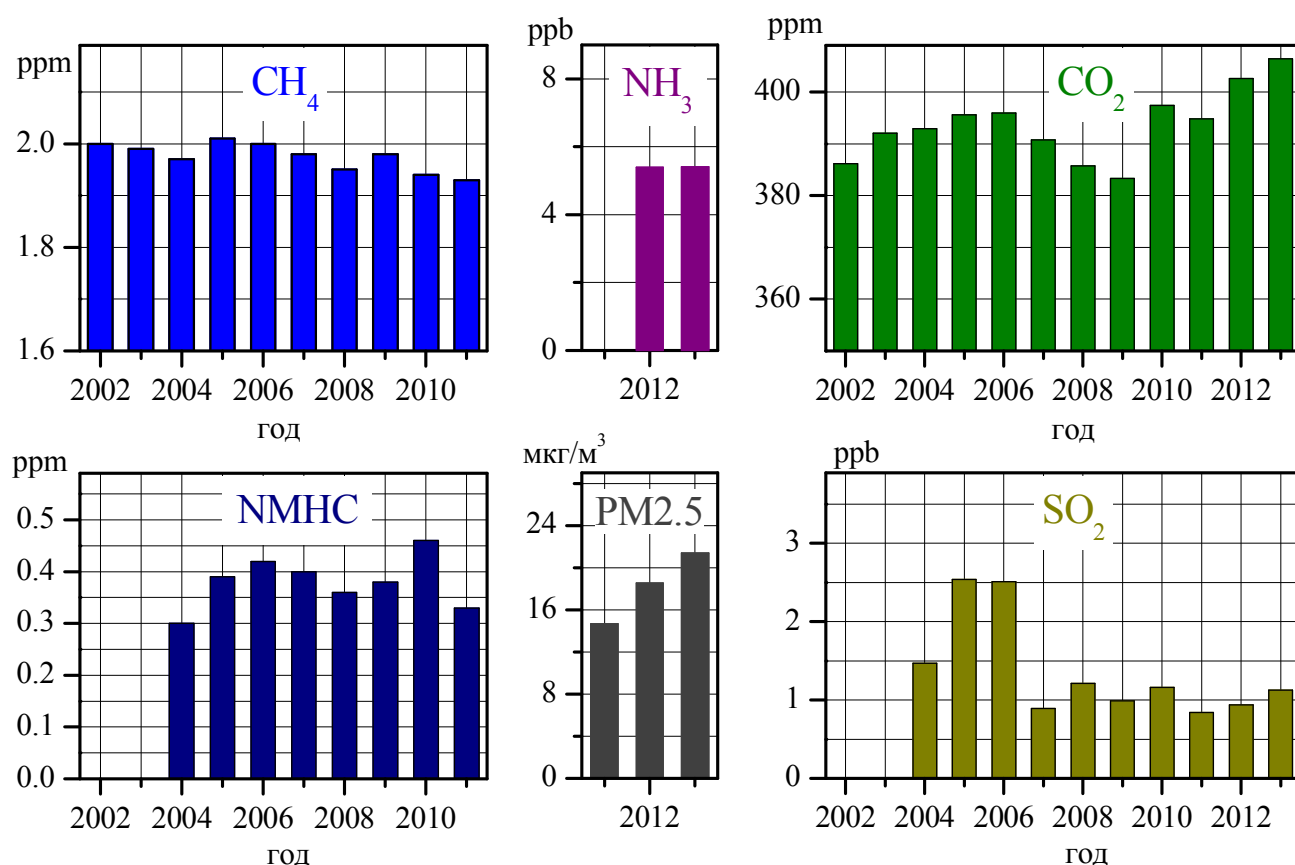


Рисунок 16.5 - Среднегодовые значения концентраций NH_3 , CO_2 , CH_4 , NMHC, $\text{PM}_{2.5}$ и SO_2 за 2002 - 2013 годы.

16.5. 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 PM2,5.

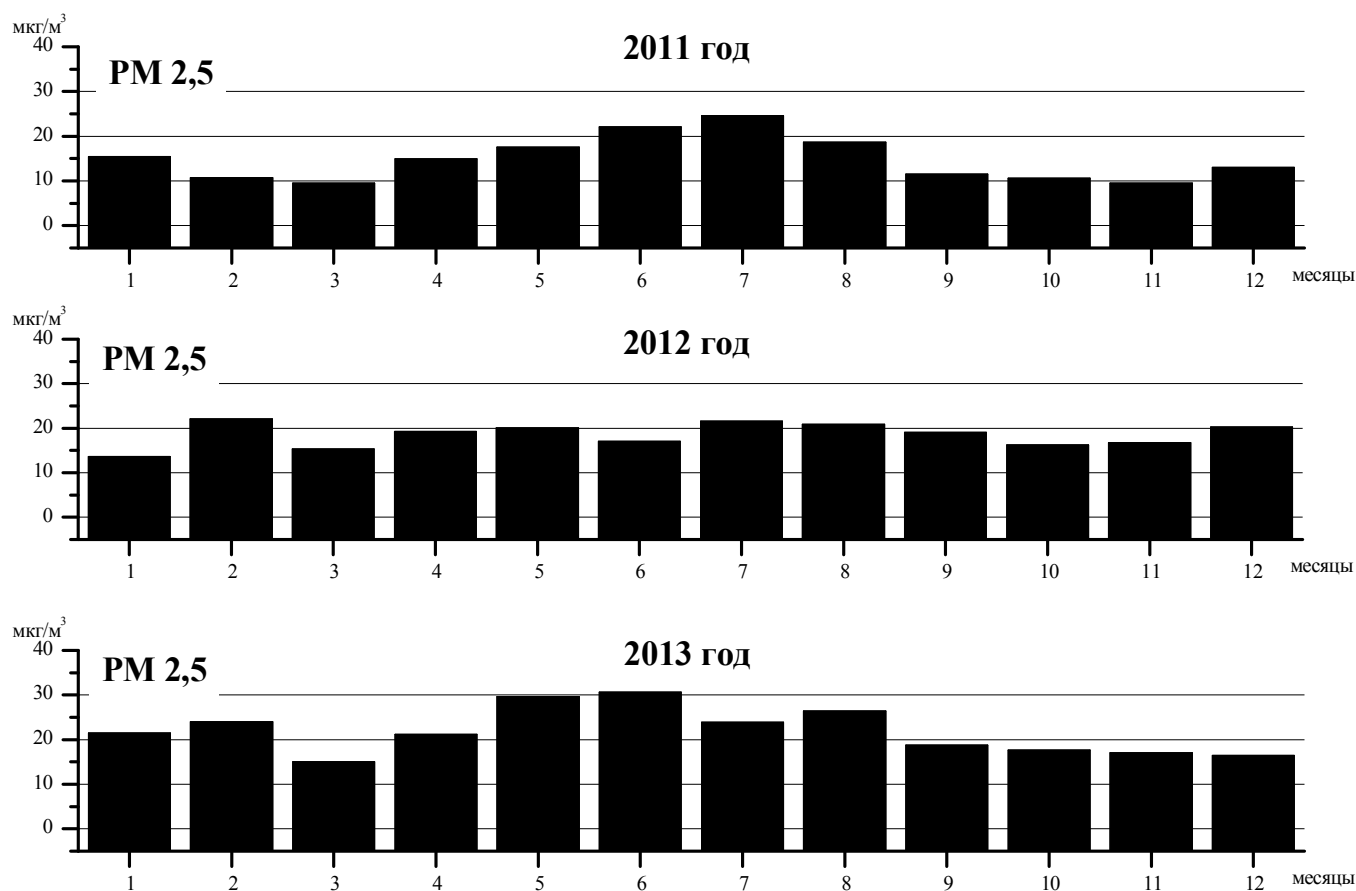


Рисунок 16.6 - Среднемесячные концентрации PM2,5 в 2011, 2012 и 2013 годах

На рисунке 16.6 представлены среднемесячные концентрации $PM_{2,5}$ за 2011, 2012 и 2013 годы. Сезонные вариации $PM_{2,5}$ в 2011 году демонстрировали в существенной мере плавную зависимость среднемесячной концентрации от сезона, с характерным максимумом в летний период. В 2012 году эта плавная зависимость была выражена в гораздо меньшей мере. В сезонных вариациях $PM_{2,5}$ продолжает сохраняться тенденция к росту концентраций в летний, и в меньшей мере, в зимний периоды, в отличие от весеннего и осеннего.

По мере накопления данных наблюдений $PM_{2,5}$ за последующие годы статистический анализ закономерностей его вариаций будет продолжен.

Представляет интерес взаимная корреляция значений $PM_{2,5}$ и величин аэрозольной оптической толщины на дине волны 500 нм (АОТ500). Подробное описание наблюдений АОТ500 в МО МГУ приведено в разделе 14 настоящего издания. В таблице 16.5 представлены результаты расчетов подобной корреляции. В таблице, как для АОТ500, так и для $PM_{2,5}$, указано общее число среднесуточных значений в месяц, полученных при наблюдениях, среднемесячные значения и их среднеквадратичные отклонения. Взаимная корреляция вычислялась по среднесуточным значениям. Из таблицы видно, что устойчивая положительная корреляция АОТ500 и $PM_{2,5}$ наблюдается в теплый период года. В остальные периоды значения корреляции существенно варьируют.

16.6. Заключение

В целом 2013 г. можно рассматривать как достаточно характерный с точки зрения состава и уровня загрязнения атмосферного воздуха. Не было отмечено событий, ведущих к резкому росту концентраций наблюдаемых примесей. Следует отметить стабильность среднегодовых значений большинства загрязняющих компонентов воздуха (O_3 , CO , NO , NO_2 , SO_2). При этом с 2009 г. продолжается устойчивый рост среднегодовой концентрации углекислого газа, причины которого пока полностью не выяснены. Анализ вариаций малых газовых и аэрозольных примесей в приземном слое атмосферы на примере данных станции наблюдений состава атмосферы в МО МГУ в дальнейшем будет продолжен. Будут проведены исследования взаимных корреляций концентраций различных примесей, а также их корреляций с метеорологическими параметрами.

Таблица 16.5 - Корреляция значений АОТ500 и РМ2,5 за 2011 - 2013 годы.

2011 год

Месяц		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
п	РМ 2.5	26	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
М		16.24	10.27	7.92	14.66	17.51	22.00	24.62	18.74	11.31	10.47	9.53	12.95
σ		11.68	6.01	7.98	7.79	6.03	8.67	4.50	6.33	4.77	5.93	3.93	4.52
п	АОТ 500	3	5	14	14	17	24	27	18	2	6	4	0
М		0.096	0.130	0.120	0.187	0.181	0.177	0.269	0.183	0.085	0.186	0.062	-
σ		0.046	0.045	0.124	0.111	0.096	0.082	0.107	0.070	0.003	0.137	0.013	-
R		0.803	0.330	0.431	0.740	0.831	0.788	0.758	0.818	-	0.985	0.944	-

2012 год

Месяц		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
п	РМ 2.5	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
М		13.91	22.08	15.27	19.22	20.05	17.12	21.55	20.96	19.08	16.28	16.35	20.25
σ		6.98	7.83	6.76	9.71	6.83	5.07	6.96	6.80	6.57	7.20	5.99	6.75
п	АОТ 500	0	0	0	0	8	21	22	16	11	2	0	1
М		-	-	-	-	0.172	0.116	0.218	0.202	0.114	0.090	-	0.057
σ		-	-	-	-	0.043	0.032	0.114	0.109	0.048	0.041	-	0.000
R		-	-	-	-	0.652	0.596	0.790	0.794	0.265	-	-	-

2013 год

Месяц		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
п	РМ 2.5	31	28	31	30	31	12	31	31	30	31	30	31
М		21.82	24.03	15.36	21.10	29.69	29.52	23.89	26.38	18.73	17.58	17.04	16.43
σ		8.60	7.21	5.35	8.28	8.90	12.19	8.92	6.64	5.93	7.45	6.81	4.45
п	АОТ 500	4	5	10	15	19	25	13	22	5	8	1	3
М		0.067	0.127	0.095	0.156	0.200	0.212	0.173	0.229	0.282	0.071	0.027	0.090
σ		0.006	0.061	0.031	0.069	0.084	0.093	0.082	0.119	0.128	0.032	0.000	0.035
R		0.184	0.611	0.188	0.825	0.801	0.873	0.679	0.607	0.832	0.689	-	0.785

п - число среднесуточных значений в месяц, М - среднее значение, σ - среднеквадратичное отклонение, R - коэффициент корреляции (по среднесуточным значениям)

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.

РД 52.04.667-2005. Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию.

Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2010 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ // И.Б. Беликов, Е.В. Горбаренко, И.Д. Еремина, П.И. Константинов, М.А Локощенко, Е.И. Незваль, Н.Е. Чубарова, О.А. Шиловцева, Р.А. Шумский. Под ред. Н.Е. Чубаровой. Электронное издание. ISBN:978-5-317-03592-1. Москва, МАКС Пресс, 2011.

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

Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2012 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ // И.Б. Беликов, Е.В. Горбаренко, И.Д. Еремина, Е.Ю. Жданова, П.И. Константинов, И.А. Корнева, М.А Локощенко, Е.И. Незваль, А.И. Скороход, Н.Е. Чубарова, О.А. Шиловцева, Р.А. Шумский, К.И. Ахиярова, А.А. Ремизов.

Под ред. Н.Е. Чубаровой. Электронное издание. ISBN:978-5-317-04478-7. Москва, МАКС Пресс, 2013.

http://www.thermoscientific.com/ecom/servlet/productsdetail_11152_L10828_89579_11960558_-1

Часть II.

Некоторые результаты методических исследований в

МО МГУ

17. Динамика закрытости горизонта в Метеорологической обсерватории МГУ

О.А.Шиловцева

Метеорологическая площадка обсерватории находится на юго-западе Москвы, на высоте 192 м на уровне моря. На юго-востоке от здания обсерватории в 600 м находится главное здание МГУ со шпилем высотой 250 м. На расстоянии 250 м к югу располагается биологический факультет МГУ высотой около 30 м, на юго-юго-западе в 200-150 м - лабораторный корпус А, высота которого около 25 м, а с запада - лабораторный корпус нелинейной оптики высотой около 30 м. С восточной и юго-восточной сторон к территории обсерватории примыкает Ботанический сад биологического факультета с деревьями различной высоты. На севере примерно в 30 м от здания расположен оранжерейный корпус, высота которого не превышает высоту обсерватории. Также на севере рядом со зданием обсерватории расположена анемометрическая вышка высотой 15 м.

Оценка закрытости горизонта метеорологических площадок проводилась в обсерватории несколько раз. На наземной площадке в 1954, 1964, 1983-84 и 2012 гг., на площадках, расположенных на крыше обсерватории - в те же годы, за исключением 1954 г. Промеры проводились с помощью теодолита на всех трех площадках обсерватории, где ведутся актинометрические наблюдения. Отметим, что закрытость горизонта оценивалась в летнее время, поэтому она для некоторых направлений несколько меньше за счет отсутствия листьев на деревьях зимой. Это две площадки на крыше обсерватории: северная, где проводятся измерения прямой солнечной радиации и суммарных потоков в различных участках спектра (рис. 17.1), и южная, на которой установлены приборы в теневых кольцах для измерения рассеянных потоков (рис.17.2). На наземной площадке измеряются отраженная радиация и радиационный баланс - т.е. те радиационные потоки, в которых задействовано излучение от подстилающей поверхности (рис.17.3).

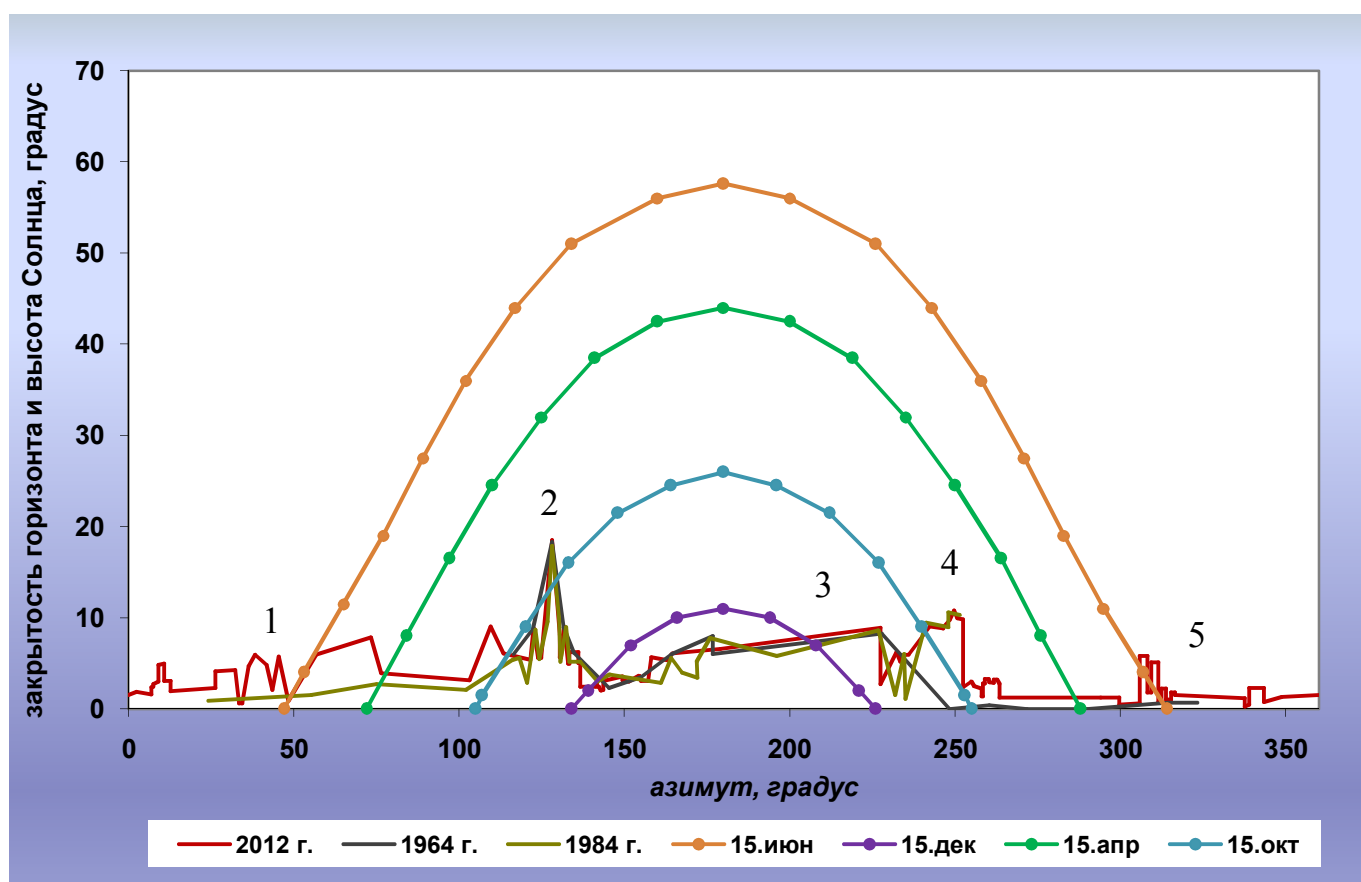


Рисунок.17.1 - Вид северной площадки на крыше обсерватории и её график закрытости горизонта: 1 - деревья; 2 - шпиль главного здания МГУ; 3 - биофак и корпус А; 4 - корпус нелинейной оптики; 5 - высотные жилые дома.

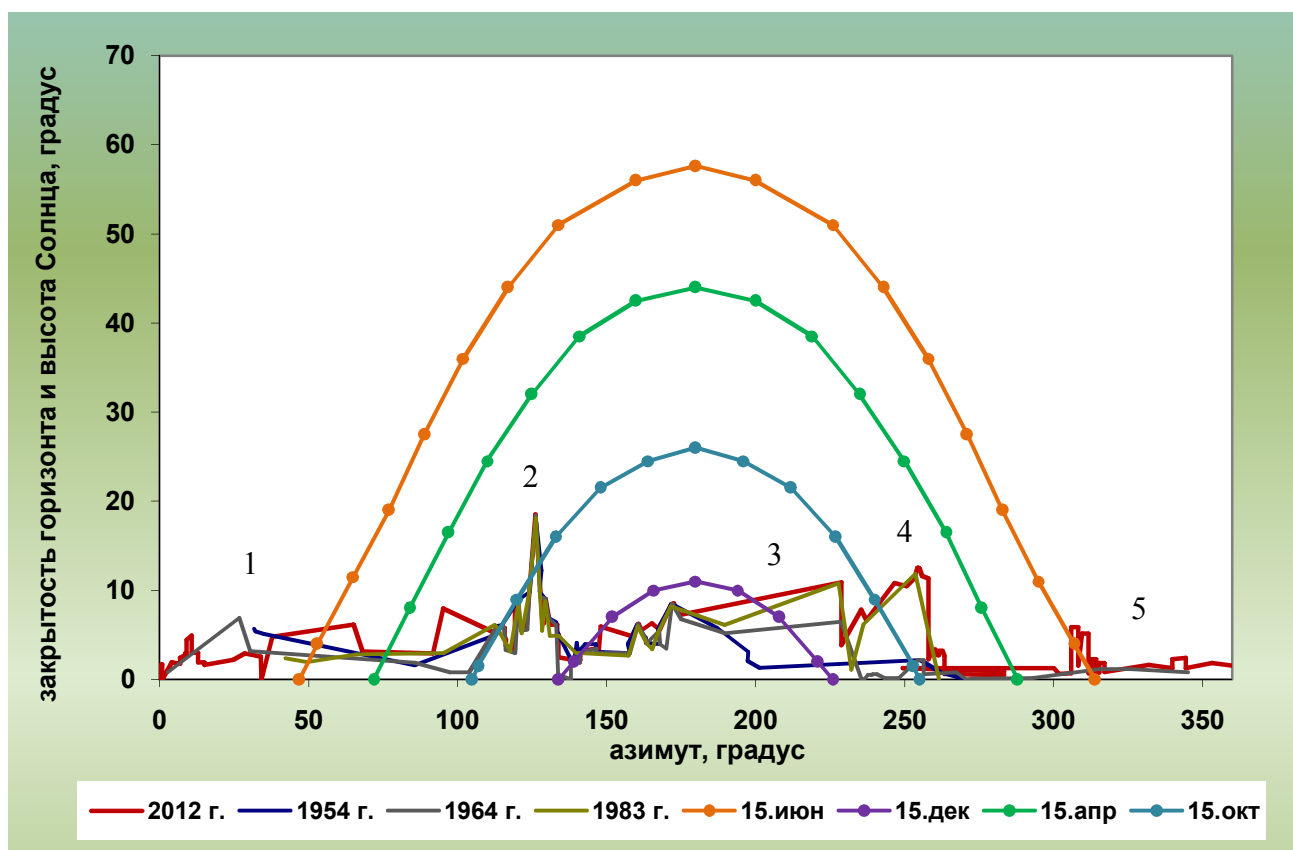


Рисунок 17.2 - Вид южной площадки на крыше обсерватории (фото) и график закрытости горизонта для неё: 1 - деревья; 2 - шпиль главного здания МГУ; 3 - биофак и корпус А; 4 - корпус нелинейной оптики; 5 - высотные жилые дома

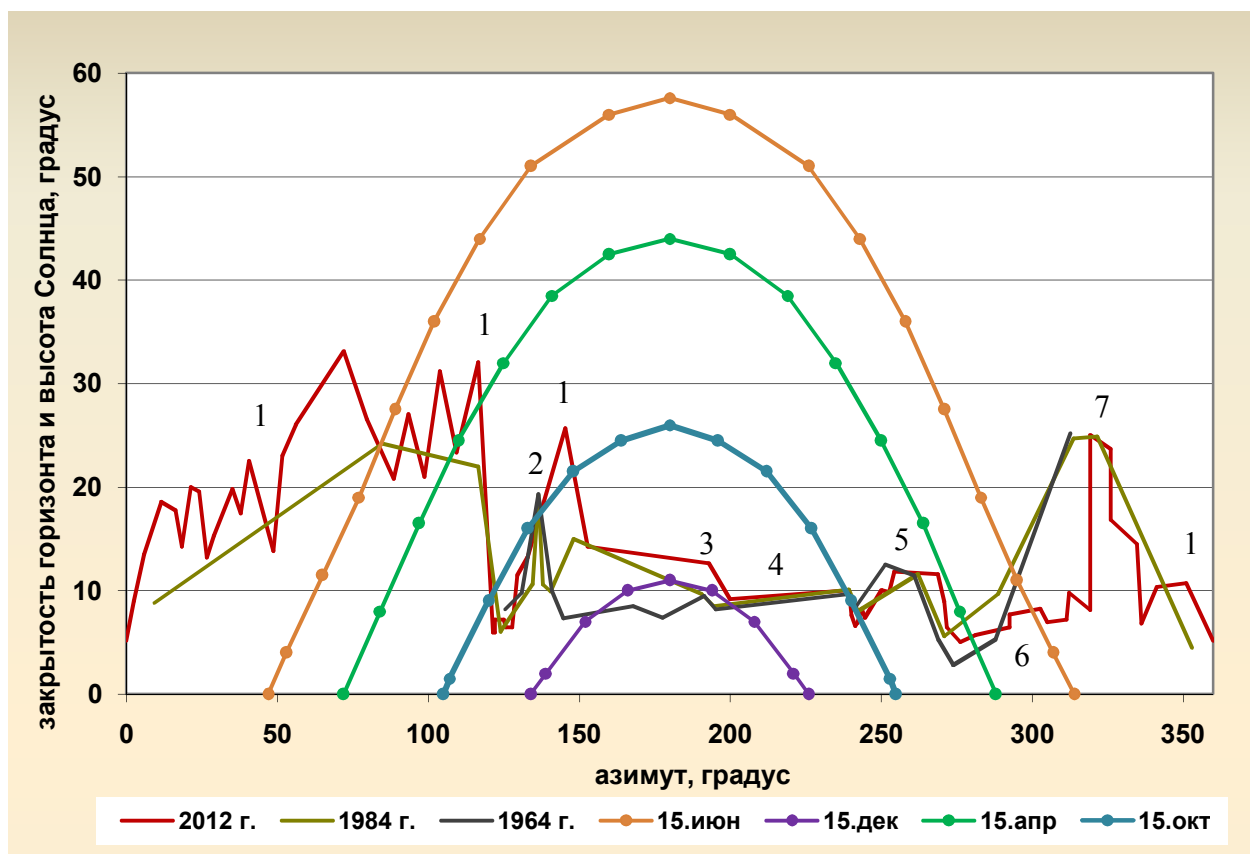


Рисунок.17.2 - Вид наземной актинометрической площадки обсерватории (фото) и график закрытости горизонта для неё: 1 - деревья; 2 - шпиль главного здания МГУ; 3 - купол биофака; 4- корпус А; 5 - корпус нелинейной оптики; 6 - обсерватория и оранжерейный корпус; 7- анеометрическая вышка.

Таблица 17.1 - Максимум и минимум закрытости горизонта на площадках метеорологической обсерватории МГУ (градус)

площадка		сектора горизонта, градус			
		0-90°	90-180°	180-270°	270-360°
наземная	1964	-	7*-19	3-12	5-25***
	1984	9-24	6-22	6-12	5-25
	2012	5-33	4-32	7-12	5-25
северная	1964	-	2-18**	6-8	0,4-0,7
	1984	1-1,5	2-18	3-9	9-11*
	2012	1-8	3-18	3-11	0,5-6
южная	1964	-	2-18	0,5-11	0-1
	1984	2-3	3-18	1-12	0
	2012	2-6	2-18	0,5-11	0,5-6

Примечание: прочерк - нет измерений; * - столь большая величина потерь получилась вследствие не очень детальной съемки окружающих объектов, ** - шпиль главного здания МГУ,;***- анемометрическая вышка

Самая неблагоприятная динамика закрытости горизонта с течением времени наблюдается на наземной площадке (табл. 17.1). Из-за разрастания деревьев по периметру метеорологической площадки и невозможности ограничения этого процесса (так как территория принадлежит Ботаническому саду МГУ, и у них задача как раз их вырастить), за прошедшие 60 лет закрытость горизонта увеличилась примерно на 10° в северо-западном секторе и на 7-10° - в южном (см. рис.17.3, табл.17.1). Отдельные деревья выросли настолько, что теперь не видно даже шпиля главного здания университета.

Это приводит к значительным потерям в прямой радиации и увеличению потерь в рассеянной. Согласно расчетам, сделанным по методике М.С.Аверкиева (Аверкиев, 1960), потери последней за 50 лет возросли в 4 раза с 1.8% до 8.1% (табл.17.2). Расчеты проводились по методике, изложенной в (Аверкиев, 1960) в предположении равномерно яркого неба. Представленные в табл. 17.2 оценки потерь рассеянной радиации в целом по небосводу и отдельно по азимутальным секторам представляют собой рассеянную радиацию данной зоны в процентах от общего потока радиации. Например, при закрытости горизонта в 10° она составляет 3%. Представленные в табл. 17.2 оценки потерь рассеянной радиации в целом по небосводу и отдельно по азимутальным секторам представляют собой рассеянную радиацию данной зоны в процентах от общего потока радиации. Например, при закрытости горизонта в 10° она составляет 3%.

Таблица 17.2 - Динамика потерь рассеянной радиации на измерительных площадках метеорологической обсерватории МГУ (%)

площадка	год	Общие потери D	сектора горизонта, градус			
			0-90°	90-180°	180-270°	270-360°
наземная	1964	1,8	-	1,7	2,7	2,7
	1984	6,9	8,0	7,1	4,6	7,9*
	2012	8,1	13,9	9,9	5,1	3,6
северная	1964	0,6	0,0	1,2	1,1	0,0
	1984	0,6	0,05	0,8	1,4	0,0
	2012	0,9	0,6	1,2	1,5	0,1
южная	1954	0,4	0,3	1,0	0,4	0,0
	1964	0,5	0,4	0,8	0,7	0,0
	1984	0,8	0,0	0,9	1,9	0,2
	2012	1,1	0,4	1,3	2,4	0,1

Примечание: прочерк - нет измерений; * - столь большая величина потерь получилась вследствие не очень детальной съемки окружающих объектов (см. рис. 17.3)

Потери прямой радиации еще более значительны, т.к. например, в декабре площадка освещена прямыми лучами Солнца всего лишь примерно с 11 до 13 часов и то только благодаря тому, что деревья стоят без листвы. И даже в летнее время прямая радиация на наземной площадке наблюдается только после 7 часов утра и до 19 часов вечером (время истинное солнечное).

На южной и, особенно, северной площадках здания МО МГУ закрытость горизонта гораздо меньше, чем на наземной площадке, что и послужило причиной переноса на крышу обсерватории подавляющего числа наблюдений за приходом солнечной радиации в середине 1960-х. Наибольшая закрытость горизонта на северной площадке не превышает 11% в южном сегменте горизонта (за исключением шпиля главного здания МГУ) (см. табл.17.1, рис. 17.1). На южной площадке она несколько больше из-за постройки корпусов А в середине 1960-х и корпуса нелинейной оптики во второй половине 1970-х гг. (см. табл.17.1, рис. 17.2). В целом за прошедшие годы закрытость горизонта, конечно же, тоже возросла за счет подросших деревьев и постройки новых жилых зданий в северном сегменте, хотя и менее значительно, чем это наблюдается на наземной площадке.

В результате этого процесса возрастают и потери рассеянной радиации, хотя порядок этих изменений гораздо меньше, чем на наземной площадке (см. табл.17.2). Наиболее значительны потери прямой радиации за период с октября по февраль, когда в первой половине дня солнечный диск за деревьями и главным зданием МГУ, а во второй - за

корпусами А и нелинейной оптики. К сожалению, этот процесс неизбежен для метеорологических станций, расположенных в городах.

Благодарности:

Коллектив метеорологической обсерватории МГУ благодарен сотруднику кафедры картографии и геоинформатики А.А.Сучилину за предоставление теодолита для проведения работ по промерам закрытости горизонта в 2012 году.

Литература

Аверкиев М.С. 1960. Графическое изображение закрытости горизонта. - Метеорология и гидрология, №5, с. 32-34

18. Исследования в рамках программы “Стабильные изотопы кислорода и водорода в воде криосферы Северной Евразии” на территории МО МГУ

С.А. Сократов, Ю.Г. Селиверстов, П.Б. Гребенников

18.1. Введение

Единственным прямым методом изучения динамики природных вод и их происхождения является исследование изотопных соотношений кислорода и водорода в воде (Изотопия..., 2009). Принято считать, что общее количество стабильных изотопов и их соотношение в целом для всей воды на Земле является неизменным на протяжении многих сотен тысяч лет (Environmental..., 2000). При этом, за счёт разницы в давлении насыщенного водяного пара различных изотопных разновидностей воды приводит к их фракционированию при фазовых переходах, в случае испарения приводящего к повышению содержания лёгкой фракции в формирующемся паре и, соответственно, утяжеления остающейся жидкости. Коэффициент фракционирования возрастает с понижением температуры.

Природный гидрологический цикл включает в себя многочисленные фазовые переходы — испарение с поверхности океана, формирование облаков, их перенос в меняющихся температурных условиях и, наконец, выпадение осадков. Фазовые переходы имеют место и в процессе нахождения выпавших осадков на поверхности или просачивания воды в грунт, с последующим долговременным сохранением в виде грунтовых вод в бессточных областях или же поступлением в водотоки а в последующем обратно в океан (Изотопия..., 2009; Environmental..., 2000).

Все эти процессы приводят к тому что на разных стадиях гидрологического цикла воды «различного» происхождения отличаются по своим изотопным соотношениям. Расстояние между источником и местом выпадения осадков, а также температурные условия на всём «пути» также влияют на изотопный состав осадков, что используется, например, при реконструкциях палеоклиматических условий по изотопному составу ледникового льда (Dansgaard, 1964).

Изотопные соотношения в компонентах криосферы, очевидно, также несут в себе информацию об источниках влаги и климатических условиях её формирования и захоронения (Изотопная..., 1982; Основы..., 2000). Однако, существует определённая специфика в эволюции изотопного состава снега и грунтового льда, не позволяющая

напрямую использовать общепринятые зависимости для гидрологического цикла при наличии лишь жидких осадков (Конищев и др., 2012; Konishchev et al., 2003; Sokratov & Golubev, 2009).

18.2. Проект МАГАТЭ.

В рамках Программы по изучению водных ресурсов и деятельности Лаборатории изотопной гидрологии МАГАТЭ, Вена, Австрия, как часть международного проекта «Использование природных изотопов в оценке водных ресурсов в районах, условия в которых определяются снежным покровом, ледниками и вечной мерзлотой, в условиях изменяющегося климата», Географический факультет взял на себя обязательства по координированию работ по теме «Стабильные изотопы в криосфере Северной Евразии».

Международный проект «в целом» объединяет научные группы из 12 стран: Аргентина, Германия, Грузия, Италия, Канада, Марокко, Пакистан, Россия, Словакия, Словения, США и Япония. Россия, помимо Географического факультета МГУ, представлена группами из Арктического и антарктического научно-исследовательского института, Института географии РАН и Тюменского государственного нефтегазового университета.

Целью работ является оценка возможностей использования природных изотопов воды, как общепринятого метода в исследовании объёмов и качества природных вод и прогноза их изменения, для проведения аналогичных оценок для холодных регионов. Специфика участия снежного покрова, ледников и мерзлоты в гидрологическом цикле, прежде всего, заключается в изменении временного хода взаимодействия различных компонентов гидрологического баланса. Сезонный снежный покров «консервирует» поступающую на поверхность Земли в виде твёрдых осадков воду в течение зимы, после чего, за сравнительно короткий период снеготаяния, эта влага поступает в подземные и поверхностные водотоки. В случае ледников период «консервации» составляет от нескольких лет до тысячелетий. Мёрзлые почвы, с одной стороны, могут служить водонепроницаемым горизонтом в момент снеготаяния, а с другой, колебания от года к году глубины сезонного протаивания определяют постоянно изменяющиеся объёмы и возраст включаемой в ежегодный гидрологический цикл грунтовой воды.

Российские исследования по теме включают в себя Ямал и Западную Сибирь, Эльбрус, Антарктиду, и среднюю полосу России. Представляя собой значительный интерес образцы различных типов вод, собираемые при полевых исследованиях и

анализируемые в Лаборатории изменений климата и окружающей среды (ЛИКОС) ААНИИ, являются лишь частью ожидаемых результатов. Другим значимым выходом из работ по проекту должны стать результаты верификации используемых и создаваемых методов отбора проб. Зимние работы на территории Метеорологической обсерватории МГУ направлены именно на это.

18.3. Работы на метеорологической площадке МО МГУ.

Многими исследователями было замечено, что средневзвешенный изотопный состав снежной толщи на начало снеготаяния может отличаться от средневзвешенного изотопного состава собранной талой воды. Для понимания причин этого, в результате обсуждений всех международных участников проекта, для отбора проб талой воды из снежного покрова было решено использовать дополнительно модифицированные пассивные капиллярные пробоотборники (пробоотборники Фрисби) (Frisbee et al., 2010a; 2010b). Изначально созданные для отбора грунтовой флага пробоотборники были модифицированы для их установки на границе грунта и снежного покрова (Реппа et al., 2014).

Пробоотборники устанавливаются по возможности непосредственно перед установлением снежного покрова, и либо собирают воду в течении всей зимы, в случае наличия таяния, либо наполняются во время весеннего снеготаяния (Рис. 18.1). Такой пробоотборник был успешно испытан зимой 2011/2012 года на метеостанции МГУ.

На зимние сезоны 2012/2013 и 2013/2014 годов на той же площадке были установлены 21 пробоотборник в виде 3-х «кустов» с целью определения возможной пространственной неоднородности в изотопном составе собранной таким образом талой воды. Внутри каждого куста (из 7 пробоотборников каждый) расстояние между пробоотборниками составляло 10 см, между «кустами» — до 10 м. Была создана основанная на методе дисперсионного анализа математическая схема последующих расчётов, которая и должна показывать различия в изотопном составе талой воды в зависимости от расстояния между точками отбора.



Рисунок 18.1 - Пример установки отдельного пассивного пробоотборника (Южный Тироль).

Такие же пробоотборники установлены другими участниками проекта в своих странах. Однако, только на территории метеостанции обсерватории МГУ подразумевалось, что влияние других факторов, таких как различная для отдельных «кустов» абсолютная высота местности, экспозиция склона или различие в подстилающей поверхности, растительности и грунтах, сведено на нет.

В дополнение к данному эксперименту отбирались образцы снега индивидуальных

снегопадов и последовательный послойный отбор образцов при шурфовании, для получения более полной картины динамики изменения изотопного состава снега в течении зимнего сезона и последующего использования результатов в моделях формирования изотопного состава поверхностных и грунтовых вод.

18.4. Предварительные результаты.

Изотопные соотношения изотопов кислорода и водорода в снеговой талой воде, собранной пассивными пробоотборниками участниками проекта, представлены на Рис. 18.2. Деление по значкам соответствует местонахождению точек отбора относительно климатических условий по классификация климатов Кёппена (Peel et al., 2007). Нижний левый угол графика представляет данные, полученные в Якутии. Верхний правый угол — в горах Аргентины и Марокко.

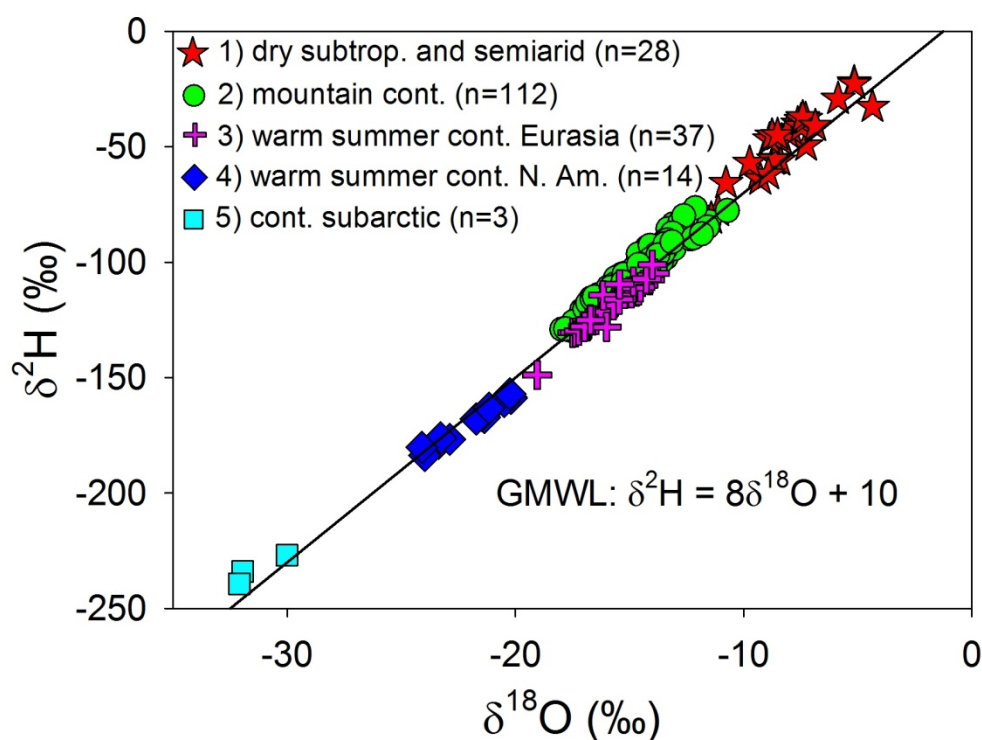


Рисунок 18.2 - Различия в соотношениях изотопов кислорода и водорода в снеговой талой воде в различных климатических зонах. n — количество измерений. Данные МО МГУ соответствуют № 3.

Результаты, полученные различными типами пробоотбора (Holko et al. 2013), действительно значительно разнятся (Рис. 18.3). При этом одним из результатов проведённых измерений всеми участниками проекта явилось заключение о том, что «куст» из 5 и более пробоотборников представляет такой же интервал в изменчивости изотопного

состава талой снеговой воды, как и несколько, расположенных в одной местности «кустов», хотя средние значения по «кустам» разнятся в зависимости от характера подстилающей поверхности, растительности и экспозиции.

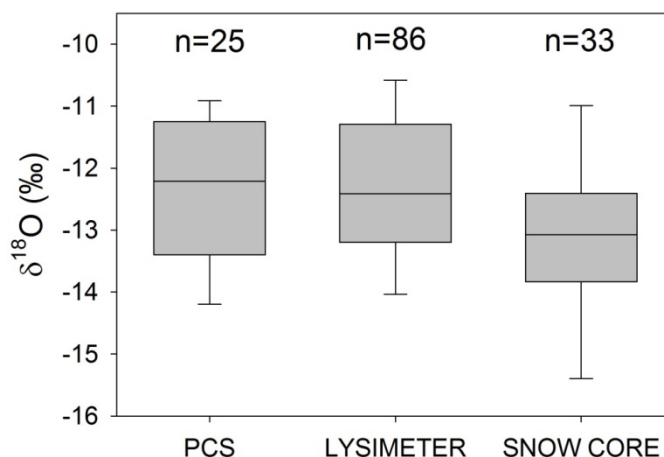


Рисунок 18.3 - Результаты отбора проб на изотопный анализ различными способами в Словакии и США: пассивный пробоотборник (PCS), лизиметр и снежный покров по всей глубине. n — количество образцов.

18.5. Выводы.

Апробированный способ отбора образцов талой снеговой воды на изотопный анализ, потенциально, значительно упрощает получение требуемых для разделения гидрографа данных, тем самым позволяя проведение «массированных» исследований по изотопному составу талой воды и изменения изотопного состава снега от момента отложения до момента попадания в грунтовые воды. Подразумевая, что климатические модели позволяют рассчитывать изотопный состав твёрдых осадков — продолжение таких исследований с целью понимания межгодовой изменчивости в определённых регионах и различия в зависимости от разницы в климатических условиях несомненно имеет смысл.

Литература:

Основы изотопной геоэкологии и гляциологии // Васильчук Ю.К. Котляков В.М. ISBN:5-211-02557-1. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000.

Изотопия гидросферы Земли // Ферронский В.И., Поляков В.А. ISBN:978-5-91522-139-9. М.: Научный мир, 2009.

Изотопная и геохимическая гляциология // Котляков В.М., Гордиенко Ф.Г. Л.: Гидрометеиздат, 1982.

Конищев В.Н., Рогов В.В., Голубев В.Н., Сократов С.А., Изотопный состав связанной воды по экспериментальным данным // Труды Десятой Международной конференции по мерзлотоведению : Салехард, Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО), Россия; 25–29 июня 2012 г. : Том 3 (Статьи на Русском языке) / Мельников В.П. (ред.). ISBN:978-5-9961-0510-6. Тюмень: ООО Печатник, 2012, pp. 241–243

Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation // *Tellus*, Vol. 16, No. 4, 1964, P. 436–468. doi:10.1111/j.2153-3490.1964.tb00181.x

Environmental isotopes in the hydrological cycle. Principles and applications (IHP-V, Technical documents in hydrology; No 39, Vol. I–VI) // Mook W.G. (Ed.). Paris: UNESCO, 2000.

Frisbee M.D., Phillips F.M., Campbell A.R., Hendrickx J.M.H. Modified passive capillary samplers for collecting samples of snowmelt infiltration for stable isotope analysis in remote, seasonally inaccessible watersheds 1: laboratory evaluation // *Hydrological Processes*, Vol. 24, No. 7, 2010(a), P. 825–833. doi: 10.1002/hyp.7523

Frisbee M.D., Phillips F.M., Campbell A.R., Hendrickx J.M.H., Engle E.M. Modified passive capillary samplers for collecting samples of snowmelt infiltration for stable isotope analysis in remote, seasonally inaccessible watersheds 2: field evaluation // *Hydrological Processes*, Vol. 24, No. 7, 2010(b), P. 834–849. doi: 10.1002/hyp.7524

Holko L., Danko M., Dóša M., Kostka Z., Šanda M., Pfister L., Iffly J.F. Spatial and temporal variability of stable water isotopes in snow related hydrological processes // *Die Bodenkultur – Journal for Land Management, Food and Environment*, Vol. 64, No. 3–4, 2013, P. 39–45.

Konishchev V.N., Golubev V.N., Sokratov S.A. Sublimation from a seasonal snow cover and an isotopic content of ice wedges in the light of a palaeoclimate reconstruction // *ICOP 2003 : Permafrost : Proceedings of the Eighth International Conference on Permafrost*, 21–25 July 2003, Zürich, Switzerland; Vol. 1 / Phillips M., Springman S.M., Arenson L.U. (Eds.). ISBN:90-5809-584-3. Lisse: Swets & Zeitlinger, 2003. P. 585–590.

Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification // *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 11, No. 5, 2007, P. 1633–1644, doi:10.5194/hess-11-1633-2007

Penna D., Ahmad M., Birks S.J., L. Bouchaou L., Brenčič M., Butt S., Holko L., Jeelani G., Martínez D.E., Melikadze G., Shanley J., Sokratov S.A., Stadnyk T., Sugimoto A., Vreča P. A new method of snowmelt sampling for water stable isotopes // *Hydrological Processes*, Vol. 28, 2014, in press.

Sokratov S.A., Golubev V.N. Snow isotopic content change by sublimation // *Journal of Glaciology*, Vol. 55(193), 2009. P. 823–828. doi:10.3189/002214309790152456.