ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ В 2015 г. ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ МГУ имени М.В.ЛОМОНОСОВА

МОСКВА

МАКС Пресс

2016

ISBN 978-5-317-05424-3

Environmental and climate characteristics of the atmosphere in 2015 according to the measurements of the Meteorological Observatory of Moscow State University

MOSCOW – 2016

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭКОЛОГИИ И ЭВОЛЮЦИИ РАН
имени А.Н. СЕВЕРЦОВА

ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ В 2015 г. ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ МГУ имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Коллектив авторов:
К.В. Авилова, Н.А. Бунина, О.А. Волкова, Е.В. Горбаренко, П.Б. Гребенников, И.Д. Еремина, Е.Ю. Жданова, А.Ю.Комаров, М.А. Локощенко, Н.С. Морозов, Е.И. Незваль, С.В. Полевова, А.А. Пастухова, Е.Э. Северова, Ю.Г. Селиверстов, С.А. Сократов, В.В.Худяков, Н.Е. Чубарова, О.А. Шиловцева

Под редакцией О.А. Шиловцевой

МОСКВА – 2016

УДК 551.5
ББК 26.237
Э40

Коллектив авторов:
К.В. Авилова, Н.А. Бунина, О.А. Волкова, Е.В. Горбаренко, П.Б. Гребенников, И.Д. Еремина, Е.Ю. Жданова, А.Ю.Комаров, М.А. Локощенко, Н.С. Морозов, Е.И. Незваль, С.В. Полевова, А.А. Пастухова, Е.Э. Северова, Ю.Г. Селиверстов, С.А. Сократов, В.В.Худяков, Н.Е. Чубарова, О.А. Шиловцева

Под редакцией О.А. Шиловцевой

Э40 **Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2015 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова** / Авилова К.В. и др.; Под ред. Шиловцевой О.А. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 268 с.
ISBN 978-5-317-05424-3

Приведены особенности различных характеристик атмосферы в 2015 году по данным метеорологической обсерватории МГУ. Рассмотрены метеорологический и радиационный режим атмосферы, проанализированы характеристики атмосферных аэрозолей, химический состав осадков и аэропалинологический состав воздуха, а также дан детальный анализ снежного покрова. В четвертой части рассмотрено влияние погодных условий на годовой жизненный цикл кряквы и дрозда-рябинника, проживающих в Московском регионе.

УДК 551.5
ББК 26.237

Authors:
K.V. Avilova, N. A. Bunina, O.A. Volkova, Ye. V. Gorbarenko, B.P. Grebennikov, I.D. Eremina, Ye.Yu. Zhdanova, A.Yu. Komarov, M.A. Lokoshchenko, N.S. Morozov, Ye.I. Nezval, S.V. Polevova, A.A. Pastukhova, Ye.E. Severova, Yu.G. Seliverstov, S.A. Sokratov, V.V. Khudyakov, N.Ye. Chubarova, O.A. Shilovtseva

Edited by O.A. Shilovtseva

Environmental and climate characteristics of the atmosphere in 2015 according to the measurements of the Meteorological Observatory of Moscow State University. – Moscow, MAKS Press, 2016. – 268 p.

This publication describes the main features of different atmospheric parameters variation in 2015 according to the data of the Meteorological Observatory of Moscow State University. The specific features of meteorological and radiative regime of the atmosphere, the detailed characteristics of snow cover, atmospheric aerosols, gaseous composition of the atmosphere and chemical composition of atmospheric precipitation are analyzed. The aeropalynologic composition of air are reviewed. The forth part of the issue contains a brief overview of the life of wild birds in Moscow region.

Электронное издание комплексного распространения

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.

N 978-5-317-05424-3

© Коллектив авторов, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Об издании. 7

Часть I. Метеорологические параметры атмосферы..... 9

1. Температура воздуха. *.Е.В.Горбаренко* 10
2. Аномальная жара в декабре 2015 года. *М.А.Локощенко*……..17
3. Особенности термического режима почвы и грунта. *Е.В.Горбаренко* 21
4. Промерзание и оттаивание почвы и грунта. *М А. Локощенко* 28

5… Влажность воздуха и атмосферные осадки. *Е.В.Горбаренко* 39

6. Снежный покров. *М.А. Локощенко* 45
7. Атмосферное давление. *О.А.Шиловцева* 55
8. Ветер в приземном слое. *О.А. Шиловцева* ……..…….61
9. Ветровой режим и температурная стратификация в нижнем 800-метровом слое воздуха. *М.А. Локощенко*……..69
10. Особенности облачного покрова и продолжительности солнечного сияния. *Е.В. Горбаренко*……..94

Часть II. Атмосферная радиация……..……..….....100

11. Характеристики прозрачности атмосферы и составляющие радиационного баланса. *Е.В. Горбаренко* 101
12. Особенности режима фотосинтетически активной радиации

О.А. Шиловцева……113

13. Режим естественной освещенности земной поверхности.

О.А. Шиловцева.....126

14. Естественная освещенность различно ориентированных вертикальных поверхностей. *О.А.Шиловцева, Н.А.Бунина*……..139
15. Особенности прихода УФ радиации 300-380 нм. *Е.И. Незваль.* 146
16. Оценка биологически-активной УФ радиации.

Е.Ю. Жданова, Н.Е.Чубарова 167

Часть III. Аэрозольный и газовый состав атмосферы, химический состав атмосферных осадков.....176

17. Основные аэрозольные характеристики и влагосодержание атмосферы по данным солнечно-небесного фотометра CIMEL сети AERONET. *Н.Е. Чубарова, А.А. Пастухова* 177
18. Химический состав осадков. *И.Д. Еремина*.....185
19. Особенности динамики аэропалинологического спектра атмосферы. *Северова Е.Э., Волкова О.А., Полевова С.В*.....194

Часть IV. Прикладные аспекты метеорологических наблюдений……..….....200

20. Изучение пространственно-временной неоднородности снежной толщи с использованием пенетрометра высокого разрешения SnowMicroPen на территории метеорологической обсерватории МГУ

Комаров А.Ю., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Гребенников П.Б……....201

21 Особенности годового цикла водоплавающих птиц на примере кряквы Anas *platyrhynchos L. К.В.Авилова*……..211

22. Дрозд-рябинник (*Turdus pilaris*) в Москве в 2015 г.: сроки гнездования и последствия двух аномальных метеорологических явлений

Н.С. Морозов, В.В.Худяков……..220

Об издании

Перед Вами шестой выпуск трудов метеорологической обсерватории кафедры метеорологии и климатологии географического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова (МО МГУ), посвященный анализу эколого-климатических характеристик атмосферы на юго-западе Москвы в 2015 году. Он продолжает серию ежегодных публикаций результатов наблюдений МО МГУ.

Цель данного выпуска: оперативное освещение особенностей метеорологических, радиационных, экологических параметров атмосферы, их анализ, сопоставление с результатами измерений в предшествующие годы и выявление тенденций их изменений. В четвёртой части выпуска – работы коллег-орнитологов как примеры использования данных наблюдений МО МГУ при изучении влияния погодных условий на жизнедеятельность птиц, гнездящихся в Московском регионе, и результаты исследований пространственно-временной неоднородности снежной толщи, проведенные на территории обсерватории сотрудниками научно-исследовательской лаборатории лавин и селей географического факультета.

Авторы выражают глубокую признательность всему инженерно-техническому персоналу метеорологический обсерватории МГУ, усилиями которого проводился сбор, первичная обработка и критический контроль данных наблюдений, положенных в основу настоящего издания. Это старший наблюдатель В.В.Белопухова и наблюдатели - метеорологи О.В. Василенок, Г.М.Воробьёва, Т.Н. Гайкинвельдер, О.П. Дурнева, А.А.Устинов, старший наблюдатель-актинометрист Н.А.Бунина и наблюдатели-актинометристы Е.И.Розанова, Е.Г. Столярова, Н.А. Трускова, редактор ежемесячного бюллетеня обсерватории Л.Г. Руднева, мастер по точным приборам Д.Т. Голубицкий и инженеры В.А. Розенталь и В.Г.Перепёлкин.

Работы выполнялись при частичной поддержке проектов РФФИ №№ 14-05-00594 (главы 2, 4, 6 и 9), 15-05-03612а (главы 15, 16), 16-05-00985 (глава 17), проектов Российского Научного Фонда (РНФ) № 14-50-00029 (глава 19), 16-17-00104 (глава 20), 16-17-10275 (глава 9 в части анализа данных о ветровом режиме), а также программ Президиума РАН I.22П «Эволюция органического мира и планетарных процессов» (глава 22) и I.21П «Биоразнообразие природных систем. Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга» (глава 22).

Программа наблюдений МО МГУ

Метеорологическая обсерватория МГУ (λ = 55°42′ с.ш., φ = 37°31′ в.д.) 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 определения химического состава атмосферных осадков и воздуха. Многие уникальные (нестандартные) наблюдения проводятся уже более 30 лет. Например, естественная освещенность измеряется с 1964 г., ультрафиолетовая радиация в диапазоне 300-380 нм – с 1968 г, фотосинтетически активная радиация (380-710 нм, затем 400-700 нм) - с 1980 г. Измерения химического состава атмосферных осадков и снежного покрова проводятся с 1980 г. Непрерывные наблюдения за термическим режимом почвы и грунта на одиннадцати различных глубинах как под естественным покровом, так и на оголенном участке ведутся с 1954 г. Благодаря усилиям сотрудников метеорологической обсерватории, наша станция – одна из немногих в Московском регионе, где до настоящего времени сохранился подобный комплекс метеорологических и радиационных измерений. 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. С 2004 года ведутся измерения скорости и направления ветра до высоты 500 м с помощью допплеровского содара “MODOS”. Кроме того, на территории метеорологической обсерватории сотрудники биологического факультета МГУ проводят наблюдения за аэропалинологическим составом атмосферы в течение уже более двадцати лет.

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.

Более подробную информацию о наблюдениях, проводимых в метеорологической обсерватории, можно найти на сайте http://momsu.ru.

О.А.Шиловцева

Часть 1

Метеорологические параметры атмосферы

1. Температура воздуха

Е.В.Горбаренко

В 2015 году в МО МГУ продолжился мониторинг температурного режима воздуха. Наблюдения и измерения производятся в строгом соответствии с принятыми международными и отечественными нормами, установленными ВМО и Росгидрометом. Все стандартные приборы регулярно поверяются. Инструменты, методика измерений подробно описаны в предыдущих выпусках и приведены на сайте (www.momsu.ru).

С июня 2015 года ВМО официально принята новая климатическая норма 1981 – 2010 гг – «текущая норма», при этом оставлена в качестве «исторической» норма 1961-1990 гг. (www.wmo.int/media/content/new-two-tier-approach). Изменчивость температурного режима в период 1961-1990 гг. подробно рассмотрена в (Справочник…, 2003). Оценка «текущей нормы» представлена в таблице 1.1. На рисунке 1.1 приведено сравнение средних годовых значений температуры воздуха за три тридцатилетних периода и 2015 год.

Таблица1.1- Средняя месячная температура воздуха (1981-2010 гг)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средние месячные температуры												
Сред	-6,5	-6,6	-0,9	7,0	13,5	17,3	19,5	17,3	11,6	5,7	-1,3	-5,3
Мин.	-17,2	-13,5	-5,8	2,9	8,9	13	16,4	15,2	7	2,1	-8	-12,2
Год	1987	1985	2005	1987	1999	2003	1985	1984	1993	1992	1998	2002
Мак.	-1,4	0,2	4,9	11,4	16,9	21,7	26,4	22,2	14,3	8,9	3,6	1,3
Год	2007	1990	2007	2000	2010	1999	2010	2010	1994	2008	1996	2006
Абсолютный минимум												
Сред	-9,0	-9,4	-4,0	3,0	8,7	12,7	14,9	13,1	8,1	3,0	-3,3	-7,6
Мин.	-31,1	-28,1	-21,0	-12,8	-3,6	1,0	6,3	3,3	-4,3	-9,2	-22,7	-27,2
Дата	04.01. 1984	03.02. 1999	02.03. 1987	03.04. 1998	9,5 1999	05.06. 2000	06.07. 1992	28.08. 1984	29.09. 1996	28.10. 2003	29.11. 1984	16.12. 1997
Абсолютный максимум												
Сред	-3,9	-3,5	2,6	11,4	18,7	22,2	24,4	22,1	15,9	8,8	0,9	-3,0
Мак.	8,7	8,7	18,1	25,6	33,8	33,7	38,1	38,0	30,4	24,4	14,0	10,0
Дата	08.01. 1987	27.02. 1989	30.03. 2007	23.04. 1995	28.05. 2007	14.06. 1998	29.07. 2010	02.08. 2010	01.09. 1992	07.10. 1999	10.11. 2010	06.12. 2008

По данным оперативного мониторинга климата прошедший 2015 год на всех континентах Земли в среднем за год был теплее обычного (www.meteoinfo.ru). И стал самым теплым годом за весь период инструментальных наблюдений в Северном полушарии Земли, России и Москве. Среднегодовая температура воздуха в Москве по данным МОМГУ –

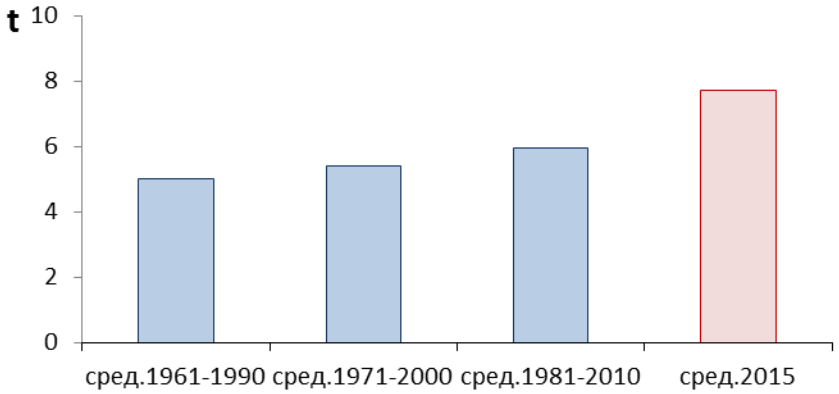


Рис.1.1- Изменение средней годовой температуры в различные периоды

7,7 °С, это максимальное значение с 1954 года превысило историческую норму (1961-1990 гг) на 2,7°С и текущую норму (1981-2010) на 1,8°С. Особенностью температурного режима в 2015 году стала существенное повышение температуры в холодный период года (табл.1.1, рис.1.2). Для прошедшего года названия холодного периода хочется заключить в кавычки, т.к. температуры с ноября по март, в среднем, более чем на 4 градуса выше «исторической» нормы и на 3°С выше «текущей» (табл.1.2, рис. 1.3б).

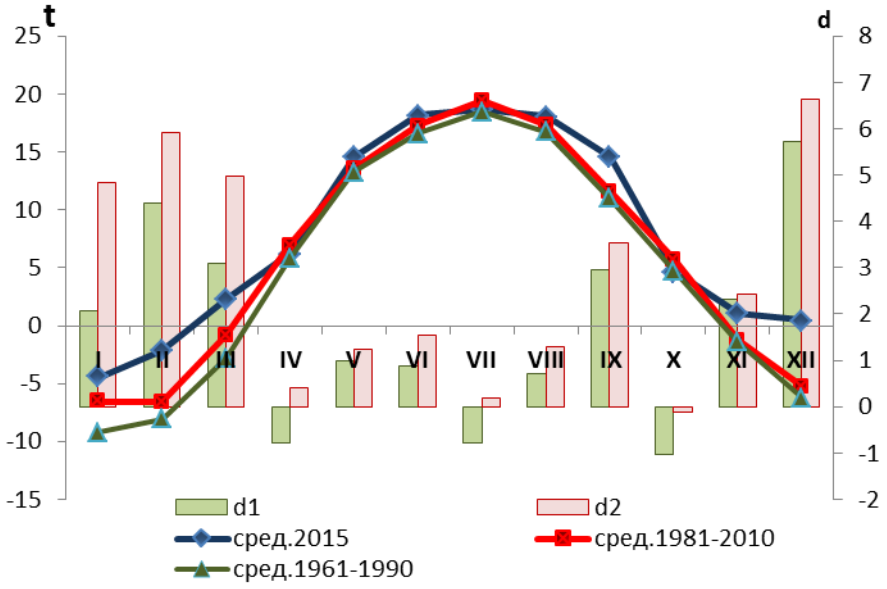


Рис.1.2.-Годовой ход температуры воздуха в 2015 году, в период 1961-1990 гг., 1981-2010 гг, и аномалий температуры относительно «текущей» (d1) и «исторической» (d2) норм

Абсолютные максимумы температуры в 2015 г. близки к абсолютным максимумам

за 30 летний период «текущей» нормы, а абсолютные минимумы существенно выше (рис.1.3а). В декабре и марте средние месячные температуры, в отличие от климатических норм для Москвы **положительные**.

Таблица 1.2- Характеристики температуры воздуха в 2015 г и за разные периоды осреднения.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
2015г													
Сред	-4,4	-2,2	2,2	6,2	14,5	18,1	18,7	18,0	**14,5**	4,6	1,0	0,4	7,7
Мин.	-17,9	-8,8	-3,8	-0,2	8,1	13,1	12,7	11,9	8,1	-0,3	-4,5	-9,0	
Дата	6;7	6	23	20	16; 17	5	13	18	29	21	27	31	
Мак.	2,5	2,4	8,1	19,6	24,0	23,4	24,4	24,6	22,3	13,2	8,4	8,7	
Дата	14	24	11	29	27	14	4	10	25	3	3	21	
Абсолютный минимум													
Сред	-7,0	-4,3	-1,0	2,6	9,9	13,4	14,2	12,8	10,8	2,0	-0,8	-1,3	-19,9
Мин.	-19,9	-12,4	-8,8	-2,2	3,9	7,7	9,4	7,9	5,5	-4,4	-7,4	-11,9	
Дата	7	10	23	19	5	18	13	24	29	21	29	31	
Абсолютный максимум													
Сред	-2,1	0,4	6,2	10,5	19,3	22,7	23,1	22,9	18,9	7,3	3,0	2,2	31,2
Мак.	3,5	6,6	13,9	25,2	29,3	29,3	29,6	31,2	28,3	17,9	11,1	9,6	
Дата	15	25	11	29	27	15	4	9	25	5	3	21	
Межсуточное колебание													
Сред	0,1	0,1	-0,1	0,4	0,2	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,1	-0,2	
Мин.	-10,2	-4,1	-5,6	-6,8	-5,0	-7,0	-6,7	-5,4	-6,6	-5,8	-5,3	-4,7	
Мак.	6,0	4,1	6,4	3,6	5,3	5,2	6,6	4,1	4,2	3,4	4,5	5,7	
Средние, максимальные и минимальные месячные температуры за разные периоды													
1981-2010	-6,5	-6,6	-0,9	7,0	13,5	17,3	19,5	17,3	11,6	5,7	-1,3	-5,3	5,9
1961-1990	-9,4	-7,7	-2,2	5,8	13,3	16,8	18,4	16,7	11,1	4,9	-1,4	-6,2	5
Мин 1954-2014	-17,2	-18,2	-9,2	1,2	8,2	13	15,1	14,6	7	-1	-8,00	-14,6	3
	1987	1956	1963	1955	1980	2003	1956	1956	1993	1976	1998	1978	1956
Мак 1954-2014	-1,4	0,2	4,9	11,4	17,7	21,7	26,4	22,2	14,3	8,9	3,8	1,3	7,6
	2007	1990	2007	2000	1963	1999	2010	2010	1994	2008	2013	2006	2008
d1 *	2,1	4,4	3,1	-0,8	1	0,8	-0,8	0,7	2,9	-1,1	2,3	5,7	1,8
d2 *	5	5,5	4,4	0,4	1,2	1,3	0,3	1,3	3,4	-0,3	2,4	6,6	2,7

** Примечание: d1- аномалия от нормы 1981-2010; d2 - аномалия от нормы 1961-2090*

Максимальная среднесуточная температура 21 декабря – 8,7°С (абсолютный максимум – 9,6°С) – это самая высокая средняя суточная температура в декабре за весь период наблюдений МО МГУ. А с учетом данных для Москвы с 1879 года, приведенных в (Справочник…, 2003) - для всего периода инструментальных наблюдений. Холодный период характеризовался неустойчивой погодой, частыми оттепелями (отмечены только 43 дня без оттепели). Число переходов температуры воздуха через ноль, полученное по срочным наблюдениям в 2015 - 135 случаев, в среднем за период 1981-2010 отмечено

132.2, а в 2012, 2013 по данным (Эколого-климатические характеристики.., 2014) 79 и 87 соответственно.

Важная температурная характеристика, устойчивый переход средней суточной температуры через отметку в 8 градусов характеризует продолжительность отопительного периода. Согласно Постановлению Правительства РФ от 23.05.2006 №307 «О порядке предоставления коммунальных услуг гражданам» отопительный сезон начинается, когда температура воздуха держится на протяжении 5 дней ниже отметки +8 градусов. В 2015 году по этим правилам отопительный период начался 11 октября и продолжился до 30 апреля, хотя с 11 по 13 апреля средние суточные температуры воздуха поднимались до 10°С, тепло в домах не отключали. Апрель - месяц перестройки синоптических процессов - характеризуется наибольшей межсуточной изменчивостью, рассчитанной как разность между средними суточными температурами соседних дней (табл.1.2). Двадцатое апреля единственный день в месяце, когда температура опустилась ниже нулевой отметки, а по срочным наблюдениям последний мороз на воздухе отмечен 24 апреля. Таким образом, не смотря на теплую зиму, продолжительность отопительного сезона в 2015 составила 201 день, что близко к «текущей норме» -200 дней и на 14 дней меньше нормы для Москвы по СНИП-23-01-99.

Порадовал москвичей, особенно дачников, май. Средняя месячная температура была выше норм только на градус, но не наблюдалось возврата холодов при вторжении арктических воздушных масс и связанных с ними заморозков. Хотя понижение средних суточных температур с 16 по 18 мая до 8°С совпало с периодом так называемых «черемуховых холодов». Лето 2015 года не было «жарким», в июне и августе месячные значения незначительно выше норм, а в июле меньше «текущей» нормы (см. табл.1.2). Именно поэтому, у многих москвичей вызвал удивление тот факт, что 2015 год стал самым теплым за все время инструментальных наблюдений.

Температура воздуха в сентябре была ровно такой же, как в мае и стала новым максимумом за весь период наблюдений МО МГУ. Для сентября (периода перестройки летней циркуляции на зимнюю) характерны волны тепла, повышение дневной температуры выше 20°С – это долгожданный период «бабье лето». Определяется он по данным температуры в срок 15 часов, которая должна быть выше 20°С. В 2015 «бабье лето» в Москве продолжалось две неделе в середине сентября (рис.1.4). Повторилось «бабье лето» и в первые дни октября, но резкое понижение температуры после 6 числа

привело к уменьшению средней месячной температуры октября ниже норм.

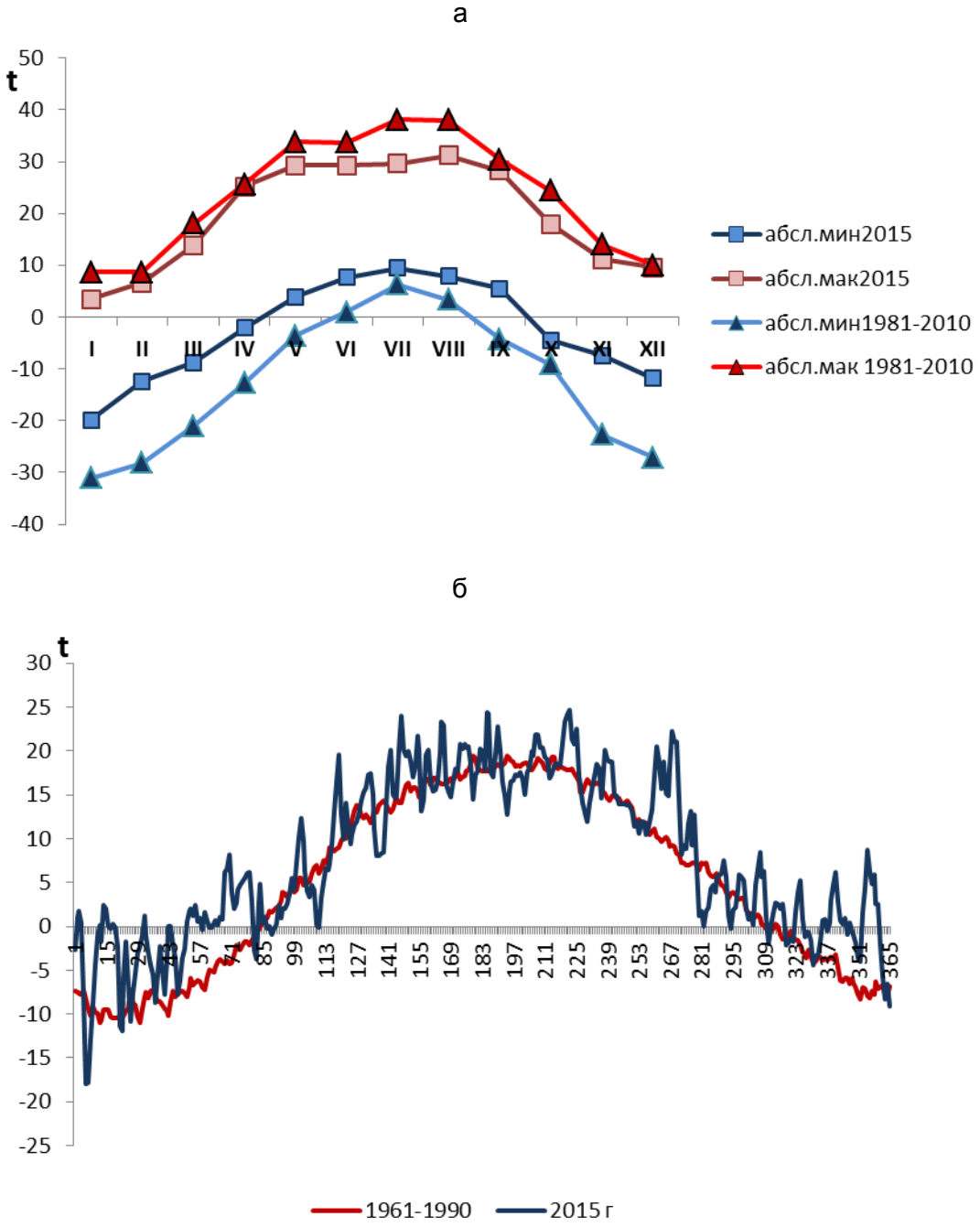


Рис.1.3- Годовой ход за разные периоды : а- экстремумов температуры; б-средних суточных температур

Рис.1.4- Изменение средней суточной температуры (синяя линия) и отклонение ее от 20 градусов (красные столбцы) в сентябре, начале октября

По данным МО МГУ практически каждый год XXI века теплее предыдущего, средние годовые температуры выше и «текущей и исторической» норм (рис.1.5), по прогнозам Гидрометцентра 2016 обещают еще теплее.

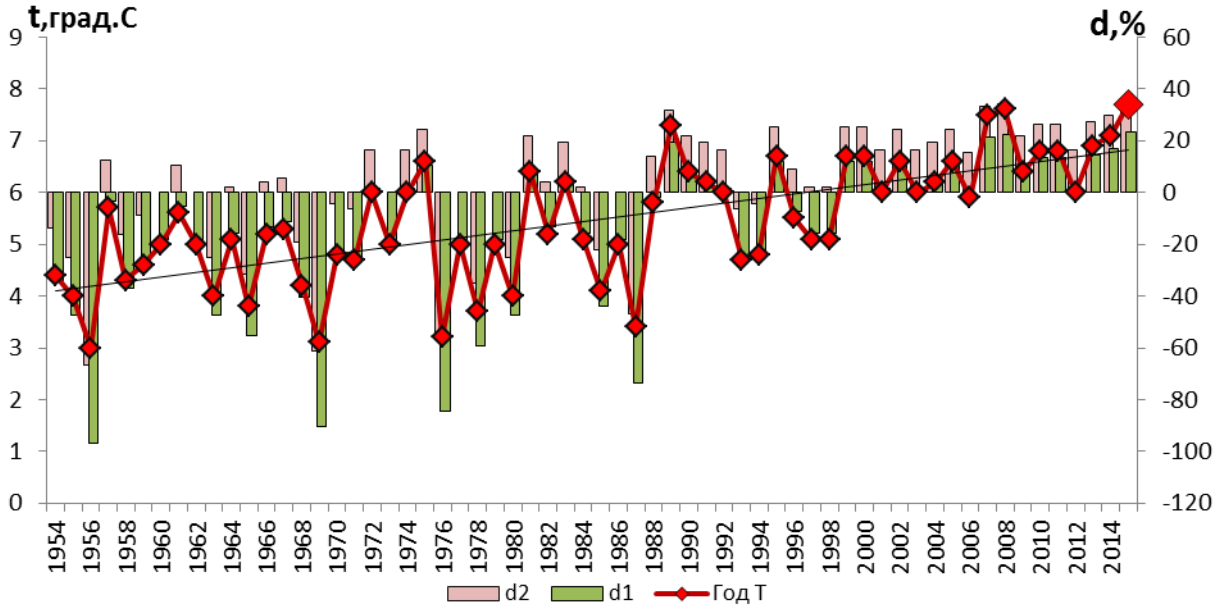


Рис.1.5-Межгодовая изменчивость температуры воздуха и аномалий температуры относительно «текущей» (d1) и «исторической» (d2) норм

Литература

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 2013 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ, под редакцией Н.Е.Чубаровой. МАКС Пресс Москва, 2014.

К.И. Ахиярова, И.Б. Беликов, О.А. Волкова, Е.В. Горбаренко, И.Д. Еремина, Е.Ю. Жданова, П.И. Константинов, И.А. Корнева, М.А Локощенко, Е.И. Незваль, С.В. Полевова, А.А. Полюхов, Е.Э. Северова, И.П. Ситникова, А.И. Скороход, Н.Е. Чубарова, О.А. Шиловцева Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2014 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ, под редакцией О.А. Шиловцева МАКС Пресс Москва, 2015.

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

2. Аномальная жара в декабре 2015 года.

Локощенко М.А.

2.1 – Погодные условия в декабре 2015 года.

Необычным и редким климатическим явлением в 2015 году оказалась аномальная «жара» в декабре. Среднемесячная температура в этом месяце составила по станции МГУ +0,45˚С, что более чем на шесть с половиной градусов выше традиционной климатической нормы 1961–1990 гг. (–6,2 ˚С). По сравнению же со средним значением температуры воздуха в декабре за весь период инструментальных измерений в Москве с 1779 по 2014 гг. (–7,4 ˚С) превышение оказалось ещё бóльшим: почти на восемь градусов.

Вполне логичным следствием столь тёплой погоды стал полный сход снежного покрова, произошедший в этом месяце дважды: 6-го и 21-го декабря. Утром 6-го числа снежный покров составлял лишь 2 балла в окрестностях станции, а днём, очевидно, полностью сошёл и, вплоть до вечера 12-го декабря, поверхность почвы оставалась открытой. Выпавший затем снег привёл к образованию нового покрова, но лишь на неделю, к утру 21-го декабря он сошёл вновь (это хорошо видно на сделанной автором в тот день фотографии – рис.2.1).

Рисунок 2.1 – Площадка Метеорологической обсерватории МГУ 21 декабря 2015 года.

Только 26 декабря образовался, наконец, устойчивый снежный покров, существовавший затем вплоть до конца зимы. Таким образом, целых 11 дней, то есть более трети всего календарного времени месяца (с 7-го по 12-е и с 21-го по 25-е декабря), снежный покров в районе МГУ полностью отсутствовал.

На рис. 2.2 приведён ход среднесуточной (красные ромбы) и наибольшей (жёлтые квадраты) температуры воздуха T в течение всего месяца в сравнении с её средними значениями за период 1961–1990 гг. за каждый отдельный день (синие кружки). Как видим, лишь два дня в конце месяца, 29-е и 31-е декабря, были отмечены среднесуточной температурой немного ниже климатической нормы, и только 12 дней эта температура была отрицательной. Во все остальные дни температура намного превышала средние значения. В период с 20-го по 24-е декабря эта разность превысила даже +10 ˚C, а 21-го числа достигла +16,6 ˚C. Столь сильное превышение T по сравнению с нормой наблюдается чрезвычайно редко. В этот самый «жаркий» день декабря среднесуточная температура достигла +8,7 ˚C, а максимальная +9,6 ˚C. Такая необычная для декабря погода была связана с интенсивной адвекцией очень тёплой тропической воздушной массы, поступавшей в район Москвы, находившейся в тёплом секторе обширного и глубокого циклона с центром над Кольским

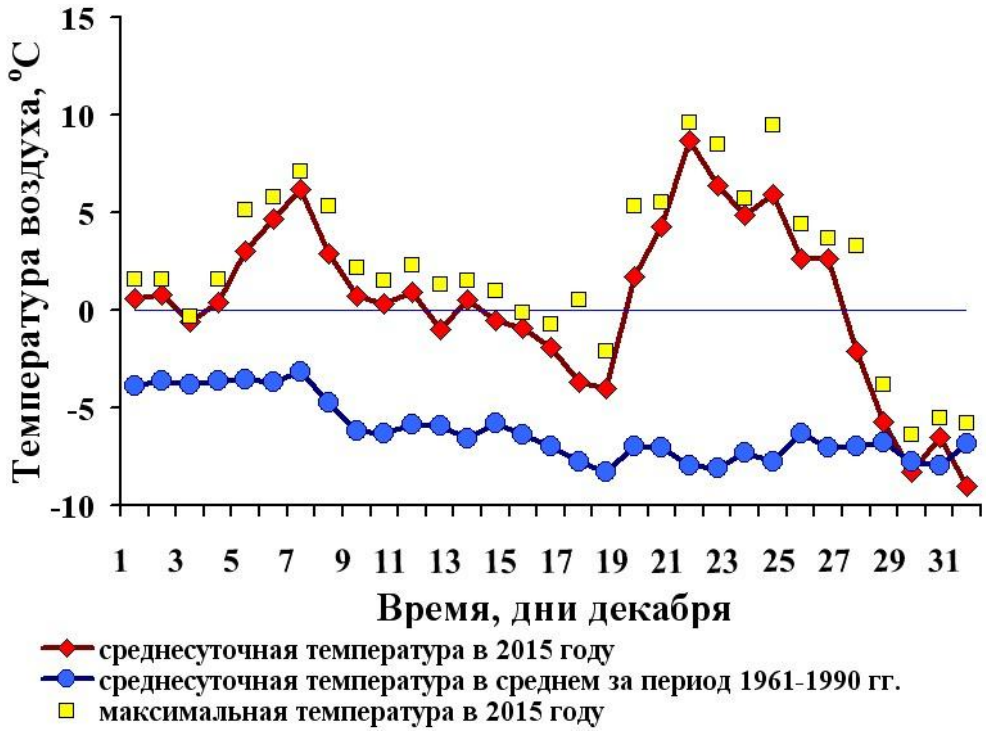


Рисунок 2.2 – Ход температуры воздуха в декабре 2015 года в сравнении с климатической нормой. Москва, МГУ.

полуостровом. Быстрое вхождение этой воздушной массы подтверждается сильным юго-западным ветром, отмеченным 21 декабря в МГУ: по данным акустического локатора «MODOS», на высоте 500 м в середине дня скорость ветра достигала здесь 23 м/с.

За всю историю существования Обсерватории Михельсона (ТСХА) и Метеорологической обсерватории МГУ, начиная с 1879 года, температура воздуха в декабре в Москве только однажды была ещё выше, чем в этот день: 6-го декабря 2008 года она достигла +10,0˚С. Предыдущий рекорд составил в МГУ +9,0˚С 15-го декабря 2006 года. До этого момента, в течение предшествующих 127 лет, самая наибольшая температура в декабре была отмечена в ТСХА незадолго до открытия университетской обсерватории: 5-го декабря 1953 года она оказалась равной +8,1˚С. Таким образом, за последние 137 лет (за первые сто лет наблюдений с 1779 до 1879 гг. нам, к сожалению, известны лишь среднемесячные значения температуры) 21 декабря 2015 года стало вторым в ряду самых жарких декабрьских дней в Москве. Заметим также, что три дня спустя, 24 декабря, наибольшая температура воздуха вновь приблизилась к рекордному значению, составив +9,5 ˚С.

2.2 – Многолетние изменения температуры воздуха в декабре.

Рассмотрим теперь вековые изменения температуры воздуха в декабре в Москве. Среднемесячные значения Т за каждый отдельный год приведены на рис. 2.3. Как видно,

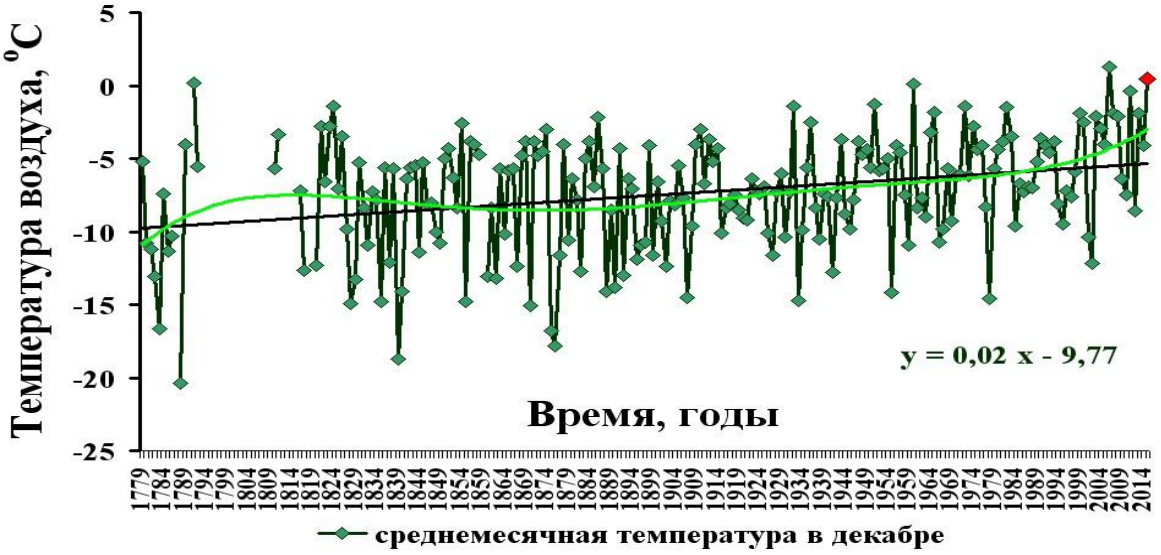


Рисунок 2.3 – Многолетние изменения температуры воздуха в декабре в Москве.
Чёрная линия – линейный тренд; зелёная линия – степенной тренд 6-й степени. Красный ромб – значение среднемесячной температуры в декабре 2015 года.

самым холодным декабрём за всю историю регулярных метеорологических измерений был отмечен далёкий 1788 год (–20,4 ˚С), а самым тёплым – 2006 год (+1,3 ˚С). Лишь трижды в обозримом прошлом среднемесячная температура воздуха в декабре была здесь положительной: +1,3 ˚С в 2006 г., +0,16 ˚С в 1791 г. и +0,1 ˚С в 1960 г. Таким образом, декабрь 2015 года со среднемесячной температурой +0,4 ˚С оказался вторым в ряду самых «жарких» декабрей за всю историю метеорологических наблюдений в столице и не стал рекордным лишь благодаря резкому похолоданию в последние дни месяца.

Как видим на рис.2.3, в среднем за весь период инструментальных измерений температура воздуха в декабре в среднем повышается на 0,02 ˚С в год (значение коэффициента линейной регрессии). Иначе говоря, в среднем декабрьская температура повысилась за это время более чем на 4˚С. Однако рост её не был монотонным, и степенной тренд 6-й степени показывает некоторое его ускорение за последние десятилетия, очевидно связанное с современным потеплением климата.

Работа выполнялась при частичной поддержке проекта РНФ № 16-17-10275.

3. Особенности термического режима почвы и грунта

Е.В.Горбаренко

Температура поверхности и верхних слоев почвы, как и температура воздуха, обуславливается радиационным и циркуляционным режимом. В таблице 3.1. представлены данные термического режима поверхности почвы за период 1981-2010 гг- «текущая норма».

Таблица 3.1 - Средняя месячная температура поверхности почвы (1981-2010 гг)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средние месячные температуры												
Сред	-7,7	-8,5	-3,2	7,1	16,6	20,9	23,1	19,6	12,1	5,1	-2,1	-6,2
Мин.	-19	-16	-9	4	10	15	19	17	8	2	-9	-13
Год	1987	1986	2005	>3лет	1980	2003	1985	>3лет	1993	1992	1998	2002
Мак.	-4	-2	3	12	20	27	28	24	14	7	3	0
Год	1989, 2005	1990, 2002	2007	2000	>3лет	1999	>3лет	2010	>3лет	>3лет	1996	2006
Абсолютный минимум												
Сред	-12,1	-13,9	-8,4	0,2	6,0	10,9	13,3	11,4	6,2	1,2	-5,0	-10,0
Мин.	-38,5	-40,7	-32,0	-18,5	-7,2	-0,1	4,4	1,0	-6,1	-17,6	-30,0	-38,6
Дата	09.01. 1992	01.02. 1991	02.03. 1994	15.04. 1998	03.05. 1995	11.06. 1982	07.07. 2009	28.08. 1984	29.09. 1996	28.10. 2003	30.11. 1998	15.12. 1997
Абсолютный максимум												
Сред	-4,4	-3,3	3,2	18,5	33,8	37,4	39,8	34,1	23,0	11,2	0,7	-3,4
Мак.	7,0	6,1	27,9	44,7	53,4	58,8	62,3	58,0	44,3	31,1	13,2	8,0
Дата	08.01. 1987	27.02. 1989	30.03. 2007	24.04. 1995	31.05 .2007	10.06. 1989	17.07. 2010	02.08. 2010	01.09. 1992	07.10. 1999	01.11. 2008	03.12. 2009

Средняя годовая температура поверхности почвы в 2015 году достигла наибольшего значения за весь период наблюдений - 8,1°С (табл.3.2, рис.3.1). В годовом ходе температуры поверхности почвы, и для «текущей» и для «исторической» норм отрицательная среднемесячная температура наблюдается с ноября по март, положительная – с апреля по октябрь. В 2015 году отрицательные температуры отмечались только с декабря по март, при этом аномалии средних месячных температур относительно норм положительные, а в декабре - больше 5°С (рис.3.2а). Первый мороз на почве наблюдался 7 октября, последний – 26 апреля. Температура почвы с морозом наблюдалась 165 дней в году. В октябре-марте температура поверхности почвы была ниже температуры воздуха на 0,5-2°С, летом выше – на 3-4°С (рис.3.2б). Годовая амплитуда температуры на почве на 5°С больше, чем годовая амплитуда

температуры воздуха. Максимальное значение средней месячной температуры поверхности почвы по средним многолетним данным приходится на июль; в прошедшем году максимум в годовом ходе не выражен. Все три летних месяца средняя месячная температура была 22°С.

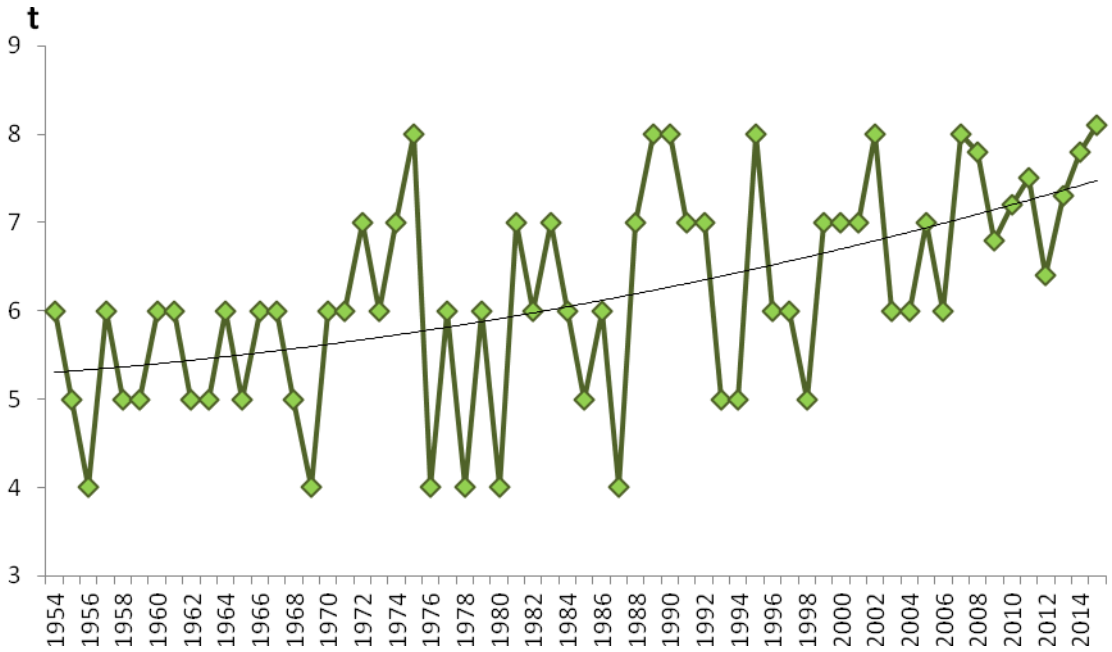


Рис.3.1-Межгодовая изменчивость температуры поверхности почвы

Абсолютные максимумы температуры поверхности почвы положительны во все месяцы 2015 года, а абсолютные минимумы отрицательны в холодный период года (октябрь-апрель) и положительны в мае-сентябре, средние минимумы отрицательны с ноября по март (табл. 3.2). Температура поверхности почвы в сентябре достигла максимального значения за весь период наблюдений.

Основным физическим механизмом теплопередачи в почве является молекулярная теплопроводность, особенности распределения тепла в нижние слои описываются законами Фурье и существенно зависят от состояния подстилающей поверхности.

Все изменения температуры на различных глубинах для открытого участка и для участка с естественным покровом в 2015 году отражают основные законы Фурье и влияние растительного и снежного покрова на температурный режим почвы (табл.3.3, рис.3.3). Подробная интерпретация и анализ подобных данных в предыдущие периоды измерений в МО МГУ представлены в работах (Эколого-климатические характеристики…2013, 2014;

Корнева и Локощенко, 2015). В данном обзоре рассмотрим только некоторые особенности температурного режима на разных глубинах в прошедшем году.

Таблица 3.2- Характеристики температуры поверхности почвы в 2015 г и за разные периоды осреднения.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ГОД
2015 г.													
Сред.2015	-6	-4	0	6	17	22	22	22	**15**	4	0	-1	8,1
Сред. мин	-10	-8	-4	0	7	12	12	11	9	0	-3	-4	1,9
Сред.мак.	-3	-1	6	17	32	40	39	40	27	10	3	1	17,4
Абс.мин.	-28	-19	-16	-5	1	6	8	5	3	-6	-12	-14	-28
Абс. мак.	2	2	16	40	49	52	52	50	38	25	12	8	52
Средние, максимальные и минимальные месячные температуры за разные периоды													
1981-2010	-7,7	-8,5	-3,2	7,1	16,6	20,9	23,1	19,6	12,1	5,1	-2,1	-6,2	7,0
1961-1990	-10,2	-9,1	-3,5	6,3	16,1	20,7	21,6	19	11,9	4,5	-1,8	-6,7	5,7
Мин. 1954-2014	-19	-19	-10	1	10	15	18	12	8	-2	-9	-14	4
	1987	1956	1963	1955	1980	2003	1956	1965	1993	1976	1993	1978	> 3 лет
Мак. 1954-2014	0	-2	3	12	22	27	33	24	15	8	3	0	8
	1954	1990, 2002	2007	2000	1979	1999	2010	2010	2009	2008	1996, 2013	2006	2008
d1 *	1,7	4,5	3,2	-1,1	0,4	1,1	-1,1	2,4	2,9	-1,1	2,1	5,2	1,1
d2 *	4,2	5,1	3,5	-0,3	0,9	1,3	0,4	3	3,1	-0,5	1,8	5,7	2,4

** Примечание: d1- аномалия от нормы 1981-2010; d2 - аномалия от нормы 1961-2090*

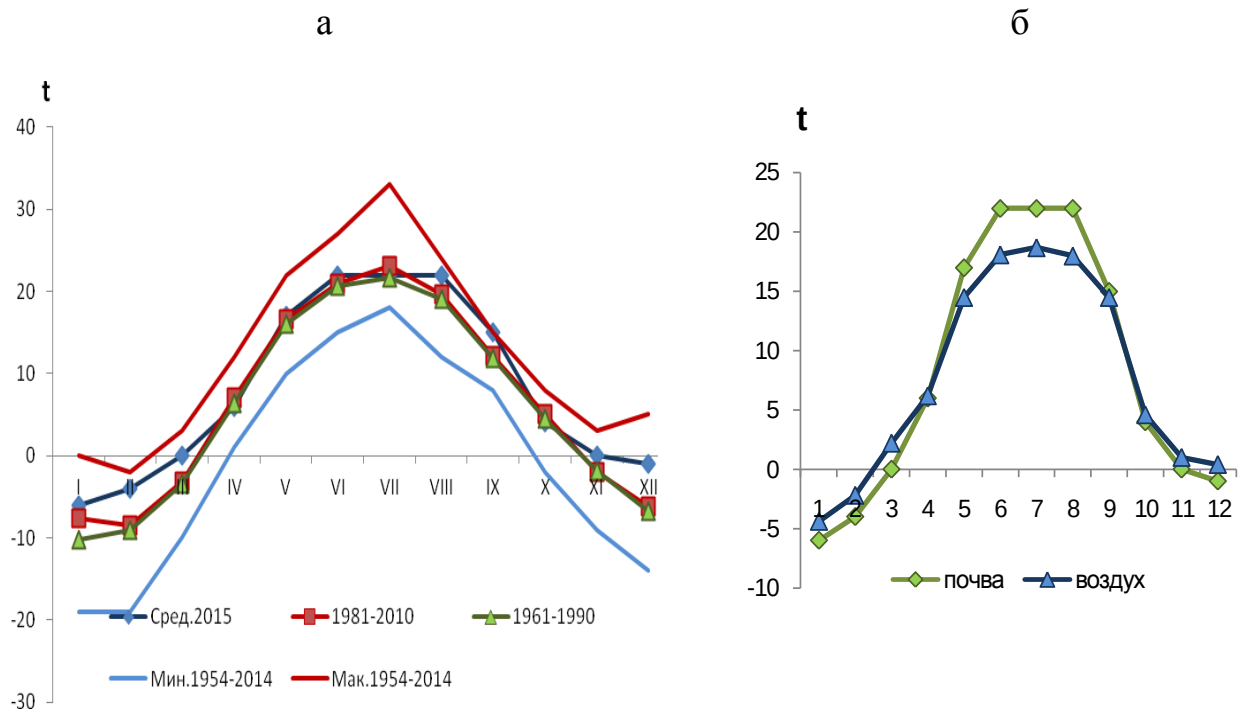


Рисунок 3.2- Годовой ход температуры: а- почвы в 2015 году, в периоды 1961-1990 гг. и 1981-2010 гг., б - почвы и воздуха в 2015 году

Характер изменения температуры почвы на разных глубинах в течение года оказывается различным. Летом температура почвы понижается с глубиной, зимой повышается. Переход с летнего режима на зимней и наоборот в 2015 году произошел в апреле и октябре как на участке с естественным покровом, так и на открытом (табл.3.3, рис.3.3).

Надо отметить тот факт, что на участке под естественным покровом ни на одной глубине в течение всего года не наблюдались отрицательные температуры почвы. На открытом участке отрицательные температуры отмечены в январе и феврале. В марте на нем зафиксирован характерный для весны профиль температуры, когда между более теплыми слоями сверху и снизу находится холодная прослойка. В таблице 2.4, приведенной ранее в работе (Эколого-климатические характеристики…, 2014) добавлены значения температур на разных глубинах в 2015 году. Очевидно, что температурный режим грунта в 2015 году не стал рекордным, но среднегодовые значения температуры грунта на всех глубинах на обоих участках превысили соответствующие средние многолетние значения.

Таблица 3.3- Средние месячные температуры грунта в 2015 г.

см	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ГОД
Участок под естественным покровом													
20	0,2	0,3	1,6	4,7	12,4	16,8	17,8	17,2	14,4	7,4	3,7	2,1	8,2
40	0,8	0,8	1,8	4,2	11,3	15,7	16,8	16,7	14,5	8,6	4,7	2,8	8,2
60	1,5	1,4	1,8	4,0	10,3	14,9	16,1	16,4	14,5	9,6	5,8	3,7	8,3
80	2,2	1,9	2,1	3,8	9,2	13,7	15,2	15,8	14,3	10,4	6,6	4,5	8,3
120	3,1	2,8	2,6	3,7	7,8	12,1	13,9	14,8	13,8	11,0	7,5	5,3	8,2
160	4,1	3,6	3,3	3,8	6,8	10,5	12,5	13,7	13,3	11,5	8,5	6,3	8,2
240	5,8	5,1	4,6	4,5	6,1	8,9	10,9	12,3	12,6	11,9	9,8	7,9	8,4
320	6,8	6,0	5,3	5,1	5,8	7,7	9,5	10,9	11,6	11,4	10,1	8,6	8,2
Участок под оголенной поверхностью													
20	-4,3	-2,3	0,3	4,3	14,2	20,0	20,3	20,5	14,8	5,7	2,2	0,9	8,1
40	-4,1	-2,1	0,5	4,1	13,8	19,7	20,1	20,3	14,8	5,9	2,4	1,1	8,0
60	-1,3	-1,5	-0,2	2,5	11,4	17,4	18,3	18,8	14,7	7,7	3,9	2,3	7,8
80	-0,4	-0,9	-0,1	2,3	10,8	16,8	18,0	18,6	14,9	8,6	4,6	2,9	8,0
120	2,0	1,0	0,9	2,1	8,3	14,2	16,3	17,3	15,2	11,0	6,9	4,9	8,3
160	3,3	2,2	1,9	2,4	7,3	12,6	15,1	16,4	15,1	12,0	8,2	6,1	8,5
240	6,7	5,5	4,8	4,5	6,3	10,0	12,8	14,3	14,5	13,4	11,1	9,1	9,4
320	8,6	7,5	6,7	6,1	6,9	9,3	11,8	13,3	14,0	13,6	12,1	10,5	10,0

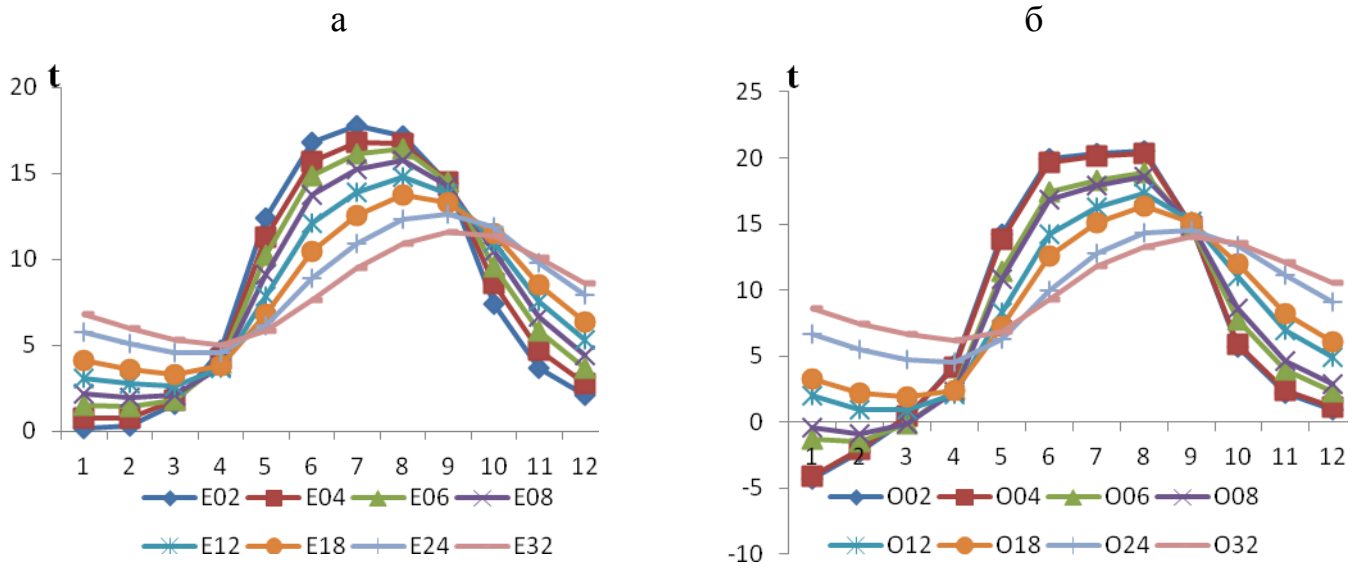


Рис. 3.3-Годовой ход температур на различных глубинах: а - участок с естественным покровом; б- участок под оголенной поверхностью

Таблица 3.4- Среднегодовая температура грунта в 2015 г и в среднем за периоды 1955–2013 гг., 1961–1990 гг., 2000–2013 гг.

	Участок под естественным покровом						Участок под оголенной поверхностью					
Глубина, см	1955-2013	1961-1990	2000-2013	2013	2014	2015	1955-2013	1961-1990	2000-2013	2013	2014	2015
20	7,7	7,5	8,4	9,4	8,5	8,2	6,7	6,3	7,8	7,9	8,4	8,1
40	7,7	7,5	8,3	8,9	8,3	8,2	6,7	6,4	7,8	7,7	8,5	8,0
60	7,6	7,5	8,2	8,8	8,3	8,3	6,7	6,4	7,6	7,6	8,2	7,8
80	7,6	7,5	8,2	8,8	8,4	8,3	6,8	6,5	7,8	7,7	8,4	8,0
120	7,6	7,5	8,2	8,8	8,4	8,2	7,0	6,7	8,1	7,8	8,8	8,3
160	7,6	7,6	8,3	8,8	8,5	8,2	7,5	7,4	8,4	8,1	9,1	8,5
240	7,6	7,5	8,2	8,8	8,7	8,4	8,1	7,7	9,3	8,9	9,8	9,4
320	7,5	7,5	8,2	8,7	8,6	8,2	8,8	8,7	9,9	9,7	10,4	10,0

Влияние растительного и снежного покрова сказывается и на суточном, и на годовом ходе. Летом и днем почва под растительным покровом всегда холоднее на всех глубинах, ночью уменьшается излучение с поверхности, т.е. уменьшается суточная амплитуда. Зимой основную роль играет снежный покров. В результате температуры поверхности почвы под снегом всегда выше температуры оголенной поверхности. Снег предохраняет почву от глубокого промерзания (см. рис.3.3, рис.3.4). Летом температура почвы на глубинах под оголенной поверхностью выше, чем на участке с естественным покровом, зимой она ниже (см. табл.3.3).

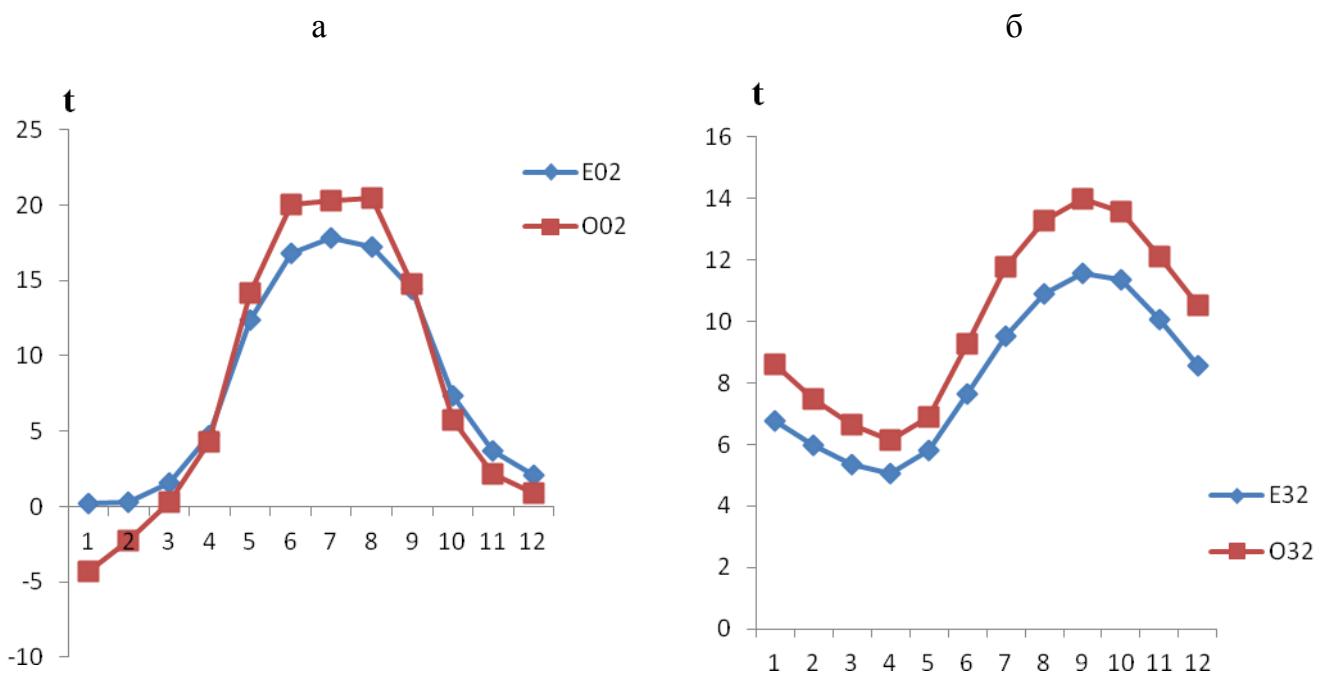


Рис. 3.4- Годовой ход на открытом участке и участке с естественным покровом: а-20см, б-320 см

Влияние состояния подстилающей поверхности уменьшается с глубиной, наибольшая годовая амплитуда и разница амплитуд между температурой на открытом участке и участке под естественным покровом отмечена на 20 см (амплитуда на открытом участке – 24,6°С, на участке с естественным покровом – 17,7°С); на глубине 320 см температура под оголенной поверхностью выше в течение всего года (амплитуда на открытом участке – 6,5°С, на участке с естественным покровом – 7,1°С) (см. рис.3.4).

Итак, 2015 год по данным температуры воздуха и температуры поверхности почвы стал самым теплым годом за весь период наблюдений в МО МГУ, температурный режим на различных глубинах почвы выше средних, но температуры на всех уровнях не превысили соответствующих значений в 2013 и 2014 годах. Такое соотношение температур в воздухе на поверхности и глубине почвы в 2015 году, а так же значительное повышение температур в холодный период года, может свидетельствовать о большей роли циркуляционных факторов в формирование положительной аномалии средней годовой температуры.

Литература

Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2013 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ. 2014. Под редакцией Н.Е.Чубаровой. МАКС Пресс Москва, 168 с.

Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2014 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ. 2015. Под редакцией О.А. Шиловцевой и Е.И.Незваль. МАКС Пресс, Москва, 235 с.

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

Корнева И.А., Локощенко М.А. Температура почвы и грунта в Москве и её современные изменения. М., Метеорология и гидрология, 2015, № 1, стр.38-50.

4. Промерзание и оттаивание почвы и грунта

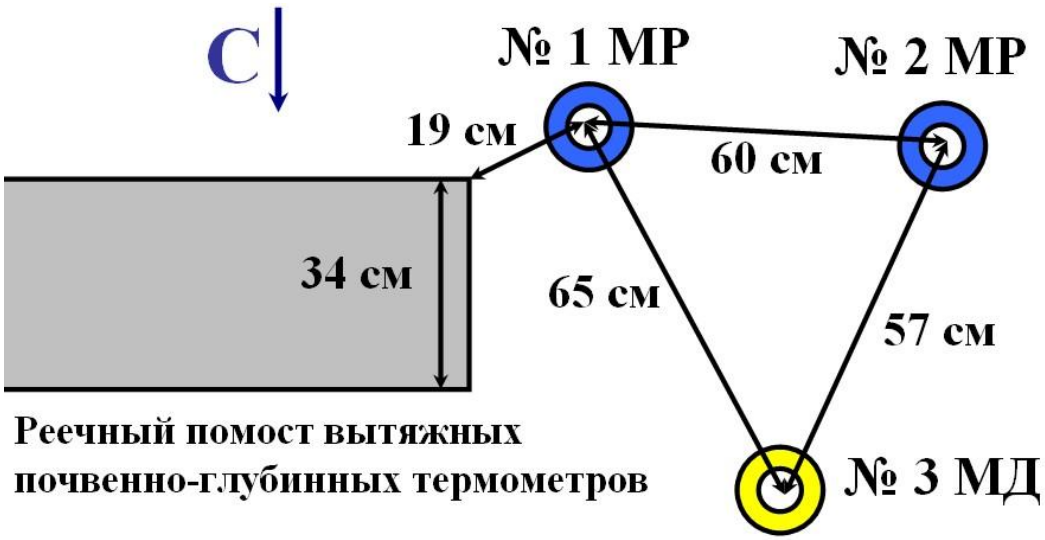
Локощенко М.А.

4.1 – Методические вопросы и схема установки мерзлотомеров в МГУ.

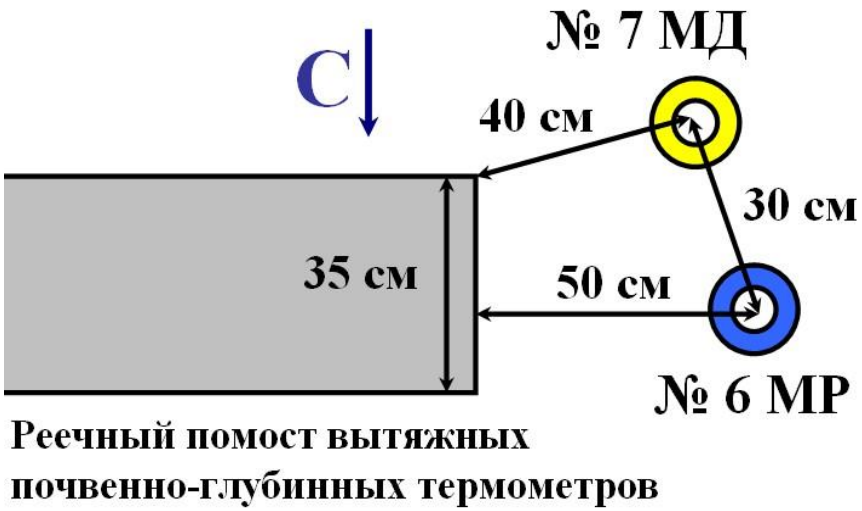
Наблюдения за промерзанием и оттаиванием грунта производятся в Метеорологической обсерватории МГУ вот уже более шестидесяти лет, с самого момента её основания. Здесь используются мерзлотомеры систем как Ратомского (МР), так и Данилина (МД), хотя лишь последние стандартизованы и рекомендованы для наземной метеорологической сети Наставлениями Госкомгидромета СССР (ныне – Росгидромета). Данный вид наблюдений производится в МГУ одновременно на двух участках: под естественным покровом и на специальном участке под обнажённой поверхностью площадью 12×20 $м^2$ – одном из двух в России (помимо станции ОГМС Иркутск) и единственном в её европейской части. Как уже отмечено автором в прежних сборниках трудов Обсерватории в 2000-2001 и в 2010-2014 гг., опорными приборами в Метеорологической обсерватории МГУ традиционно считаются мерзлотомеры системы Ратомского, представляющие собой металлические трубки, наполняемые влажной глиной.

В разные годы общее число действовавших в Обсерватории мерзлотомеров составляло от двух (с небольшими перерывами, когда их становилось больше, – с 1984 по 1997 гг.) до двенадцати (например, в 1975 г.). В конце 1990-х годов программа наблюдений за промерзанием и оттаиванием почвы и грунта вновь была расширена, и число мерзлотомеров обеих систем увеличено до семи. Вплоть до 2003 года здесь ещё использовались все семь мерзлотомеров: два – на действующем участке под естественным покровом, два – на прежнем («старом») участке под естественным покровом, где измерения температуры грунта велись с 1954 до 1964 гг., и ещё три – на участке под обнажённой поверхностью. Старый участок под естественным покровом находится в 10 м восточнее обнажённой поверхности; новый – в 50 м к северо-востоку от него. Затем число мерзлотомеров сократилось до шести: на старом участке под естественным покровом остался лишь один из двух приборов – мерзлотомер Данилина старой конструкции МД-50 № 5; наблюдения по мерзлотомеру Ратомского № 4 были там прекращены. Начиная же с 2008 года, в связи с поломкой прибора № 5, наблюдения ведутся только на двух участках с помощью пяти мерзлотомеров: трёх – на участке под обнажённой поверхностью и двух – на действующем участке под естественным покровом.

На рис. 4.1 приведена схема используемых ныне мерзлотомеров в Обсерватории на обоих участках, неизменная с конца прошлого века. Как видим, все приборы установлены



а) участок под обнажённой поверхностью;



б) участок под естественным покровом

Рисунок 4.1. Схема расположения действующих мерзлотомеров
в Метеорологической обсерватории МГУ.

в непосредственной близи от реечных помостов обеих линий вытяжных почвенно-глубинных термометров ТПВ-50 для удобства измерений. Очевидно, что на участке под естественным покровом измерения производятся зимой непосредственно с реечного помоста во избежание нарушения снежного покрова. На участке же под обнажённой

(оголённой) поверхностью наблюдатель может подходить к приборам и с другой стороны. Мерзлотомеры здесь представляют собой точки в концах почти равностороннего треугольника. Опорными значениями, заносимыми в основную базу данных Обсерватории, считаются показания мерзлотомеров Ратомского №№ 1 и 6 – соответственно на участках под оголённой поверхностью и под естественным покровом. Наряду с этими опорными приборами, под оголённой поверхностью используется также ещё один «запасной» прибор МР № 2, полностью идентичный опорному. Помимо этого, измерения на обоих участках производятся также с использованием мерзлотомеров № 3 и № 7 системы Данилина, представляющих собой полиэтиленовые (в старой версии этого прибора МД-50 – резиновые) трубки, заполненные дистиллированной водой. Промерзание как физическое явление с учётом солёности почвенных вод более точно отражают приборы МР; приборы же МД, вообще говоря, показывают уровень нулевой изотермы. Однако, как показывает практика, показатели эти весьма близки и разности отсчётов по мерзлотомерам обеих систем обычно невелики. Отсчёты всех глубин промерзания и оттаивания (когда они есть) производятся ежедневно в дневной срок наблюдений с точностью до ±1 см в течение всего холодного и переходных сезонов года.

4.2 – Промерзание под обнажённой поверхностью.

Первый заморозок в холодном сезоне 2014-2015 гг. был отмечен по станции МГУ 2 и 3 октября, причём только на поверхности почвы: наименьшая её температура T_{min} 2/X составила –2,2 ˚C. Вторая волна холода пришла в столицу 6-9 октября, на этот раз ночью 7-го числа наблюдался уже первый заморозок в воздухе с T_{min} = –0,9 ˚C. Восьмого октября температура поверхности опустилась под утро даже до –11,0 ˚C, однако днём возросла уже до +17,0 ˚C, так что промерзания не возникло. Следующие по счёту утренники отмечались с 17 по 27 октября, однако в середине дня, вплоть до 21-го числа, температура каждый раз хотя бы ненадолго становилась положительной, и промерзания всё ещё не наблюдалось. Первым по-настоящему морозным днём явилось 23 октября, когда наименьшая температура T_{min} воздуха и поверхности составила соответственно –11,3˚C и –11,0˚C, и даже наибольшая температура воздуха T_{max} оказалась равной лишь –6,0˚C. Именно в этот день в МГУ и началось сезонное промерзание почвы и грунта.

На рисунке 4.2 показаны все отсчёты, полученные на участке под обнажённой поверхностью. Помимо них, для большей наглядности анализа здесь добавлены также

условные нулевые значения накануне начала каждого из трёх эпизодов промерзания, начала каждого из эпизодов оттаивания, а также после завершения оттаивания, если оно не приводило к исчезновению промерзания (то есть если глубины промерзания и оттаивания не сливались друг с другом). Как видим, промерзание на участке под обнажённой поверхностью по данным обоих мерзлотомеров Ратомского наблюдалось в холодном сезоне 2014-2015 гг. трижды. Впервые оно было отмечено по всем трём приборам 23 октября, причём на опорном мерзлотомере № 1 составило сразу 23 см. Так бывает, если похолодание происходит быстро, хотя всегда существует опасность пропуска даты начала промерзания.

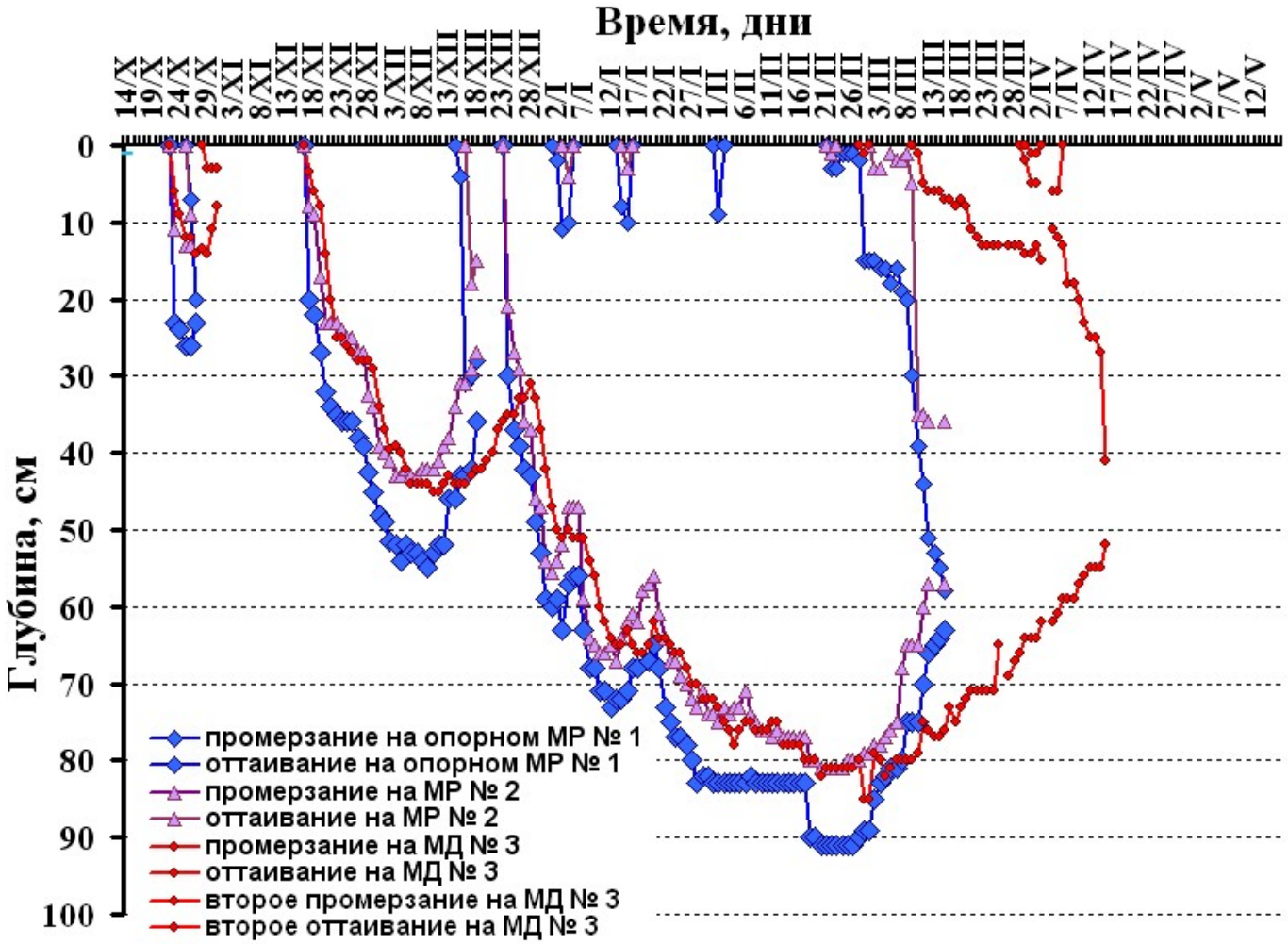


Рисунок 4.2 – Ход глубин промерзания и оттаивания грунта в холодном сезоне 2014-2015 гг. на участке под обнажённой поверхностью. Москва, МГУ.

Заметим, что температура поверхности почвы стала устойчиво отрицательной лишь ночью 22 октября, так что промерзание никак не могло образоваться ранее этого дня.

Первое промерзание по данным опорного мерзлотомера № 1 продержалось пять дней, вплоть до 27 октября. С началом очередного потепления 26/X, как только температура поверхности превысила днём значение +1˚С, в показаниях обоих мерзлотомеров Ратомского №№ 1 и 2 уже проявилось оттаивание, а на следующий день промерзание было отмечено лишь в тонком слое между 20 и 23 см, и только по данным опорного МР № 1. Третий прибор МД № 3 в силу большей тепловой инерции столба воды в полиэтиленовой трубке показал начало оттаивания лишь 29 октября, когда по данным обоих мерзлотомеров Ратомского промерзания уже не было вовсе, а само промерзание (слой льда в трубке) отмечалось на нём вплоть до 31 октября.

Затем, в условиях очень тёплой погоды в продолжение всей первой половины ноября (температура воздуха и поверхности 8-го ноября достигла даже соответственно +8,6 и +8,5˚С), промерзания не было. Лишь 17 ноября, на следующий день после наступления устойчивых морозов с отрицательными температурами, промерзание появилось снова по данным всех трёх приборов, и глубина его составила 20 см по опорному прибору № 1. В дальнейшем, вплоть до конца 1-й декады декабря, она устойчиво росла, достигнув 55 см 9-го декабря по данным МР №1 (и 43 см с 3-го по 7-е декабря по данным МР № 2). После этого, однако, морозы пошли на убыль, а с 13-го декабря началась сильная десятидневная оттепель (см. раздел 6). Как следствие, глубина промерзания вследствие притока тепла из глубин начала уменьшаться, а 15 декабря на опорном приборе (17 декабря на запасном № 2) уже появилось оттаивание. Три дня спустя, 18-го числа, промерзание сохранялось лишь в слое от 28 до 36 см по данным МР № 1 (и в слое от 15 до 27 см по данным МР № 2). На следующий же день, 19 декабря, оба прибора уже нигде не показывали промерзания.

Только по завершении этой оттепели, 24 декабря, промерзание образовалось в третий раз, и на этот раз стало уже устойчивым. Заметим здесь качественное отличие данных о промерзании по показаниям мерзлотомеров Ратомского и Данилина. Последний не показал в середине декабря ни исчезновения промерзания, ни даже начала оттаивания, так что по данным МД № 3 устойчивое промерзание было лишь вторым по счёту в сезоне и началось ещё 17 ноября. Похолодание в третьей декаде декабря развивалось стремительно: если 23-го числа среднесуточная температура воздуха составляла ещё

–0,4˚С, то 24-го –4,7 ˚С, а 25-го – уже –8,3 ˚С. Как следствие, первые отсчёты глубины промерзания 24 декабря составили уже 30, 21 и 35 см соответственно по данным приборов №№ 1, 2 и 3. Затем, вплоть до конца февраля, глубина в целом устойчиво возрастала, хотя рост её не был монотонным. Трижды во время оттепелей – со 2-по 4-е января, с 14-го по 15-е января и 1-го февраля – на опорном мерзлотомере отмечалось небольшое оттаивание (в слое приблизительно до 10 см). Интересно заметить, что первые две оттепели находили отклик не только в появлении оттаивания вблизи поверхности, но и в уменьшении глубины промерзания: с 60 до 56 и с 73 до 65 см. Однако на третий раз в начале февраля промерзание оказалось уже столь глубоким (82-83 см), что новая оттепель не привела к уменьшению этой глубины.

Наибольшая в сезоне глубина промерзания по данным опорного мерзлотомера составила 91 см с 20 по 26 февраля; по данным МР № 2 – 81 см с 21 по 24 февраля; по данным МД № 3 – 85 см немногим позднее (28 февраля и 1 марта). В это же время, 22 февраля, по данным обоих приборов системы Ратомского впервые появилось окончательное оттаивание поверх устойчивого промерзания, оказавшееся по показаниям МР № 1 уже непрерывным до самого конца. В дальнейшем, как это обычно и бывает весной, глубина промерзания начала уменьшаться, а глубина оттаивания – расти, делая слой с устойчивым промерзанием всё более узким. Последние в этом сезоне отсчёты были получены на опорном мерзлотомере 15 марта, когда промёрзшим оставался только промежуток с 58 до 63 см. На следующий день, 16 марта, промерзания уже не было, так что датой исчезновения промерзания под обнажённой поверхностью следует считать 16 марта.

По данным запасного мерзлотомера № 2 промерзание исчезло в тот же самый день (16 марта); накануне последние отсчёты обеих глубин составили 36 и 57 см. По данным же мерзлотомера системы Данилина оттаивание началось существенно позднее, только 10 марта. Последние же отсчёты глубин промерзания и оттаивания составили соответственно здесь 52 и 41 см лишь 14 апреля. Таким образом, дата окончательного исчезновения промерзания (15 апреля) по данным МД № 3 наступила почти на целый месяц позже по сравнению с обоими приборами МР.

Интересно отметить, что, по данным мерзлотомера Данилина, два раза – с 30 марта по 1 апреля и с 4 по 5 апреля – поверх оттаивания основного слоя с устойчивым промерзанием возникал второй слой с промерзанием. Это происходило при временных

кратковременных похолоданиях на фоне общего потепления и установлении слабоотрицательных значений температуры поверхности почвы. В первый раз глубина второго промёрзшего слоя составила 5 см, во второй раз – 6 см. Более того, 31 марта и 1 апреля, поверх второго слоя промерзания было отмечено также и второе оттаивание в предельно тонком слое мощностью лишь 1 см.

Не совсем очевидно, наблюдалось ли в действительности второе оттаивание. В рукописных записях результатов наблюдений за промерзанием глубина его 31 марта и 01 апреля отмечена оба раза в виде «1–5; 14–64», а глубина оттаивания – соответственно «6–13» и «5–12». Однако, по свидетельству старшего наблюдателя, некоторые наши наблюдатели могут обозначать цифрой «1» наличие промерзания непосредственно от поверхности, то есть путают единицу с нулём. Правда, в другие дни – например, 04 апреля – границы горизонта почвы с промерзанием указаны уже с обозначением нуля: «0–6; 11-52». Это даёт основание предположить, что второй слой оттаивания на рубеже марта и апреля всё-таки был. В пользу этого говорит и положительная температура поверхности почвы в дневные сроки 31/III и 1/IV: соответственно +1,9 и +0,7 ˚С. Но тогда остаётся неясным, почему в графе оттаивания за эти дни не указаны оба диапазона: «0–1; 6–13» и «0–1; 5–12»? Нельзя исключить также наличие в верхнем первом сантиметре полиэтиленовой трубки воздушного пузыря вследствие небольшой утечки воды, при котором продавливание стенок трубки пальцами и осязательное ощущение пустоты ошибочно принимается наблюдателем за оттаявший слой воды. Как бы то ни было, наблюдение одновременно сразу трёх или даже четырёх глубин при наличии одного под другим двух слоёв промерзания и двух слоёв оттаивания является интересной дополнительной особенностью динамики сезонного промерзания.

Заметим, что разности значений глубины промерзания по данным отдельных мерзлотомеров оказались в этом году довольно велики. Так, в среднем за весь холодный сезон глубина промерзания на опорном приборе № 1 была на целых 8,3 см больше, чем на запасном приборе № 2, и на 7,3 см больше, чем на дополнительном приборе № 3. Аналогичная разность по данным приборов № 2 и № 3 составила –1,2 см. Если при сравнении мерзлотомеров разных систем систематическое смещение оценок неудивительно в силу различной инерции приборов, то идентичные мерзлотомеры № 1 и № 2 должны показывать близкие значения. Примечательно также, что в 2011-2013 гг. средняя разность их показаний составляла лишь от 2 до 5 см, и лишь в последние два года

заметно возросла. Причинами различий в оценках глубины промерзания могут быть либо смещения места нуля вследствие возможного выпучивания трубок из грунта, либо нарушения теплоизоляции (недостаточно плотное войлочное кольцо на одном из приборов).

На рисунке 4.3 результаты измерений опорным мерзлотомером № 1 показаны в сравнении со среднемноголетними данными. Как видим, первый эпизод с промерзанием наблюдался раньше обычного времени. Во второй раз, с середины ноября до середины декабря, промерзание также оказалось более глубоким, нежели в среднем за несколько десятилетий. Однако впоследствии глубина слоя с устойчивым промерзанием всегда была меньше, чем её среднемноголетние значения. Если вплоть до начала февраля эта разность составляла около 20 см, то к середине марта возросла уже до 60 см. Исчезновение промерзания также произошло на целый месяц раньше обычной даты этого события. Очевидной причиной сравнительно неглубокого и недолгого промерзания под обнажённой поверхностью в сезоне 2014-2015 гг. явилась очень тёплая зима с превышением среднемесячных значений температуры всех зимних месяцев, а также марта по сравнению с климатической нормой.

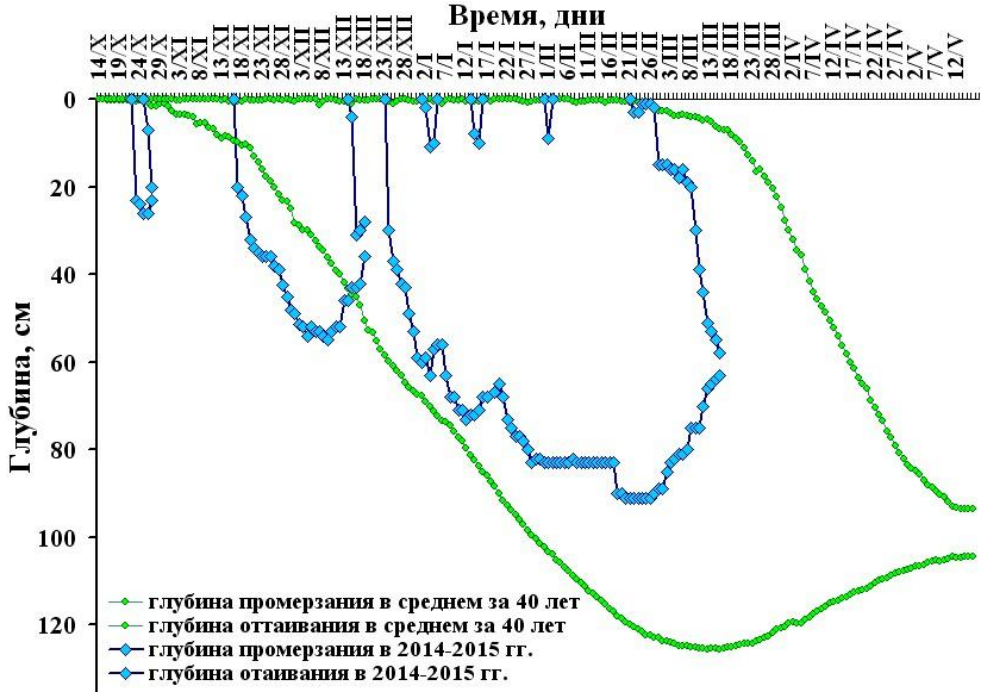


Рисунок 4.3 – Глубины промерзания и оттаивания грунта в 2014-2015 гг. в сравнении со среднемноголетними (за период 1961-2001 гг.) значениями по данным опорного мерзлотомера Ратомского № 1 на обнажённом участке. Москва, МГУ.

4.3 – Промерзание под естественным покровом.

Как известно, под естественным покровом промерзание обычно неустойчиво, существует нерегулярно и недолго. Помимо температурного режима, оно обусловлено также наличием и высотой снежного покрова, поэтому промерзание под естественным покровом возникает, как правило, позже (вследствие теплоизолирующей роли травостоя и дернины) и исчезает намного раньше, нежели под оголёнными поверхностями, очищаемыми от снега. В холодном сезоне 2014-2015 гг. промерзание на участке под естественным покровом (рис. 4.4) впервые было отмечено 20 ноября по опорному мерзлотомеру Ратомского № 6, а за день до этого, 19 ноября – по дополнительному мерзлотомеру Данилина № 7. Исчезло оно по данным МР 14 декабря, так что время его непрерывного существования составило 25 дней. Именно этот первый эпизод промерзания можно условно считать основным и устойчивым промерзанием в холодном сезоне, поскольку в это время, 3-го и 4-го декабря, была отмечена наибольшая его глубина: 30 см.

Во время сильной десятидневной оттепели в середине декабря промерзания не было; вновь оно появилось 25 декабря и отмечалось вплоть до 2 января. В этот второй раз промерзание было неглубоким, наибольшая глубина составила лишь 19 см. Новая оттепель привела к его исчезновению – впрочем, недолгому. Уже 5 января промерзание возникло в третий раз и просуществовало до 13 января; седьмого числа его глубина возросла до 25 см.

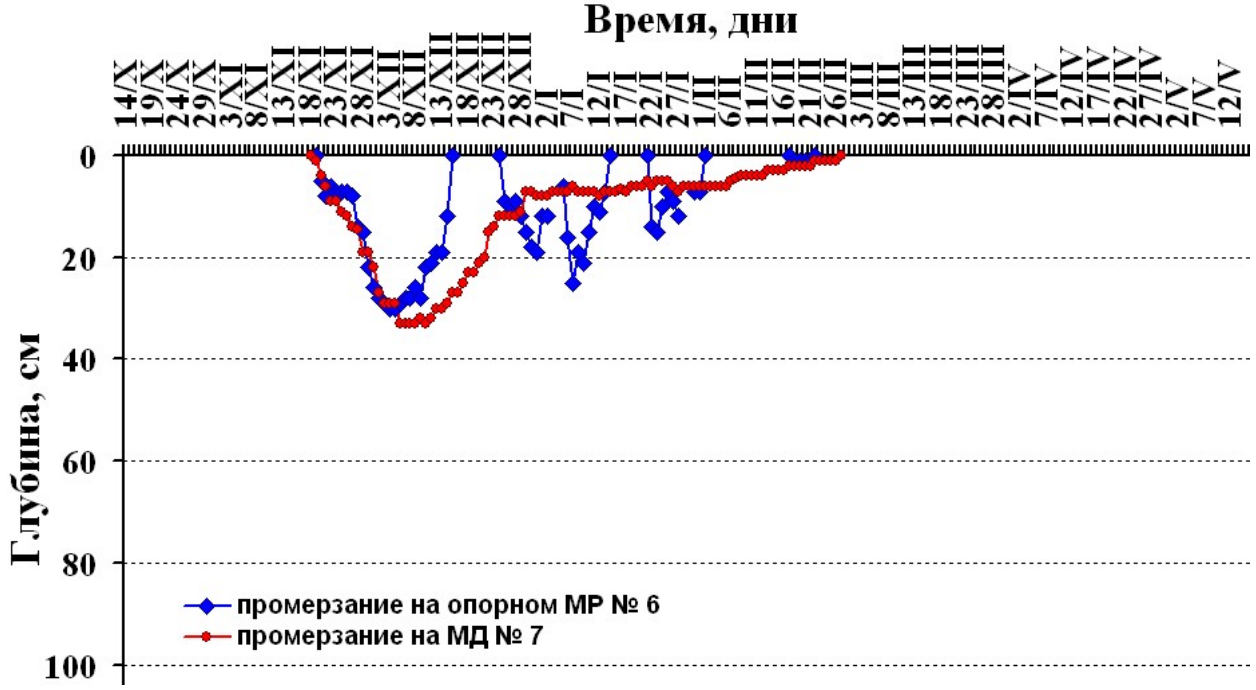


Рисунок 4.4 – Ход глубин промерзания и оттаивания грунта в 2014-2015 гг. по данным обоих мерзлотомеров на участке под естественным покровом. Москва, МГУ.

Неслучайно именно 6-е и 7-е января оказались самыми морозными днями этой зимы со среднесуточной температурой –17,9 ˚С и с наименьшей температурой 7/I даже –19,9 ˚С. Новая оттепель во второй декаде января привела к исчезновению промерзания в третий раз. Впоследствии промерзание ненадолго возникало под естественным покровом ещё трижды: с 22 по 27 января, с 30 по 31 января и с 18 по 21 февраля. Однако с каждым разом оно становилось всё более мелким: наибольшая глубина четвёртого в сезоне промерзания достигла только 15 см, пятого – 7 см, а последнее шестое все четыре дня было представлено лишь предельно малой глубиной 1 см.

В отличие от данных опорного прибора МР № 6, мерзлотомер Данилина № 7 показывал непрерывное промерзание в продолжение почти всей зимы – в период с 19 ноября до 26 февраля. Наибольшая глубина по этим данным составила 33 см в течение пяти дней: с 5 по 8 декабря, а также 10 декабря; условной средней датой её достижения можно считать 7 декабря. Затем слой с промерзанием начал постепенно сокращаться и постепенно сошёл на нет. В силу сравнительно малых значений глубины промерзания оттаивание не было отмечено ни на одном из двух приборов. Обращает на себя внимание очень близкое соответствие глубин промерзания по данным мерзлотомеров обеих систем в начале сезона, вплоть до 4 декабря. Лишь впоследствии в их показаниях проявились заметные различия: меньшие значения глубины промерзания по данным МР по сравнению с данными МД при оттепелях и бóльшие – при установлении морозов. Рисунок 3.4, таким образом, наглядно отражает существенно бóльшую чувствительность мерзлотомера Ратомского к текущим погодным условиям и более быстрый отклик глубины промерзания по его данным на изменения температуры воздуха. Показания же мерзлотомера Данилина значительно более инерционны вследствие неизбежного запаздывания образования и таяния столба льда в полиэтиленовой трубке.

4.4 – Общие выводы.

Отмеченные выше сведения о промерзании на обоих участках обобщены в Таблице 4.1. Как видно из неё, в целом промерзание в холодном сезоне 2014-2015 гг. оказалось сравнительно недолгим и неглубоким – прежде всего, вследствие очень тёплой зимы. Помимо прочего, сильные оттепели нередко приводили к образованию оттаявшего слоя и даже подчас к полному оттаиванию почвы и грунта: так, под обнажённой поверхностью

промерзание существовало по данным опорных приборов три раза, а под естественным покровом – шесть раз.

Вместе с тем следует отметить довольно долгое существование промерзания под естественным покровом по сравнению с предыдущими годами: оно отмечалось здесь в продолжение 55 дней по опорному мерзлотомеру Ратомского и 100 дней по дополнительному мерзлотомеру Данилина. На участке же под обнажённой поверхностью промерзание наблюдалось 118 и 156 дней соответственно по опорному и дополнительному мерзлотомерам. Поскольку один раз, 18 января, данные по опорному прибору были пропущены, очевидно, что в действительности промерзание существовало здесь 119 дней.

Таблица 4.1 – Основные показатели промерзания грунта в МГУ в 2014-2015 гг.

	Обнажённый участок		Участок под естественным покровом	
	Опорные данные (МР)	Дополнительные данные (МД)	Опорные данные (МР)	Дополнительные данные (МД)
Дата начала промерзания:	23 / X	23 / X	20 / XI	19 / XI
Дата начала устойчивого промерзания:	24 / XII	17 / XI	20 / XI	19 / XI
Дата достижения наибольшей глубины:	23 / II	28 / II	3 / XII	7 / XII
Наибольшая глубина, см:	91	85	30	33
Дата начала оттаивания:	15 / XII	28 / II	не было	не было
Дата начала устойчивого оттаивания:	22 / II	10 / III	не было	не было
Дата исчезновения устойчивого промерзания:	16 / III	15 / IV	15 / XII	27 / II
Дата окончательного исчезновения промерзания:	16 / III	15 / IV	22 / II	27 / II

Работа выполнялась при частичной поддержке проекта РФФИ № 14-05-00594.

5. Влажность воздуха и атмосферные осадки

Е.В.Горбаренко

Влажностью называют содержание в воздухе водяного пара, который является одной из важнейших составных частей атмосферы. Измерения параметров влажности производятся по приборам расположенным в психрометрической будке с помощью волосного гигрометра, а также рассчитывается по данным психрометрической установки. В непрерывном режиме ведутся наблюдения за относительной влажностью воздуха с помощью суточного гигрографа М-21М. Подробное описание приборов, методик определения параметров влажности и осадков дано на сайте МО МГУ (www.momsu.ru). В качестве характеристик влажности рассмотрим относительную влажность и парциальное давление водяного пара.

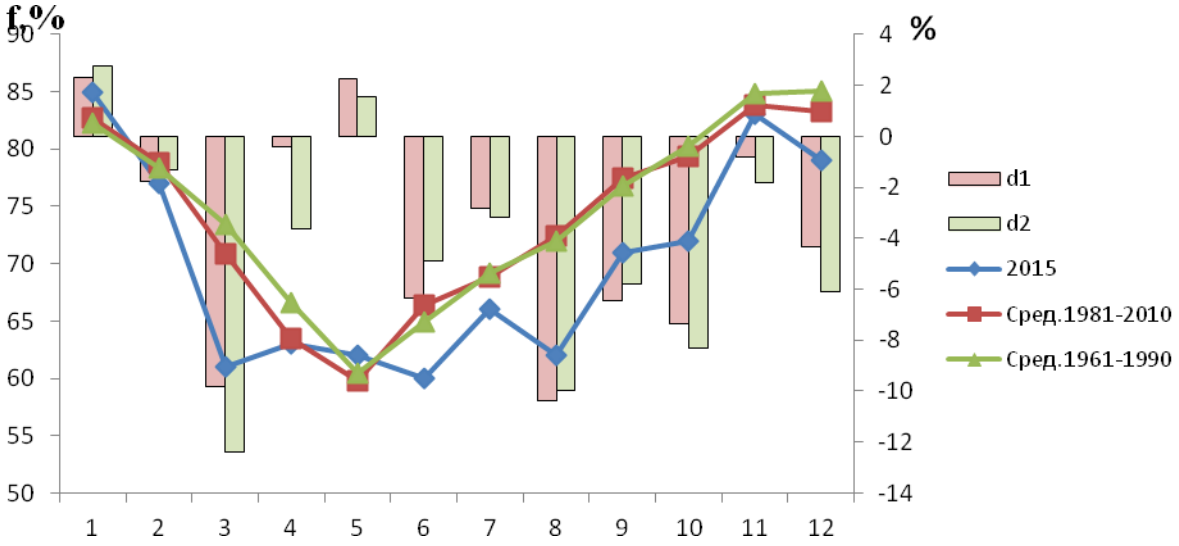
В годовом ходе средней месячной относительной влажности (f) для «исторической» и «текущей» норм с января по май происходит убывание, а с мая по декабрь – нарастание значений. По климатическим данным минимум относительной влажности приходится на май, максимум на декабрь (табл. 5.1, рис. 5.1а).

Таблица 5.1- Показатели влажности воздуха в 2015 году и за разные периоды осреднения

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
Относительная влажность, %													
2015	85	77	61	63	62	60	66	62	71	72	83	79	70
Сред.1981-2010	83	79	71	63	60	66	69	72	77	79	84	83	74
Сред.1961-1990	82	78	73	67	60	65	69	72	77	80	85	85	74
Мин. 1954-2014	72	69	62	46	50	52	52	55	66	70	75	78	68
год	1973	1969	2014	2014	2000	1999	2010	1972	1974	2014	2008	1998	2014
Мак.1954-2014	92	87	84	77	71	74	78	81	89	87	90	94	77
год	1960	1960	1966	1955	1974	1985 1997	1993	1960	2013	1970	2003	1960	1960 1962
d1*	2	-2	-10	0	2	-6	-3	-10	-6	-7	-1	-4	-4
d2*	3	-1	-12	-4	2	-5	-3	-10	-6	-8	-2	-6	-4
Парциальное давление водяного пара, гПа													
2015	4,1	4,2	4,3	5,8	10,2	12,4	14	12,5	11,4	6,2	5,6	5,2	8
Сред.1981-2010	3,4	3,2	4,1	6,2	9,0	12,8	14,8	13,7	10,4	7,3	4,9	3,7	7,8
Сред.1961-1990	2,9	2,9	3,9	6,2	9,1	12,1	14,5	13,6	9,9	7,1	5,0	3,7	7,6
Мин. 1954-2014	1,5	1,2	2,4	4,1	6,8	10,3	12,5	11,7	3,6	4,8	3	2	7
год	1987	1956	1963	2009	2000	1962	1992	2002	1970	1976	1993	2002	>3 лет
Мак.1954-2014	5,0	5,4	5,7	8,3	12,1	15,9	18,9	16,0	12,4	9,2	7,2	5,9	8,6
год	2007	1990	2007	2000	2013	1989	2001	2006	2006	2008	1996	2006	2013
d1*	0,7	1,0	0,2	-0,4	1,2	-0,4	-0,8	-1,2	1,0	-1,1	0,7	1,5	0,2
d2*	1,2	1,3	0,4	-0,4	1,1	0,3	-0,5	-1,1	1,5	-0,9	0,6	1,5	0,4

** Примечание: d1- аномалия от нормы 1981-2010; d2 - аномалия от нормы 1961-2090*

а



б

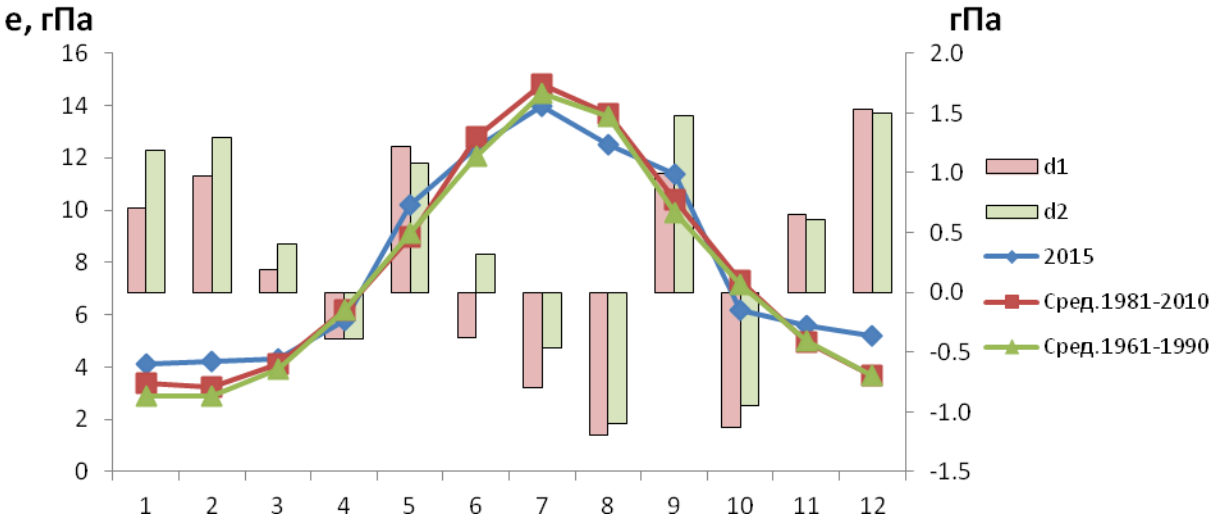


Рис.5.1- Годовой ход в 2015 и за период 1961-1990, 1981-2010 : а- относительной влажности, б-парциального давления водяного пара.

В 2015 году минимальное значение f отмечено в июне, а максимальное в январе. Такие особенности в годовом распределении влажности определяются особенностями температурного режима 2015 года. Относительная влажность в течение 10 месяцев года меньше норм, среднее годовое значение на 4% ниже климатических норм.

Важной характеристикой влажности для ощущений человека являются критериальные пределы: не более 30% и не менее 80%. Для человека относительная влажность воздуха 30-60% является гигиенической нормой. Воздух с относительной влажностью менее 30% оценивается как сухой, от 71 до 85% как умеренно-влажный, более 85% - как сильно-влажный

(Справочник …,2003). В 2015 году 40 дней была отмечена влажность воздуха <= 30%, наибольшие число дней (в среднем 10) отмечены в марте, апреле и мае, с ноября по февраль таких дней не было. Влажность >= 80% днем наблюдалась 79 дней в году наиболее часто (18 дней) в январе (рис. 5.2). Наиболее благоприятный период для самочувствия по этим критериям в 2015 году был с июня по сентябрь.

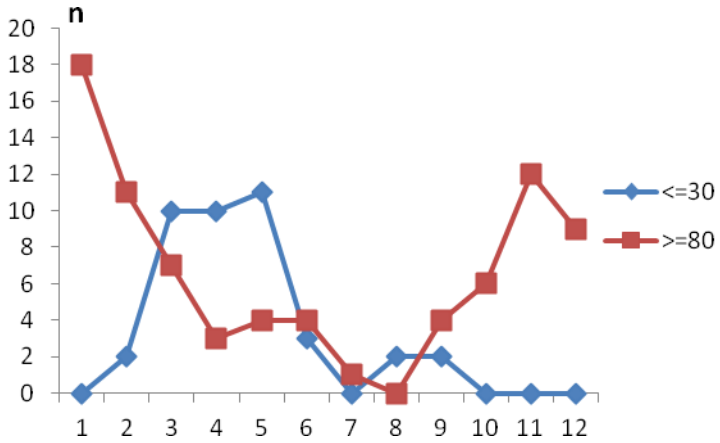


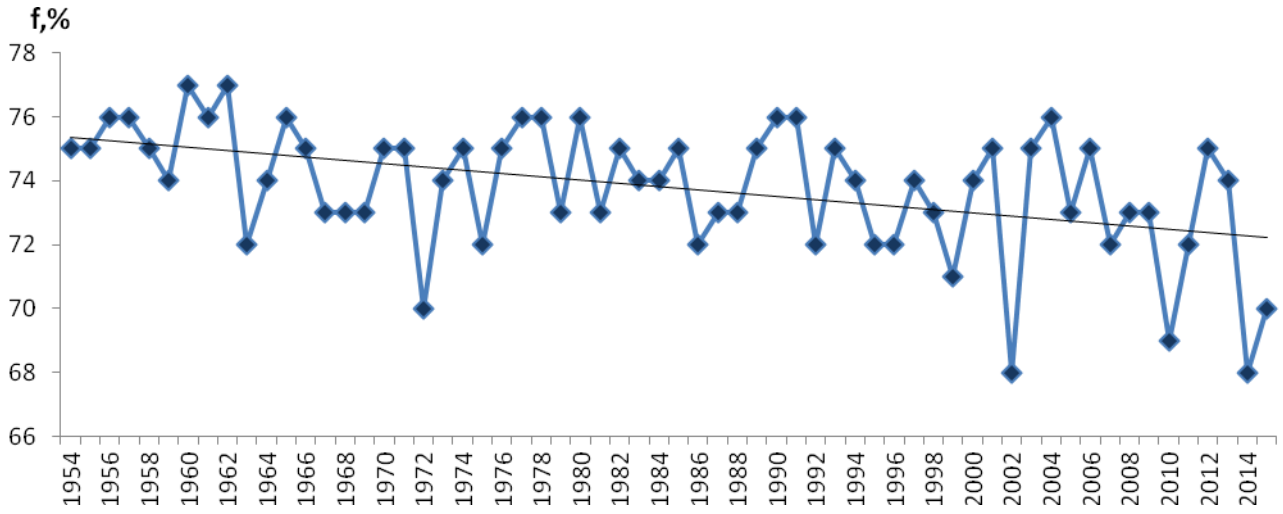
Рисунок 5.2 - Годовой ход числа дней с относительной влажностью <=30% и >=80%

Межгодовая изменчивость и многолетняя тенденция f противоположны многолетним изменениям температуры воздуха, средние годовые значения имеют тенденцию к уменьшению (рис.5.3а).

Годовой ход парциального давления водяного пара параллелен годовому ходу температуры (рис.5.1.а). Среднее месячное максимальное давление в 2015 году (14 гПа) приходится на самый теплый месяц – июль, среднее месячное минимальное (4.1 гПа) – на самый холодный месяц – январь. Экстремальные значения 2015 года отличаются от средних: минимальное выше норм, максимальное ниже (табл. 5.1), годовая амплитуда меньше норм.

По данным парциального давления водяного пара определяется важная характеристика влажности атмосферы - влагосодержание атмосферы (W). W рассчитывается на основании эмпирической зависимости между запасом воды в атмосфере, определённым аэрологическим методом, и упругостью водяного пара у земной поверхности (Евневич Т.В., 1967). Содержание водяного пара в атмосфере существенно влияет на энергетику и фотохимию атмосферы, процессы облакообразования, а также на прозрачность атмосферы. За рассматриваемый период отмечается положительный линейный тренд средних годовых значений W (рис.5.3б).

а



б

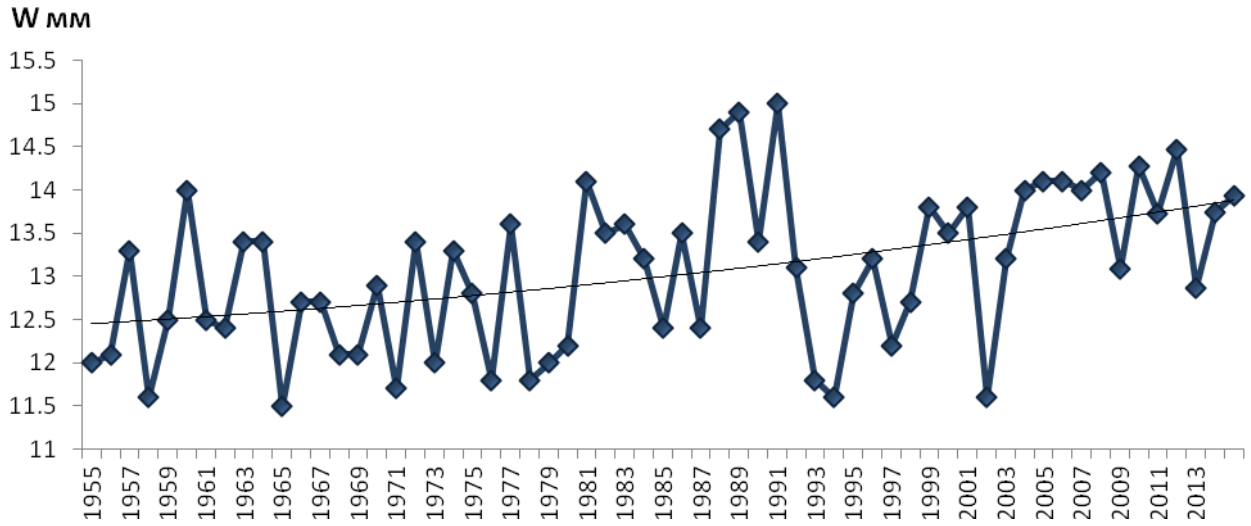


Рисунок 5.3- Межгодовая изменчивость: а- относительной влажности воздуха; б-общего влагосодержания атмосферы

В 2015 году выпало 735 мм осадков, что на 27 и 51 мм больше «текущей» и «исторической» нормы соответственно (табл. 5.2, рис. 5.4). По климатическим данным максимум осадков в Москве наблюдается в июле, минимум в марте. В 2015 году экстремальным стал май, в мае выпало максимальное месячное количество осадков в году -154,2 мм, это значение в три раза превысило климатические нормы и стало абсолютным максимумом в Москве с 1901 года. Данные экстремальных сумм осадков с 1901 заимствованы из научно-прикладного справочника по климату Москвы (Справочник…,

2003). В мае отмечена максимальная в году суточная сумма осадков -35,5 мм, а так же в этом месяце выпадали осадки в виде града. Град отмечен и в августе.

Таблица 3.2- Среднее, максимальное и минимальное количество осадков по месяцам и за год за 2015 год и различные периоды наблюдений

Период (годы)	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
а) Средняя месячная сумма осадков (мм)													
2015	60	41,1	19,3	49	**154,2**	82	86,9	29,3	94,2	23,3	39,2	56,5	735
1981-2010	53	43	38	39	47	83	79	79	69	69	56	53	708
1961-1990	43	36	35	44	50	77	91	78	62	57	56	55	684
б) Максимальная из сумм (мм)													
1901-2014	89	99	109	112	137,2	184	222	174	210,4	157	130	117	1015,8
Год*	2004	2001	1937	1903	2013	1942	1965	1953	2013	1952	1947	1981	2013
в) Минимальная из сумм (мм)													
1901-2014	7	2	7	7	2	6	7,4	1	8	1	12	8	383
Год*	1972	1984	1928	1906	1940	1951	2010	1938	1949	1987	1945	1938	1920

Количество осадков в летние месяцы, в связи повышенным влагосодержанием атмосферы в теплый сезон, превышает их значения в зимние месяцы в 1,5-2 раза. В августе 2015 года было сухо – осадков выпало более чем в два раза меньше нормы. Минимальное количество в годовом ходе – в марте. Продолжительность осадков зависит от характера их выпадения. В холодный период года преобладают длительные обложные дожди, в теплый чаще наблюдаются кратковременные осадки ливневого характера. Наиболее дождливым по климатическим данным в Москве является декабрь, в 2015 году – декабрь и январь, осадки разной продолжительностью отмечались в эти месяцы практически ежедневно. Минимум числа дней с осадками по климатическим данным отмечается в мае (11,4 дня), в прошедшем году в августе (12).

Общее число дней с осадками за год составило 233 дня, по климатическим данным 177дней. Таким образом, можно сказать, что 2015 год был дождливым.

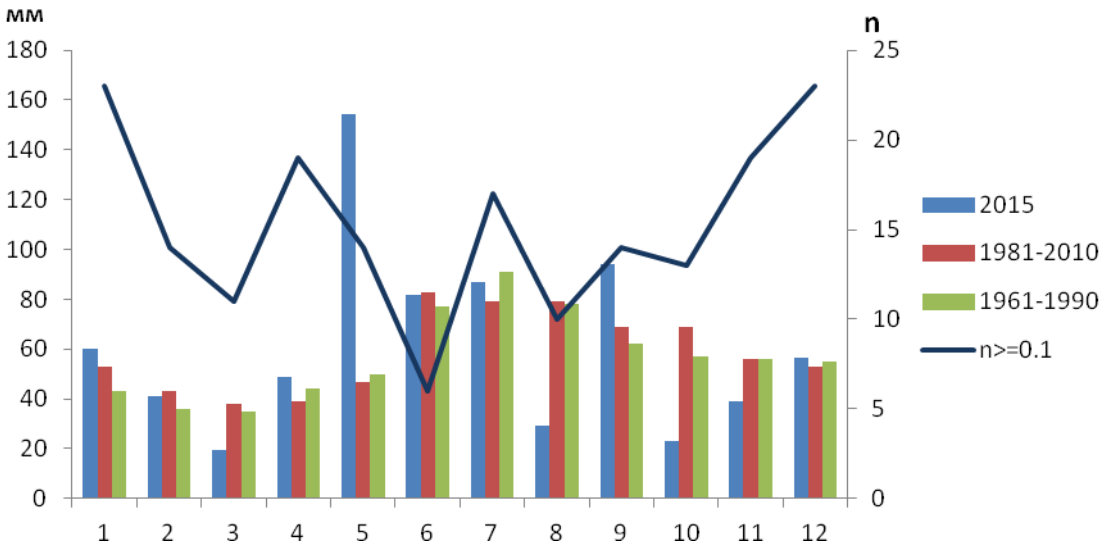


Рисунок 5.3- Среднемесячные суммы осадков за 2015 год, климатические нормы за периоды 1981-2010 и 1961-2000, число дней с осадками n>=0.1мм.

Литература

Евневич Т. В. 1967. Эмпирические формулы для определения общего влагосодержания атмосферы над Москвой. Радиационный режим и осадки в Москве. №2., М., с.277-285.

Справочник эколого-климатических характеристик Москвы. 2003. // Под ред. д.г.н. А.А.Исаева М., Изд-во МГУ, том 1, 310 с.

6. Снежный покров.

Локощенко М.А.

6.1 – Наблюдения за снежным покровом в МГУ.

Как и в прежние годы, наблюдения за снежным покровом в Метеорологической обсерватории МГУ проводятся с использованием четырёх снегомерных реек М-103, три из которых считаются основными, а четвёртая – дополнительной (она установлена вблизи реечного помоста вытяжных почвенно-глубинных термометров ТПВ-50 на участке под естественным покровом). Эти наблюдения включают в себя определение степени покрытия, характера залегания снежного покрова и измерение его высоты. Отсчёты по всем рейкам производятся ежедневно в 9 ч; случайная ошибка не превышает ±1 см и является ненаправленной, однако возможно систематическое занижение высоты снежного покрова – впрочем, небольшое – при недостаточно низком наклоне наблюдателя во время отсчёта. Вопреки рекомендованной Наставлениями Росгидромета треугольной схеме расположения основных реек, в МГУ традиционно используется линейная схема их установки. Для сохранения и впредь однородности накопленных рядов данных эта схема и места установки реек остаются неизменными. Впрочем, и рекомендация Наставлений не является непреложной и обязательной для всех станций.

С 2009 года, по заказу Гидрометеорологического бюро Москвы, в Обсерватории внедрены также дополнительные нестандартные наблюдения за приростом высоты снежного покрова, производящиеся после каждого снегопада дважды в сутки – утром и вечером. Более подробно методика наблюдений освещена автором в работе [1] и в аналогичных разделах сборников за предыдущие годы [2,3,4 и др.]. Заметим лишь, что наблюдения за снежным покровом и его высотой в силу их исключительной простоты весьма надёжны.

6.2 – Календарные показатели и высота снежного покрова в МГУ в 2014-2015 гг.

Впервые в холодном сезоне 2014–2015 гг. твёрдые осадки выпали в виде мокрого ливневого снега днём 17 октября. Высота снежного покрова (3 см по всем трём основным рейкам) впервые была измерена утром 20 октября. Однако в кодировке состояния поверхности почвы частичное наличие на поверхности мокрого снега было отмечено ещё

ночью 18 октября после прошедшего накануне снегопада (к утреннему сроку снег уже полностью растаял). Повторно мокрый снег на поверхности наблюдался уже на следующий день, 19/X, правда, степень его покрытия составила утром лишь 1 балл. В третий раз снежный покров образовался 20 октября в результате обильного снегопада, начавшегося поздним вечером накануне, и продержался, по меньшей мере, до 24 октября, причём на этот раз уже полностью покрывал всю поверхность. Двадцать пятого числа никаких сведений о снежном покрове в книжке КМ-1 нет, однако утром 26-го в наблюдениях снова отмечен 1 балл покрытия и вновь приведены нулевые значения высоты по всем четырём рейкам (как и за два дня перед этим). Четвёртым по счёту залеганием этот покров быть не мог, поскольку ни 25-го, ни 26-го октября не выпадало никаких твёрдых осадков. По-видимому, наблюдения за снегом 25/X были просто пропущены, и выпавший ночью 20/X снег отмечался на поверхности вплоть до 26-го числа.

Затем в наблюдениях за снегом следует долгий перерыв, и в следующий раз снежный покров, оказавшийся уже устойчивым, образовался лишь ночью 1 декабря. Заметим, что совершенное отсутствие снежного покрова в продолжение всего ноября является крайне редким событием для наших широт. Причиной этого стала отнюдь не тёплая погода, как можно подумать (среднемесячная T в ноябре 2014 г. точно совпала с традиционной климатической нормой: –1,4 ˚C), а необычно сухая (количество осадков в ноябре составило лишь 15 мм, то есть лишь около четверти от их нормы). Заметим, что в качестве нормы мы, как и прежде, используем здесь средние значения за период 1961-1990 гг. Как известно, в 2014 году 16-я сессия Комиссии по климатологии ВМО рекомендовала принять за новый текущий стандарт нормы период 1981-2010 гг., однако прежний период 1961-1990 г. решено сохранить в качестве стабильного базового периода ВМО для долгосрочной оценки изменчивости и изменения климата.

Практически все ноябрьские осадки выпали уже в первой декаде месяца в виде ливневых и обложных дождей, а также мороси на фоне положительной температуры воздуха. В дальнейшем же, при наступлении морозов, количество осадков было столь ничтожно малым (0,0 мм), что снежный покров образоваться не мог.

Итак, устойчивый снежный покров стал четвёртым по счёту залеганием в холодном сезоне 2014-2015 гг. Уже первого декабря он оказался сплошным, полностью покрывающим всю подстилающую поверхность, и оставался таковым в продолжение всей зимы, вплоть до середины марта.

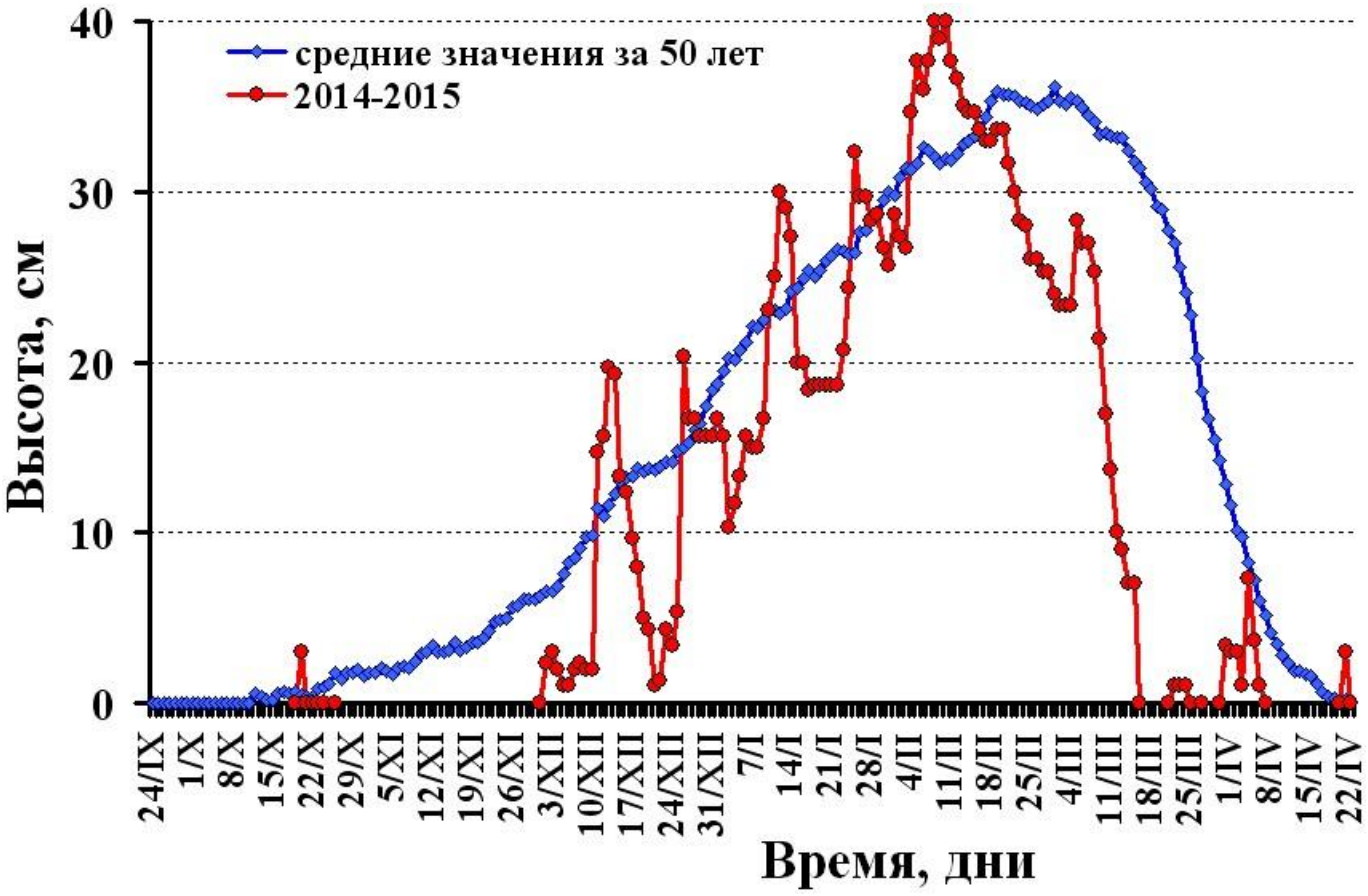


Рисунок 6.1 – Ход средней высоты снежного покрова в холодном сезоне 2014-2015 гг. в сравнении со среднемноголетними значениями (за период с 1954 по 2003 гг.). Москва, МГУ.

Ход средней высоты снежного покрова ото дня ко дню приведён на рис. 6.1. Для пущей наглядности, в дополнение к реальным отсчётам, здесь показаны также условные нулевые значения в начале и в конце каждого отдельного эпизода существования (залегания) снежного покрова. Как видим, в целом его высота в холодном сезоне 2014–2015 гг. была блика к обычным значениям – в отличие от аномально снежной и аномально малоснежной зим соответственно в 2012–2013 [3] и 2013–2014 [4] гг. Заметим, что зима 2014–2015 гг. и начало весны выдались очень тёплыми: среднемесячная температура T в декабре была выше нормы на 2,1 ˚C, в январе – на 5,0 ˚C, в феврале – на 5,6 ˚C, в марте – на 4,4 ˚C. Однако, вместе с тем, все три зимних месяца оказались снежными: количество осадков заметно превысило среднемноголетние значения, в январе – даже более чем на треть. Именно поэтому, несмотря на частые и сильные оттепели, высота снежного покрова в целом оставалась значительной. Как показано автором в [1], потепление климата за

последние десятилетия пока не привело в Москве к достоверным изменениям высоты снежного покрова вследствие попутного увеличения зимних осадков.

Сам по себе ход высоты на рис. 6.1, как и обычно, имеет пилообразный характер: резкий рост высоты (например, с 2 до 15 см 11 декабря и с 5 до 20 см 26 декабря) при обильных снегопадах (так, днём и вечером 25 декабря выпало 19,3 мм осадков) перемежается со столь же быстрым её уменьшением при оттепелях. К примеру, долгая беспрерывная оттепель с 13 до 23 декабря с температурой воздуха T вплоть до +4,9 ˚C привела почти к полному сходу снежного покрова, высота которого уменьшилась 21 декабря до предельно малого значения 1 см. Отметим ещё одну особенность этого холодного сезона: поскольку долгих морозов зимой 2014-2015 гг. не было, в ходе высоты снежного покрова, в отличие от предыдущих лет [2–4], почти нет горизонтальных «площадок», то есть периодов её стабилизации в антициклональных условиях.

Всего зимой 2014-2015 гг. быстрый рост и последующее сокращение высоты снежного покрова наблюдались пять раз. В первый раз значение 20 см было достигнуто 13 декабря, когда в результате прошедшего накануне снегопада (днём и вечером 12/XII выпало 6,1 мм) высота увеличилась на 4 см по сравнению с предыдущим днём. Во второй раз это же значение (20 см) было отмечено 26 декабря, после окончания десятидневной оттепели. В последующую неделю, вплоть до 2 января 2015 г., снежный покров немного осел до 16-17 см вследствие уплотнения при умеренно морозной погоде. Новая оттепель 2–4 января привела к уменьшению его высоты до 10 см, однако затем, в результате снегопадов, она возросла до 30 см 12 января. Очередная, довольно сильная оттепель с температурой воздуха вплоть до +3,4 ÷ +3,5 14 и 15 января стала причиной уменьшения высоты снежного покрова 15/I вновь до значения 20 см. После недолгой стабилизации её значений с 17 по 22 января высота возросла 25 января до 32 см. Новое её уменьшение до 26 см в последние дни января было связано не с таянием снега, а с его гравитационным и ветровым уплотнением в условиях устойчиво отрицательных значений T. Наконец, обильный снег 3 февраля привёл к новому, пятому по счёту резкому росту высоты снежного покрова на следующий день на 8 см. Вскоре, 8 и 10 февраля, было достигнуто наибольшее в сезоне 2014–2015 гг. среднее значение высоты: 40 см (по данным отдельных реек – до 42 см). Это событие произошло приблизительно на две недели раньше обычного вследствие очень тёплого февраля, оказавшегося на 5,6 ˚C теплее климатической нормы.

Средней датой наблюдения максимума высоты логично считать 9 февраля, хотя в этот день средняя высота была на 1 см меньше (39 см).

Уже с 11 февраля началось устойчивое уменьшение высоты снежного покрова. Лишь дважды, 19–20 февраля и 5 марта, оно ненадолго прерывалось небольшим увеличением значений после выпадения твёрдых осадков. Особенно стремительным сход снежного покрова стал после 7 марта в результате сильного потепления. Уже утром 12 марта были отмечены первые проталины, а 15 марта взяты последние непрерывные с начала зимы отсчёты высоты по рейкам. Заметим, что датой появления первых проталин можно считать именно 12 марта, а не предыдущий день, поскольку эта ночь была очень тёплой (с температурой воздуха более +5˚С). Полностью, однако, снежный покров не сошёл ещё долго: даже спустя шесть дней, 21 марта, степень его покрытия в окрестностях станции составляла ещё 2 балла. Начавшийся затем снегопад ненадолго привёл к восстановлению сплошного покрова с 22 по 24 марта – впрочем, предельно тонкого (1 см). Ещё один раз, 27 марта, выпавший снег снова увеличил степень покрытия с 1 до 8 баллов. Наконец, похолодание в конце марта – начале апреля, сопровождавшееся новыми снегопадами 30 и 31 марта, привело к очередному восстановлению сплошного снежного покрова 31 марта, продержавшемуся ещё целую неделю и даже достигшему средней высоты 7 см (по отдельным рейкам – даже до 12 см) 4 апреля. Лишь 5 апреля в последний раз появились проталины, а утром на следующий день, 6 апреля, были взяты последние отсчёты высот устойчивого снежного покрова, непрерывно существовавшего 127 дней. Вечером в тот же день кодировка состояния поверхности произведена уже по состоянию открытой почвы, а 7 апреля никаких данных о снежном покрове в материалах наблюдений уже нет. Таким образом, датой окончательного схода устойчивого снежного покрова следует считать шестое апреля.

Впрочем, снежный покров в этом холодном сезоне образовался ещё раз – при кратковременном похолодании и выпадении твёрдых осадков 20 и 21 апреля. Утром 21 апреля он снова полностью покрывал всю поверхность, и высота его по данным всех четырёх реек составляла 3 см. Фактически снежный покров образовался ещё накануне, 20 апреля в результате выпадения ливневого снега и снежной крупы. По наблюдениям орнитолога Н.С.Морозова, работавшего в тот день в МГУ, «ближе к вечеру снегопад усилился и стал практически беспрерывным, что привело к образованию снежного покрова уже засветло вечером 20 апреля». по наблюдениям в Обсерватории МГУ ливневый снег 20

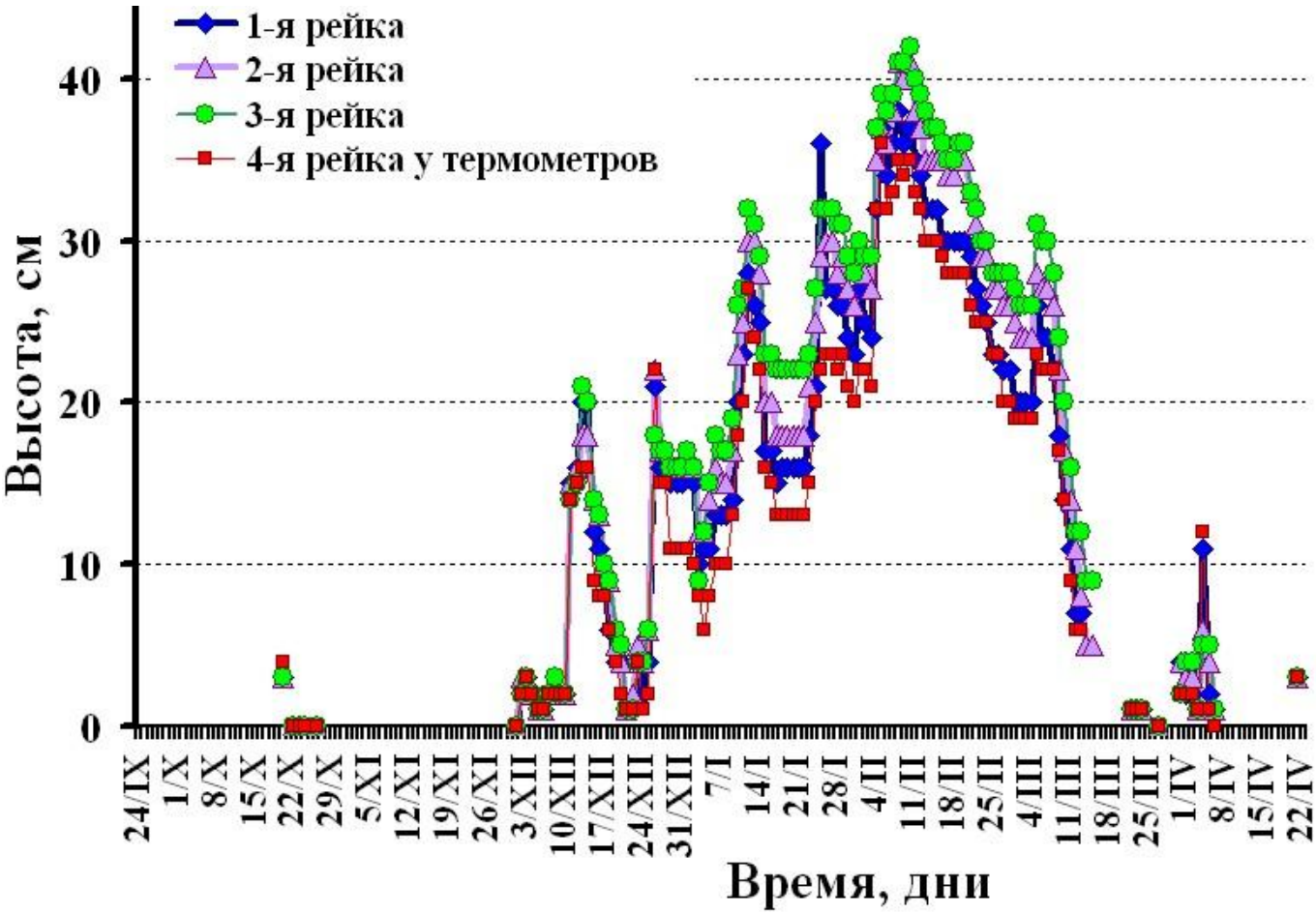


Рисунок 6.2 – Ход средней высоты снежного покрова в холодном сезоне 2014-2015 гг. по данным отдельных снегомерных реек. Москва, МГУ.

апреля 2015 г. стал умеренным или, возможно, даже сильным в 16.45. Поскольку в последний срок наблюдений за состоянием поверхности в 15 ч почва ещё оставалась открытой, образование снежного покрова в этот день не отражено в материалах наблюдений. Однако уже назавтра пополудни, с прояснением в облачности и повышением T до +8,2 ˚C, этот пятый по счёту и последний в холодном сезоне 2014–2015 гг. снежный покров сошёл.

Заметим, что столь позднее залегание снежного покрова, даже недолгое, наблюдается редко. Так, согласно приводимому А.Х.Хргианом [5] фрагменту Никоновской летописи, 26 апреля 1498 года «после снегопада снег толщиной в полголени пролежал семь дней». Очевидно, что даже во время малого ледникового периода снежный покров в конце апреля в центре европейской России был редким явлением, раз летописец нашёл это событие интересным и заслуживающим упоминания.

Как видим из рисунка 6.1, высота снежного покрова и в начале, и в конце холодного сезона была существенно меньше среднемноголетних значений, кроме только самого

первого и самого последнего дней её измерений: 20/X и 21/IV. В период же с середины декабря до середины февраля она в среднем приблизительно соответствовала обычным оценкам. В среднем по всем четырём рейкам, включая дополнительную у термометров, средняя высота снежного покрова (с учётом нулевых значений в дни, когда снежный покров отмечался вблизи реек) составила в МГУ 0,6 см в октябре; 7,9 см в декабре 2014 г.; 20,0 см в январе; 31,5 см в феврале; 14,2 см в марте и 3,1 см в апреле 2015 г.

Рассмотрим также на рисунке 6.2 ход высоты снежного покрова по всем четырём рейкам (здесь приведены только реальные отсчёты). Видно, что значения эти довольно близки между собой; в большинстве случаев различия в отсчётах находятся в пределах ±2 см, и лишь показания третьей рейки в среднем за весь сезон на целых 4,7 см больше, чем четвёртой. Явных сугробов вблизи реек не было, так что подобные микроклиматические различия могут объясняться небольшими неровностями поверхности.

Сравнение одновременных отсчётов высоты снежного покрова по отдельным рейкам показывает очень тесную статистическую связь со значениями коэффициентов парной корреляции 0,98–0,99 (пример приведён на рисунке 6.3). Отметим также очевидную близость этой связи к линейной и отсутствие заметных смещений оценок, о чём говорит незначительное отличие коэффициента линейной регрессии от единицы.

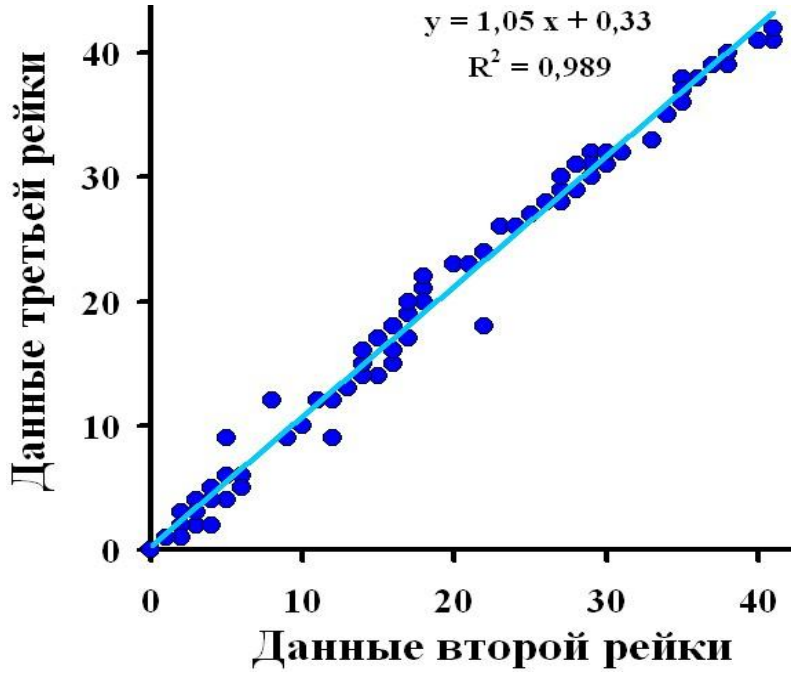


Рисунок 6.3 – Сравнение одновременных отсчётов высоты снежного покрова по двум рейкам в холодном сезоне 2014-2015 гг. Москва, МГУ.

Завершая обсуждение снежного покрова и, шире, явления снега как такового, остаётся лишь добавить, что последние твёрдые осадки (не считая града, возможного даже летом) выпали в холодном сезоне 2014–2015 гг. 24 апреля в виде снежной крупы и обложного снега. Как видно из Таблицы 6.1, все связанные со снегом и снежным покровом календарные даты были в этом сезоне в целом близки к среднемноголетним значениям. Сход устойчивого снежного покрова начался раньше обычного, однако происходил долго и закончился лишь за два дня до средней даты этого события. В последний же раз, напротив, снежный покров образовался немного позднее обычного времени.

Таблица 6.1 – Календарные даты динамики снежного покрова в Москве (МГУ) в 2014–2015 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 2013-2014 гг.	17 / X	18 / X	1 / XII	1 / XII	9 / II	12/III	6 / IV	21/IV	24/IV

6.3 – Прирост снежного покрова в МГУ в 2014–2015 гг.

На рисунке 6.4, наряду с уже рассмотренной выше высотой снежного покрова, показан также его накопленный прирост за отдельные дни. Этот показатель означает наибольшее теоретически возможное значение высоты при отсутствии оттепелей и уплотнения в течение всего холодного сезона. Ступенчатый характер кривой прироста показывает его одинаковые значения в промежутках между отдельными снегопадами. Как видно, к утру 21 апреля, по завершении последнего значительного снегопада (днём 24 апреля снежная крупа и снег составили ничтожно малое количество осадков 0,0 мм) накопленный прирост достиг наибольшей за сезон величины: 162 см. Поскольку наблюдения за приростом начались в МГУ недавно, мы пока не можем уверенно говорить о его среднемноголетних значениях. Заметим лишь, что во время аномально снежной зимы 2012–2013 гг. накопленный прирост составил к 7 апреля 2013 года 265 см [3], а на следующий год, 4 апреля 2014 г., – лишь 106,5 см. Таким образом, можно предположить, что в сезоне 2014–2015 гг. значение прироста оказалось близким к его обычной величине.

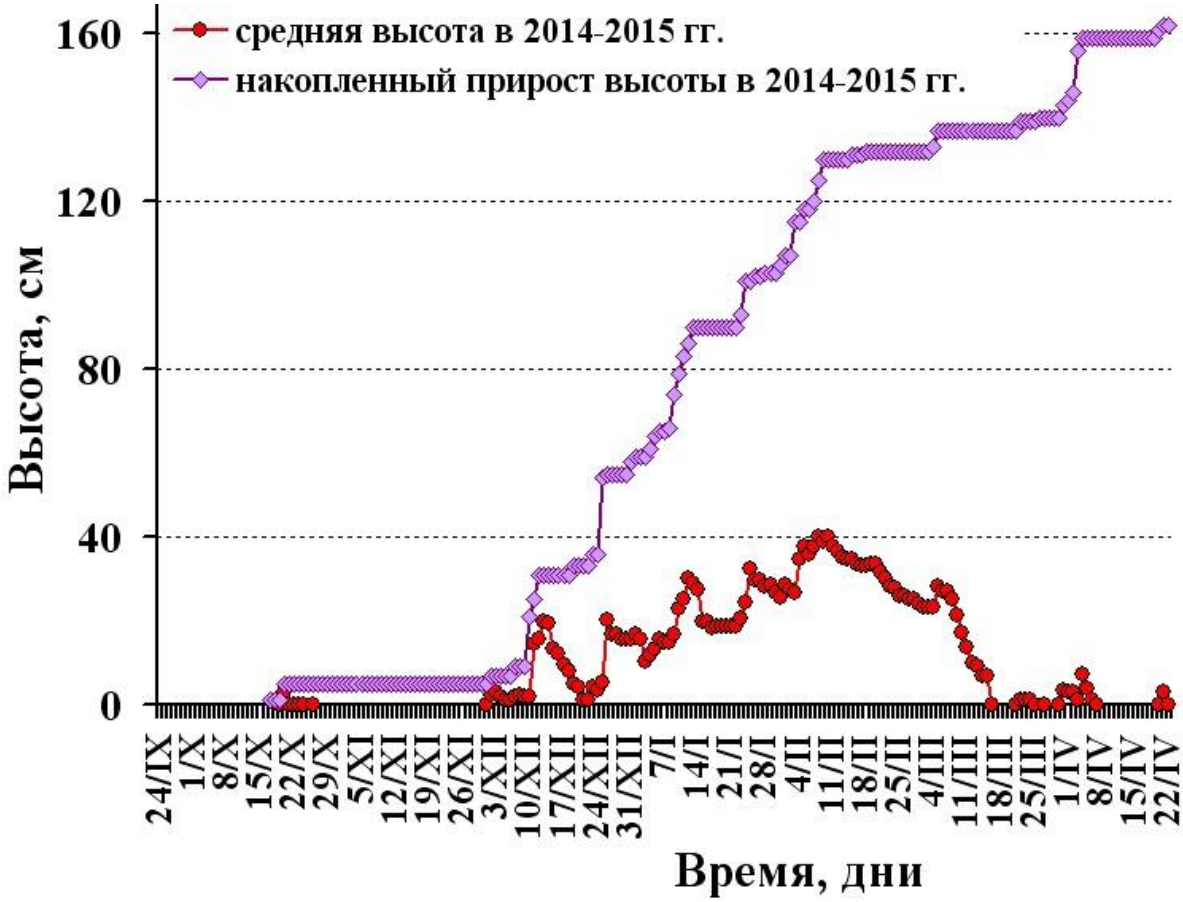


Рисунок 6.4 – Ход средней высоты снежного покрова и её накопленного прироста в холодном сезоне 2014-2015 гг. Москва, МГУ.

Наибольший разовый отсчёт прироста был отмечен вечером 25 декабря 2014 г.: 17 см; наибольшее суммарное значение за сутки также наблюдалось в этот день: 18 см (1 см утром и 17 см вечером).

6.4 – Общие выводы.

Итак, снежный покров в холодном сезоне 2014–2015 гг. образовался немногим позднее обычного вследствие очень сухого ноября, однако высота его в середине холодного сезона оказалась в целом близкой к средним значениям. Вполне обычным для наших широт явилось и наибольшее значение высоты: 40 см. Зима выдалась не только очень тёплой с частыми оттепелями, но и снежной, что способствовало сохранению снежного покрова. Характерной особенностью хода его высоты в этом сезоне явились её

резкие скачкообразные изменения, связанные с чередованием оттепелей и обильных снегопадов. Устойчивый снежный покров стал четвёртым по счёту и предпоследним залеганием. Наконец, последнее образование снежного покрова 21 апреля произошло необычно поздно.

Работа выполнялась при частичной поддержке проекта РФФИ № 14-05-00594.

Литература

1. Локощенко М.А. Снежный покров и его современные изменения в Москве. М., Метеорология и гидрология, 2005, том 30, № 6, стр.71-82.
2. Локощенко М.А. Снежный покров (раздел 4 части I, стр.36-42). В сб.: Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2012 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ. М., МАКС Пресс, 2013, 207 с., электронное издание, под редакцией Н.Е.Чубаровой. ISBN: 978-5-317-04478-7.
3. Локощенко М.А. Снежный покров (раздел 4 части I, стр.36-41). В сб.: Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2013 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ. М., МАКС Пресс, 2014, 168 с., электронное издание, под редакцией Н.Е.Чубаровой. ISBN: 978-5-317-04763-4.
4. Локощенко М.А. Снежный покров (раздел 4 части I, стр.39-46). В сб.: Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2014 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В.Ломоносова. Под редакцией Шиловцевой О.А. и Незваль Е.И. – М.: МАКС Пресс, 2015. – 235 с. ISBN: 978-5-317-05113-6.
5. Хргиан А.Х. Очерки развития метеорологии. Том 1, издание второе. Л., Гидрометеоиздат, 1959, 428 с.

7. Атмосферное давление

Шиловцева О.А.

Атмосферное давление в метеорологической обсерватории МГУ измеряется чашечным ртутным барометром СР-А и барографом метеорологическим М-22АН. В данном разделе рассматривается режим атмосферного давления на уровне станции. Единицы измерения давления воздуха в соответствии с Международной системой единиц СИ – гектопаскаль (гПа) 1 гПа = 1 мб = 0,75 мм рт.ст., 1 гПа =3/4 мм рт.ст., т.е. 1 мм рт.ст. = 4/3 гПа. Давление воздуха равное 760 мм рт.ст. при температуре воздуха 0,0°С на широте 45° на уровне моря называют нормальным. Таким образом, среднее атмосферное давление на уровне моря близко к 1013,3 гПа: 4/3 гПа × 760 мм = 1013,3 гПа (Наставления, 1985).

Среднегодовая величина давления и за «исторический» период (1961-1990 гг.), и за «текущий» (1981-2010 гг.), да и в 2015 г.– 992 гПа.

В годовом ходе среднего атмосферного давления (Р) как за «исторический» период, так и за «текущий» имеет место два максимума – главный, наблюдающийся в феврале и вторичный – наступающий в октябре (табл. 7.1, рис.7.1). В терминах синоптической климатологии этим максимумам соответствуют периоды ясной и сухой погоды – «настоящей русской зимы» в феврале и «бабьего лета» в октябре соответственно. Минимум давления приходится на июль (самый влажный месяц в московском климате) для «исторического» периода и на июнь – для «текущего» периода. Амплитуда годового хода в среднем составила 4 гПа.

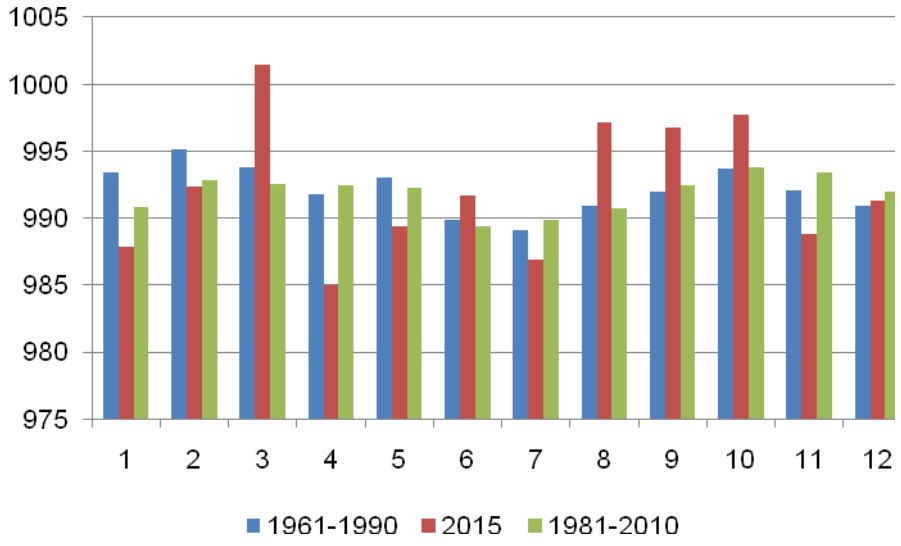


Рисунок 7.1. Сравнение среднемесячных значений атмосферного давления в 2015 году с климатическими нормами «исторического» и «текущего» периодов

Таблица 7.1. Среднемесячные значения атмосферного давления в 2015 году, их статистические характеристики и климатические нормы

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2015 г.	987,9	992,4	1001,5	985,0	989,4	991,7	986,9	997,1	996,8	997,7	988,8	991,3
1961-1990	993,4	995,1	993,8	991,8	993	989,9	989,1	990,9	992	993,7	992,1	990,9
1981-2010	990,8	992,8	992,6	992,4	992,2	989,3	989,8	990,8	992,5	993,8	993,4	992,0
1961-2014	**992,8**	**993,8**	**992,6**	**992,1**	**992,5**	**989,7**	**989,6**	**991,0**	**992,4**	**993,6**	**993,1**	**991,8**
V%	0,7%	0,7%	0,6%	0,3%	0,2%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,5%	0,7%	0,5%
Макс 1961-2014	**1035,6**	**1035,3**	**1031,7**	**1015,5**	**1014,2**	**1010,3**	**1008,3**	**1009,3**	**1016,9**	**1030,7**	**1028,8**	**1029,8**
год	1972	1972	1995	1996	1993	1973	1969	1996	1993	1962	1993	1997
Мин 1961-2014	943,3	944,0	947,3	947,8	964,1	960,1	959,9	962,5	957,5	949	941,7	944,9
год	1975	1999	1968	2011	1995	1984	1998	1980	1977	1971	1973	1971

Максимальные и минимальные значения месячного и годового атмосферного давления выбраны из данных срочных наблюдений за период 1961–2014 гг.

В 2015 году распределение среднего за месяц давления (см рис.7.1) отличалось от климатического. Максимум был достигнут в марте, а минимум – в апреле. Высоких отметок выше 995 гПа среднемесячные значения достигали в августе-октябре. А вот самое низкое значение было достигнуто в июне (табл. 7.1). Годовая амплитуда составила 6 ГПа.

В суточном ходе среднего за год изменение давления невелико - амплитуда в среднем

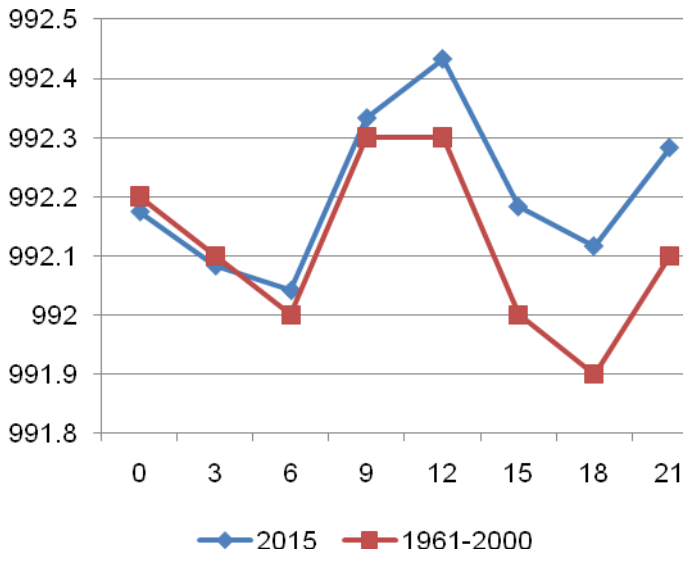


Рисунок 7.2. Суточный ход среднегодового давления (ГПа) за 1961-2000 гг. и за 2015 г.

Таблица 7.2. Среднее атмосферное давление на уровне станции в сроки по месяцам и за год в 2015 г. (гПа)

Срок, час	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0	988,4	992,2	1001,6	985,0	989,3	991,6	987,0	997,0	996,4	997,7	989,2	990,7
3	988,2	992,1	1001,5	984,7	989,3	991,7	986,9	997,0	996,4	997,5	989,0	990,7
6	987,7	991,9	1001,4	984,7	989,4	991,8	987,0	997,2	996,5	997,3	988,8	990,8
9	987,8	992,2	1001,8	985,0	989,7	992,1	987,2	997,5	997,0	997,7	988,9	991,1
12	987,9	992,5	1001,8	985,2	989,8	992.0	987,1	997,4	997,1	998,0	988,9	991,5
15	987,6	992,3	1001,3	984,9	989,3	991,6	986,9	997,0	997,2	997,9	988,5	991,7
18	987,8	992,6	1001,0	984,9	988,9	991,3	986,6	996,7	996,9	998,0	988,5	992,2
21	992,7	994,1	994,3	991,5	992,8	989,6	989,1	991,1	992,1	993,5	993,5	991,2
Макс	1010,0	1016,6	1026,9	983,3	1000	1002,1	1003,8	1005,6	1012,5	1017,1	1010,8	1014,0
Мин	957,5	961,4	980,4	965,4	970,1	981,6	971,4	987,4	975,2	981,6	967,4	972,5

составляет всего 0,4 гПа. Особенность суточного хода Р 2015 года: сдвиг минимума давления на ранние утренние часы по сравнению с минимумом в вечернее время для средних климатических величин. В январе, феврале, апреле-мае, июле-ноябре среднее давление 2015 года в течение всего дня ниже климатической нормы на 4 -5 ГПа, и только в марте и июне наблюдается обратное соотношение (табл. 8.3 в (Справочник, 2003)).

Несмотря на то, что в целом какой-либо тренд в многолетнем ходе среднегодового давления отсутствует (табл. 7.3, рис. 7.4), усиление повторяемости и глубины циклонических процессов в последние десятилетия выразилось в наличии слабого

Таблица 7. 3. Характеристика линейного тренда среднего давления за месяц и год за период 1966-2015 гг.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
*a/10 лет,%	-0,07	-0,08	-0,09	0,02	**-0,05**	-0,01	0,03	0,00	0,03	0,05	0,04	0,04	-0,01
**α	0,31	0,25	0,1	0,46	**0,05**	0,78	0,19	0,90	0,37	0,33	0,55	0,50	0,60

Примечание: * - % от среднего многолетнего значения за 1966-2014 гг.; ** - характеристика достоверности линейного тренда, жирным шоифтом выделен значимый тренд с вероятностью 0,95

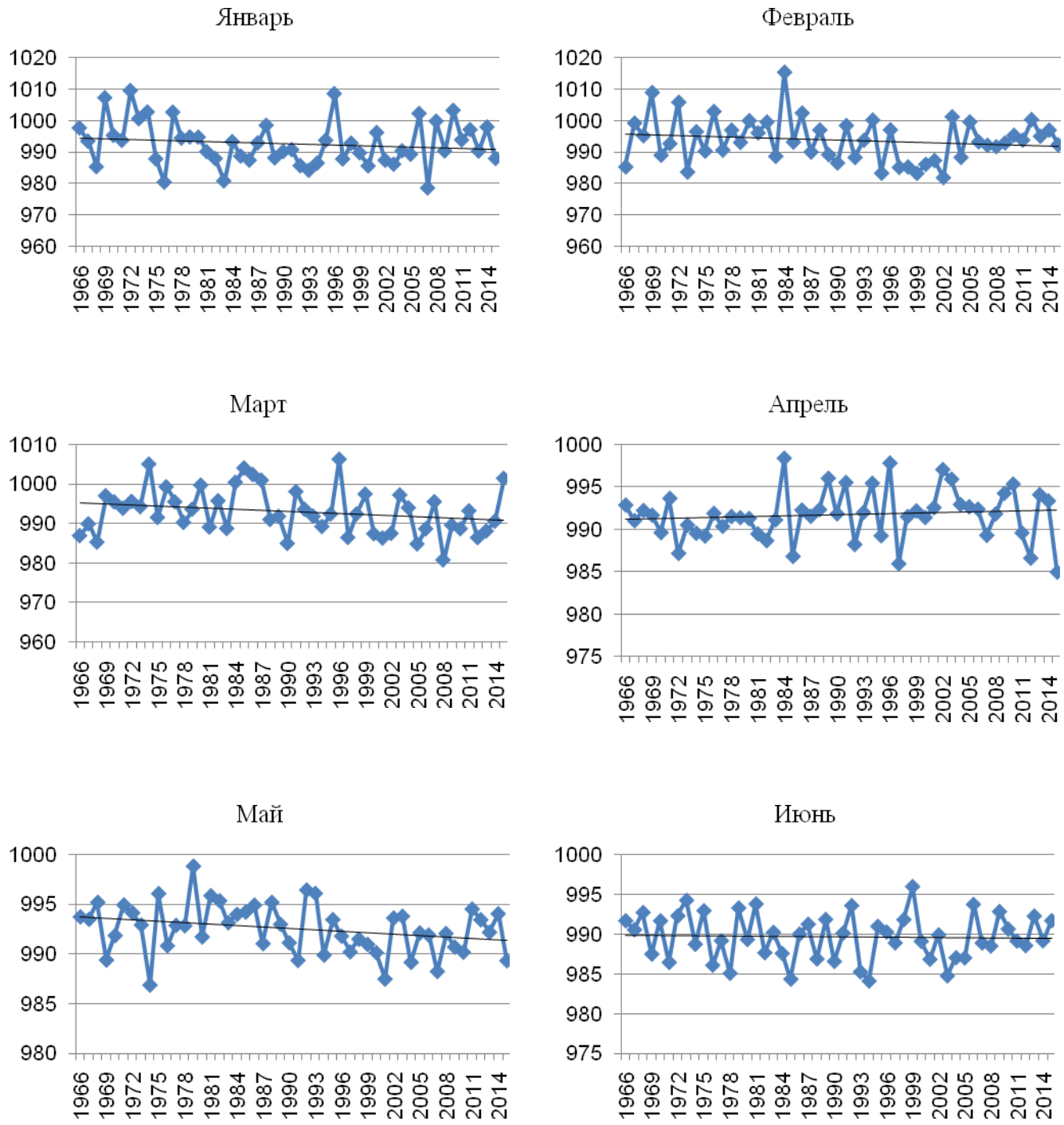


Рисунок 7.3. Колебания среднемесячных значений атмосферного давления на уровне станции за 1966-2015 гг.

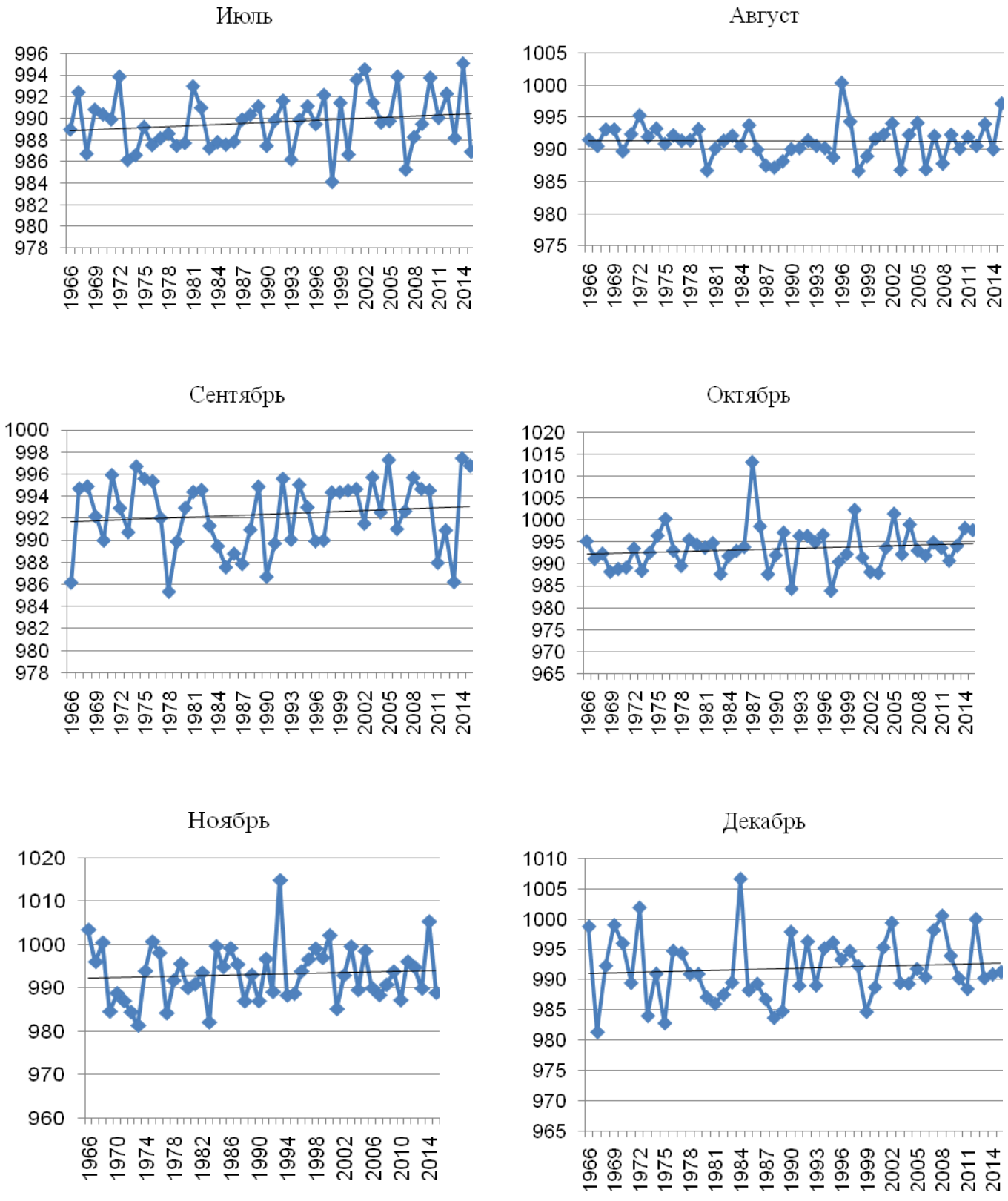


Рисунок 7.3. Колебания среднемесячных значений атмосферного давления на уровне станции за 1966-2015 гг. (продолжение)

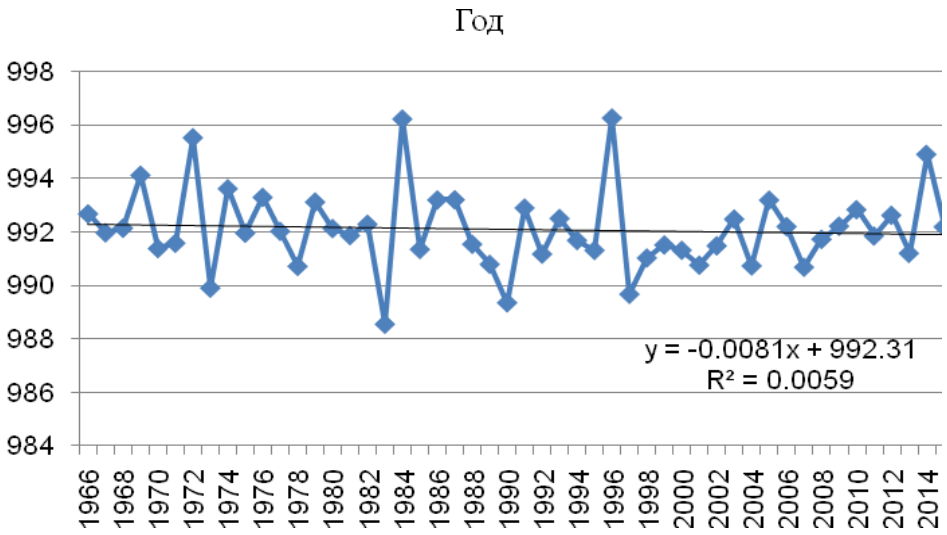


Рисунок 7.4. Колебания среднегодовых значений атмосферного давления на уровне станции за 1966-2015 гг.

отрицательного тренда средних многолетних значений атмосферного давления, главным образом, в первую половину года. Наоборот, во втором полугодии отмечается тенденция увеличения давления. Следует отметить, что, за исключением мая, все эти тенденции статистически не достоверны (рис. 7.3, табл. 7.4).

Резюмируя, следуем отметить, что хотя в целом за 2015 год фон давления оказался практически равен климатической норме, годовой ход давления разительно отличался от среднеклиматического. В апреле столь низкого среднего за месяц давления на уровне станции не было зафиксировано за весь период наблюдений.

Литература

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. 1985. Вып. 3, ч. I, Л., Гидрометеоиздат.

Справочник эколого-климатических характеристик Москвы. 2003. // Под ред. д.г.н. А.А.Исаева М., Изд-во МГУ, том 1, 310 с.

8. Ветер в приземном слое

Шиловцева О.А.

До декабря 1975 г. измерение характеристик скорости и направления ветра в метеорологической обсерватории МГУ производилось с помощью флюгеров Вильда с легкой (до 20 м/с) и тяжелой доской (более 20 м/с). С 1 декабря 1975 г. в МОМГУ был установлен анеморумбометр М-63, а флюгеры оставлены в качестве запасных приборов в случае выхода из строя анеморумбометра. Эти приборы установлены на анемометрической вышке на высоте 15 м над поверхностью земли. Измерения средней скорости и направления ветра производятся каждые три часа с определением средних значений скорости и преобладающего направления в течение 2-х минут (для флюгера Вильда) и 10 минут (М-63). Максимальный порыв отслеживается непрерывно с помощью анеморумбометра М-63 между сроками наблюдений.

При оценке средних климатических величин **скорости ветра** необходимо иметь в виду некоторые проблемы, связанные с однородностью рядов наблюдений. Во-первых, это переход в 1966 году на восьмисрочные наблюдения, во-вторых, изменение приборной базы - осуществление наблюдений за ветром по анеморумбометру с 1975 года, и в-третьих, изменение условий окружающей метеорологическую площадку местности. Как было показано в (Локощенко, 2012), измерения ветра очень чувствительны к изменениям местных условий, поэтому полученное по многолетним данным МОМГУ уменьшение средней скорости ветра скорее всего отражает рост закрытости горизонта за счет увеличивающейся застройки и выросших деревьев. Ряд наблюдений за средней скоростью ветра можно считать условно однородным, поскольку переход от визуального осреднения по флюгеру Вильда к инструментальному по М-63, привело к некоторому занижению скорости ветра. Однако, как указано в (Кондратюк, 1984; Евстигнеев и др., 2013, Мещерская и др., 2006), при не очень больших значения скоростей ветра (что имеет место в нашем случае) это занижение невелико и им можно пренебречь. Наоборот, полученные данные о максимальной скорости ветра или порыве по М-63 несравнимы с более ранними оценками по флюгеру Вильда, поэтому осреднение для этих величин сделано для периода после 1975 г.

Средняя за год скорость приземного ветра Vср в 2015 г. невелика и составила всего 2 м/с (табл. 8.1). В годовом ходе амплитуда Vср всего 1,3 м/с и отмечается тенденция постепенного уменьшения скорости ветра от холодного периода к теплому и наоборот (рис. 8.1).

Таблица 8.1. Средняя скорость (Vср) и максимальный порыв (V_{max}) приземного ветра в 2015 г. и в разные периоды осреднения (м/с)

Vср	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
2015 г.													
Vср	2,4	2,3	2,0	2,4	1,7	1,6	1,9	1,6	1,2	2,0	1,8	2,5	2,0
V_{max}	13	18	**20**	17	16	12	15	14	9	15	13	20	20
1961-1990 гг. (Справочник...,2003)													
Vср	3,3	3,2	3,1	3,1	2,8	2,6	2,5	2,5	2,8	3,2	3,2	3,3	3,0
1981-2010 гг.													
Vср	2,7	2,6	2,6	2,4	2,3	2,2	2,0	2,1	2,2	2,5	2,6	2,7	2,4
V_{max}	14	14	15	15	15	15	14	13	13	15	15	15	19
1955-2014 гг.													
Vср	3,1	3,0	2,9	2,8	2,6	2,5	2,3	2,3	2,6	3,0	3,0	3,1	2,8
*$КВ_{ср}$, %	28	25	22	24	24	25	25	24	26	28	27	24	22
1975-2014 гг.													
V_{max}	24	19	20	21	21	28	24	21	21	25	24	21	28
*$КВ_{max}$, %	20	17	15	18	15	21	15	18	22	20	21	18	16
год	1975	1998	1986	1982	1978	1984	1974	1988	1977	1983	1973	1975, 1995	1984

Примечание: *КВ% - коэффициент вариации для средней за месяц и максимальной скоростей ветра

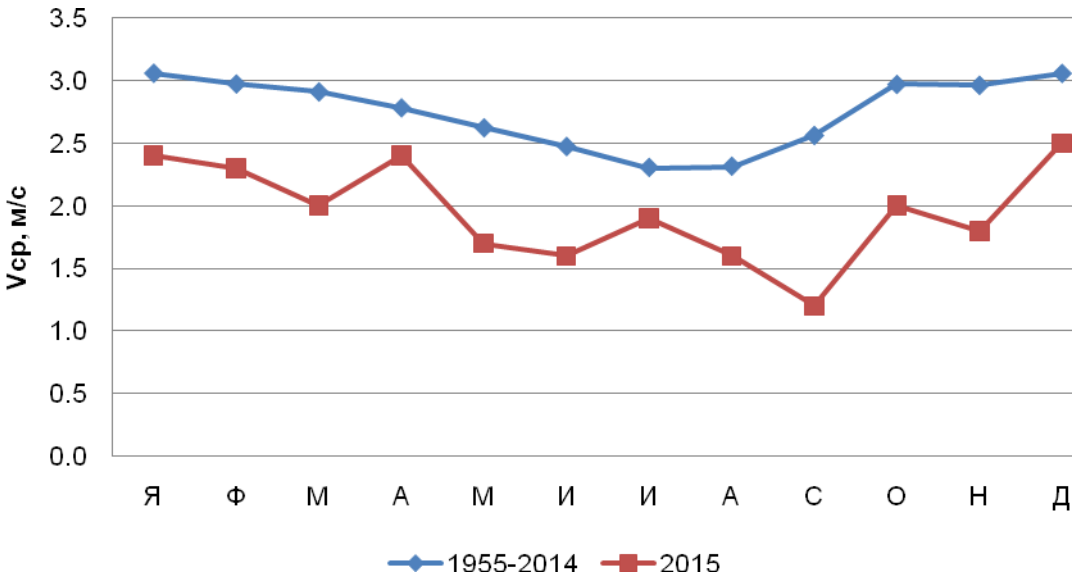


Рисунок 8.1. Годовой ход средней за месяц скорости ветра в 2015 г. в сравнении с климатической нормой за весь период наблюдений МОМГУ (м/с)

В отличие от средних климатических величин Vср в 2015 г. было отмечено увеличение средней за месяц скорости ветра в апреле и июне (месяцы со значительной циклонической активностью), тогда как минимальное её значение было в сентябре, когда почти в течение всего месяца доминировал антициклональный тип погоды (Т.В.Бережная и др, 2015; 2015а, 2015б).

Суточный ход средней скорости ветра в 2015 г. представлен на рис. 8.2. В теплое время

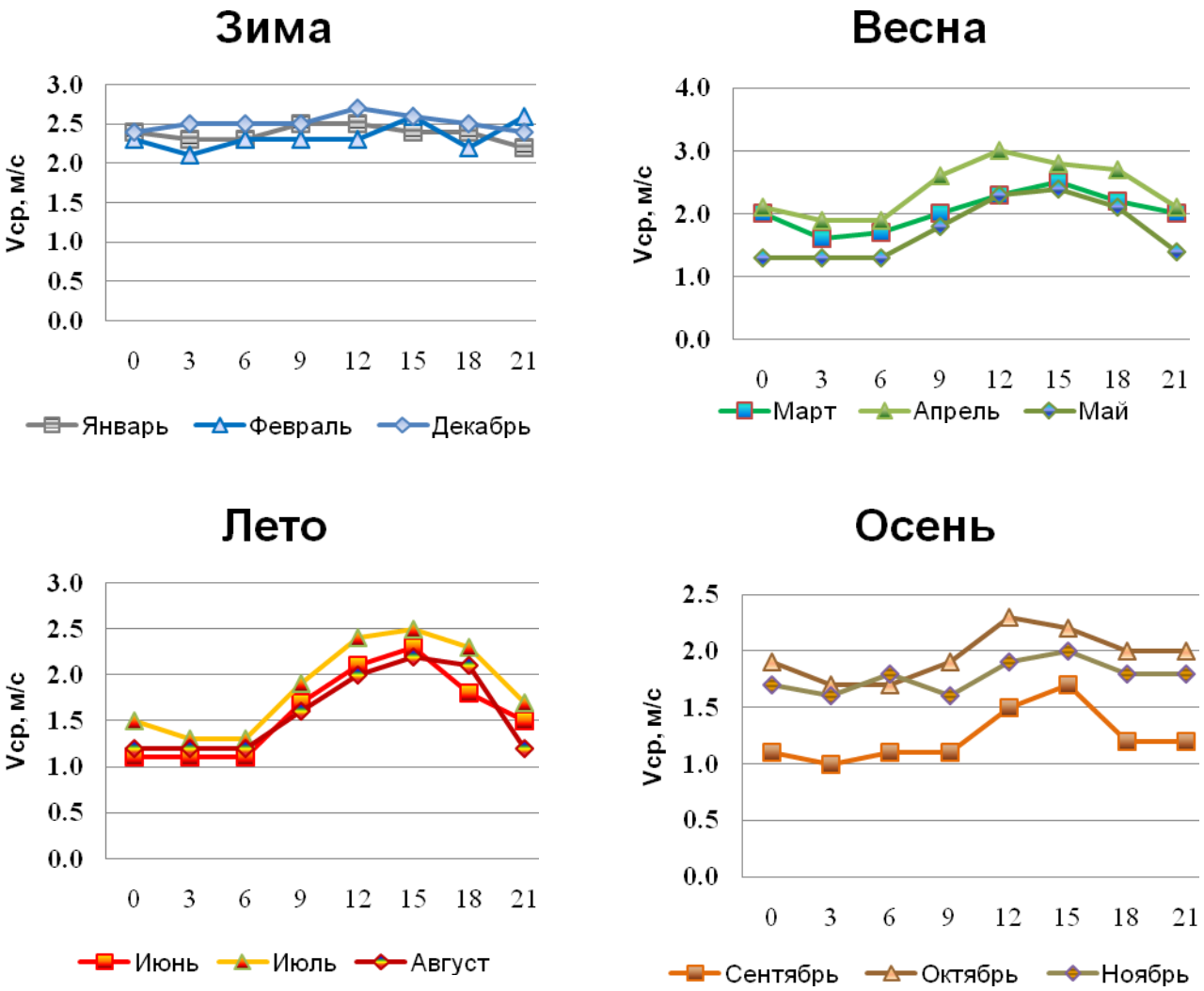


Рисунок 8.2. Суточный ход скорости ветра в разные сезоны года в 2015 г.

года он наиболее четко выражен: с утра наблюдается рост средней скорости ветра до 15 часов, когда достигается её максимум с последующим уменьшением к середине ночи. Подобный суточный ход Vср отражает процесс развития конвективных движений в приземном слое воздуха. Зимой конвекция не развита, поэтому и суточный ход Vср отсутствует. При сравнении Vср в 2015 г. с нормами за период 1966-2000 гг. (см. табл.4.5 в (Справочник…, 2003)) оказывается, что в среднем ветер за рассматриваемый год оказался меньше средних

климатических величин Vср на 0,5-1,5 м/с.

Важной характеристикой ветрового режима является максимальный порыв ветра (V_{max}), который существенно превышает средние значения скорости ветра. За период наблюдений 1975-2014 гг. в районе МО МГУ максимальная скорость ветра в порывах, как правило, превышала 20 м/с, максимум был отмечен 28 м/с в июне 1984 г. (см. табл. 8.1). В 2015 г. порывы ветра в феврале-марте и декабре достигали практически максимальных величин, тогда как в другие месяцы V_{max} на 5-10 м/с меньше (рис. 8.3).

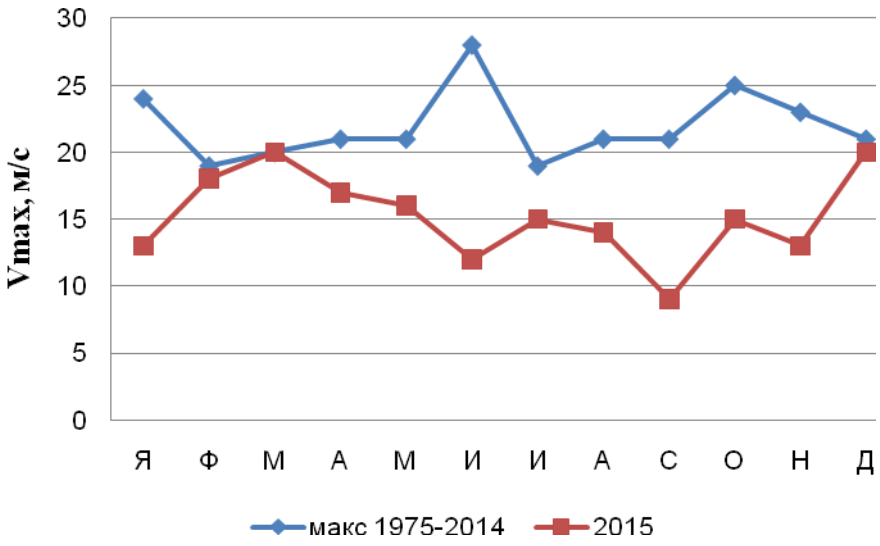


Рисунок 8.3. Максимальный порыв ветра в 2015 г. и за период наблюдений по М-63

Главный фактор, определяющий **направление** ветра – общая циркуляции атмосферы, поэтому независимо от сезона года в соответствии с преобладанием в условиях умеренных широт западного переноса в климатической розе ветров зимой наиболее часты ветры западных и юго-западных румбов, летом – западных (табл. 8.2, рис. 8.4). Минимальная повторяемость у ветров северных румбов в холодный период года и восточных и юго-восточных – в теплое.

В 2015 г. направление ветра, близкое к климатическому, отмечено в феврале, июне-августе, октябре-декабре (см. рис. 8.4). В январе наблюдался сдвиг повторяемости в сторону более южных румбов, в марте было отмечен максимум повторяемости ветров восточных румбов, а в апреле и мае он смещен в сторону западного ветра. Сентябрь – единственный в году месяц, когда наиболее часто отмечался штиль. Полученные закономерности определялись характером циркуляционных процессов, наблюдавшихся в 2015 г. (см. например, Бережная Т.В. и др. 2015, 2015а, 2015б).

Таблица 8.2. Повторяемость направлений ветра и штилей (%) по месяцам и за год в 2015 г. и за период 1970-2014 гг.

Румбы*	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2015 г.													
С	0,8	2,7	3,6	1,3	1,6	5,0	0,8	6,9	2,1	2,4	1,3	1,2	2,5
ССВ	**0,4**	**0,4**	5,3	**0,4**	2,4	6,7	**0,0**	6,5	2,9	3,2	2,5	4,0	2,9
СВ	1,6	0,9	6,5	3,4	8,1	3,3	2,0	2,0	2,5	2,0	3,3	0,4	3,0
ВСВ	1,6	**0,4**	5,3	1,3	4,5	2,5	2,0	1,2	2,5	0,4	**0,4**	**0,0**	**1,9**
В	2,4	3,1	6,1	4,6	4,5	1,3	3,3	**0,8**	6,7	**0,0**	0,8	0,4	2,8
ВЮВ	5,7	5,4	**10,9**	4,6	5,7	1,3	1,6	**0,8**	6,7	2,8	4,6	0,4	4,2
ЮВ	9,8	8,5	10,1	5,0	4,9	**0,4**	2,9	1,2	5,0	3,6	6,7	0,8	4,9
ЮЮВ	7,8	7,1	4,0	5,0	7,3	1,3	4,5	1,6	8,4	4,8	5,4	2,4	5,0
Ю	11,4	5,8	5,3	10,1	5,7	5,0	7,0	6,5	**11,3**	6,0	10,0	7,7	7,6
ЮЮЗ	13,5	10,3	6,1	5,5	**0,8**	2,1	5,3	5,6	6,3	4,4	4,6	11,7	6,4
ЮЗ	**14,7**	**15,2**	8,5	10,9	2,4	8,3	10,7	8,5	3,8	13,7	12,1	**22,2**	**10,8**
ЗЮЗ	10,2	11,2	6,1	7,1	3,7	7,5	13,9	10,1	2,9	8,5	**14,2**	12,9	9,1
З	4,1	6,7	2,8	**13,0**	**15,9**	11,3	**16,4**	**10,9**	8,8	**16,5**	10,0	14,5	**10,9**
ЗСЗ	6,1	8,0	**2,4**	10,5	7,7	**12,9**	11,1	10,5	4,2	11,7	8,3	10,5	8,6
СЗ	6,5	9,8	5,3	9,2	11,0	12,5	7,0	10,5	7,5	10,9	4,2	6,5	8,4
ССЗ	1,2	3,6	**2,4**	3,8	3,3	7,5	2,9	6,9	**1,7**	4,4	1,3	1,6	3,4
ШТИЛЬ	2,0	0,9	9,3	4,2	10,6	11,3	8,6	9,7	**16,7**	4,4	10,4	2,8	7,6
1970-2014 гг.													
С	3,0	3,1	2,8	3,7	**4,8**	4,7	4,6	4,4	4,2	3,4	2,6	2,4	3,7
ССВ	**2,1**	**2,3**	2,4	**3,6**	4,9	4,4	4,2	3,8	3,9	2,4	**2,1**	**1,6**	**3,1**
СВ	2,7	2,9	2,6	4,4	5,1	4,9	5,0	5,0	4,5	2,5	2,5	2,3	3,7
ВСВ	2,5	2,8	**2,3**	4,0	5,0	4,1	4,3	**3,3**	**3,5**	**2,1**	**2,1**	1,8	3,2
В	4,3	5,7	5,1	7,1	6,5	6,2	5,6	4,9	4,2	3,2	4,6	3,9	5,1
ВЮВ	4,8	7,3	6,6	5,9	**4,8**	**3,9**	**4,1**	3,4	**3,5**	3,7	4,6	5,0	4,8
ЮВ	6,1	7,5	7,5	6,2	5,2	4,1	4,5	3,6	4,3	4,1	5,5	6,2	5,4
ЮЮВ	5,1	6,2	7,3	6,0	4,9	4,3	4,6	3,7	3,8	4,9	6,1	6,6	5,3
Ю	8,6	8,5	9,9	**9,2**	8,0	6,6	7,5	6,8	7,4	8,9	9,5	9,2	8,3
ЮЮЗ	8,5	7,3	8,5	8,7	7,1	6,2	5,4	6,8	7,8	9,4	9,7	10,1	8,0
ЮЗ	11,4	**9,9**	**10,2**	8,8	7,4	8,0	6,7	9,1	9,5	**11,8**	11,5	**11,7**	**9,7**
ЗЮЗ	**11,6**	9,0	9,0	6,6	7,3	7,3	7,7	9,6	9,2	11,0	**11,8**	**11,1**	**9,3**
З	10,9	8,6	8,5	7,1	**8,2**	**9,3**	**10,1**	**10,4**	**10,3**	11,7	10,4	9,9	**9,6**
ЗСЗ	7,4	6,3	6,0	5,4	6,2	8,6	8,6	9,0	8,7	7,5	6,4	7,1	7,3
СЗ	6,2	6,8	6,1	6,5	7,0	9,1	8,6	7,9	7,8	7,8	6,1	6,1	7,2
ССЗ	3,4	4,5	4,1	4,6	5,2	5,3	5,6	5,2	4,4	4,4	3,2	3,9	4,5
ШТИЛЬ	1,4	1,2	1,3	2,1	2,4	2,9	3,0	3,1	3,0	1,3	1,4	1,2	2,0

Примечание: подчеркнуты румбы с наибольшей повторяемостью в соответствующем месяце

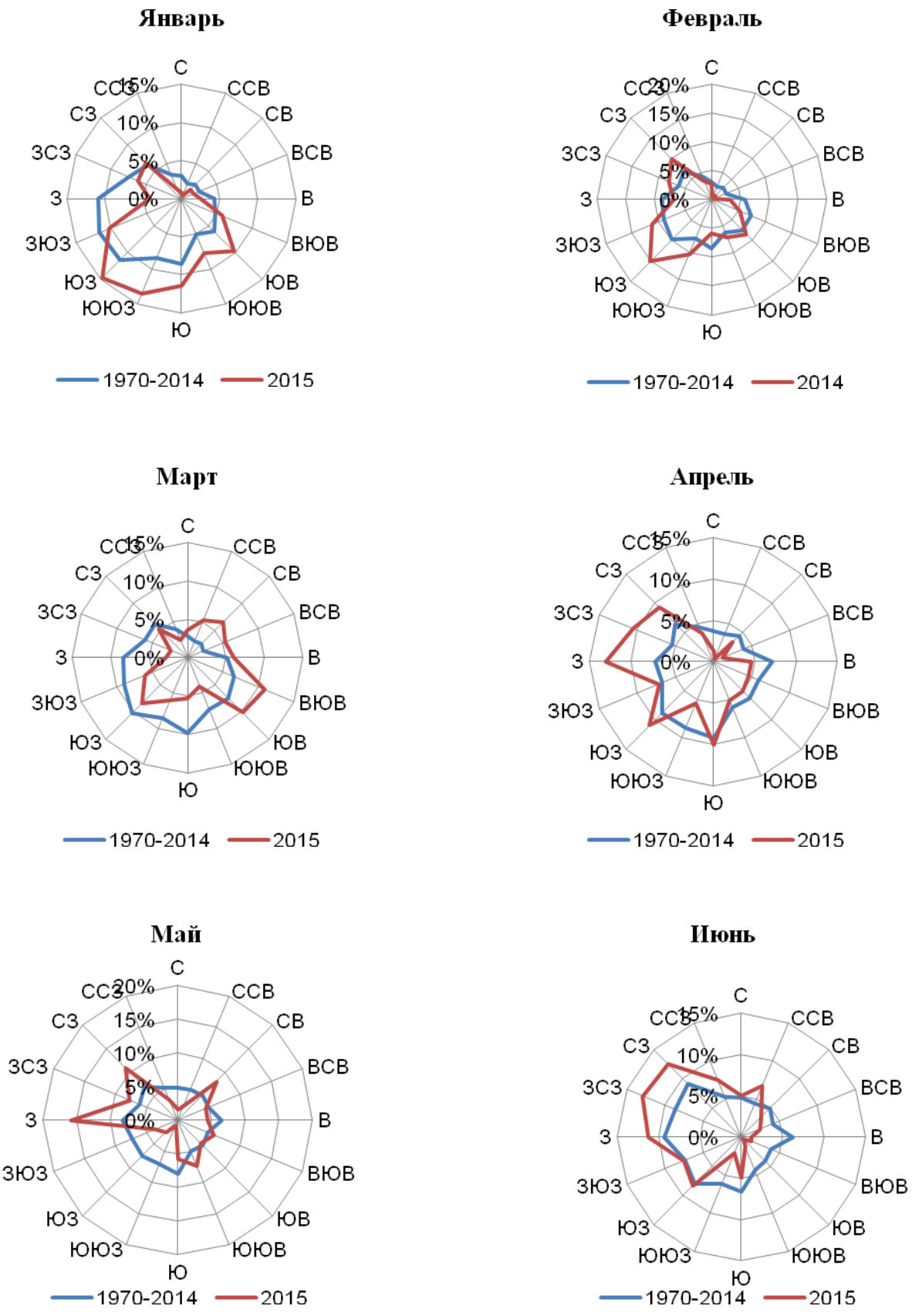
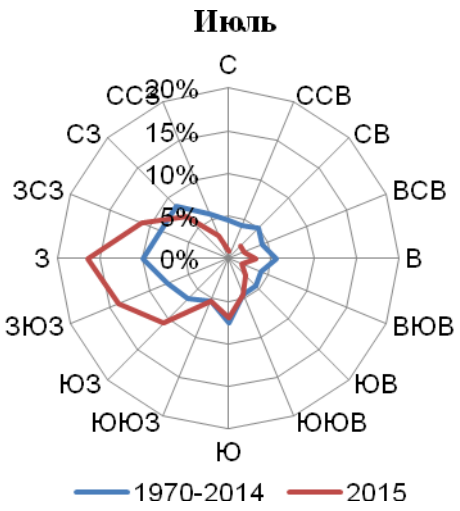
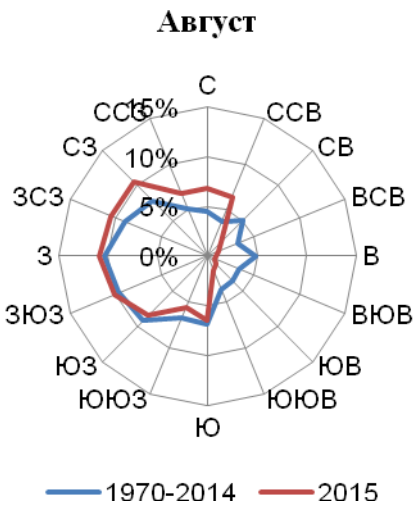
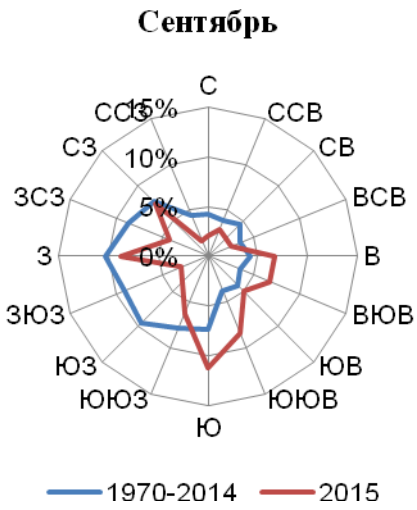
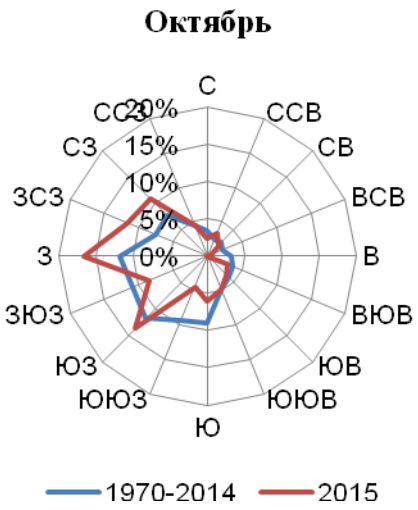


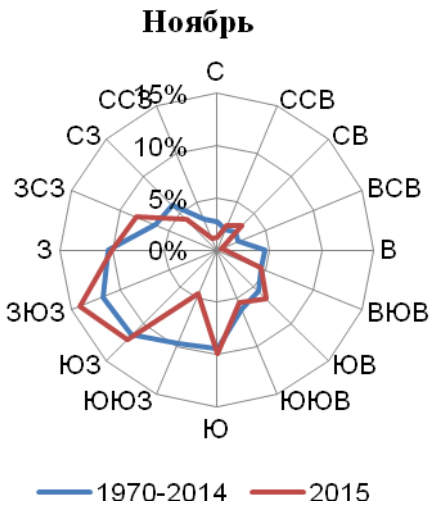
Рисунок 8.4. Повторяемость различных направлений ветра (%) в 2015 г. и в среднем за период 1970-2014 гг.











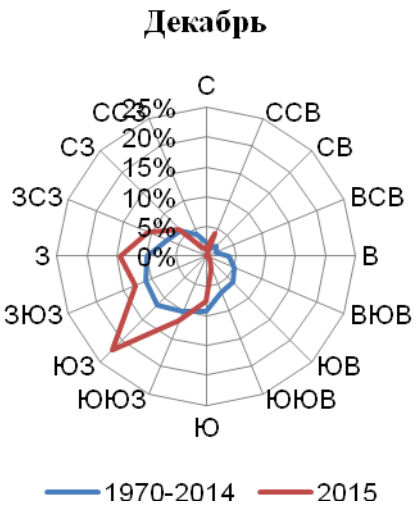


Рисунок 8.4. Повторяемость различных направлений ветра (%) в 2015 г. и в среднем за период 1970-2014 гг. (продолжение)

Литература

Бережная Т.В., А.Д.Голубев, Л.Н.Паршина. 2015. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в апреле 2015г. Метеорология и гидрология, №7, с. с.120-128.

Бережная Т.В., А.Д.Голубев, Л.Н.Паршина. 2015а. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в июне 2015г. Метеорология и гидрология, №9, с. с.110-120.

Бережная Т.В., А.Д.Голубев, Л.Н.Паршина. 2015б. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в сентябре 2015г. Метеорология и гидрология, № 12, с. 109-116.

Евстинеев В.П., Наумова В.А., Евстигнеев М.П. 2013. Поиск и устранение неоднородностей в рядах наблюдений как необходимый этап обработки и анализа гидрометеорологических данных. В сб. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. № 27, С.169-173.

Кондратюк В.И. 1984. Об устранении неоднородности в рядах ветра. Труды ГГО, вып. 485, с.130-135.

Локощенко М.А. 2012. Общие закономерности ветрового режима нижней атмосферы по данным измерений в Москве. В сб.: Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические эффекты. Труды XVI международной школы-конференции молодых ученых. М., ГЕОС, , с. 41-46.

Мещерская А.В. и др. 2006. Изменение скорости ветра на севере России во второй половине XX века по приземным и аэрологическим данным. // Метеорология и гидрология. № 9, с.46-58.

Справочник эколого-климатических характеристик г.Москвы (по наблюдениям Метеорологической обсерватории МГУ). Т.1. Солнечная радиация, солнечное сияние. Метеорологические элементы и явления. Характеристики пограничного слоя атмосферы. 2003. Под ред. А.А.Исаева. М., издательство МГУ, 305 с.

9. Ветровой режим и температурная стратификация в нижнем 800-метровом слое воздуха.

Локощенко М.А.

9.1 – Краткие сведения об акустическом зондировании атмосферы в МГУ в 2015 году.

Акустическое зондирование атмосферы производится в Метеорологической обсерватории МГУ в непрерывном режиме, начиная с 1988 года. Оно было начато здесь по инициативе академика А.М.Обухова и профессора М.А.Петросянца, в содружестве с ИФА АН СССР. В МГУ, впервые в России и в бывшем СССР, акустическое зондирование атмосферы стало регулярным, и с той поры накоплены многолетние ряды содарных данных о температурной стратификации и о ветровом режиме нижней тропосферы. В Метеорологической обсерватории МГУ работают два акустических локатора (содара): с 1988 года – вертикальный одноканальный содар «ЭХО-1» производства ГДР, а с 2004 года – также доплеровский трёхканальный содар «MODOS» производства фирмы МЕТЕК (Германия). Высотный диапазон зондирования составляет от 40 до 500 м для содара «MODOS» и от 25 до 800 м для содара «ЭХО-1»; пространственное разрешение данных обоих локаторов равно соответственно 20 и 12,5 м. Рабочая частота зондирования содаром «MODOS» – 2000 Гц, содаром «ЭХО-1» – 1666,7 Гц. Содарные данные в МГУ широко применяются в исследованиях ветрового режима и его влияния на приземное содержание малых атмосферных газов [2–4,6]. Помимо научных задач, эти данные оперативно передаются по сетевым соединениям в Центральное УГМС, а также в экологическую службу Московского нефтеперерабатывающего завода в районе Капотни. Они успешно используются в экологическом мониторинге при составлении ежедневных краткосрочных прогнозов загрязнения воздушного бассейна Москвы.

В 2015 году удалось продолжить зондирование обоими содарами практически в непрерывном режиме. Как видно из Таблицы 9.1, лишь семь дней за весь год оказались полностью пропущенными для зондирования содаром «MODOS». Самый долгий перерыв продлился с 6-го по 9-е января, когда вся Обсерватория была полностью обесточена в связи с заменой в её здании электропроводки. Помимо этих дней, содар «MODOS» не работал только 9-го мая, 27-го июля и 21-го августа. Всего за весь 2015 год было получено 489 115 достоверных отсчётов скорости и направления ветра на всех высотах от 40 до 500 м. В продолжение всего года не произошло ни одной поломки аппаратуры этого

Таблица 9.1 – Продолжительность измерений содаром «MODOS» в 2015 г. (дни).

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Всего:
27 (22)	28 (23)	31 (24)	30 (19)	30 (21)	30 (28)	30 (28)	30 (25)	30 (27)	31 (29)	30 (21)	31 (27)	358 (294)

Первые числа означают число дней в течение каждого месяца, охваченных акустическим зондированием полностью или частично; вторые числа в скобках – число дней только с непрерывным акустическим зондированием, включая перерывы не дольше 1 ч.

содара; редкие перерывы в зондировании были связаны либо с самопроизвольными выключениями электронного блока при отсутствии автора на рабочем месте в праздничные дни, либо со сгоранием трансформатора и аварийным выключением электропитания в Обсерватории (21 августа). Следует, однако, отметить довольно сильные шумы в содарных данных, особенно в верхней части высотного диапазона, потребовавшие их скрупулёзного и трудоёмкого критического анализа. К сожалению, автоматический контроль в программном обеспечении содара «MODOS», разработанный фирмой-производителем МЕТЕК, не полностью выявляет и устраняет очевидные помехи в исходных данных. В конце декабря 2015 года сотрудник ГАИШ МГУ А.М.Мотылёв обнаружил неисправность одного из усилителей в приёмном устройстве эхо-сигнала в уличном электронном блоке на платформе антенн, что явилось вероятной причиной столь частых и сильных шумов. В период с 24 декабря 2015 года по 04 января 2016 года А.М.Мотылёв любезно осуществил ремонт и подробное тестирование содарной аппаратуры, в ходе которого неисправная микросхема была заменена им на аналогичную из заранее закупленного нами запаса. Достоверно определить время выхода этого усилителя из строя не представляется возможным, однако, особенно сильные шумы проявились в данных содара «MODOS» начиная с середины июня 2015 года. Заметим также, что 06 и 09 ноября автором с помощью В.Г.Перепёлкина были тщательно очищены шахты всех трёх антенн с разбором и промывкой рупоров каждого отдельного громкоговорителя (данная профилактическая процедура проводится ежегодно).

В целом стабильно работал в 2015 году и старый содар «ЭХО-1», зондирование которым было возобновлено в МГУ после долгого пятилетнего перерыва весной 2014 года. Правда, до сих пор остаётся неисправной доплеровская приставка, созданная для этого содара в 2000 году и позволяющая измерять вертикальную составляющую скорости ветра и её

среднеквадратическое отклонение. Ряды ежечасных значений обоих этих показателей по данным содара «ЭХО-1» накоплены лишь за период 2000-2008 гг. Однако сама по себе содарная запись (высотно-временная развёртка значений интенсивности эхо-сигнала в цветовой палитре) до сих пор, как и в конце 1980-х гг., показывает высокое качество данных. Даже столь старый вид аналоговой информации продолжает служить важным подспорьем в отслеживании условий накопления малых атмосферных примесей над городом, включая наличие или отсутствие в нижнем 800-метровом слое воздуха задерживающих слоёв инверсий.

Всего в 2015 году содар «ЭХО-1» работал в течение 325 дней, в том числе, 236 дней – почти без перерывов (Таблица 9.2). Пропущено для зондирования было 40 дней, включая наиболее долгие перерывы с 6-го по 9-е января (как и содаром «MODOS», также не работавшим в эти дни при отключённом в Обсерватории электропитании), с 22-го по 31-е мая и с 19-го по 27-е июля (в дни отъезда автора на международную конференцию). Остальные перерывы в зондировании были короткими. Так, 25-го января антенну полностью засыпало снегом и данных на приёмник не поступало вовсе, поскольку кем-то

Таблица 9.2 – Продолжительность измерений содаром «ЭХО-1» в 2015 г. (дни).

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Всего:
26 (20)	22 (18)	29 (18)	30 (12)	18 (8)	28 (25)	22 (19)	30 (25)	29 (22)	31 (26)	30 (25)	30 (18)	325 (236)

Первые числа означают число дней в течение каждого месяца, охваченных акустическим зондированием полностью или частично; вторые числа в скобках – число дней только с непрерывным акустическим зондированием, включая перерывы не дольше 1 ч.

из наблюдателей было выключено отопление антенны в комнате № 4. Помимо этого, 7-го и 8-го марта, 7-го мая, 1-го и 2-го июня, 21-го августа, 16-го сентября и 13-го декабря содар «ЭХО-1» не работал по иным причинам – чаще всего, вследствие кратковременных перебоев в электрическом питании, приводивших к прекращению записи данных на компьютере, а также вследствие самопроизвольных выключений электронного блока. Заметим попутно, что в состав аппаратуры содара «ЭХО-1» входит компьютер выпуска 1997 года, снабжённый устаревшей операционной системой «Windows-98» (к которой привязан действующий АЦП) и используемый ныне только для записи содарных данных.

Что касается довольно частых спонтанных выключений электронного блока, причина их заключалась в механической неисправности (самопроизвольном отжиме) кнопки сетевого питания производства ГДР на панели этого блока. Данная кнопка была заменена 26 марта 2015 г. сотрудником ИФА РАН А.П.Медведевым на новый тумблер, после чего подобные сбои совершенно прекратились.

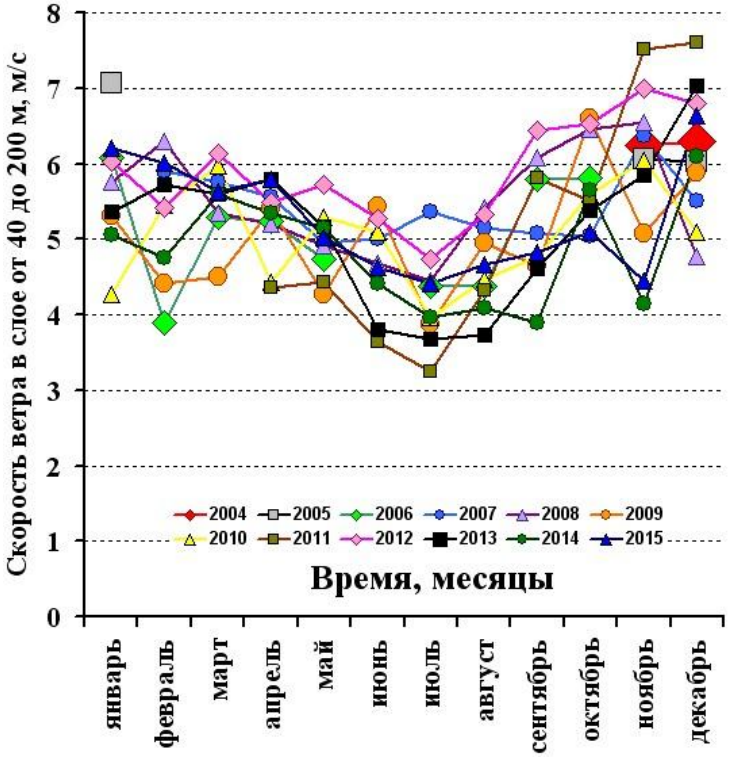
Знаменательной датой с точки зрения практического применения содарных данных явилось 26 июня 2015 года – день, когда с помощью С.Г.Нечелюстова была начата их оперативная круглосуточная передача по сетевым соединениям в отдел мониторинга загрязнения воздуха Центрального УГМС. Двумя месяцами позднее, 25 августа, с помощью С.Г.Нечелюстова была организована также дистанционная передача содарных данных и в экологическую службу МНПЗ в Капотне.

9.2 – Скорость ветра и её наибольшие значения.

Среднемесячные значения скорости ветра $V_{ср.}$ по данным содара «MODOS» в слое воздуха от 40 до 200 м за каждый месяц 2015 года приведены в Таблице 9.3, а также, в графическом виде – на рис. 9.1 и 9.2 (синие треугольники). Как видно, в сравнении с другими годами скорость ветра в 2015 году была довольно обычной и ни в один из месяцев не вышла за границы предельных значений. Как и в другие годы [2], прослеживается общая закономерность сравнительно большой скорости зимой и сравнительно малой – летом. Особенностью 2015 года явился необычно тихий ноябрь, что было связано с синоптическими условиями этого месяца – преимущественным нахождением Москвы вблизи центра обширного антициклона, в малоградиентном барическом поле с высоким фоном давления, а также в седловинах. В отличие от других лет зона интенсивных градиентных течений на южной и восточной периферии исландской депрессии проходила в ноябре 2015 года, как правило, севернее российской столицы. В результате этого среднемесячная скорость ветра в ноябре, наряду с июлем, составила наименьшее за весь год значение – лишь 4,4 м/с. Самым же ветреным месяцем в году оказался декабрь со средней скоростью 6,6 м/с.

Как видно из сравнения со средними многолетними значениями на рис. 9.2, в продолжение пяти месяцев 2015 года – в январе, феврале, апреле, июле и декабре – скорость ветра оказалась заметно выше, чем в среднем за предыдущие десять лет, причём в

а



б

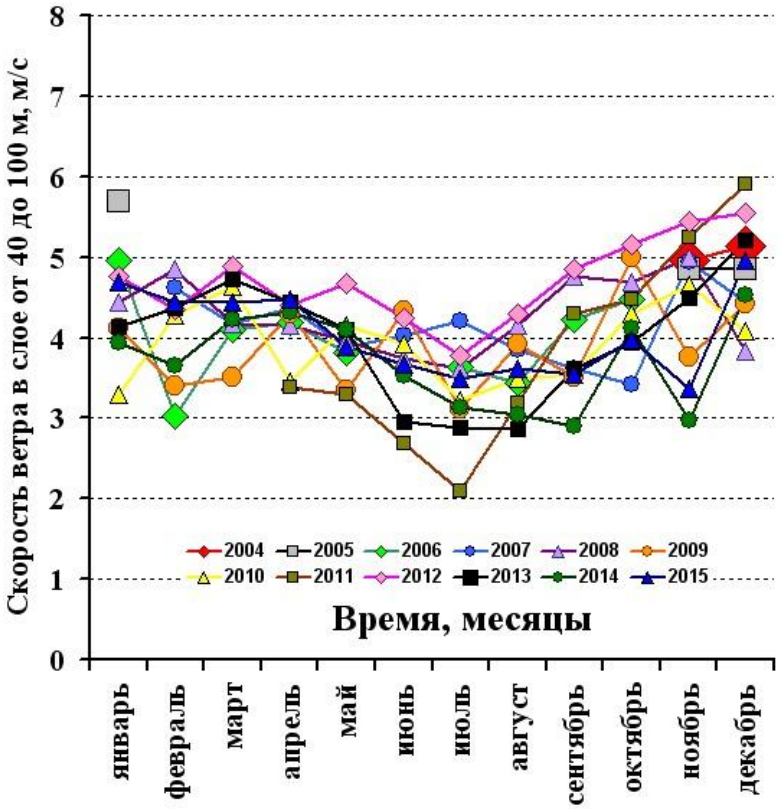


Рисунок 9.1 Годовой ход среднемесячных значений скорости ветра по данным содара «MODOS» в 2015 году и в другие годы: а – в слое воздуха от 40 до 200 м; б – в слое воздуха от 40 до 100 м.

феврале и апреле отклонения от средних значений превысили значение доверительной вероятности 0,95. Трижды – в сентябре, октябре и ноябре – скорость ветра была, напротив,

Таблица 9.3 – Среднемесячная скорость ветра $V_{ср.}$ в слое воздуха от 40 до 200 м и наибольшая в отдельные месяцы скорость ветра V_{max} в слое от 40 до 500 м в 2015 г., м/с.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год:
Vср.	6,2	6,0	5,6	5,8	5,0	4,6	4,4	4,7	4,8	5,1	4,4	6,6	5,3
Vmax	26,0	23,9	23,0	23,3	24,4	27,6	21,5	24,0	26,6	23,7	23,8	26,0	27,6

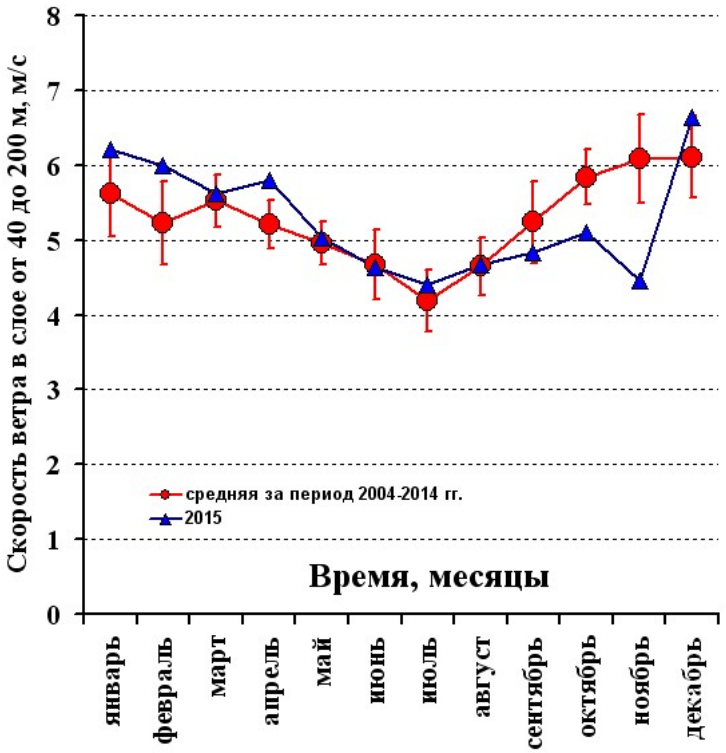


Рисунок 9.2. Годовой ход среднемесячных значений скорости ветра в слое воздуха от 40 до 200 м в 2015 году и в среднем за все предыдущие годы (2004–2014). Доверительные интервалы построены с уровнем значимости 5 %.

существенно меньше, нежели в среднем за 10 лет. Наиболее сильное отклонение от средних значений наблюдалось в ноябре. Ещё четыре раза – в марте, мае, июне и августе – Vср. оказалась очень близкой к многолетней норме. Средняя скорость ветра в слое от 40 до 200 м за весь 2015 год (5,3 м/с) почти точно совпала с аналогичным значением за все предыдущие годы измерений.

Гистограмма значений скорости ветра в слое от 40 до 500 м над Москвой в целом за весь 2015 год (рис.9.3) отмечена наличием одной моды и заметной положительной асимметрией. Модальный интервал скорости, как и обычно [5], составляет от 3 до 4 м/с.

Наибольшее значение V в 2015 году составило по содарным данным 27,6 м/с; оно было отмечено 07 июня в 23.30 на высоте 400 м.

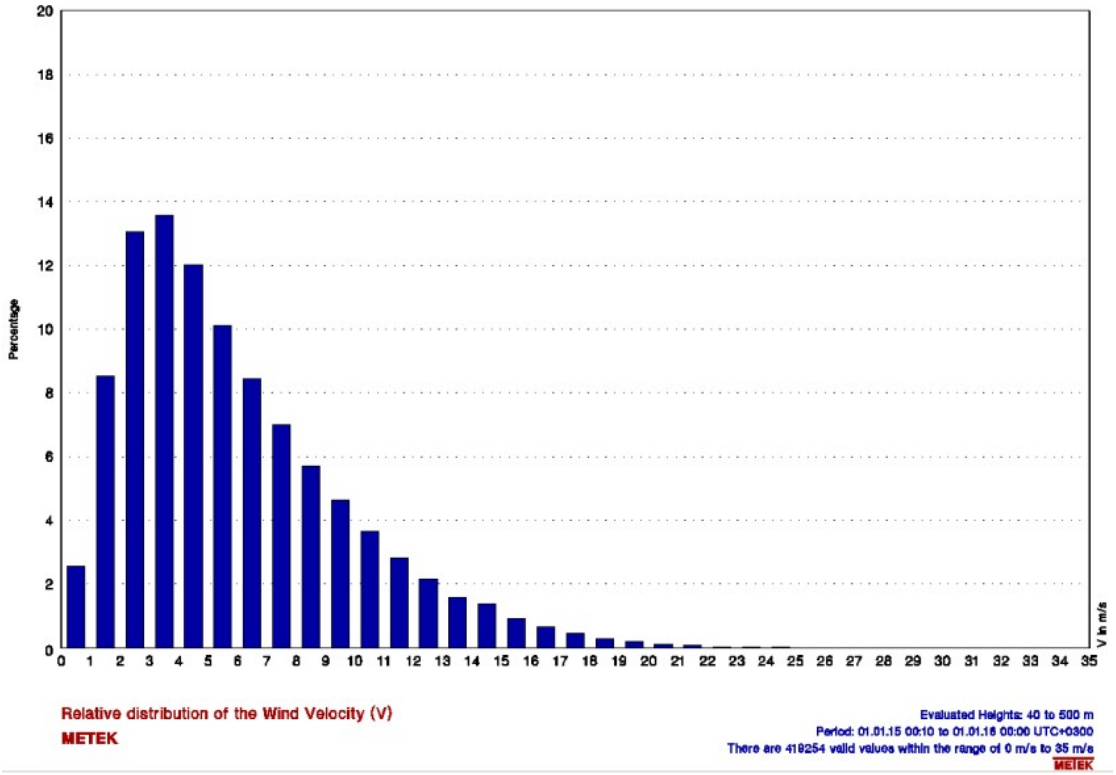


Рисунок 9.3. Распределение значений скорости ветра по содарным данным в МГУ в слое воздуха от 40 до 500 м за 2015 год.

9.3 – Направление ветра.

На рисунке 9.4 приведена сводная роза ветров за 2015 год. Как видим, она показывает обычное преобладание юго-западного ветра, а также наименьшую повторяемость восточного направления. Чаще всего (чёрный и тёмно-синий цвет в цветовой шкале повторяемостей) в 2015 году над Москвой, как и год назад [5], отмечался умеренный ветер в диапазоне скорости от 5 до 10 м/с и в диапазоне направления от 225 до 235˚. Поскольку антенны содара «MODOS» были ориентированы по странам света в 2004 году по стрелке обычного компаса, истинные границы модального диапазона с учётом положительного (восточного) магнитного склонения составляют от 235 до 245˚.

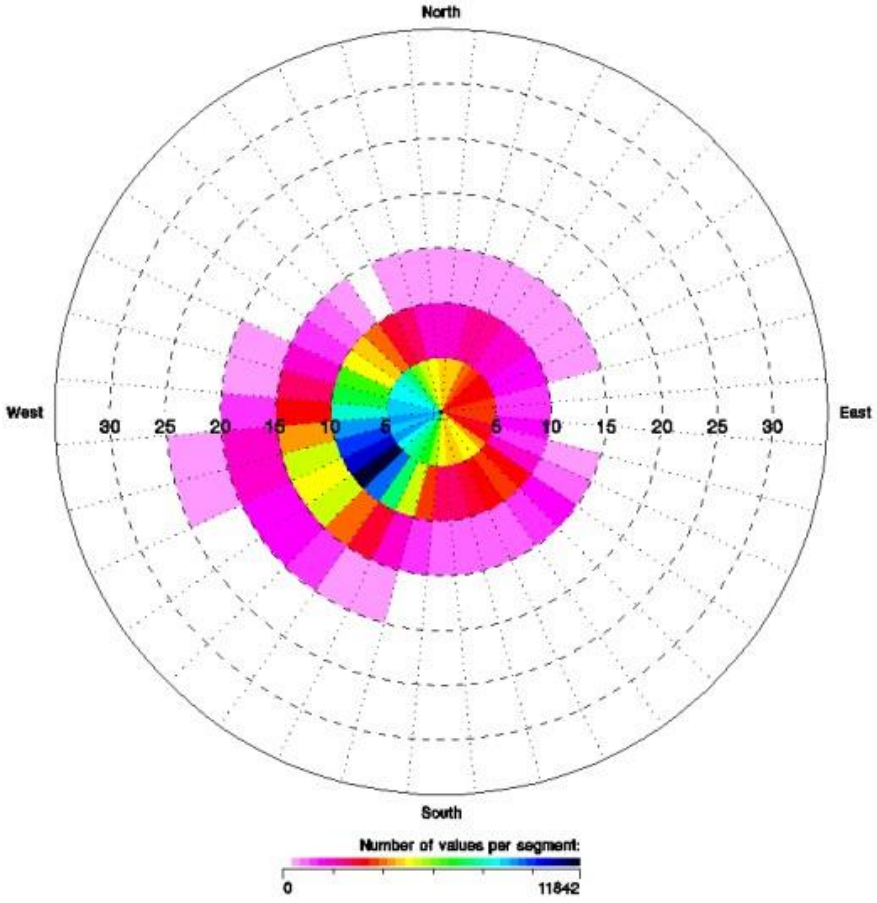


Рисунок 9.4. Роза ветров по данным содара «MODOS» в МГУ в слое воздуха от 40 до 500 м за 2015 год

Заметим, что качественный вид розы ветров весьма сходен в отдельные годы и отличается лишь незначительными особенностями в отдельных секторах [3]. К подобным отличиям в 2015 году относится особенно низкая повторяемость восточных румбов при любой скорости ветра, включая крайне малые её значения от 0 до 5 м/с, а также проявление моды западно-юго-западного направления при сильном ветре (от 20 до 25 м/с).

9.4 – Примеры динамики ветрового режима и температурной стратификации атмосферного пограничного слоя по содарным данным.

Обратимся теперь к наиболее показательным примерам динамики ветрового режима и температурной стратификации в нижнем 800-метровом слое воздуха по данным обоих содаров «MODOS» и «ЭХО-1». Подборки подобных примеров применительно к данным о стратификации опубликованы автором в [1], к данным о профилях ветра – в [4]. Дополнительные подборки по данным 2014 года были приведены в [5]. Однако каждый новый год привносит с собой новые примеры содарных данных, существенно

дополняющие известные по прежним публикациям проявления синоптических процессов и явлений погоды в изменениях структуры нижней тропосферы.

9.4.1. Правый поворот ветра при прохождении фронта.

На рисунке 9.5 в приведённых данных содара «MODOS» наглядно виден правый поворот ветра во времени, произошедший с 14 до 15 ч, когда во всём нижнем 400-метровом слое юго-восточный ветер сменился юго-западным. По архивным картам приземного анализа Немецкой службы погоды Москву в это время прошёл фронт окклюзии, однако, анализ станционных данных Метеорологической обсерватории МГУ показывает со всей очевидностью прохождение тёплого фронта или, возможно, фронта окклюзии по типу тёплого фронта. В пользу этого говорит и резкое потепление, и обложной характер выпавших осадков (снега), и вид облаков (Ns). Как известно, прохождение любых ярко выраженных атмосферных фронтов проявляется в правом (по часовой стрелке) повороте ветра во времени.

9.4.2. Левый поворот ветра во времени.

На рисунке 9.6 нетрудно видеть уже противоположный по направлению поворот ветра во времени – левый, то есть против часовой стрелки. Северо-западные потоки ночью и ранним утром сменились юго-западными, начиная с 9-10 ч. Обычно левый поворот бывает связан с прохождением с запада на восток оси гребня или оси ложбины с выпуклыми к северу изобарами [4]. Действительно, днём 16 января 2015 года Москву прошла ось гребня в системе антициклона с центром над Украиной, что подтверждается и приземными картами, и данными станционного барографа.

9.4.3.Резкие повороты ветра во времени.

Обычные значения поворотов ветра во времени при прохождении атмосферных фронтов на масштабах времени нескольких часов составляют около 40–50˚ [4]. Однако в некоторых случаях возможны гораздо более резкие повороты ветра. Подобный пример произошёл поворот ветра более чем на 220˚ (!): с восточного на северо-западное направление. Если в 01.00 среднее направление ветра в слое воздуха от 40 до 300 м составляло 101˚, а в 01.50 – 89˚, то уже в 03.00 оно достигло 302˚, а 03.10 – даже

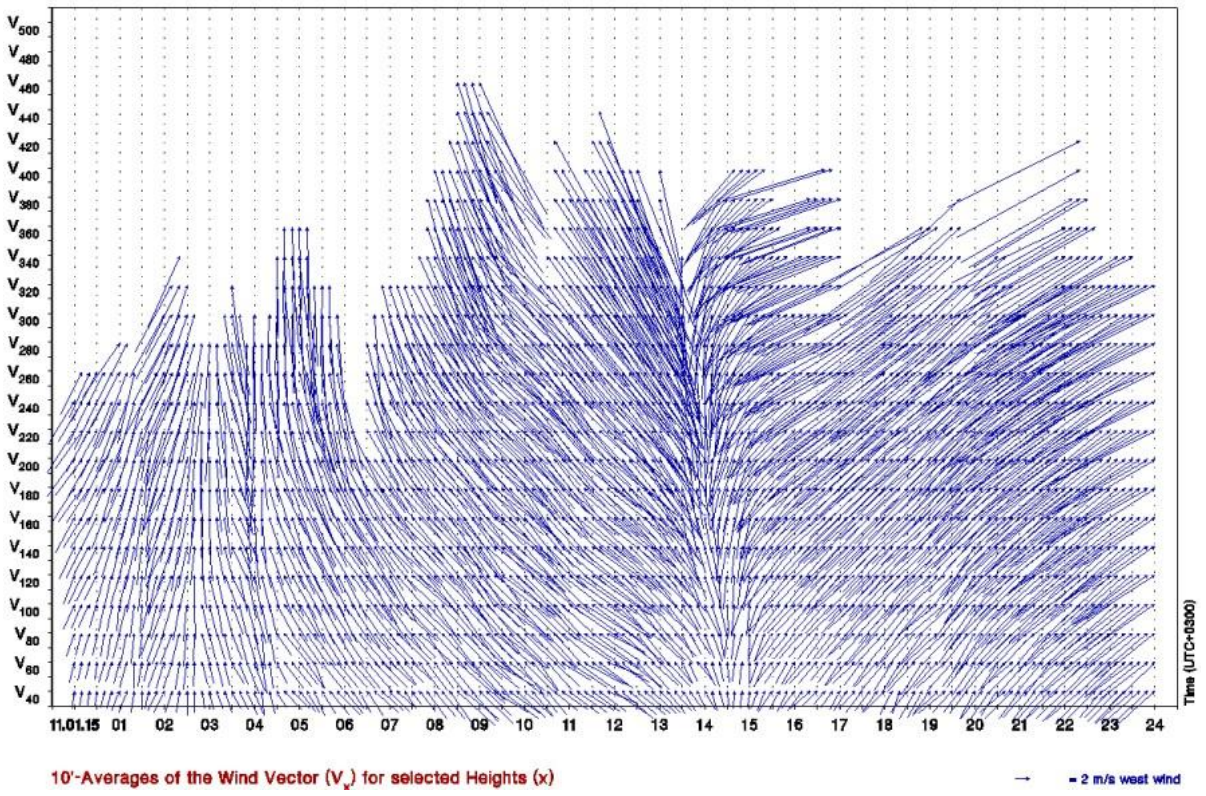


Рисунок 9.5. Правый поворот ветра во времени по данным содара «MODOS» в МГУ 11 января 2015 года при прохождении атмосферного фронта.

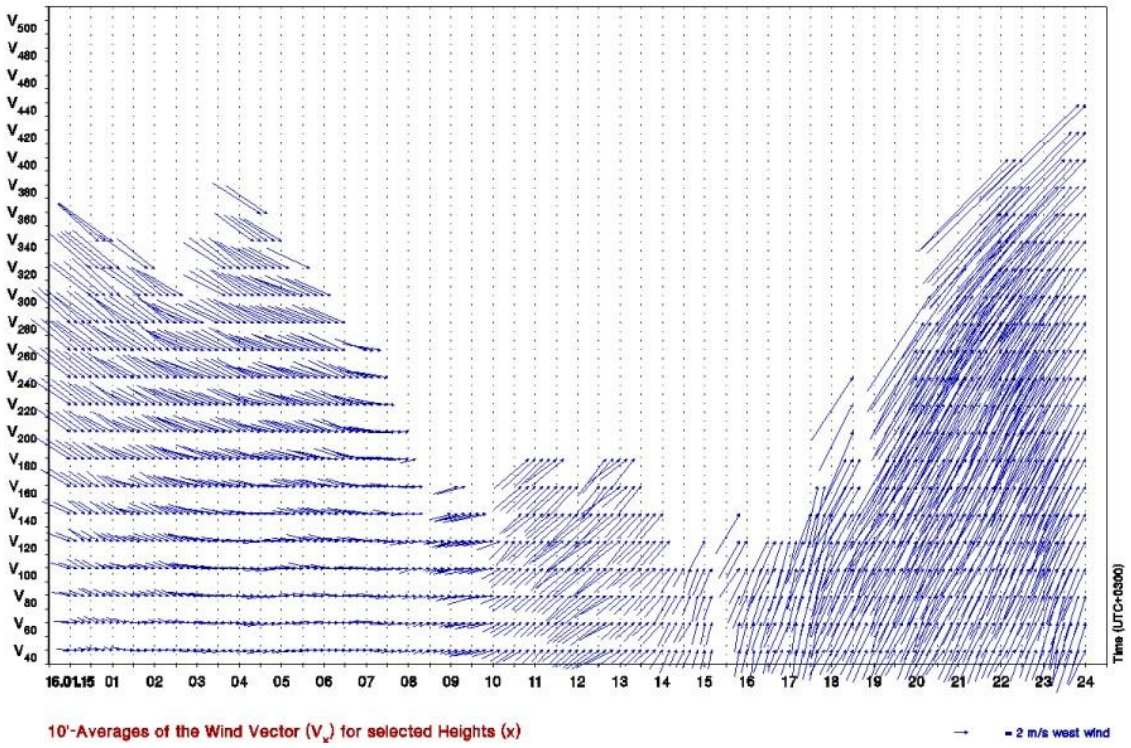


Рисунок 9.6. Левый поворот ветра во времени по данным содара «MODOS» в МГУ 16 января 2015 года при прохождении оси гребня.

314˚. Особенно резкий поворот (на 164˚ всего за 10 мин) произошёл в 03 ч, поскольку и в 02.40, и в 02.50 направление ветра составляло ещё 138˚. В том, что поворот происходил именно по часовой стрелке, нас убеждает последовательность значений. Причиной такого интересного явления послужило прохождение в это время над Москвой с запада на восток центра циклона. Именно быстрое прохождение над местом зондирования центров барических образований может приводить к столь резким изменениям в направлении ветра.

9.4.4.Долгий мёртвый штиль.

Отдельный интерес представляют случаи чрезвычайно долгого и почти полного штиля на высотах. Как видно на рис.9.8, 24 и 25 октября скорость ветра была чрезвычайно мала во всём диапазоне зондирования. Так, с 22.30 24-го числа до 03.10 25-го числа на всех высотах в слое до 120 м средняя за 10 минут V ни разу не достигла даже значения 1 м/с, а в период с 21.50 до 16.20 оставалась менее 2 м/с на всех без исключения высотах. Заметим, что в этот день, 25 октября, станционный анеморумбометр М-63 в МГУ показал полный штиль на высоте 15 м шесть сроков подряд – с 0 до 15 ч. Даже максимальные порывы

ветра между сроками составили в эти часы по данным М-63 лишь 1-2 м/с. Столь долгий штиль был связан с нахождением Москвы в седловине, в обширном малоградиентном барическом поле.

9.4.5.Однородный поток.

Приведём теперь пример однородного потока с почти постоянным направлением во всём диапазоне зондирования, отмеченный 09 марта (рис.9.9). Как показано в [4], подобные случаи характерны для периферии обширных и малоподвижных барических образований с квазивертикальной осью. Действительно, Москва в течение всего этого дня находилась на южной периферии огромной барической депрессии с центром над о. Шпицберген, охватывавшей всю Северную и Восточную Европу. Устойчивость синоптической ситуации определила практически постоянное направление ветра в продолжение многих часов.

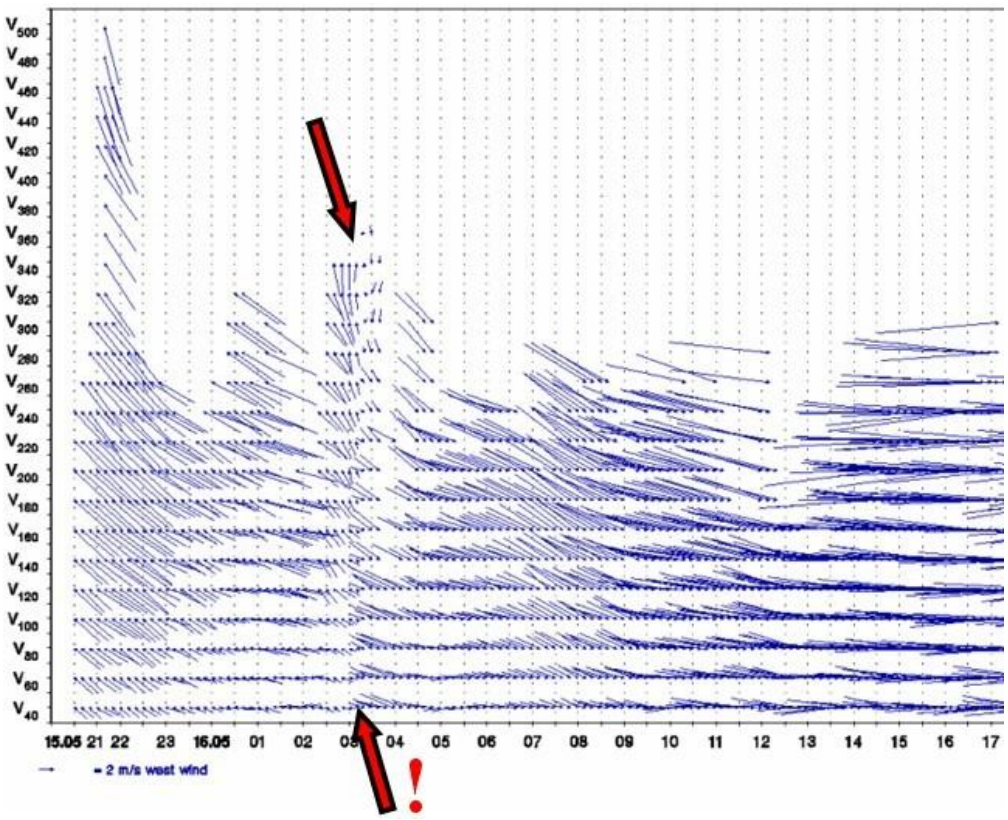


Рисунок 9.7. Резкий поворот ветра во времени по данным содара «MODOS» в МГУ 15 и 16 мая 2015 года при прохождении центра циклона.

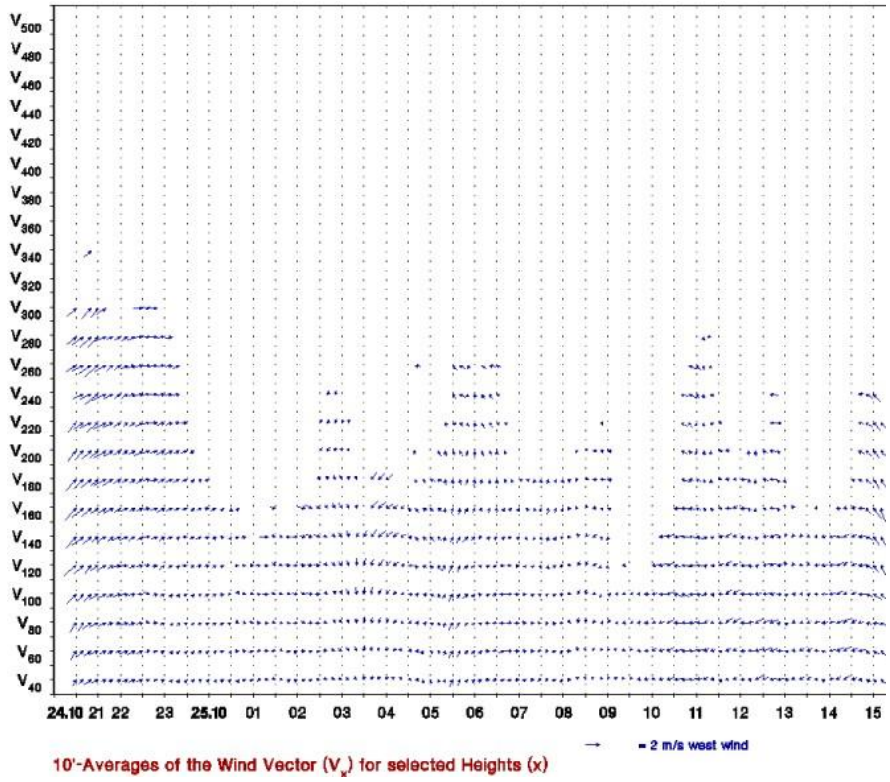


Рисунок 9.8. Необычно долгий штильпо данным содара «MODOS» в МГУ 24 и 25 октября 2015 года в седловине.

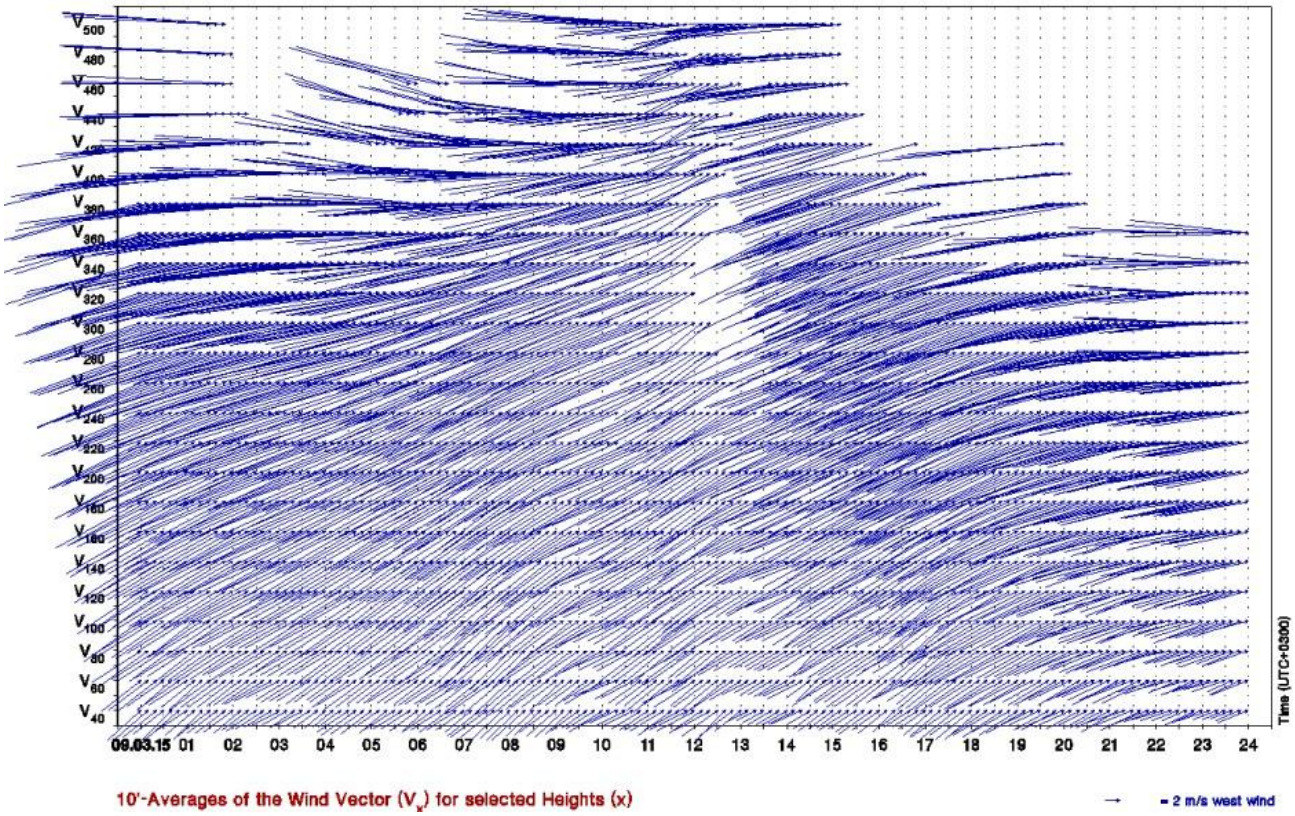


Рисунок 9.9. Однородный потокпо данным содара «MODOS» в МГУ 09 марта 2015 года на периферии обширной барической депрессии.

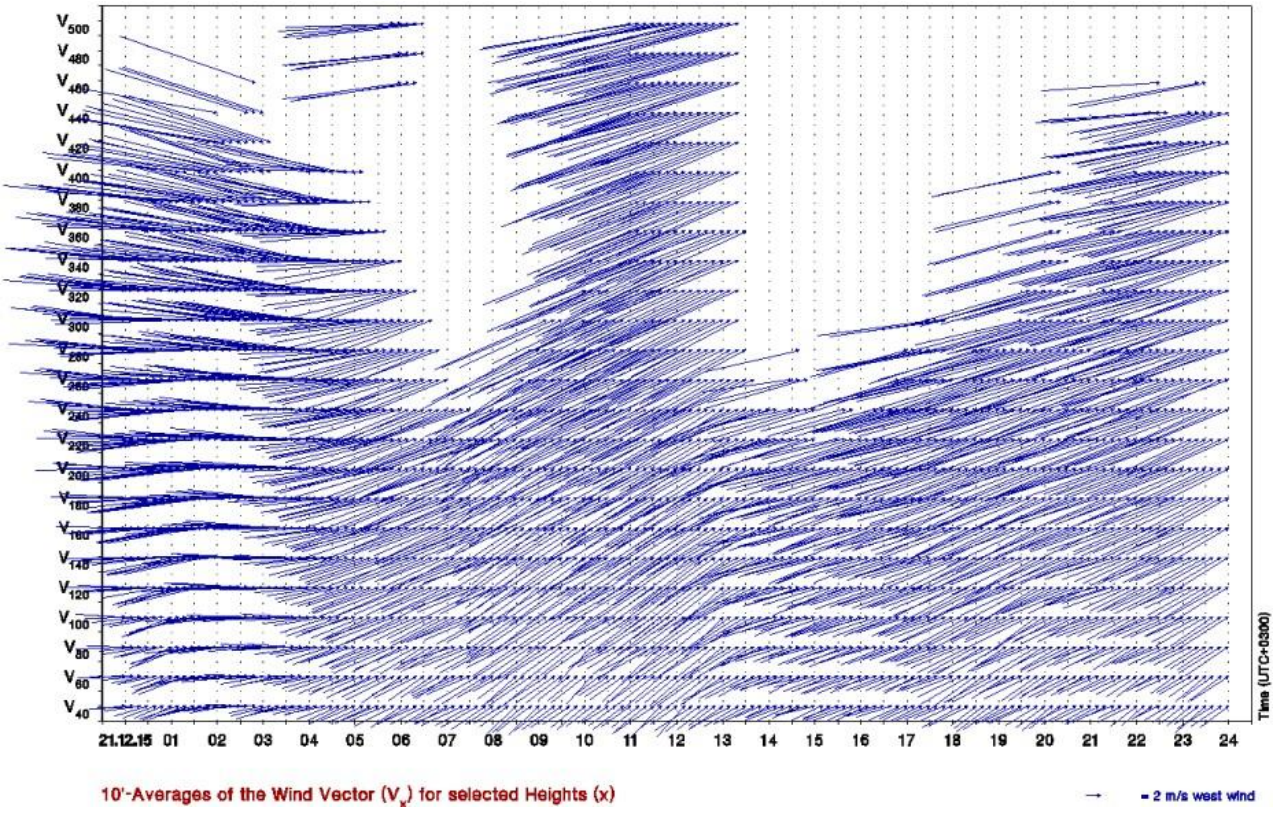


Рисунок 9.10. Сильная тёплая адвекцияпо данным содара «MODOS» в МГУ 21 декабря 2015 года в тёплом секторе циклона.

9.4.6. Аномальная жара в декабре.

Отдельный интерес представляет ветровой режим 21 декабря 2015 года (рис.9.10). Как уже отмечено нами выше в разделе 2, этот день стал вторым в ряду самых жарких дней в декабре, начиная, по меньшей мере, с 1879 года. Москва находилась в тёплом секторе циклона, в условиях господства очень тёплой свежепришедшей воздушной массы тропического происхождения. Косвенным подтверждением необычно сильной адвекции тепла в этот день явился сильный юго-западный ветер. В 12.20 на высоте 500 м было отмечено значение 22,9 м/с (в исходных, не сглаженных данных – даже 23,7 м/с).

9.4.7. Сильный правый поворот с высотой.

Отметим также интересные случаи необычно резкого правого поворота с высотой. Как известно, в среднем по многолетним содарным данным в МГУ величина поворота ветра по часовой стрелке с высотой составляет в слое воздуха от 40 до 500 м около 20˚ [3]. Однако в ряде случаев наблюдаются и существенно большие значения. Два подобных примера приведены на рисунках 9.11 и 9.12. Как видно, 23 января 2015 года поворот ветра в слое воздуха от 40 до 440 м достиг с 14.00 до 14.20 от 73 до 76˚, а в слое от 40 до 460˚ в 14.10 – даже 78˚ (направление ветра на высоте 40 м составило в это время 136˚, а на 460 м - 214˚). В другом примере, 25 февраля, поворот ветра в слое от 40 до 400 м составил 60˚ в 0.20, 62˚ в 0.30, 61˚ с 3.50 до 4.10; в слое от 40 до 440 м – 61˚ в 11.40. С учётом очевидной преемственности значений направления ветра на разных высотах приведённые оценки вполне надёжны. Вероятной причиной столь резких поворотов ветра с высотой служат изменения термического ветра, определяемые конкретной синоптической ситуацией.

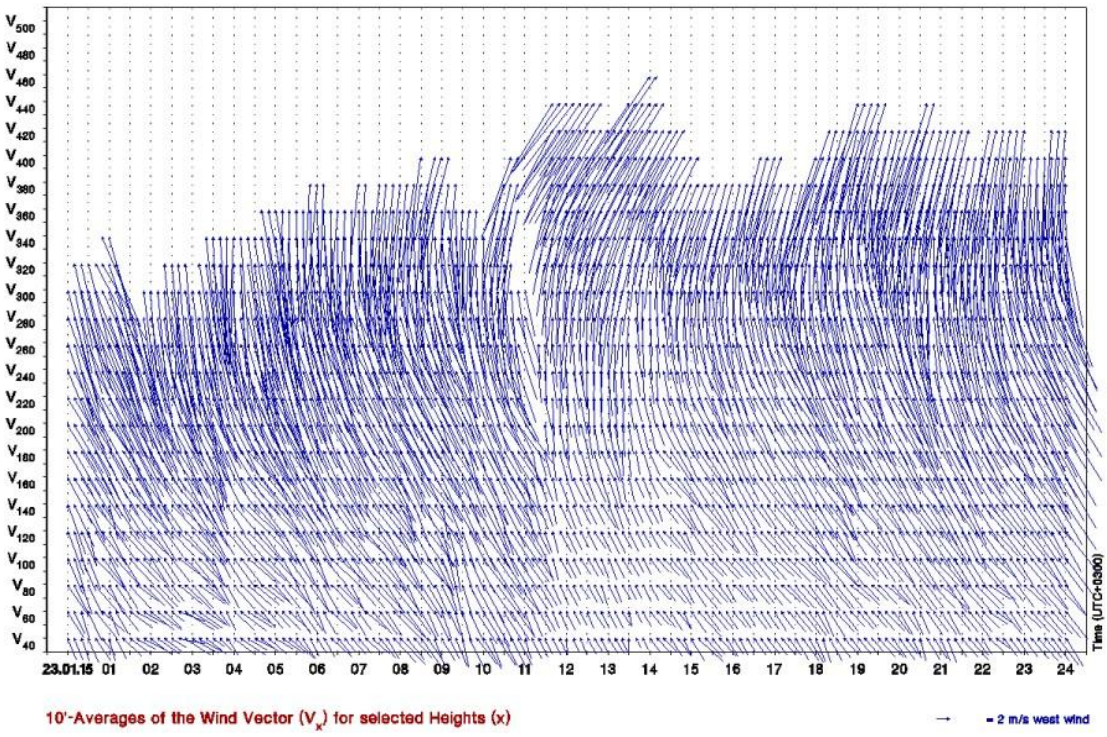


Рисунок 9.11. Резкий правый поворот ветра с высотой по данным содара «MODOS» в МГУ 23 января 2015 года

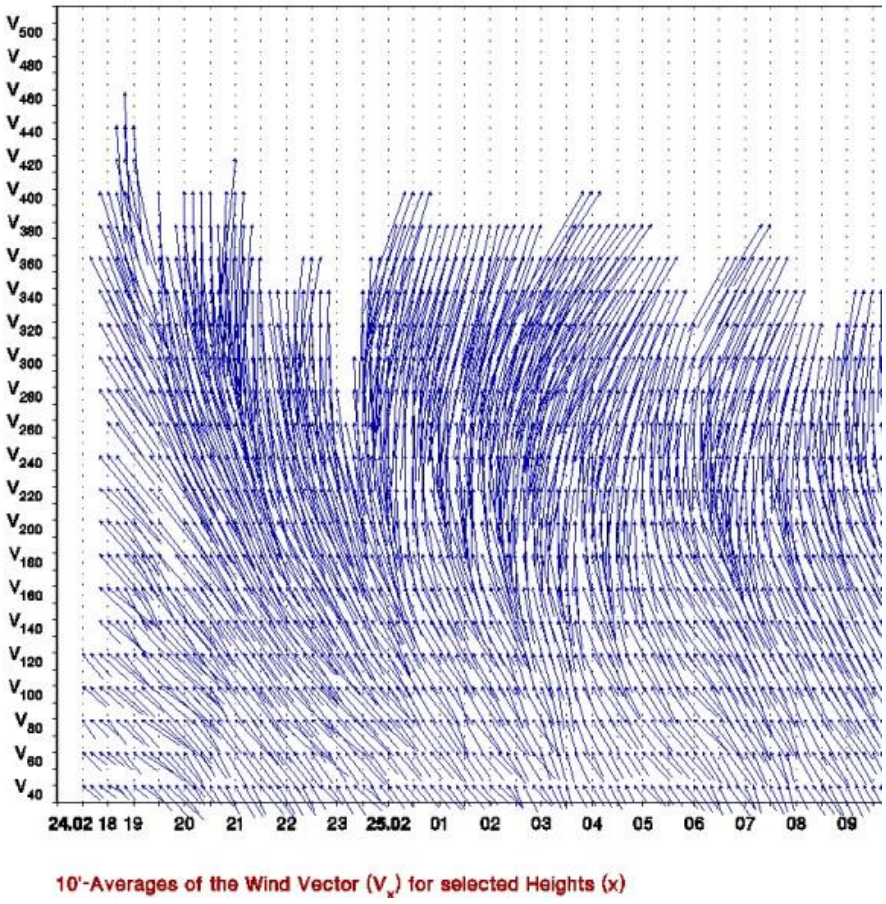


Рисунок 9.12. Резкий правый поворот ветра с высотой по данным содара «MODOS» в МГУ

24–25 февраля января 2015 года.

9.4.8. *Чрезвычайно большие повороты ветра во времени.*

Многообразие динамики ветрового режима на масштабах времени от 10 мин до нескольких часов не исчерпывается ни одной, даже самой подробной подборкой примеров. В ряду возможных случаев отметим среди прочего необычно большую величину поворота ветра во времени. Один из таких примеров приведён на рис. 9.13. Как видим, 27 апреля 2015 года всего за семь часов, с 14 до 21 ч, направление ветра показало полный оборот по кругу, по часовой стрелке на 360˚: от юго-западного к юго-западному. Особенно быстрым поворот ветра оказался в вечерние часы: среднее направление ветра в слое воздуха от 40 до 300 м в 16 ч составило 252˚, в 17 ч – 26˚, а в 18 ч – уже 114˚.

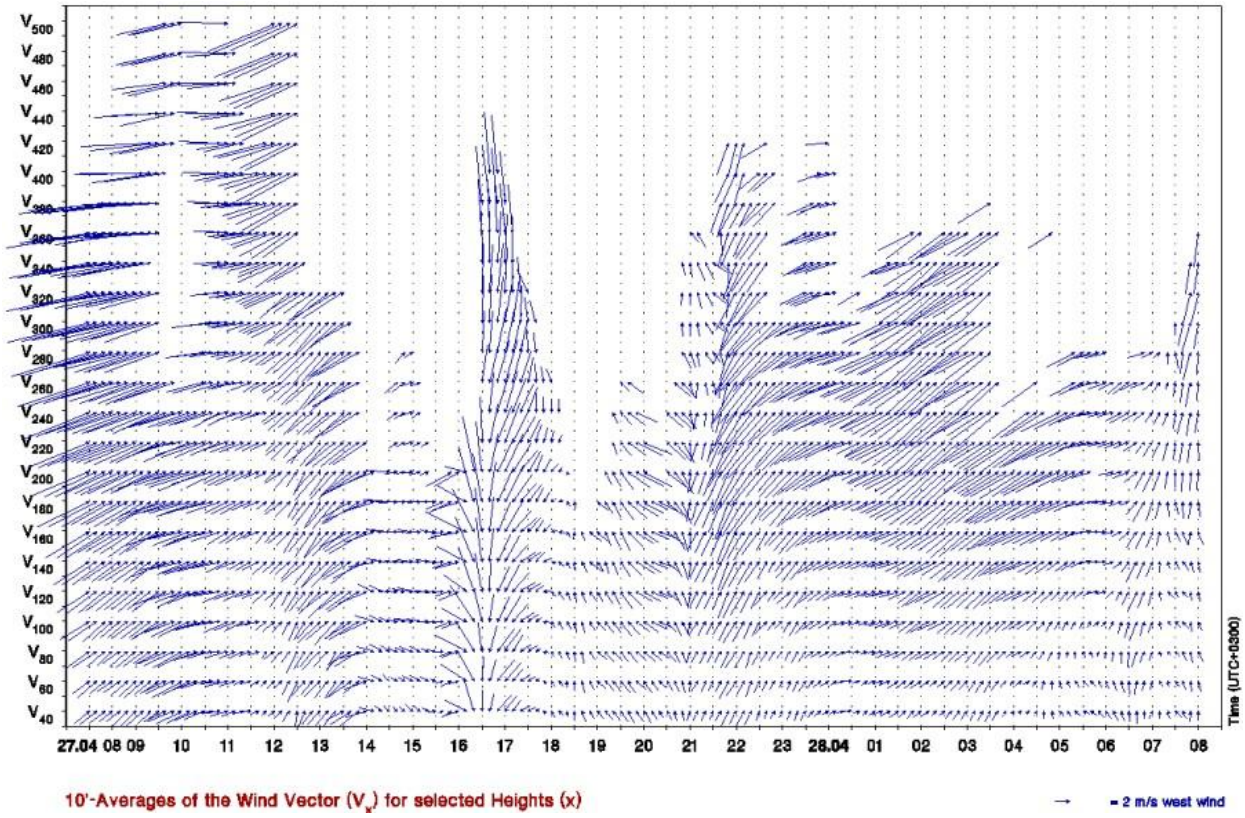


Рисунок 9.13. Поворот ветра во времени на 360˚ по данным содара «MODOS» в МГУ 27 апреля 2015 года.

Практика показывает, что столь значительные повороты ветра, вплоть до 2π и более, часто связаны с прохождением над местом зондирования, при ослаблении общего потока, мезомасштабных барических образований: вторичных циклонов или отрогов антициклонов с замкнутой изобарой крайне малого радиуса. Очевидно, что прогноз

направления переноса примесей в атмосферном пограничном слое от точечных и линейных источников загрязнения в подобных условиях особенно сложен.

9.4.9. Множественные приподнятые инверсии.

На рис. 9.14 и 9.15 приведены примеры трёх приподнятых инверсий, существовавших по данным содара «ЭХО-1» одновременно в нижнем 800-метровом слое. Отдельные слои показаны для наглядности красными стрелками. Как известно, инверсии обычно проявляются на содарной записи (высотно-временной развёртке эхо-сигнала) в виде протяжённых слоёв сильного эхо-сигнала, связанного с интенсивным развитием мелкомасштабной термической турбулентности вблизи основания инверсий. Именно акустическое зондирование атмосферы впервые открыло перед исследователями сложную, подчас многослойную структуру устойчиво стратифицированной нижней атмосферы. Как известно, в условиях сложного рельефа – например, в горных долинах – число одновременных приподнятых инверсий может доходить даже до восьми, как это было показано в своё время сотрудниками ИФА АН СССР. Сходные примеры нескольких приподнятых инверсий по данным зондирования в МГУ приводились автором и ранее, в [1,5].

Всего за период с 1988 по 2003 гг. по данным содара «ЭХО-1» было отмечено 4329 часов с любыми приподнятыми инверсиями, в том числе 4083 ч или 94,3 % с одной; 193 ч (4,5 %) с двумя; 48 ч (1,1 %) с тремя и лишь 5 ч (0,1 %) с четырьмя приподнятыми инверсиями одновременно. Четыре приподнятых слоя эхо-сигнала на содарной записи наблюдаются в Москве крайне редко; они существовали одновременно в 7 ч 05 февраля 1991 г., в 5 и в 7 ч 30 мая 1991 г., в 12 ч 17 ноября 1991 г. и в 6 ч 22 ноября 1999 г.

9.4.10. Приземные инверсии большой мощности.

Отдельный интерес представляют случаи особо мощных приземных инверсий. На рис.9.16 приведён пример приземной инверсии с очень высокой вершиной: вплоть до 650 м в отдельные промежутки времени (с 3.40 до 4.00, с 4.10 до 4.20 и с 5.40 до 6.00). Средняя же мощность приземных инверсий по данным многолетнего зондирования содаром «ЭХО-1» в 1988-2003 гг. равна 264 м. Максимум-максиморум этого показателя составляет в

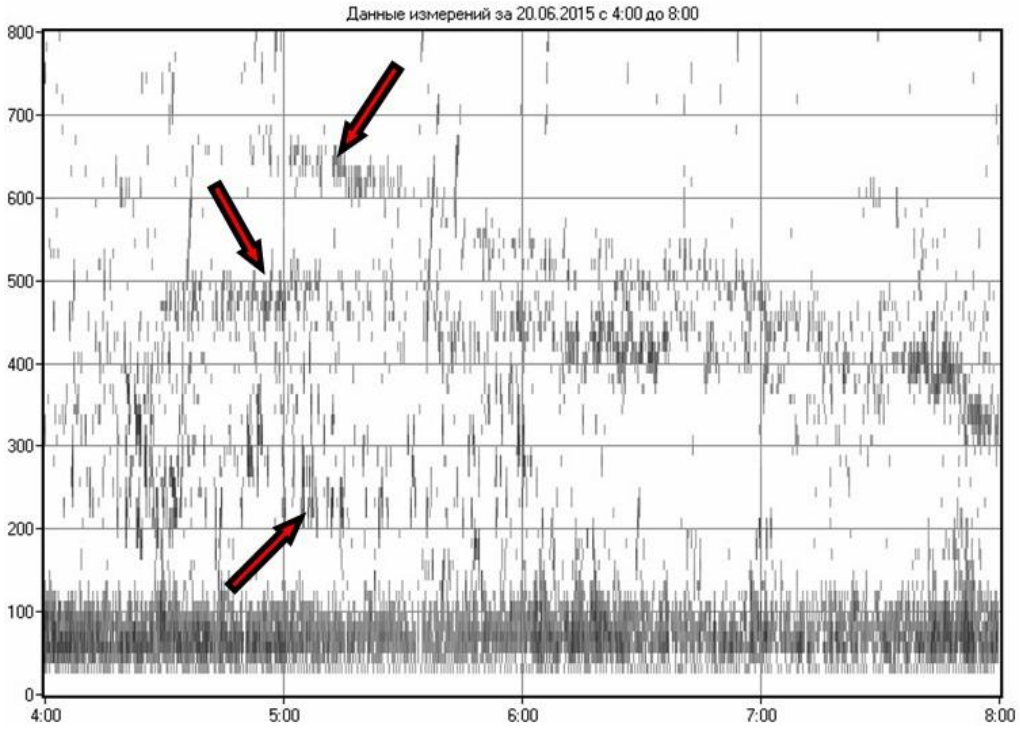


Рисунок 9.14. Сложная многослойная структура устойчиво стратифицированного атмосферного пограничного слоя (три приподнятые инверсии) по данным содара «ЭХО-1» в МГУ 20 июня 2015 года

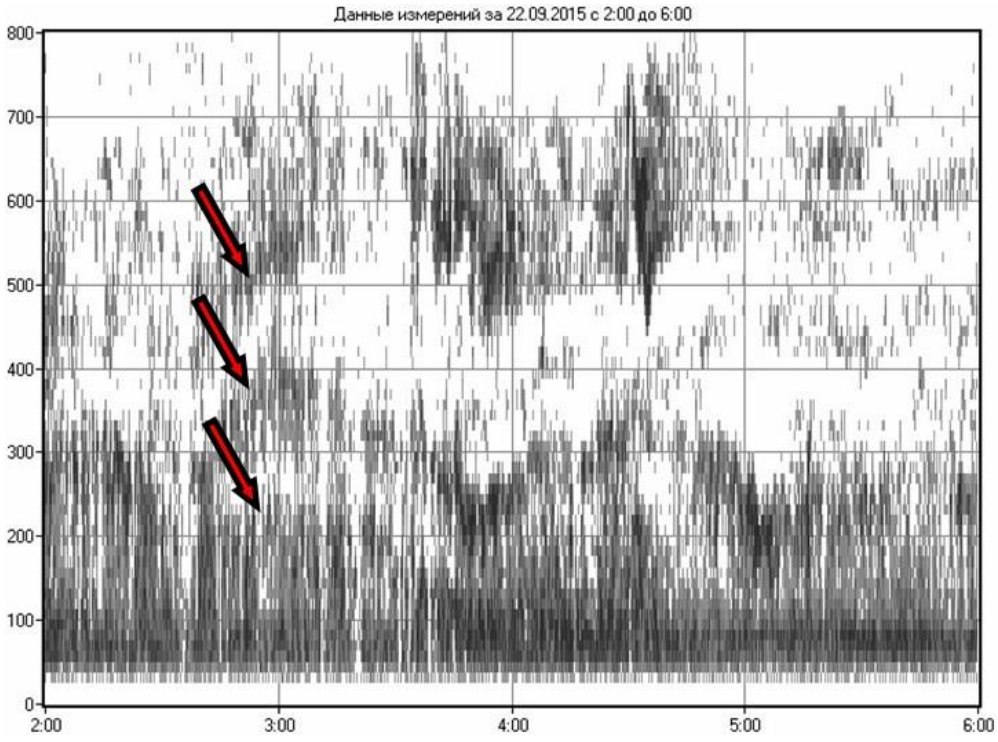


Рисунок 9.15. Сложная многослойная структура устойчиво стратифицированного атмосферного пограничного слоя (три приподнятые инверсии) по данным содара «ЭХО-1» в МГУ 22 сентября 2015 года.

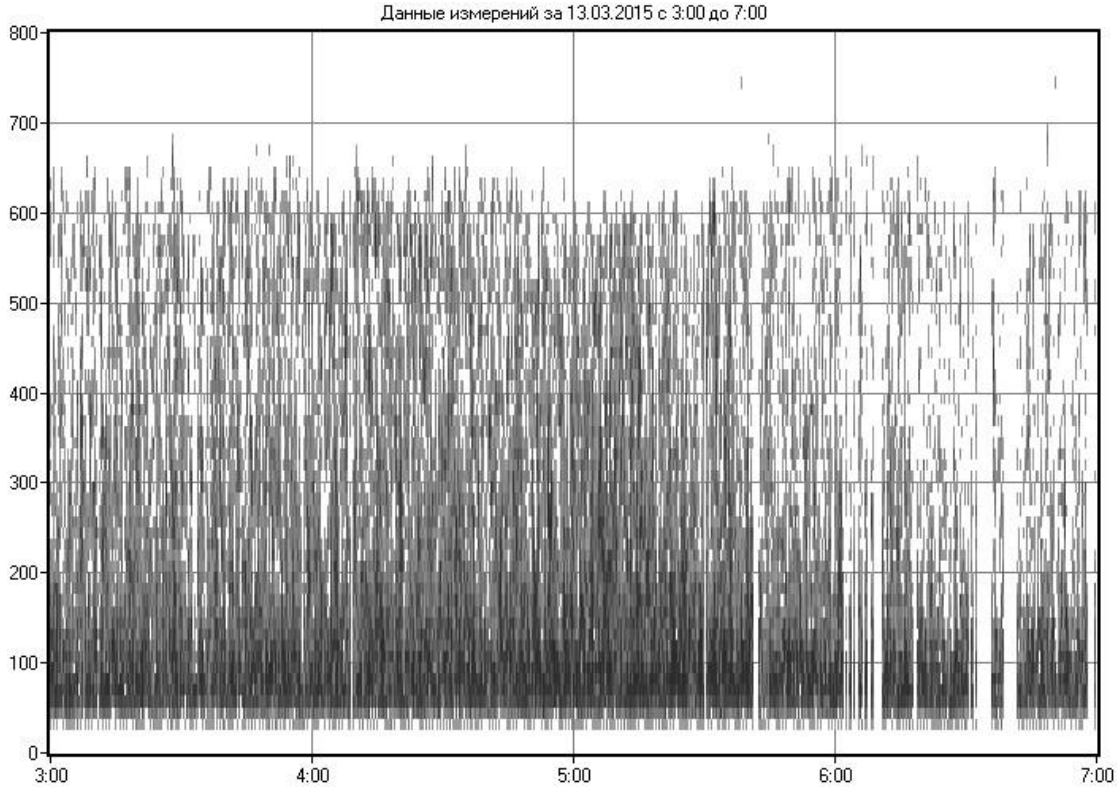


Рисунок 9.16. Необычно мощная приземная инверсия по данным содара «ЭХО-1» в МГУ 13 марта 2015 года.

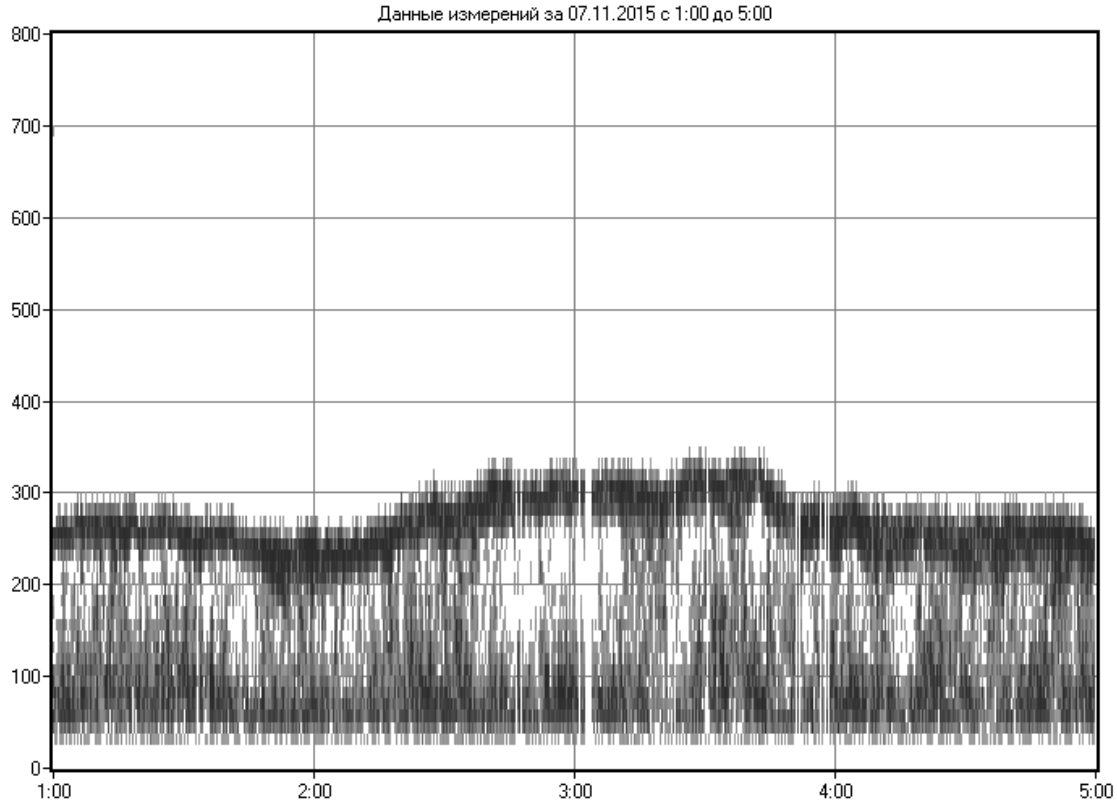


Рисунок 9.17. Приподнятая инверсия оседания по данным содара «ЭХО-1» в МГУ 07 ноября 2015 года

среднем за час 680 м и был отмечен в 24 ч 26 апреля 1989 года. Заметим, что речь здесь, строго говоря, идёт о турбулентной структуре слоя с ярко выраженной динамической турбулентностью, тесно связанной с приземными инверсиями и обычно ограниченной по высоте уровнем локального максимума скорости ветра. Реальная же мощность приземных инверсий может быть ещё больше, поскольку в верхней их части сдвиг ветра подчас сходит на нет, число Ричардсона оказывается сверхкритическим, и эхо-сигнал не образуется. Практическое значение содарных данных об атмосферных инверсиях заключается в возможности определять высоту реального слоя вертикального перемешивания, что важно для задач экологического мониторинга.

9.4.11. Приподнятые долгоживущие инверсии оседания.

Рассмотрим также пример довольно долгой инверсии оседания на рис. 9.17. Она существовала непрерывно в продолжение 46 часов, с 21 ч 6 ноября до 19 ч 8 ноября 2015 года. Большую часть этого времени основание этой инверсии было заключено в пределах от 200 до 300 м. Подобные случаи, при одновременном ослаблении переноса, могут представлять опасность накопления в приземном слое воздуха малых атмосферных примесей сверх обычных значений их содержания. Приподнятые инверсии оседания в условиях нашего климата обычно образуются на периферии обширных и малоподвижных антициклонов поздней осенью или зимой.

9.4.12. Неустойчивая стратификация зимой.

На рис. 9.18 приведён довольно редкий случай развития неустойчивой стратификации в нижней части атмосферного пограничного слоя в середине зимы. Она проявляется в вертикально протяжённых структурах отдельных конвективных термиков, хорошо различимых на содарной записи под слоем приподнятой инверсии. Сверхадиабатические градиенты температуры воздуха обычно образуются зимой вблизи поверхности в случаях вхождений холодных воздушных масс и имеют как правило адвективную природу.

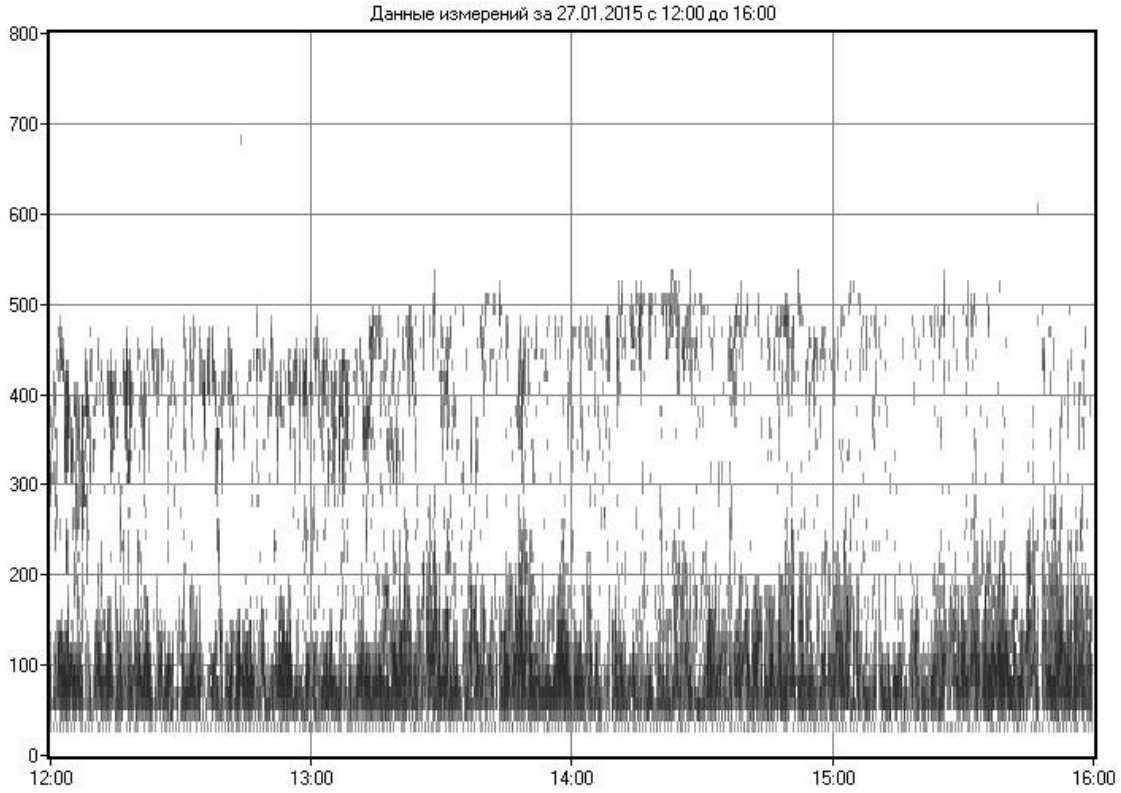


Рисунок 9.18. Неустойчивая стратификация в приземном слое воздуха по данным содара «ЭХО-1» в МГУ 27 января 2015 года.

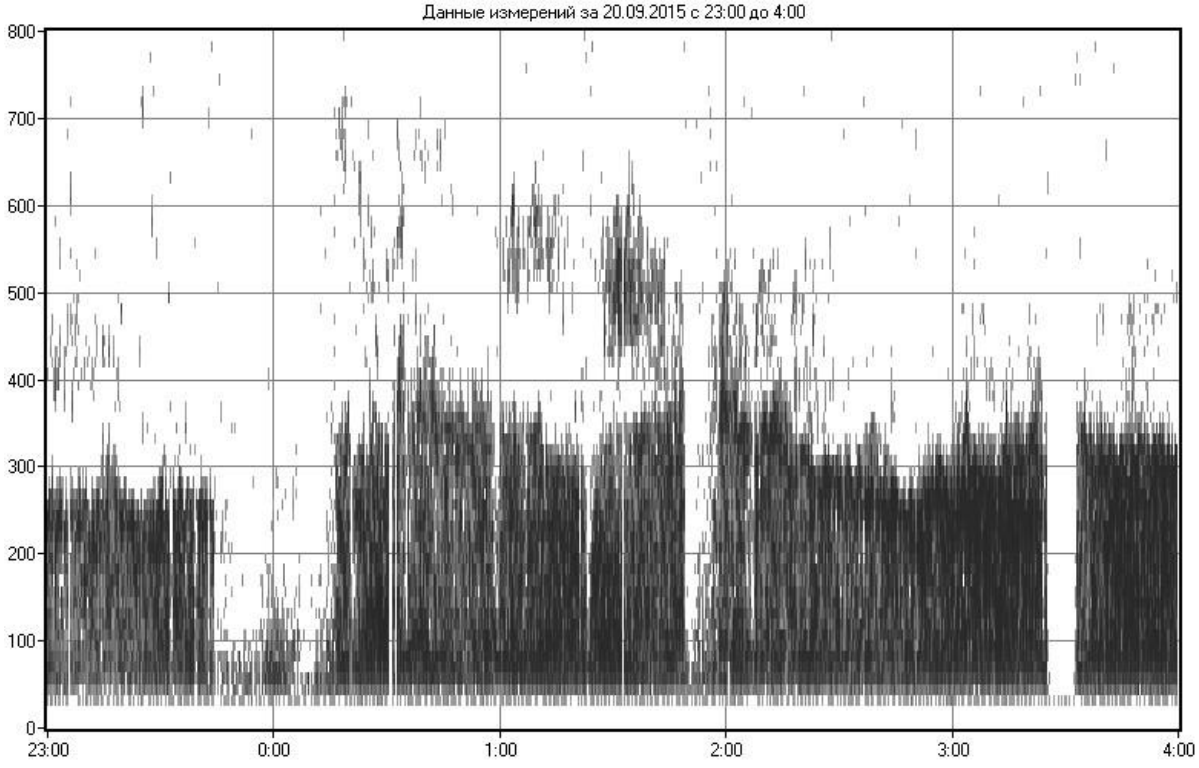


Рисунок 9.19. Динамическое разрушение слоя инверсии ливневыми осадками по данным содара «ЭХО-1» в МГУ 20-21 сентября 2015 года.

9.4.13. Динамическое разрушение инверсии.

Ещё один интересный пример связан с явлением очень быстрого динамического разрушения приземной инверсии при сильных ливнях. Как видим на рис.9.19, ночью 20-21 сентября 2015 года трижды происходило кратковременное разрушение слоя приземной инверсии с последующим её восстановлением: с 23.44 до 0.16, с 1.49 до 1.57 и с 3.25 до 3.32. Причина данного явления очевидна и связана с сильными ливневыми дождями, прошедшими в это самое время. Согласно станционным данным КМ-1, умеренный и сильный ливневый дождь был отмечен в эту ночь с 23.46 до 0.25, с 1.55 до 2.00 и с 3.24 до 3.36. С учётом возможного субъективного смещения в визуальных оценках наблюдателем времени начала и конца атмосферных явлений совпадение периодов выпадения сильных ливней и внезапного исчезновения эхо-сигнала (пробелы на содарной записи) однозначно сточностью лишь до нескольких минут. Очевиден также локальный характер прошедших ливней, поскольку столь быстрое восстановление структуры приземной инверсии, скорее всего, означает перенос воздушным потоком неповреждённой инверсии со стороны, где дождя в это время не было.

9.4.14. Подъём утренней приподнятой инверсии.

На рисунке 9.20 показан пример довольно необычной динамики утренней (инерционной) приподнятой инверсии. Как правило, подобные инверсии, являющиеся в большинстве случаев остатками радиационных ночных приземных инверсий, характеризуются устойчивым монотонным подъёмом и постепенным ослаблением в утренние часы. Однако утром 04 ноября 2015 года с 8 до 11 ч приподнятая инверсия существовала на одних и тех же высотах, в диапазоне от 150 до 300 м без выраженной тенденции к подъёму. Лишь после 11 ч подъём её резко ускорился. Причины такой динамики остаются неясными. Ускорение подъёма инверсии не было связано с прояснениями в облачности и прогревом подстилающей поверхности, как можно подумать, поскольку во все эти часы в МГУ наблюдался сплошной покров облаков St.

9*.4.15. Резкое усиление интенсивности эхо-сигнала.*

Рассмотрим напоследок ещё один интересный пример динамики структуры термической турбулентности нижней атмосферы. Как видно на рисунке 9.21, в период

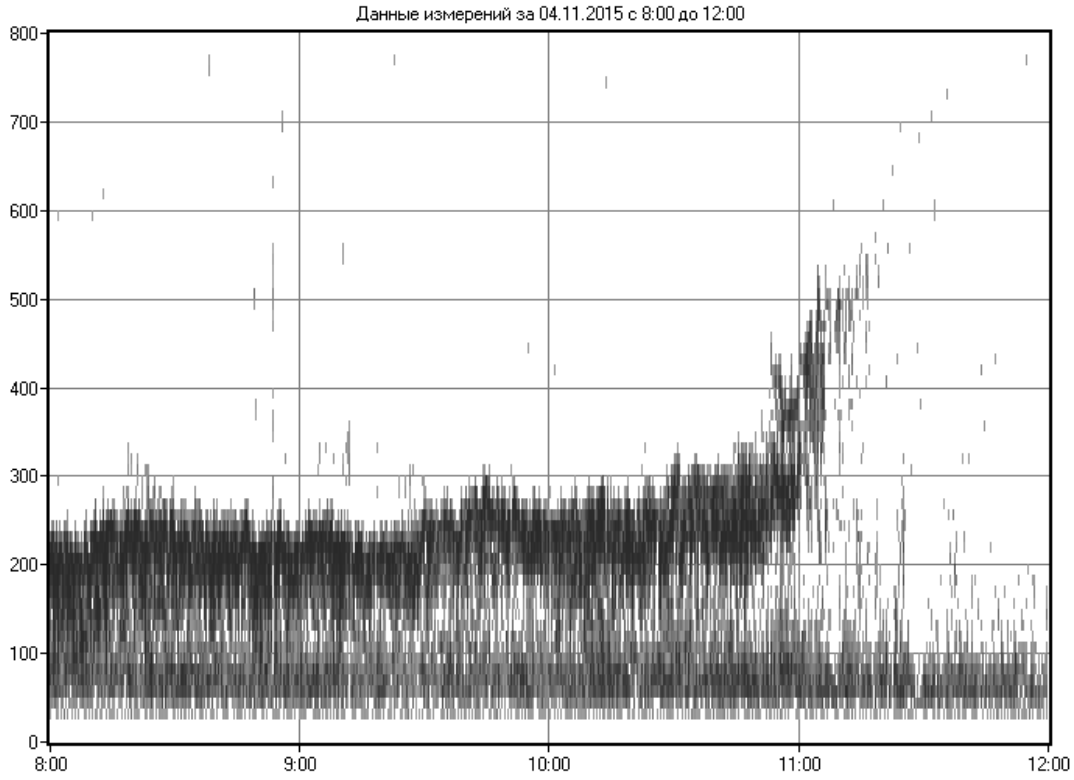


Рисунок 9.20. Необычная динамика (ускорение подъёма) утренней приподнятой инверсии по данным содара «ЭХО-1» в МГУ 04 ноября 2015 года.

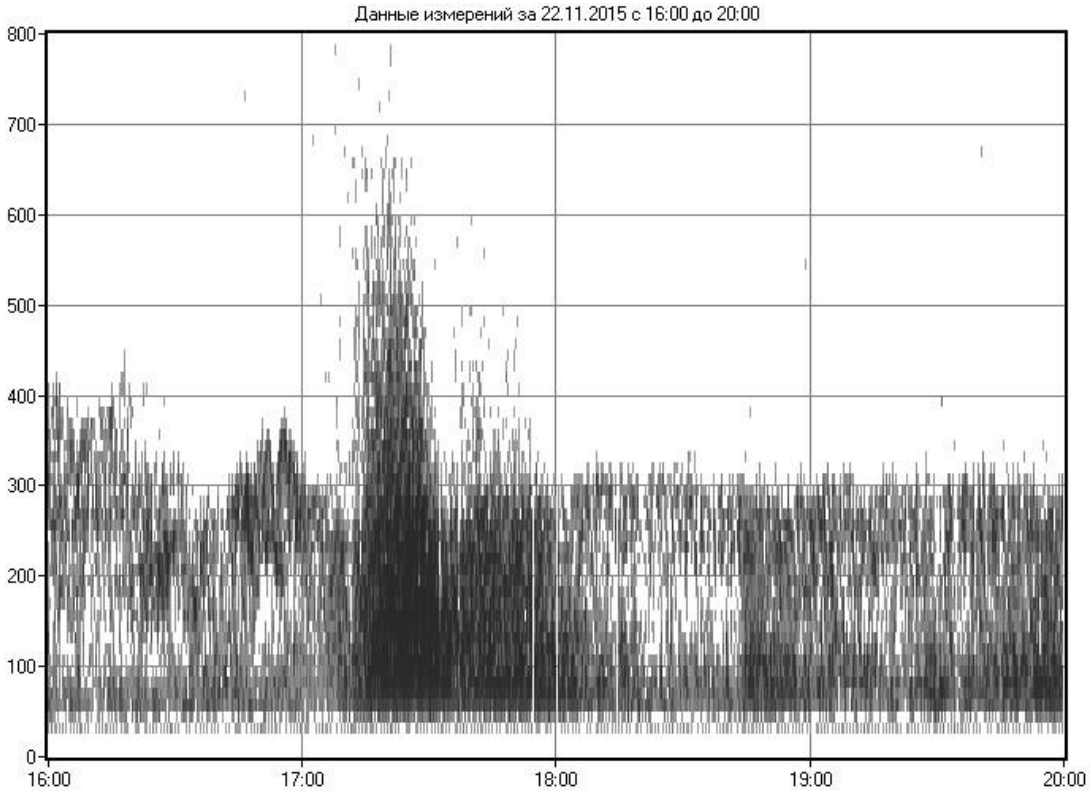


Рисунок 9.21. Резкое усиление эхо-сигнала по данным содара «ЭХО-1» в МГУ 22 ноября 2015 года.

времени с 17.13 до 17.36 22 ноября 2015 года эхо-сигнал резко и внезапно усилился почти во всём диапазоне зондирования (вплоть до 650-700 м). Как показывает практика, подобные усиления эхо-сигнала часто связаны с прохождением атмосферных фронтов, а само по себе это усиление означает проявление в содарных данных нижней части фронтальной приподнятой инверсии, образующейся на границе раздела разных воздушных масс. Однако нельзя исключить и другие возможные причины этого явления.

Приведённые выше примеры демонстрируют значительное многообразие проявлений различных метеорологических явлений и синоптических процессов как в режиме ветра, так и в динамике температурной стратификации. Данные акустического зондирования атмосферы, благодаря их высокому разрешению в пространстве и во времени, являются ценным источником сведений о структуре воздушного бассейна над крупным городом и её изменениях во времени.

Работа выполнялась при частичной поддержке проекта РФФИ № 14-05-00594 (в части анализа данных о температурной стратификации) и проекта Российского Научного Фонда (РНФ) № 16-17-10275 (в части анализа данных о ветровом режиме).

Литература

1. Локощенко М.А. Динамика термической турбулентности в нижней атмосфере Москвы по данным содарного зондирования. М., Метеорология и гидрология, 2006, том 31, № 2, стр.35-46.
2. Локощенко М.А. О ветровом режиме нижней атмосферы над Москвой по данным многолетнего акустического зондирования. М., Метеорология и гидрология, 2014, № 4, стр.19-31.
3. Локощенко М.А. Направление ветра в Москве. М., Метеорология и гидрология, 2015, № 10, стр.5-15. 2015, № 10, стр.5-15.
4. Локощенко М.А., Алексеева Л.И., Ахиярова К.И. О связях ветрового режима нижней атмосферы с синоптическими условиями и погодными явлениями. М., Метеорология и гидрология, 2016, № 7, стр.15-28.
5. Локощенко М.А., Ахиярова К.И. Ветровой режим и температурная стратификация в нижнем 800-метровом слое воздуха. В сб.: Эколого-климатические характеристики

атмосферы в 2014 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В.Ломоносова, раздел 7 части I, стр.54-74. Под редакцией Шиловцевой О.А. и Незваль Е.И. – М.: МАКС Пресс, 2015. – 235 с.

6. Локощенко М.А., Еланский Н.Ф., Трифанова А.В. Влияние метеорологических условий на загрязнение воздуха в Москве. М., Вестник РАЕН, 2014, том 14, № 1, стр.64-67.

10. Особенности облачного покрова и продолжительности солнечного сияния

Горбаренко Е.В.

Информация о продолжительности солнечного сияния (ПСС) 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 июне 2015 года Всемирный Метеорологический конгресс - высший орган принятия решений ВМО по стандартам - одобрил резолюцию, что в качестве текущего базового периода ВМО будет использовать период 1981-2010. Тем не менее, норма 1961-1990 будет сохранена как исторический базовый период, с целью долгосрочных оценок изменения климата (www.wmo.int/media/content/new-two-tier-approach). Поэтому сравнительный анализ изменений ПСС и облачности в 2015 году произведен относительно этих двух периодов (табл. 10.1). На рисунках представлены изменения ПСС и балла облачности за 2015 и нормы за исторический период.

В 2015 году продолжительность солнечного сияния превысила и историческую, и текущую нормы на 10% и 9.4% соответственно, что составило 42 % от возможного ПСС. Всего было отмечено 105 дней в году без Солнца. Месячные суммы ПСС не перекрыли экстремумы предыдущих лет, но годовой ход ПСС существенно отличался от теоретического и среднего многолетнего распределений (рис. 10.1). Главной особенностью режима ПСС в 2015 году стало внутригодовое распределение месячных сумм ПСС. Вопреки астрономическим факторам максимальное значение в годовом ходе ПСС пришлось не на июнь, когда самые продолжительные дни в году, а на август. В августе ПСС превысила на 37% и 36.3% историческую и текущую нормы соответственно, это 70% от возможного ПСС и на 33 часа больше июньского значения. Выдающимся по продолжительности солнечного сияния стал март. Его значение всего лишь на 6 часов меньше апрельского, в то время как по средним значениям эта разница около 30 часов. Ясный октябрь порадовал москвичей длительным «бабьем летом», в этом месяце только 7 дней не отмечалось на небе Солнца.

Таблица 10.1 Продолжительность солнечного сияния и облачность

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
ПСС час.													
2015	27,6	60,3	163,3	169,7	259,7	291,7	304	324,9	157,7	95,9	27,4	17,2	1899
1961-1990	33	72	128	170	265	279	271	238	147	78	32	18	1731
d%	-16	-16	28	0	-2	5	12	37	7	23	-14	-4	10
1981-2010	26,1	61,6	139,2	176,4	272,0	272,3	276,4	238,4	146,1	78,0	30,6	19,5	1737
d%	5,7	-2,1	17,3	-3,8	-4,5	7,1	10,0	36,3	7,9	22,9	-10,3	-11,9	9,4
мин 1958-2014	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 1958-2014	78	152,2	208,4	258,4	378,2	404,8	411,2	347,8	226,5	148,7	81,1	55	2168
год	1973	1969	1996	2014	2002	1999	2014	1955	1974	2005	1958	2002	2014
ПСС % от возможного													
2015	12	23	45	40	52	56	58	70	41	30	11	8	42
1961-1990	14	27	35	40	53	53	52	51	38	24	13	8	38
Δ%	-2	-4	10	0	-1	3	6	19	3	6	-2	0	4
1981-2010	11	22	39	43	55	52	55	51	39	24	12	9	39
Δ%	1	1	6	-3	-3	4	3	19	2	6	-1	-1	3
число дней без Солнца													
2015	21	12	8	3	2	3	0	0	5	7	21	23	105
1961-1990	19	12	9	5	2	1	2	2	5	11	19	23	109
1981-2010	20	13	8	5	2	1	1	2	5	11	20	22	109
балл общей облачности													
2015	9,1	8,5	7,9	8,7	8	7,7	7,6	6,3	8,2	8,4	9,3	9,4	8,3
1965-1990	8,4	7,9	8,0	7,8	7,2	7,3	7,2	7,1	8,0	8,7	9,1	9,1	8,0
Δ%	0,7	0,6	-0,1	0,9	0,8	0,4	0,4	-0,8	0,2	-0,3	0,2	0,3	0,3
1981-2010	8,6	8,1	8,0	7,9	7,3	7,3	7,3	7,1	8,1	8,6	9,0	9,0	8,0
Δ%	0,5	0,4	-0,1	0,8	0,7	0,4	0,3	-0,8	0,1	-0,2	0,3	0,4	0,3
мин 1965-2013	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 1965-2013	9,9	9,7	9,3	9,4	9,2	8,9	9,2	8,8	9,7	9,8	9,9	10	8,6
год	2004	2002	1988	1973	1980	2005	2013	1987	2013	2006	2010	2000	2013
балл нижней облачности													
ниж.обл. 2015	7,9	6,6	4,7	6,1	4,4	4,7	4,9	**3,2**	5,4	6,5	8,4	8,2	5,9
ниж.обл.1965-1990	6,5	5,7	5,5	5,3	4,5	5,0	5,0	4,9	5,9	7,0	8,0	7,7	5,9
Δ%	1,4	0,9	-0,8	0,8	-0,1	-0,3	-0,1	-1,7	-0,5	-0,5	0,4	0,5	0,0
1981-2010	6,9	6,0	5,5	5,4	4,7	5,0	5,1	5,0	6,0	7,0	8,0	7,8	6,0
Δ%	1,0	0,6	-0,8	0,7	-0,3	-0,3	-0,2	-1,8	-0,6	-0,5	0,4	0,4	-0,1
мин 1965-2014	3,6	1,7	2,8	3,2	2,8	2,9	2,3	3,2	3,3	4,4	5,3	5,3	4,8
год	1973	1969	1969	2014	1967	1972	1996, 2010	1974	1974	1987	1967	2002	1967
мак 1965-2014	9,1	8,8	7,4	7,3	7,7	7,2	6,6	7	8,4	9,3	9,4	9,7	6,8
год	1994	1990	1978	1986	1980	2003	1979	1980	2013	1982	2003	2000	1990
облачность в метеорологические сроки 2015 г													
общ.обл.	9,2	8,8	7,7	8,4	7,9	7,5	7,2	5,8	7,8	8,3	9,2	9,4	8,1
ниж. обл.	7,9	6,9	4,7	5,6	4,3	4,2	4,6	2,9	5,1	6,5	8,2	8	5,7

Для всех летних месяцев значения ПСС выше нормы и их значения более 50% от возможной ПСС. На 2% ниже нормы ПСС в мае. Наименьшее значение ПСС, в соответствии с продолжительностью светового дня, в декабре. Во все зимние месяцы и в ноябре 2015 г. ПСС ниже исторической нормы. Но в январе ПСС превысило почти на 6% текущую норму.

а б

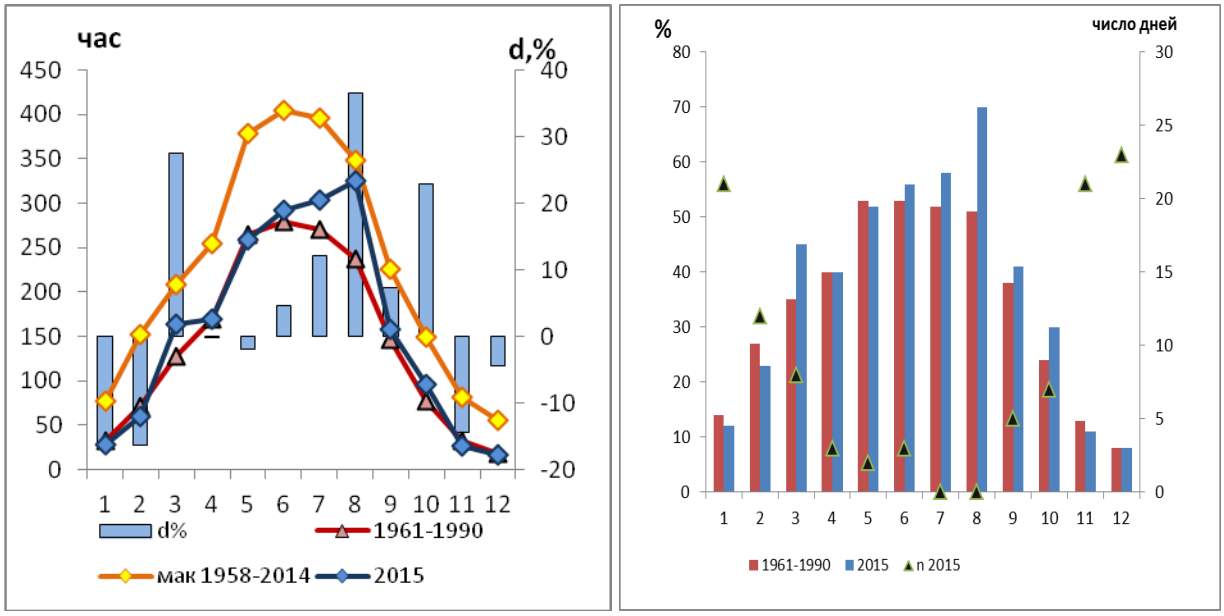


Рисунок 10.1 Годовой ход: а- продолжительности солнечного сияния; б - % от возможного и числа дней без Солнца

Суточные суммы ПСС для 162 дней в году за отдельные дни превысили средние многолетние значения (рис.10.2). Для 11 дней в году превышены соответственные максимальные значения, в большинстве случаев в августе, но незначительно, для большинства дней меньше, чем на 10 минут.

Отклонения от теоретического распределения ПСС в 2015 году вызвано особенностями режима облачности. Годовой ход ПСС полностью согласуется с внутригодовым распределением облачности (рис.8.3).

В целом за год балл общей облачности на 0.3 балла выше обеих норм, а балл нижней облачности совпал со значением исторической нормы и на 0.1 балл ниже базовой (см. табл.10.1). В годовом ходе балла и общей, и нижней облачности минимальное значение приходится на август месяц. Для нижней облачности значение 3.2 балла стало

наименьшим значением за весь период наблюдения, отмеченный также в 1974 году. Самыми пасмурными месяцами в году были ноябрь и декабрь. Малооблачными по нижней облачности, балл облаков меньше 5, были март, май и все летние месяцы (рис. 10.3).

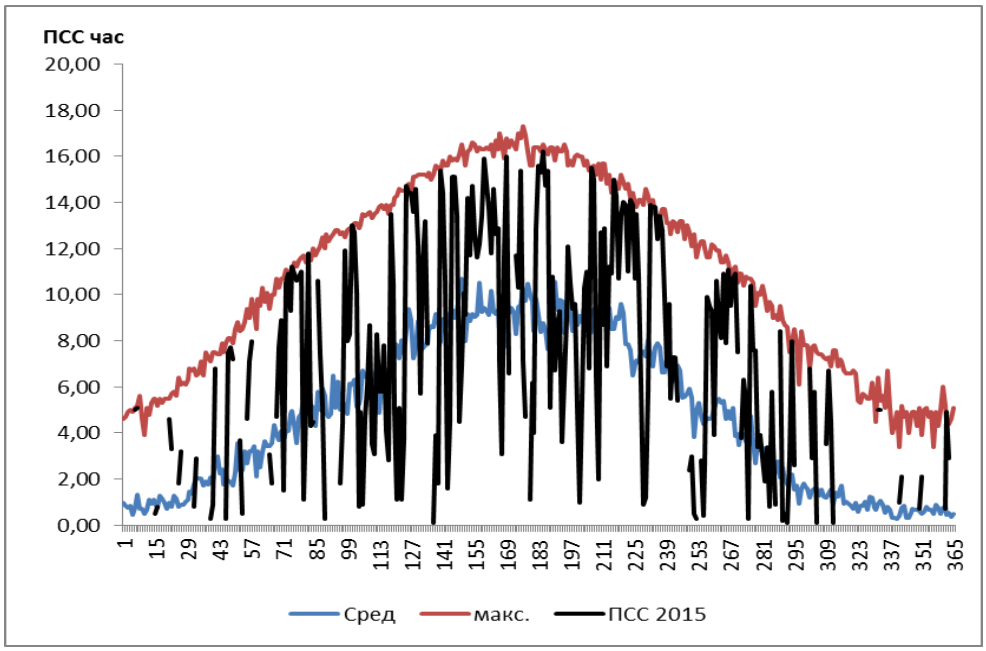


Рисунок 10.2 Ход суточных значений ПСС за каждый день года

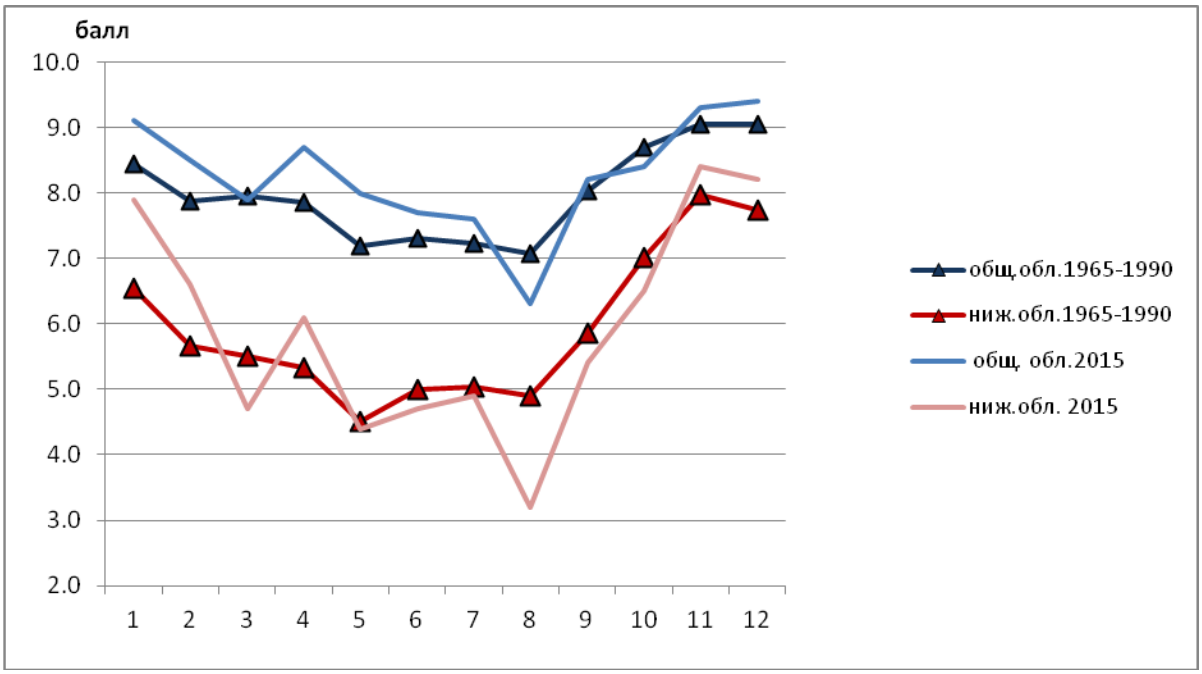
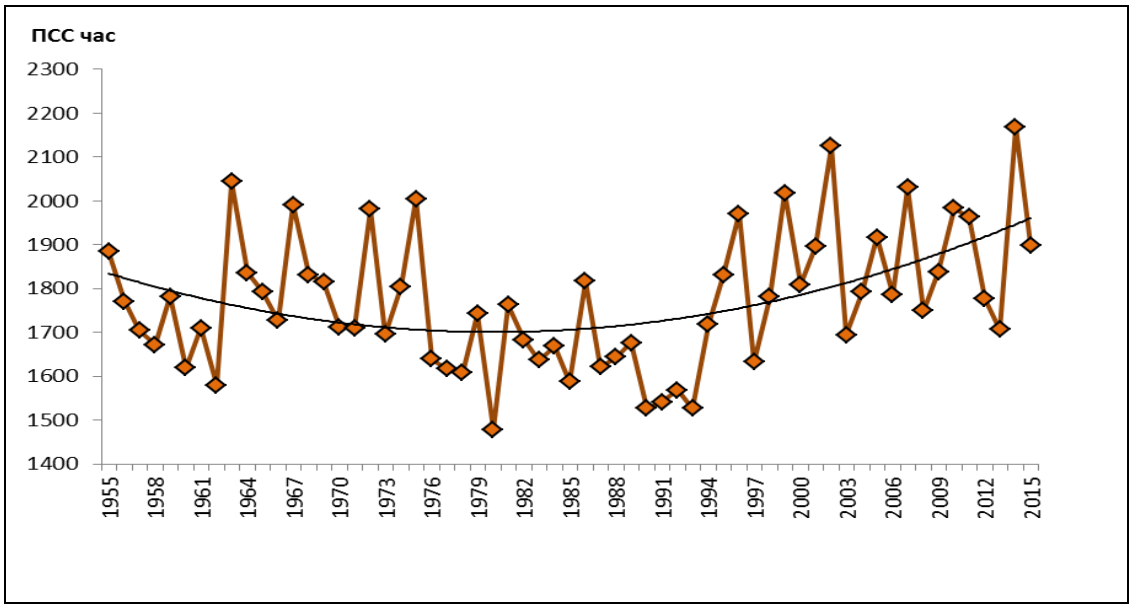


Рисунок 10.3 Годовой ход балла облачности в сравнении с нормой (полученного за светлое время суток)

Среднемесячные значения балла как нижней, так и общей облачности, полученные за светлое время суток и по метеорологическим срокам, хорошо согласуются друг с другом и отличаются между собой в диапазонах, допустимым для визуальных наблюдений. Расхождение в среднегодовых значений и для нижней облачности, и для общей облачности всего 0.2 балла.

а



б

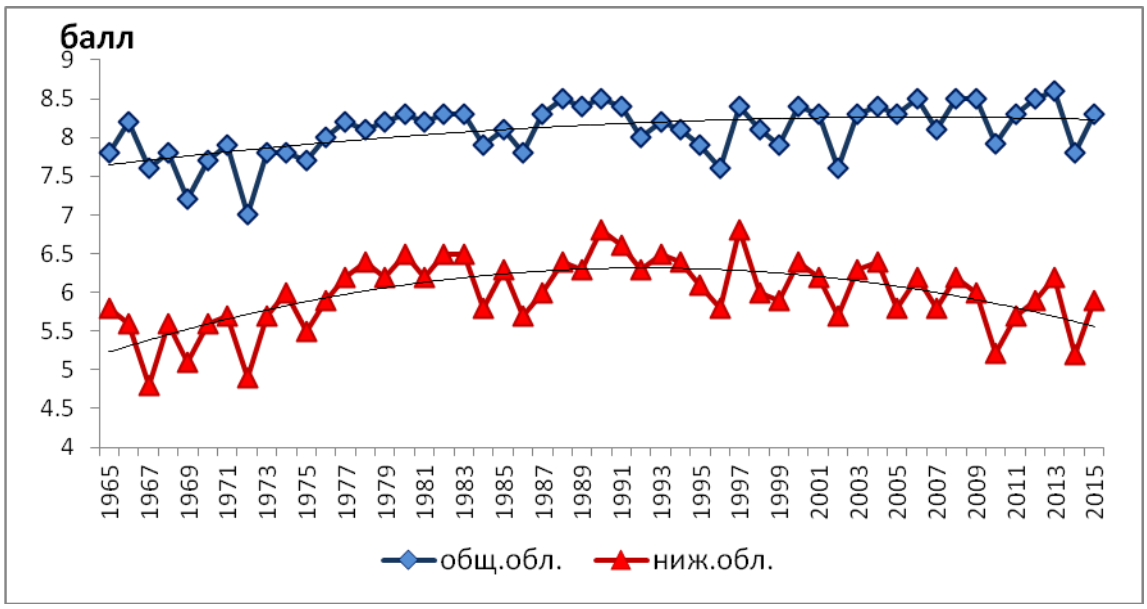


Рисунок 10.4 Многолетние изменения: а – ПСС, б – общей и нижней облачности за светлое время суток

В сравнении с нормами ВМО и средними многолетними значениям в 2015 году отмечены тенденции увеличения количества общей и уменьшения количества нижней облачности. Несмотря на то, что годовое значения ПСС в 2015 году на 269 часов меньше значения ПСС в 2014 году, тенденция увеличения ПСС продолжилась (см. рис. 10.4).

Часть II.

Атмосферная радиация

11. Характеристика прозрачности атмосферы и составляющих радиационного баланса

Горбаренко Е.В.

Наблюдения за составляющими радиационного баланса подстилающей поверхности и их обработка в Метеорологической обсерватории МГУ производятся строго по наставлению гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям (РД 52.04.562-96, 1997). В 2015 году была проведена поверка актинометров №61 и №45 с Российским национальным эталоном, находящимся в Главной Геофизической Обсерватории им. А.И.Воейкова (ГГО). Оба прибора признаны эталонными актинометрами 1 разряда.

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 (Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В., 2008). Необходимо отметить, что в сборниках за 2010-2014 гг. (Горбаренко, 2011-2015) в таблице «Характеристики прозрачности атмосферы», за период 1961-1990 и 1999-2009 приведено средние годовое значение P_2, полученное по средним суточным значениям коэффициента прозрачности атмосферы (об этом не сказано в комментариях к таблице, авторы приносят свои извинения). В таблице 11.1 приведено среднее годовое значение P_2 за период 1961-1990, полученное как средние статистическое из годовых значений P_2 за этот период.

Сравнительный анализ изменения радиационных параметров в 2015 году произведен относительно текущего (1981-2010 гг.) и исторического (1961-1990 гг.) базовых периодов. Данные приведены в таблицах, на рисунках представлены средние за исторический период.

Прозрачность атмосферы для солнечных лучей в 2015 была самая высокая за весь период наблюдения. В течение всего 2015 года коэффициент прозрачности атмосферы существенно выше средних значений (табл. 11.1), его среднее годовое значение на 8% выше нормы. Такое повышение интегральной прозрачности определяется значительным снижением аэрозольной составляющей. Годовое значение АОТ550 в 2015г. стало наименьшим за весь период наблюдений, более чем в два раза меньше исторической и текущей норм.

Таблица 11.1 Характеристики прозрачности атмосферы

Коэффициент прозрачности атмосферы													
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**	**XII**	**Год**
2015	0,8	0,814	0,775	0,766	0,74	0,769	0,748	0,769	0,748	0,799	0,792	0,824	0,779
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	0,724
d%	6	9	6	11	7	10	7	11	5	6	3	7	8
AOT 550													
2015	0,04	0,04	0,19	0,11	0,15	0,08	0,11	**0,08**	0,13	0,06	0,02	0,01	**0,09**
1961-1990	0,18	0,2	0,22	0,28	0,28	0,24	0,25	0,26	0,23	0,16	0,14	0,18	0,24
d%	-78	-80	-14	-61	-46	-67	-56	-69	-43	-63	-86	-94	-65
1981-2010	0,10	0,14	0,18	0,26	0,22	0,20	0,21	0,24	0,20	0,14	0,11	0,07	0,18
d%	-61	-71	4	-57	-32	-60	-48	-66	-35	-56	-81	-86	-52
мин 1955-2014	0,01	0,02	0,07	0,09	0,09	0,07	0,1	0,1	0,06	0,03	0,01	0,01	0,10
год	2009	1989	1997	2012	1997	2004, 1994	1980	2000	2003	2013	2003	2007, 1999	2013
мак 1955-2014	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

Примечание:d%=(Y2014-Yнорма)/Yнорма*100%

Продолжилась тенденция увеличения прозрачности атмосферы в Москве, которая отмечается с середины 80 –х годов, нарушенная в 1991 году в период действия вулкана Пинатубо, с 1994 года, после полного очищения атмосферы от вулканического аэрозоля, все средние годовые значения последующих лет ниже исторической нормы (рис.11.1).

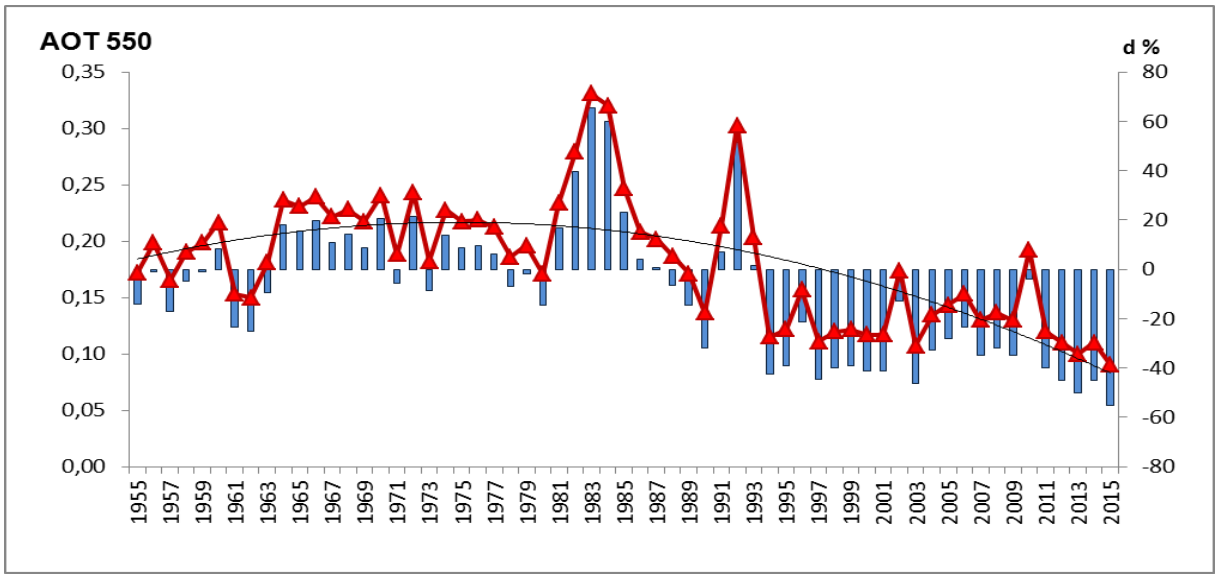


Рисунок 11.1 Многолетняя изменчивость аэрозольной оптической толщины на 550 нм

Во все месяцы года значения AOT550 ниже исторической нормы и во все месяцы, кроме марта, ниже текущей. В годовом распределении AOT550 в 2015 на март приходится максимальное месячное значение – 0,19. Это на 14% ниже исторической нормы и на 4%

выше текущей, притом, что для большинства месяцев года эта разница больше 50%. Уменьшение разности между мартовским значением 2015 года и нормами определяется естественными процессами и смещением максимальных значений с апреля на март. Второй, характерный для Москвы, летний максимум в годовом ходе не прослеживается. В среднем летний максимум AOT550 приходится на август. А в 2015 значения AOT550 в августе стало минимальным в годовом ходе и абсолютным минимумом за весь период наблюдений (табл. 11.1). Также можно отметить два неосновных максимума в мае и сентябре (рис. 11.2). Такие изменения AOT550 связаны с условиями циркуляции 2015 года. Можно сказать, что в 2015 году годовой ход AOT550 не соответствует своему среднему виду.

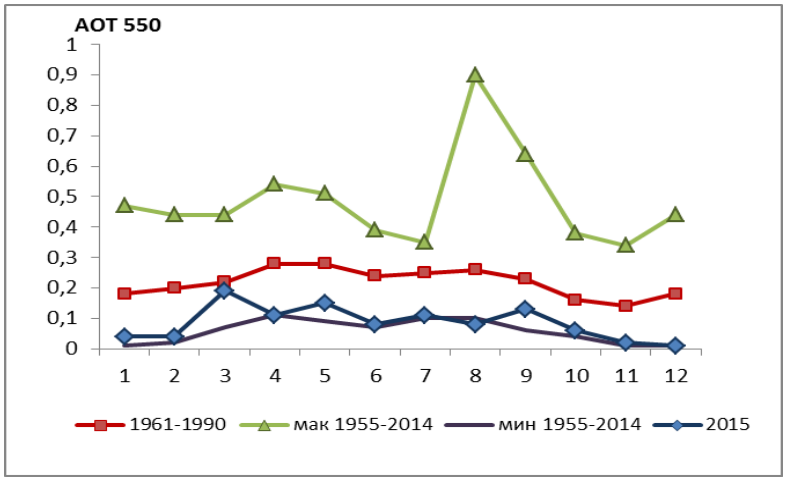


Рисунок 11.2 Годовой ход аэрозольной оптической толщины на 550 нм

Приход суммарной интегральной солнечной радиации в 2015 году практически соответствует исторической и незначительно на 1% превысил текущую норму. Изменение месячных сумм в течение года соответствует теоретически возможному с максимальным приходом в июне и минимальным в декабре. Но только в летние месяцы и в октябре месячные суммы превысили нормы, наиболее значительное превышение отмечено в августе. Августовское значение суммарной радиации стало **абсолютным максимумом** за весь период наблюдений. Существенное уменьшение суммарной радиации относительно норм отмечено с ноября по февраль, и незначительное в весенние месяцы и в сентябре (табл. 11.2, рис. 11.3а).

Соотношение прямой и рассеянной радиации в суммарном потоке в целом за год составило 48%, что на 9% меньше исторической нормы и равно текущей. В последние годы такое соотношение отмечается все чаще, что связано с общей тенденцией увеличения прихода прямой радиации и уменьшения рассеянной. Увеличение доли прямой радиации в суммарном потоке (D/Q≤50%) относительно нормы отмечено для 5 месяцев года (табл.11.2, рис. 11.3.б).

а б

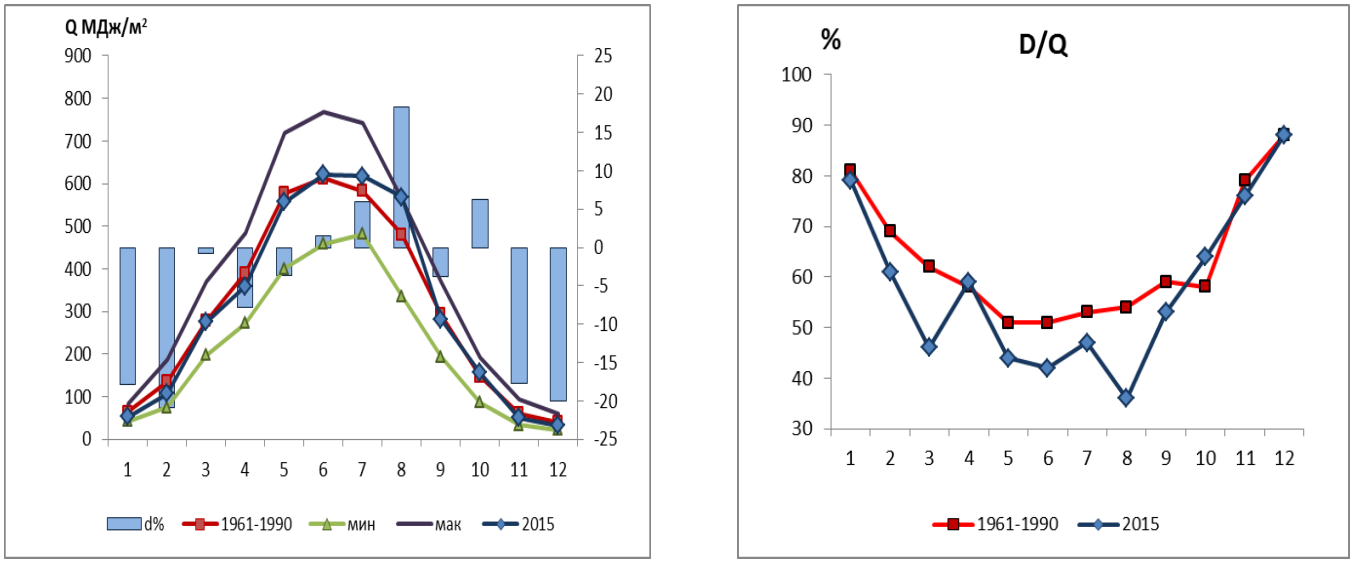


Рисунок 11.3 Годовой ход: а- суммарной радиации, б – отношения D/Q

Таблица 11.2 Составляющие радиационного баланса

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Месячные суммы суммарная радиация Q (МДж/м^2)													
2015	53	108	275	359	557	622	617	**568**	282	156	50	32	3678
1961-1990	64	136	277	390	578	612	582	480	293	147	61	40	3660
d%	-18	-21	-1	-8	-4	2	6	18	-4	6	-18	-20	0
1981-2010	55	125	280	396	587	595	598	472	288	145	57	37	3636
d%	-5	-14	-2	-9	-5	5	3	20	-2	8	-11	-13	1
мин	42	75	197	272	400	458	482	336	194	86	34	22	3346
год	1989	1990	1979	1986	1980	2003	1993	1960	1990	1970, 1986	2003	1960	1990
макс	83	186	371	490	719	769	742	565	371	192	94	61	4065
год	1973, 2010	1969	1996	2014	2002	1968	2010	1971	1974	1987	1967	2002	1963
Доля рассеянной радиации в суммарной D/Q (%)													
2015	79	61	46	59	44	42	47	36	53	64	76	88	48

1961-1990	81	69	62	58	51	51	53	54	59	58	79	88	57
Δ%	-2	-8	-16	1	-7	-9	-6	-18	-6	6	-3	0	-9
1981-2010	84	74	59	57	50	52	51	53	60	68	81	87	48
Отраженная радиация Rk (МДж/м^2)													
2015	34	67	77	74	122	146	135	**135**	54	36	15	11	906
1961-1990	40	87	131	68	117	126	117	96	58	32	24	22	918
d%	-14	-22	-41	8	4	15	15	41	-7	13	-39	-49	-1
1981-2010	33	76	127	70	117	116	114	88	54	29	21	19	865
d%	3	-12	-39	5	5	25	19	53	0	26	-30	-41	5
мин	22	30	51	37	73	90	92	67	31	14	8	5	682
год	1971	2002	2003	1986	1980	2003	2007	2006	1990	1970	1996	2008	2008
макс	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
Альбедо,%													
2015	65	63	28	21	22	23	22	24	19	23	29	35	25
1961-1990	63	64	46	17	20	21	20	20	20	21	39	56	25
Δ	2	-1	-18	4	2	3	2	4	-1	2	-10	-21	0
1981-2010	60	61	45	18	20	20	19	19	19	20	37	52	24
мин	50	36	19	12	16	18	14	15	15	13	18	23	19
год	1971	2002	2002	1979	1970	> 3 лет	2002	2002	2002	2008	1996	2008	2002
макс	73	79	70	33	24	24	24	25	25	36	58	78	31
год	1960	1959	2013	1963	1966	1964	1965	1965	1994	1976	1960	1959	2008
Месячные суммы радиационного баланса В (МДж/м^2)													
2015	-6	-6	89	144	277	327	330	**289**	115	**48**	0	-25	1582
1961-1990	-34	-26	30	159	267	299	284	212	99	19	-20	-31	1258
d%	82	77	197	-9	4	9	16	36	16	153	100	19	26
1981-2010	-21	-16	35	165	278	297	303	215	105	24	-15	-23	1347
d%	71	62	156	-13	0	10	9	35	10	98	100	-7	17
мин	-65	-72	-34	115	201	224	237	140	61	-5	-38	-56	1117
год	1972, 1973	1969	1970	1983	1980	2003	1993	1960	1990	1976	1975	1962	1980
макс	4	11	103	218	354	373	374	279	148	42	4	-4	1690
год	2006	2002	2014	2014	2002	1999	2010	2004	2014	2007	2009	2000	2014

Примечание: *- А рассчитано по месячным суммам; экстремумы определены для периода 1958-2014

Средние суточные значения суммарной радиации (ΣQ_c) в летние месяцы года и в октябре превысили средние многолетние значения. Но экстремальные значения ΣQ_c в 2015 году не отмечены (табл. 11.3). 206 дней в году суточные суммы суммарной радиации выше средних, а для 5 дней года отмечен абсолютный максимум суммарной суточной суммы интегральной радиации в эти дни за весь период наблюдений (рис. 11.4).

Таблица 11.3 Суточные суммы интегральной суммарной радиации (МДж/м^2)

Период (годы)	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя суточная сумма												
1958-2014	1,96	4,59	9,07	13,40	18,65	20,31	19,23	15,28	9,65	4,63	1,96	1,22
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
2015	1,70	3,84	8,84	11,98	17,96	20,72	19,92	18,33	9,39	5,04	1,67	1,03
σ	0,94	2,62	4,65	5,10	7,71	7,57	5,55	5,16	3,97	2,63	1,18	0,47
Максимальная суточная сумма за 1958-2014 гг.												
макс	5,3	10,57	18,95	24,77	30,14	31,82	31,44	26,41	20,62	13,89	6,69	3,29
Число	29	27	31	30	23	19	8	1	1	1	1	1
Год	2014	1975	2001	1988	1996	1977	1973	1980	1994	1967	1975	2002
2015	3,82	8,69	16,66	22,35	27,17	31,13	29,69	26,00	15,63	10,99	4,98	2,40
Минимальная суточная сумма за 1958-2014 гг.												
мин	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
2015	0,35	0,92	1,41	2,18	2,55	3,77	7,84	6,69	2,06	1,32	0,40	0,29

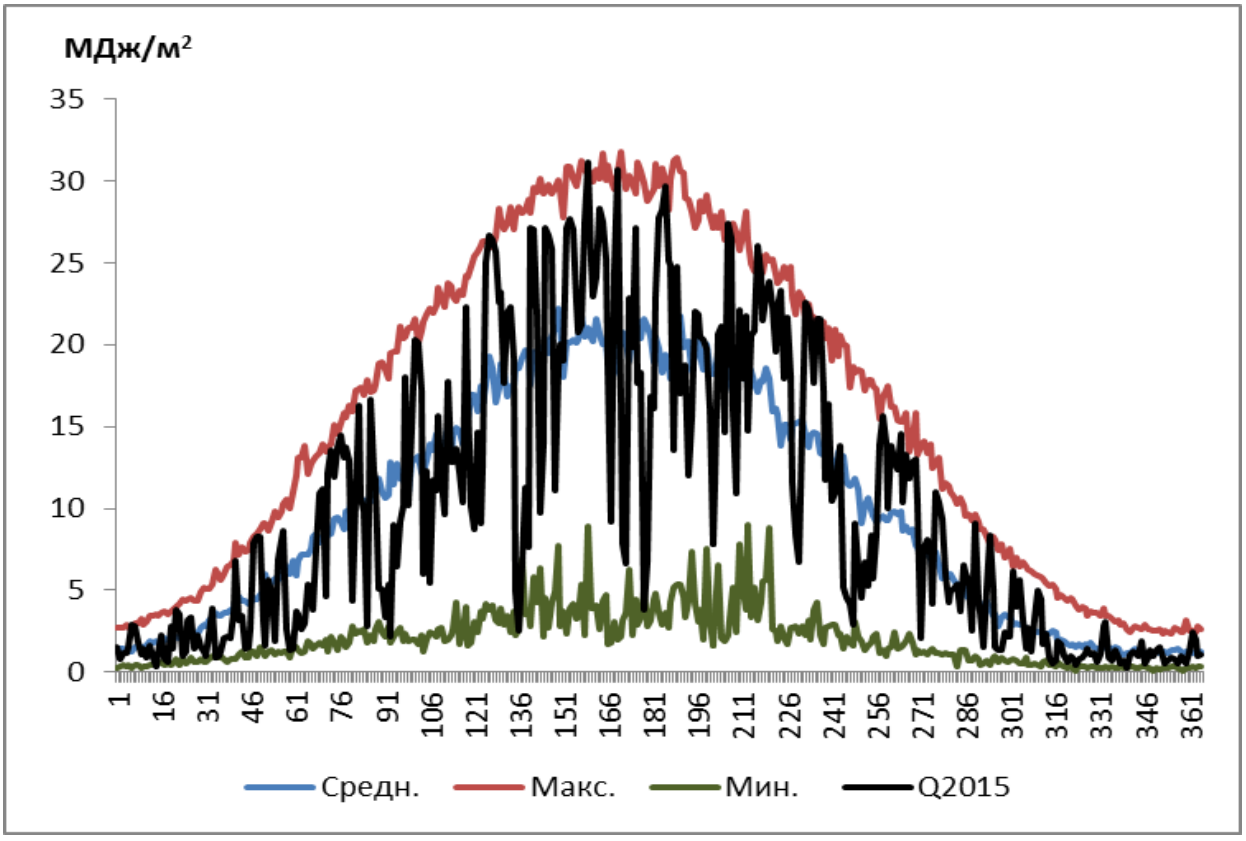


Рисунок 11.4 Суточные суммы суммарной радиации за каждый день года

Величина альбедо подстилающей поверхности в среднем за 2015 г соответствует нормам. Существенное уменьшение отражающих свойств поверхности произошло в месяцы установления и схода снежного покрова. 122 дня в году отмечался снежный покров, но только 43 из них были без оттепели. Наибольшее уменьшение альбедо от нормы в ноябре и декабре вызвано поздним установлением, а в марте неустойчивым состоянием и ранним сходом снежного покрова. В летние месяцы значения А превышали средние значения. Январь и февраль были снежными, о чем свидетельствует значения альбедо (>60%), характерное для свежевыпавшего снега (см. табл.11.2, рис. 11.5.б).

а б

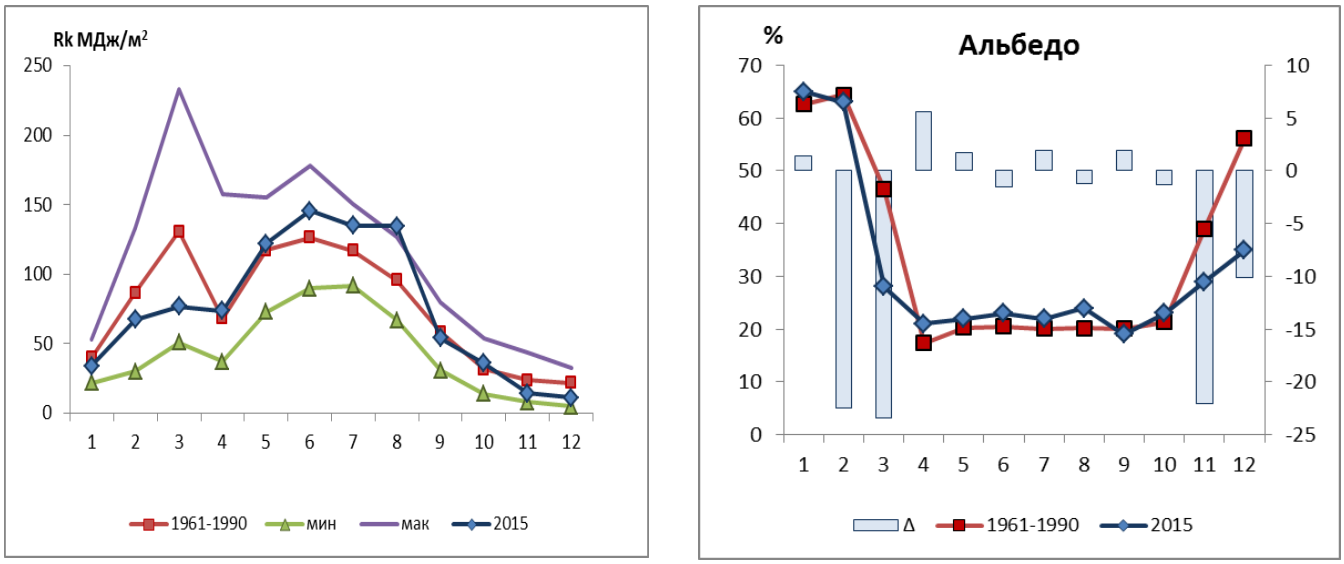


Рисунок 11.5. Годовой ход: а- отраженной радиации, б- альбедо подстилающей поверхности

В соответствие с внутригодовым изменением прихода суммарной радиации и состоянием подстилающей поверхности меняется отраженная радиация. Наибольшие значения отмечены в летние месяцы, с максимальным значением в июне, причем в отличие от норм, июньское значение практически в 2 раза превышает мартовское, в норме основной максимам приходится на март. Уменьшение Rk в марте 2015 года вызвано уменьшением отражательных свойств поверхности. Вслед за Q значения Rk в январе и феврале ниже нормы, а значения Rk в августе стало **абсолютным максимумом** за весь период наблюдений (см. табл. 11.2, рис. 11.5.а).

Годовое значение общего радиационного баланса в 2015 году составило 1582 МДж/м^2 (на 32% больше исторической и на 17% больше текущей норм), что продолжило тенденцию увеличения радиационного баланса в Москве (рис. 11.6). Значительную часть

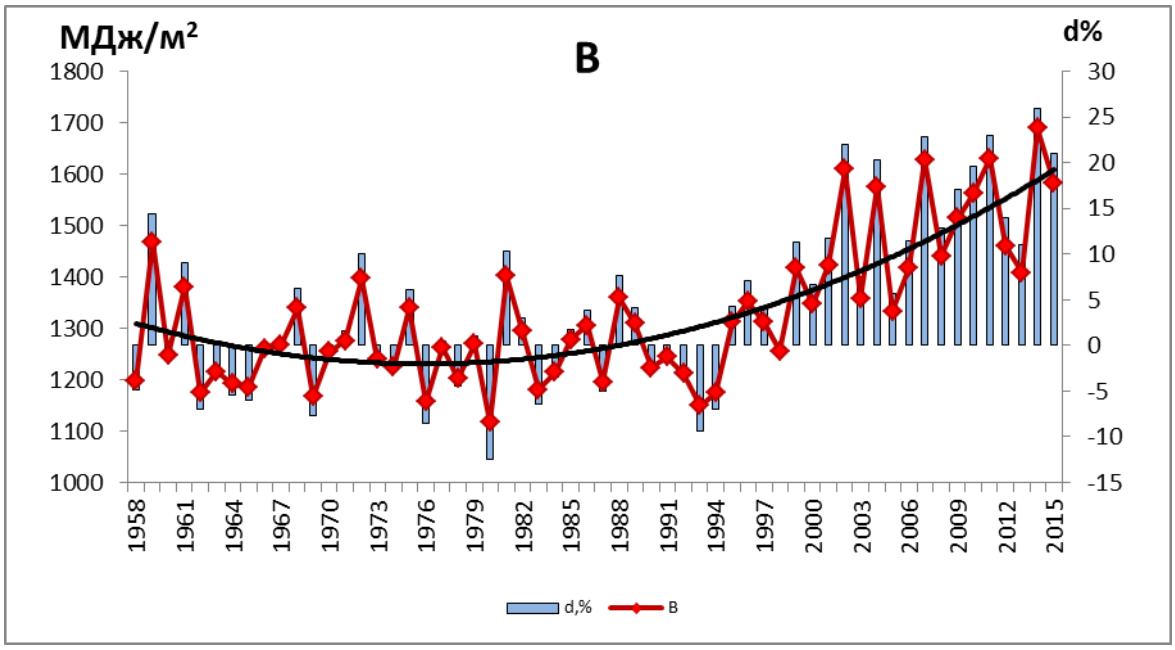


Рисунок 11.6 Многолетние изменения радиационного баланса и отклонения годовых значений от нормы

года земная поверхность больше получала тепла, чем отдавала. Дней с отрицательной суточной суммой **B** было 64, что соответствует **минимальному** значению за весь период наблюдений и на 9 дней меньше предыдущего минимума, отмеченного в прошлом году. В течение всего года, за исключением апреля месячные суммы радиационного баланса выше норм. Месячные значения B в августе и октябре стали **абсолютными максимумами** (табл.11.4, рис. 11.7а).

а б

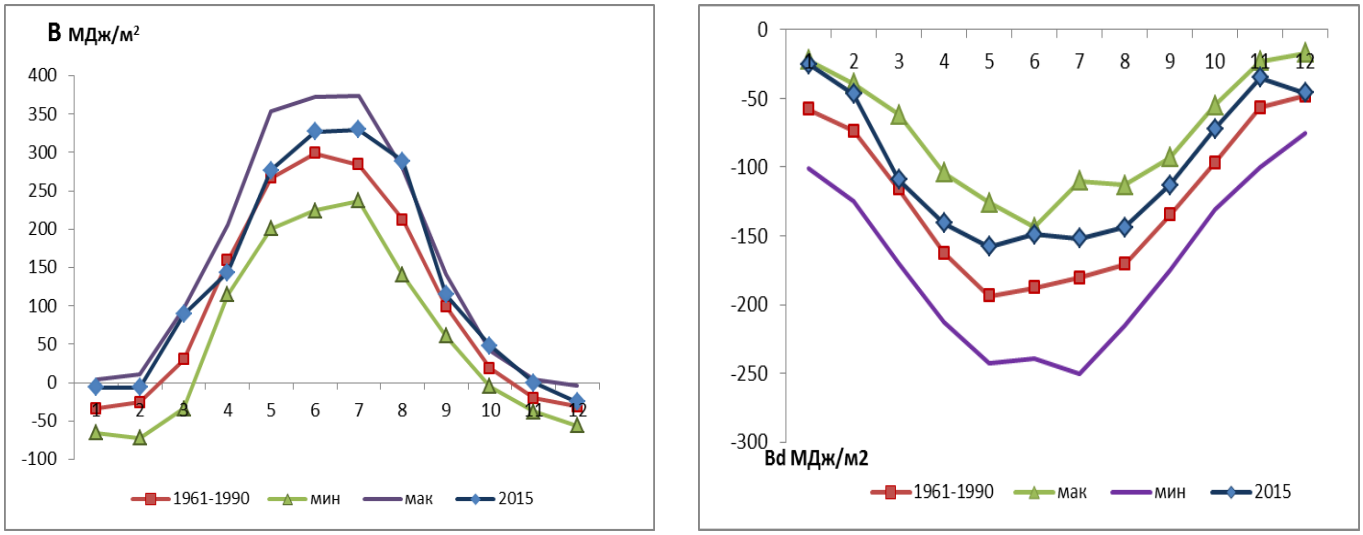


Рисунок 11.7 Годовой ход : а- общего радиационного баланса, б- длинноволнового баланса

Годовой ход суточных сумм **В** повторяет годовой ход месячных сумм **В**. Для 11 месяцев в году средние суточные значения были выше средних многолетних за период 1958-2014 гг., но максимальные значения не превысили (табл. 11.4). Для 253 дней в году суточные суммы **В** превысили средние многолетние значения за это же число. Для 29 дней значения суточной сумм **В** превысило максимальные значения для этих дней (рис.11.8).

Таблица 11.4 Суточные суммы общего радиационного баланса (МДж/м^2)

Период	Месяцы											
(годы)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя многолетняя суточная сумма												
1958-2014	-0,88	-0,69	1,00	5,56	8,83	10,08	9,64	6,92	3,44	0,68	-0,57	-0,83
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
2015	-0,22	-0,20	2,86	4,82	8,92	10,88	10,65	9,34	3,85	1,55	0,02	-0,78
Максимальная суточная сумма												
1958-2014	0,98	1,94	10,07	15,48	18,05	18,66	17,55	15,73	10,77	5,54	2,73	0,73
Число	25	23	30	29	23	5	8	9	6	3	30	6
Год	1971	2002	2004	2013	2002	2012	1973	2007	2004	2008	1969	1961
2015	0,63	0,55	7,94	12,24	15,08	17,44	17,45	14,45	7,77	4,94	1,02	0,24
Минимальная суточная сумма												
1958-2014	-6,6	-5,83	-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
2015	-1,67	-1,92	-0,70	0,07	1,23	1,90	3,20	2,93	-0,88	0,20	-0,82	-3,35

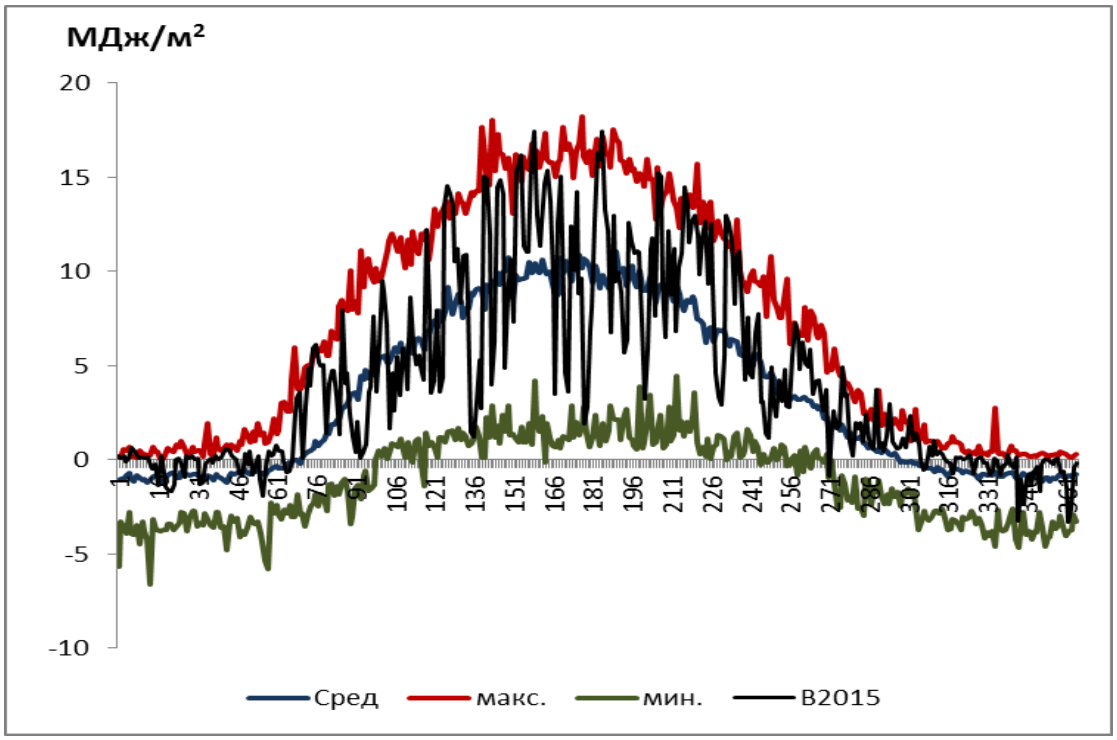


Рисунок 11.8 Суточные суммы общего радиационного баланса за каждый день года

Увеличение значений общего радиационного баланса в 2015 году происходило, в основном, за счет роста месячных сумм длинноволнового баланса. Для всех месяцев года значения превышают нормы и годовое значение $\mathbf{B_д}$ на 20% выше исторической и на 16% выше текущей норм. В то время как поглощенная радиация существенно превысила нормы только в марте и августе, а годовое значение практически совпало с нормами (табл. 11.5).

Таблица 11.5 Месячные и годовые значения коротковолнового и длинноволнового баланса

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Месячные суммы коротковолнового баланса Вк (МДж/м^2)													
2015	19	41	198	285	435	476	482	433	228	120	35	21	2773
1961-1990	24	48	147	321	461	487	465	383	234	115	37	17	2738
d%	-21	-15	35	-11	-6	-2	4	13	-2	4	-4	22	1
1981-2010	22	49	153	326	471	479	484	383	234	117	36	18	2771
d%	-15	-16	29	-13	-8	-1	0	13	-3	3	-2	18	0
мин 1958-2014	14	26	82	235	327	368	380	259	128	65	22	9	2478
год	2009	1959	1966	1986	1980	2003	1962	1960	2013	1982	1969	1959	2013
мак 1958-2014	36	81	224	406	567	598	612	458	301	155	68	33	3164
год	1973	1972	2014	1960	2002	1999	2010	2005	1974	1987	1967	2002	2002
Месячные суммы длинноволнового баланса Вд (МДж/м^2)													
2015	-25	-47	-109	-141	-158	-149	-152	-144	-113	-72	-35	-46	-1191
1961-1990	-58	-74	-116	-163	-194	-188	-181	-171	-135	-97	-57	-48	-1482
d%	57	36	6	13	18	21	16	16	16	26	38	4	20
1981-2010	-43	-64	-117	-160	-191	-180	-180	-168	-129	-91	-51	-41	-1415
d%	42	27	7	12	17	17	15	14	13	21	31	-11	16
мин 1958-2014	-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 1958-2014	-22	-39	-62	-104	-126	-144	-110	-113	-62	-55	-23	-17	-1080
год	2004	1990	1966	1973	1980	2003	2000	1958	2013	1970	2003	2007	2013

Таким образом, в 2015 году относительно текущей и исторической норм отмечены следующие тенденции (табл.11.6):

- увеличение прозрачности атмосферы
- увеличение прямой солнечной радиации
- уменьшение рассеянной радиации
- незначительное увеличение суммарной интегральной радиации
- уменьшение отраженной радиации относительно исторической нормы и увеличение относительно текущей
- увеличение общего радиационного баланса, его длинноволновой и коротковолновой составляющих

Таблица 11.6 Годовые значения характеристик прозрачности атмосферы и составляющих радиационного баланса

	Q	Srop	D	D/Q	Rк	Ак,%	AOT	B
2015	3678	1907	1772	48	906	25	0,09	1582
1961-1990	3660	1584	2073	57	918	25	0,24	1258
d%	0	20	-15	-16	-1	0	-63	26
1981-2010	3636	1619	2016	48	865	24	0	1347
d%	1	18	-12	0	5	4	-50	17

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

Горбаренко Е.В. 2011. Характеристики прозрачности атмосферы и составляющие радиационного баланса (раздел 5 части II, стр.69-77). В сб.: Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2010 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ. М., МАКС Пресс, 180 с., электронное издание, под редакцией Н.Е.Чубаровой. ISBN: 978-5-317-03592-1.

Горбаренко Е.В. 2012. Характеристики прозрачности атмосферы и составляющие радиационного баланса (раздел 10 части II, стр.78-90). В сб.: Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2011 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ. М., МАКС Пресс, 230 с., электронное издание, под редакцией Н.Е.Чубаровой. ISBN: 978-5-317-04010-9.

Горбаренко Е.В. 2013. Характеристики прозрачности атмосферы и составляющие радиационного баланса (раздел 9 части II, стр.68-77). В сб.: Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2012 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ. М., МАКС Пресс, 207 с., электронное издание, под редакцией Н.Е.Чубаровой. ISBN: 978-5-317-04478-7.

Горбаренко Е.В. 2014. Характеристики прозрачности атмосферы и составляющие радиационного баланса (раздел 9 части II, стр.62-71). В сб.: Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2013 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ. М., МАКС Пресс, 168 с., электронное издание, под редакцией Н.Е.Чубаровой. ISBN: 978-5-317-04763-4.

Горбаренко Е.В. 2015. Характеристики прозрачности атмосферы и составляющие радиационного баланса (раздел 9 части II, стр.81-90). В сб.: Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2014 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В.Ломоносова. Под редакцией Шиловцевой О.А. и Незваль Е.И. – М.: МАКС Пресс, 235 с. ISBN: 978-5-317-05113-6.

12. 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 в области спектра 380-710 нм (Махоткина, 1983), а с осени 1998 г. - по прибору LI-190SA американской фирмы LI-COR (www.licor.com) в области спектра 400-700 нм. В среднем разница между этими двумя интервалами ФАР составляет 6%.

В 2015 г. продолжалась непрерывная регистрация суммарной ФАР с дискретностью 1 минута по прибору LI-190SL № 46141. Его градуировка проводилась в теплый период (апрель-октябрь) по контрольному прибору LI-190SL № 46767. Поверка последнего осуществлялась по актинометру № 45 с набором стеклянных светофильтров Шотта BS-8 и KS-19.

Наблюдения 2015 г. сравнивались со средними величинами ФАР за период 1999-2013 гг. (далее – нормы).

Годовая сумма ФАР (Q_f) в 2015 г. близка к средней многолетней, разница между ними не превысила 0,5%, так же, как и для интегральной суммарной (рис. 12.1, 12.2).

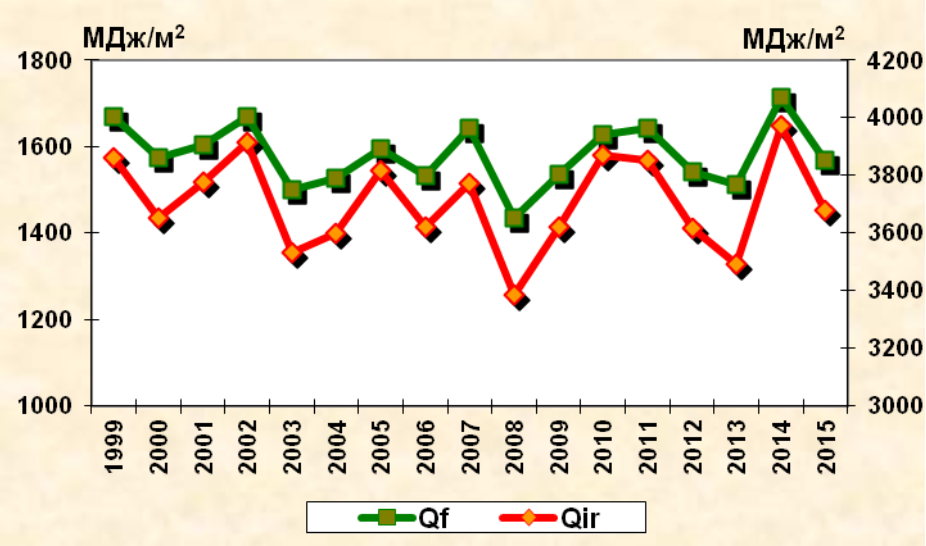


Рис. 12.1- Многолетнее изменение годовых сумм суммарной ФАР и интегральной радиации

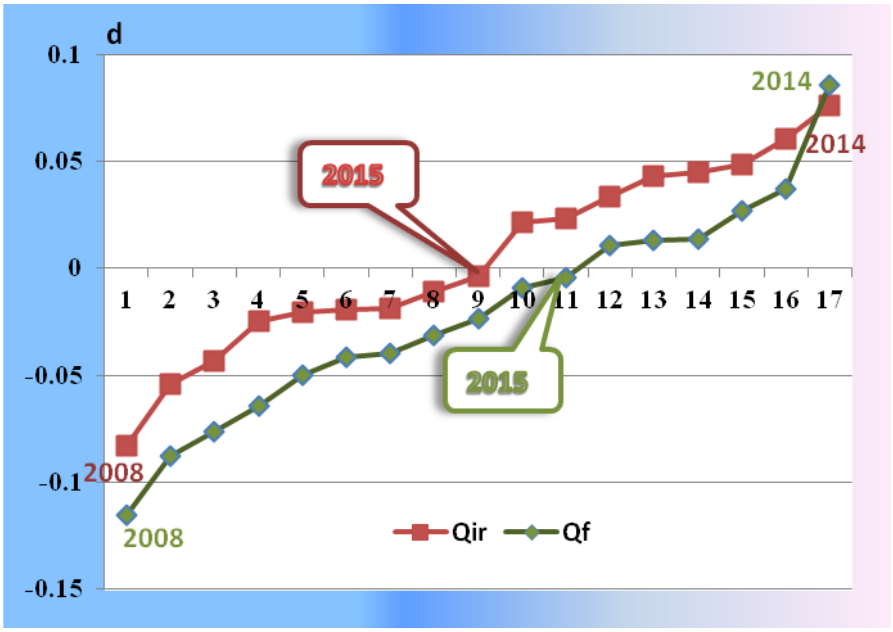


Рис. 12.2 - Ранжированный ряд относительных аномалий годовых сумм суммарной интегральной (*Qir*) и фотосинтетически активной (*Qf*) за период 1999-2013: $d=(Q-Q_{mean})/Q_{mean}$

Хотя годовая сумма ФАР в 2015 г. практически равна норме, сезонные суммы (ΣQ_f) первой половины года значительно меньше нормы, а второй, наоборот, больше (табл. 12.1). Самое значительное уменьшение поступления ФАР – на 11% по сравнению с нормой – отмечено зимой 2014-2015 гг., а максимальное увеличение – на 6% – летом.

Начатая в 2010 году тенденция к уменьшению зимней суммы суммарной ФАР продолжилась и в сезон 2014-2015 г., хотя за период с 1999 г. они имеют слабую статистически незначимую тенденцию к росту. В ранжированном ряду $\Sigma_з Q_f$ она занимает четвертое место, меньше суммы ФАР были только в 2002, 2009 и 2008 гг. (рис. 12.3, зима).

Весной 2015 г. поступление ФАР также значительно меньше нормы, $\Sigma_в Q_f$ в ранжированном ряду стоит на третьем месте, превысив только суммы 2008 и 2005 гг. В отличие о зимнего периода, в многолетнем ходе весенних сумм наблюдается устойчивая тенденция к уменьшению поступления ФАР (рис. 12.3, весна).

Второй год подряд лето характеризуется очень значительным поступлением не только интегральной солнечной радиации, но и ФАР: $\Sigma_л Q_f$ расположилась на пятнадцатом месте, уступив только суммам 2011 и 2014 гг. За последние 17 лет отмечается устойчивая тенденция к росту летний сумм ФАР, хотя она статистически не значима (рис. 12.3, лето).

Осень 2015 г. характеризуется небольшим увеличением поступления ФАР по сравнению с нормой. Так же, как и весной, для сумм ФАР в этот сезон года характерна

Таблица 12.1 - Суммарная ФАР, интегральная радиация и факторы, определяющие их приход, по сезонам, в целом за 2015 год и в среднем за период 1999-2013 гг.

	Зима *	Весна	Лето	Осень	год
Q_f,МДж/м^2					
2015 г.	76	503	779	208	1567
1999-2013 гг. ± ДИ***	86±5	550±19	737±26	201±11	1574±45
V,%	11	6	6	10	4
**δ_{2015}, %	-11	-9	+6	+4	+0
Q, МДж/м^2					
2015 г.	196	1190	1807	488	3678
1999-2013 гг.	208	1293	1697	487	3692
δ_{2015}, %	-11	-8	+7	+0	+0
Аэрозольная оптическая толщина АОТ$_{550}$					
2015 г.	0.04	0.15	0.09	0.07	0.09
1999-2013 гг.	0,06	0,16	0,19	0,12	0.14
δ_{2015}, %	-36	-5	-52	-44	-38
ПСС, час					
2015 г.	102	593	921	281	1899
1999-2013 гг.	112	638	851	272	1871
δ_{2015}, %	-9	-7	+8	+4	+2
Доля от возможной ПСС, %					
2015 г.	14	46	61	29	43
1999-2013 гг.	15	50	57	28	42
Общая облачность, балл					
2015 г.	9,0	8,2	7,2	8,6	8,3
1999-2013 гг.	9,0	7,8	7,6	8,7	8.3
δ_{2015}, %	0	+5	-5	-1	0
Нижняя облачность, балл					
2015 г.	7,7	5,1	4,3	6,8	5.9
1999-2013 гг.	7,5	4,9	4,7	6,9	6.0
δ_{2015}, %	+3	+4	-9	-2	-1
Альбедо подстилающей поверхности в полуденные часы (11-13 ч.), %					
2015 г.	61	26	22	25	-
1999-2013 гг.	58	32	19	23	-
δ_{2015}, %	+4	-18	+16	+10	-

*При расчетах взят декабрь предыдущего года.; **δ_{2015}=(2013-Среднее$_{1999-2013}$)/ Среднее$_{1999-2013}$
***ДИ – доверительный интервал с уровнем значимости α=0,05

статистически незначимая тенденция к уменьшению в течение рассматриваемого периода (рис. 12.3, осень).

Все вышеперечисленные тенденции изменения сезонных сумм ФАР обусловлены соответствующими изменениями факторов, влияющих на её поступление к земной поверхности. Например, летом и осенью отмечено рост продолжительности солнечного сияния, уменьшение общей и, особенно, нижней облачности по сравнению с нормой, значительное уменьшение АОТ (см. табл. 12.1).

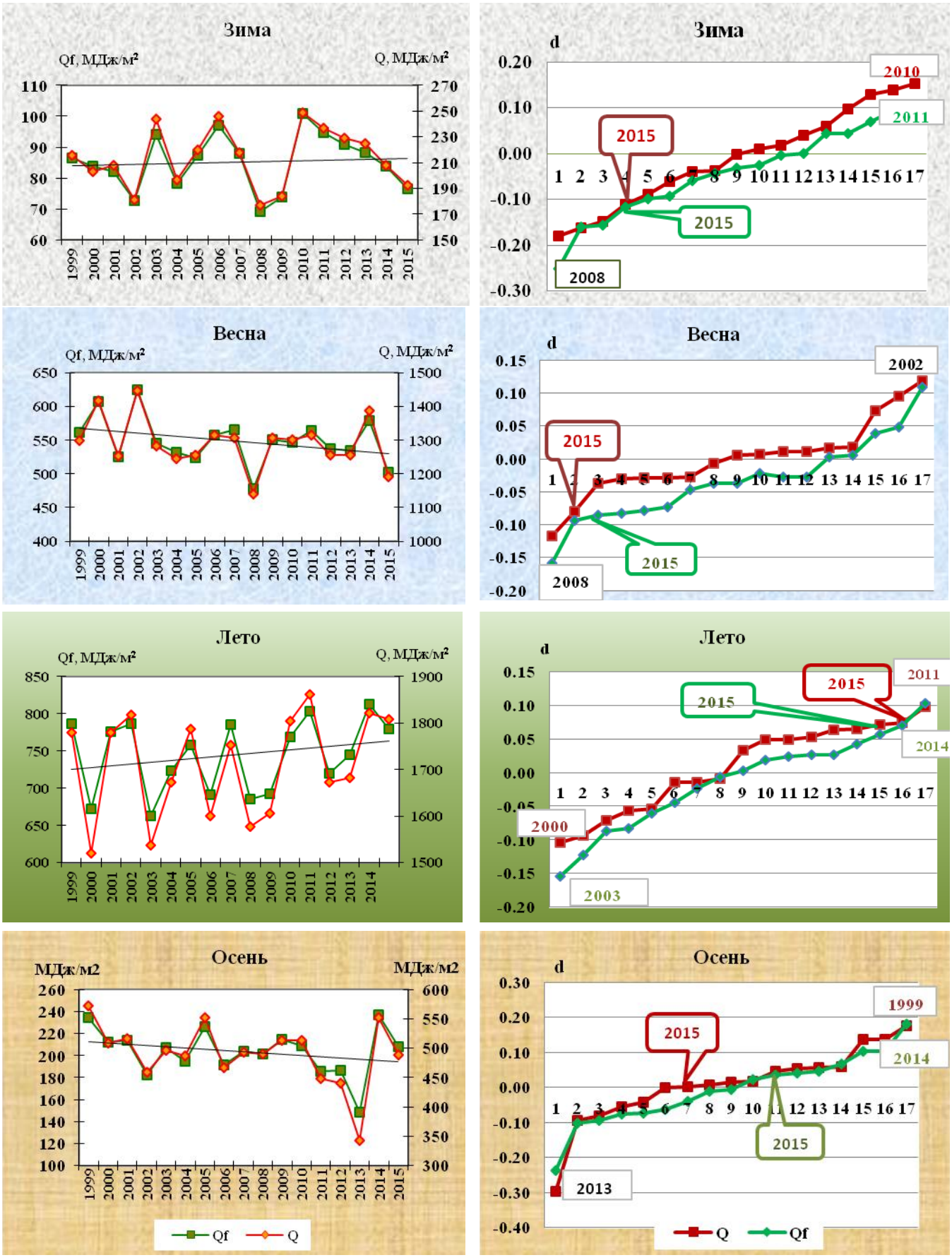


Рис.12.3- Многолетние изменения сезонных сумм суммарной ФАР и интегральной солнечной радиации за период 1999-2014 гг.

Месячные суммы суммарной ФАР в течение 2015 года изменялись от 13 Мдж/м^2 в декабре до 268 Мдж/м^2 в июне-июле, следуя за годовым ходом облачности и продолжительности солнечного сияния (табл. 12.2, рис. 12.4, см. табл. 10.1).

Таблица 11.2 - Месячные и годовая сумма суммарной ФАР (400-700 нм, МДж/м^2)

Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
2015 г.	**21**	**43,5**	**111,5**	**155**	**237**	**268**	**268**	**243**	**122**	**65**	**21**	**13**	**1567**
1999-2013	23	53	115	177	258	271	265	201,5	123	57	21	13	1574
*±ДИ	3	4.5	7	7.5	18	21	15	15	11	6	3	2,5	45
**V, %	20	14	10	7	11	12	9	12	14	17	20	29	4
δ 2015,%	-9	-13	-3	**-13**	-8	-1	+1	**+20**	-1	+15	-1	-4	0
Максимум 1999-2014	34	60,5	133	201	318	335	327	244	149,5	78	32	23	1669
Год	2010	2007	1999	2014	2002	1999	2014	2005	2014	2005	1999	2002	2014
Минимум 1999-2014	17	34	89	150	218	202	217	164	72	45	15	9	1435
Год	2007	2002	2008	2003	2005	2003	2000	2008	2011	2002	2003	2006	2008
Доли ФАР в суммарной интегральной радиации (%)													
2015 г.	39	40	41	43	43	43	43	43	43	42	42	40	43
1999-2013	40	40	40	42	44	44	43	43	42	41	40,5	39	43

* ДИ – доверительный интервал средней суммы ФАР с уровнем значимости α=0,05; **V,% - коэффициент вариации месячной суммы ФАР, выраженный в процентах

Главной особенностью годового хода месячных сумм суммарной ФАР в 2015 году можно считать тот факт, что в они были меньше нормы в девяти месяцах из двенадцати, однако это отклонение превысило естественную изменчивость (т.е. δ2015>V) только в апреле. Как показано в п. 10, в этом месяце была необычно пасмурная погода, и средний за месяц балл нижней облачности оказался максимален за весь период наблюдений .

Наоборот, в августе наблюдалось наиболее значительное превышение месячной суммы ФАР по сравнению с нормой, заняв в ранжированном ряду 16 место и меньше абсолютного максимума 2005 г. только на 1 МДж/м^2. Этому способствовало значительное уменьшение как общей, так и нижней облачности в этом месяце, причем последняя достигла значения минимума во второй раз за все время наблюдений (см. табл. 10.1). Кроме того, в этом месяце отмечен минимум аэрозольной оптической толщины (см. табл. 11.1).

Анализ изменения месячных сумм ФАР за период 1999-2015 гг. показал, что рост поступления ФАР отмечается в январе, июле и августе, однако все они статистически не значимы (α>0,05). Тенденция к уменьшению месячного поступления ФАР (хотя также статистически незначимая) характерна в марте, мае, сентябре, ноябре и декабре. В остальные месяцы линейная тенденция практически отсутствует.

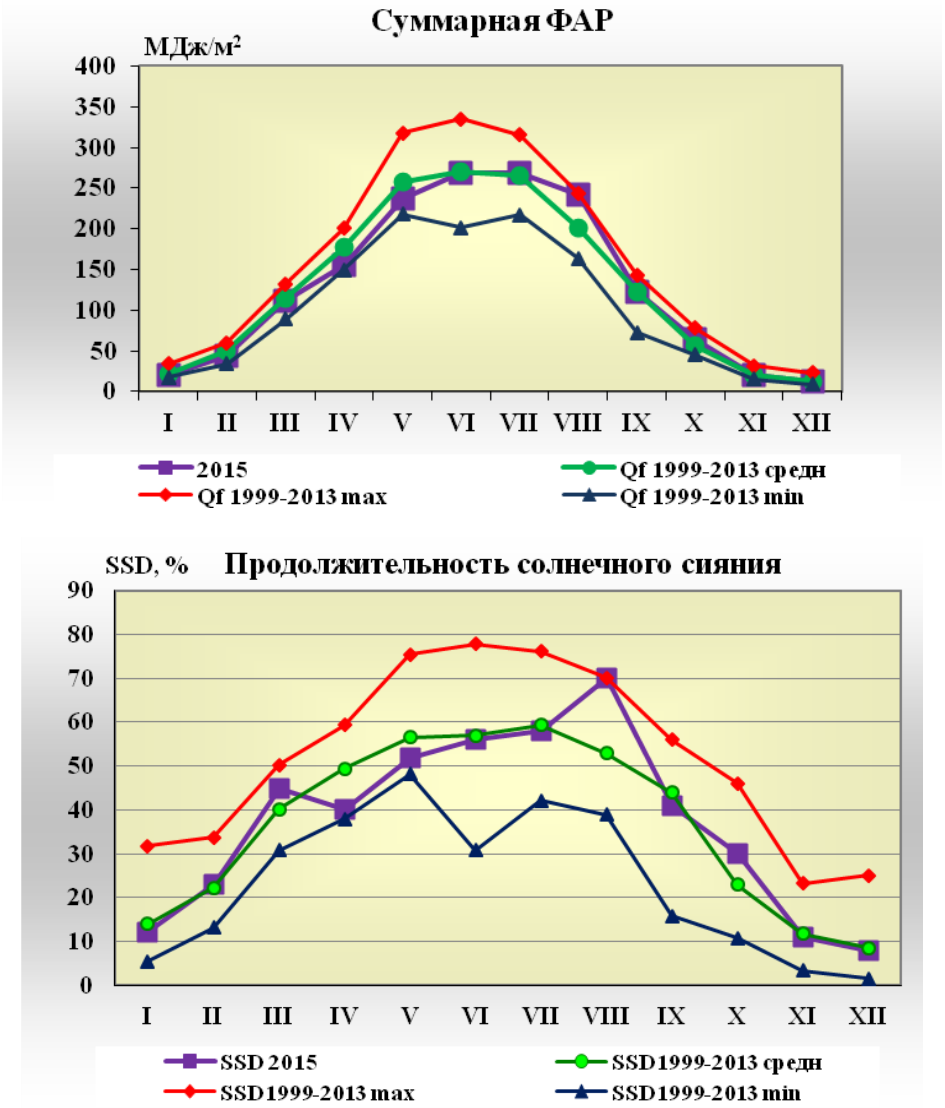


Рис. 12.4 - Годовой ход месячных сумм суммарной ФАР (Q_f, МДж/м^2), относительной продолжительности солнечного сияния (SSD,%) и среднего за месяц общей (NO, балл) и нижней облачности (Nn,балл) в 2015 году

Вклад ФАР в годовую сумму суммарной интегральной радиации в 2015 г. составил 43%, изменяясь в месячных суммах в пределах 39-43% (см. табл.12.2).

Средние суточные суммы суммарной ФАР в течение 2015 года менялись от 0,41 Мдж/м^2 в декабре до 8,9 Мдж/м^2 в июне (табл.12.3). Приход суммарной ФАР ото дня ко дню колеблется в широких пределах в зависимости от облачности, прозрачности атмосферы, альбедо подстилающей поверхности и т.д. Это хорошо видно при анализе статистических характеристик суточных сумм ФАР и их экстремальных величин (табл.12.3, рис. 12.5).

Таблица 12.3 - Суточные суммы суммарной фотосинтетически активной радиации в 2015 г. и в среднем за 1999-2013 гг.

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2015 год												
Средняя, МДж/м^2	0,67	1,55	3,60	5,16	7,63	8,94	8,65	7,83	4,07	2,10	0,70	0,415
Максимум, МДж/м^2	1,41	3,65	6,76	10,0	12,10	13,33	**13,03**	**11.09**	6,51	4,90	2.34	1,00
Дата	26	26	27	28	20	8	4	4	15	3	6	28
Минимум, МДж/м^2	0.15	0.36	**0.50**	0.86	**0,98**	1,73	3,21	2.77	0.84	0.51	0.16	0.11
Дата	14	4	1	3	15	27	20	18	28	24	19	6
σ, МДж/м^2	0,36	1,08	1,89	2,24	3,37	3,26	2,44	2,25	1,76	1,19	0,53	0,20
V%	54	43	53	43	44	36	28	29	43	57	76	49
Интервал*, МДж/м^2	0,4-0,6 (32%)	0,5-1,0 (36%)	1-2 (23%) 4-6 (48%)	4-6 (46,7%)	9-10 (16%) 11-12 (16%)	10-11 (17%) 12-13 (17%)	9-10 (23%)	9-10 (32%)	5-6 (27%)	0,5-1,0 (26%) 2-2,5 (26%)	0,2-0,4 (37%)	0,3-0,4 (26%)
** ±ΔQ, МДж/м^2	0,34	0,67	1,31	1,90	2,33	2,44	2,13	1,41	1,21	0,94	0,38	0,18
	1999-2013 гг.											
Средняя МДж/м^2	0,73	1.76	3,71	5,90	8,33	9,02	8,55	6,50	4,10	1,83	0,70	0,43
±ДИ, МДж/м^2	0,04	0,09	0,16	0,23	0,27	0,265	0,23	0,22	0,17	0,11	0,05	0,02
Максимум МДж/м^2	2,08	4.23	7.65	10,95	13,24	13,73	12,97	10,74	8,59	5,35	2,76	1,22
Дата	31/2002	26/2007	30/2004	30/2006	25/2007	3/2007	7/1999	4/2002	3/2007	1/2005	1/2005	1/2002
Минимум, МДж/м^2	0,12	0,21	0,59	0,79	1,05	1,13	1,34	0,76	0,46	0,19	0,12	0,04
Дата	7,12/2007	8/2008	16/2001	19/2005	25/2008	25/2009	17/2000	14/2004	28/2002	31/2004	30/2006	8/2008
σ, МДж/м^2	0,42	0,93	1,77	2,48	2,95	2,865	2,50	2,37	1,89	1,21	0,49	0,25
V%	58	53	48	42	35	31	29	36,5	49	66	69	59
Интервал*, МДж/м^2	0,4 - 0,6 (25%)	0,5-1,0 (22%)	2-3 (21%) 4-5 (17%)	7-8 (16%)	11-12 (14%)	10-11 (16%)	9-10 (19%)	7-9 (32%)	5-6 (21%)	0,5-1,0 (25%)	0,2-0,4 (29%)	0,2-0,3 (22%)
** ±ΔQ, МДж/м^2	0,29	0,67	1,35	1,92	2,23	2,57	2,14	1,96	1,51	0,91	0,38	0,2

Примечание: * - интервал – интервал максимальной повторяемости суточных сумм в каждом месяце, в скобках её относительная величина; **±ΔQ - средняя межсуточная изменчивость суточной суммы ФАР.

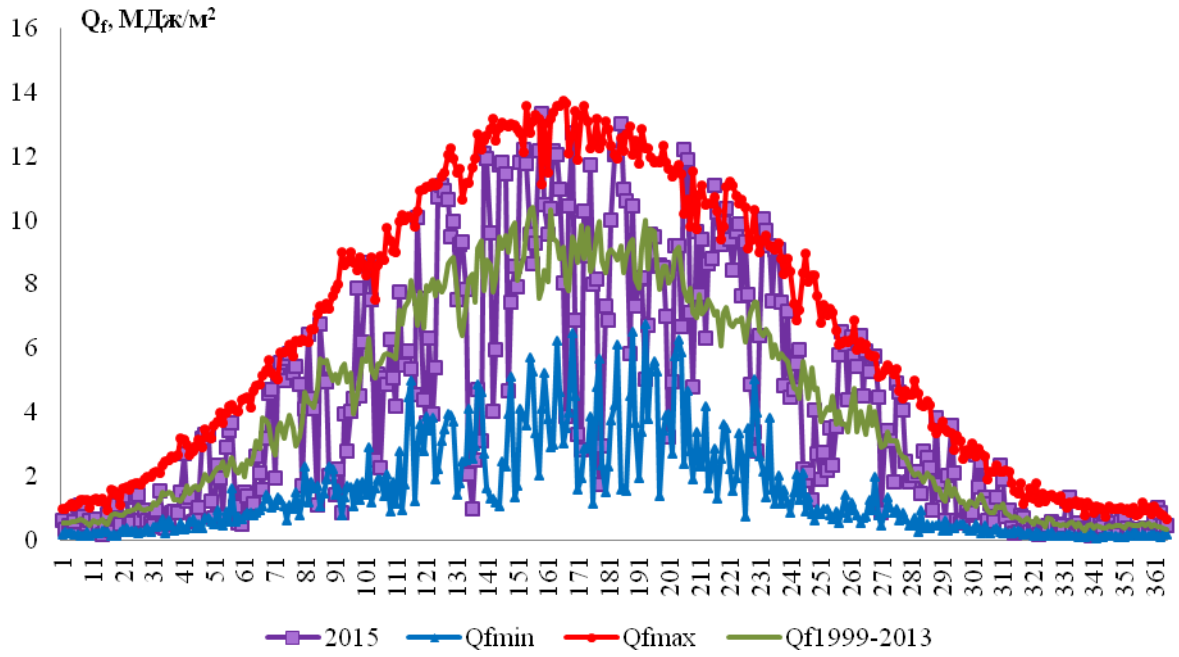


Рис. 12.5 - Годовой ход суточных сумм суммарной ФАР в 2015 г. и за период 1999-2013 гг. для каждого дня года

Междусуточная изменчивость составляла в среднем 43-51% от средних суток ФАР зимой, 31-37% - весной, 18-27% - летом и 30-45% - осенью. Она по величине несколько меньше среднеквадратического отклонения в течение всего года, за исключением февраля. В свою очередь, этот показатель в 2015 году меньше или равен средней межсуточной изменчивости для периода 1999-2013 гг. только в трех месяцах с наиболее устойчивой погодой (апрель, август и декабрь), в остальное время года он превышает её (см. табл.12.3).

В 2015 г. 160 дней в году суммы ФАР были больше, чем средние за 1999-2013 гг., а 26 суточных сумм оказались больше, чем максимумы для этих дат - по 2-3 дня в каждом месяце за исключением января и мая (см. рис. 12.5). Больше всего таких дней оказалось в июле и августе (по четыре), причем абсолютные максимальные суточные суммы ФАР за период 1999-2013 гг. в эти месяцы были перекрыты (см. табл.12.3).

Наоборот, дней, когда сумма ФАР оказалась меньше, чем установленный ранее минимум для этих дат, оказалось 24, причем больше всего их в мае (6). В мае и марте были перекрыты абсолютные минимумы суточных сумм ФАР (см. табл.12.3).

Анализ погоды как в дни с максимальными суточными суммами ФАР, так и максимальная энергетическая освещенность ФАР (табл. 12.3-12.4), показал, что в холодное время, как правило, они наблюдаются при сплошном покрове облаков верхнего и среднего яруса при небольшом количестве слоисто-кучевых облаков. В теплое время года

максимумы наблюдаются при наличии перистой, высоко-кучевой и кучевой облачности. В 2015 г. максимальная энергетическая освещенность в шести месяцах из 12-ти оказалась больше максимумов для 15-летнего периода (см. табл. 12.4).

Таблица 12.4 - Максимальная энергетическая освещенность суммарной ФАР в 2015 г.

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ФАР, КВт/м^2	**0,12**	**0,20**	**0,33**	**0,47**	**0,48**	**0,52**	**0,53**	**0,48**	**0,41**	**0,33**	**0,18**	**0,10**
День	*25*	*12*	*22*	*24*	*31*	*5*	*6*	*2*	*11*	*2*	*3*	*7*
Время*	12^{54}	12^{18}	12^{29}	12^{30}	13^{23}	11^{59}	12^{05}	12^{26}	12^{58}	12^{23}	10^{53}	11^{43}
Характер погоды	☼ [10]/5 Ac, Sc	☼ [10]/8 Ci Ac Sc	☼ 7/7 Sc	☼ [10]/[10] Cc (сл.), Cu, Sc	☼ [10]/7 Ci Sc Cu	☼ 8/7 Ac, Cu Sc	☼ 9/9 Sc, Cu	☼ 7/6 Ac Sc Cu	☼ 9/8 Cc Ac Sc Cu	☼ [10]/[10] Sc	☼ [10]/[10] Sc	☼ 7/7 Sc
среднее за 1999-2013, КВт/м^2	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*

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.

В данной работе длительность вегетационного периода и соответствующие ему суммы суммарной ФАР, температуры воздуха и осадков рассчитывались для периодов с устойчивыми средними за сутки температурами воздуха выше 5°C (ВП5). Кроме того, рассматривался период активной фотосинтетической деятельности сельскохозяйственных культур (**ФА)**. Для Москвы это интервал времени с начала вегетации до второй декады июля.

В среднем для периода 1999-2013 гг. продолжительность ВП5 в Москве длится 190 дней (08/04-14/10). Интересно отметить, что по сравнению с историческим базовым периодом ВМО 1961-1990 гг. она увеличилась, причем в основном за счет более ранней весны. Длительность вегетационного периода в 2015 году составила 88% от средней многолетней и 92% от базового периода ВМО за счет значительного похолодания во второй декаде апреля. При этом суммы температур за вегетационный период 2015 г. на 5% меньше современной нормы, но на 9% больше средней суммы за исторический базовый период ВМО. Напротив, сумма осадков превышает и норму (11%), и величину за базовый период ВМО (13%). Сумма ФАР также на 6% ниже нормы (табл. 12.5). Однако за первую половину вегетационного периода приход ФАР оказался на 13% больше, чем норма, при достаточном увлажнении и умеренном уровне температур, следовательно, можно предположить, что за период наиболее активной вегетации растений условия были вполне комфортны.

Таблица 12.5 – Характеристика вегетационного периода 2015 г.

	t>5°C					**ФА**				
	ВП5		∑t	∑Q_f	∑R	ВПФА		∑t	∑Q_f	∑R
	период	Дни	^{o}C	МДж/м^2	мм	период	дни	^{o}C	МДж/м^2	мм
2015	22/IV-06/X	168	2727	1215	458	22.IV-10.VII	80	1294	1156	261
1999-2013	08/IV-14/X	190	2869	1290	414	08.IV-10.VII	94	1366	1026	183
1961-1990	16/IV-15/X	183	2494	-	405	16/IV-10/VII	86	1171	-	179

Анализ декадных сумм в 2015 г. показал, что в годовом ходе они меняются от 3,6 МДж/м^2 в первой декаде декабря (как следствие значительной повторяемости пасмурной погоды и отсутствии постоянного снежного покрова, см. п. 6) до 108,8 МДж/м^2 в первой декаде июня (рис.12.6). Наибольшая разница в сторону уменьшения между средними многолетними величинами Q_f и суммами 2015 г. достигла 42% в первой декаде сентября: в это время отмечена значительная облачность. Максимальная разница в сторону увеличения (49%) – во второй декаде марта, также следуя, главным образом, за ходом облачности и альбедо подстилающей поверхности (см. рис. 12.6). Кроме этой декады, абсолютный максимум ФАР был перекрыт в первой декаде августа, что также явилось результатом значительного уменьшения среднего балла, главным образом, нижней облачности.

Таким образом, в 2015 году:

- годовая сумма ФАР близка к средней за последние 15 лет;
- максимальное превышение сезонной суммы наблюдалось летом - на 6% по сравнению с периодом 1999-2013 гг.;
- наиболее значительные отклонения от средней многолетней месячной суммы ФАР отмечены: в положительную сторону в августе (+20%), в отрицательную – в апреле (-13%);
- максимальная суточная сумма ФАР наблюдалась 8 июня (13,3 МДж/м^2), а минимальная − 6 декабря (0,11 МДж/м^2);

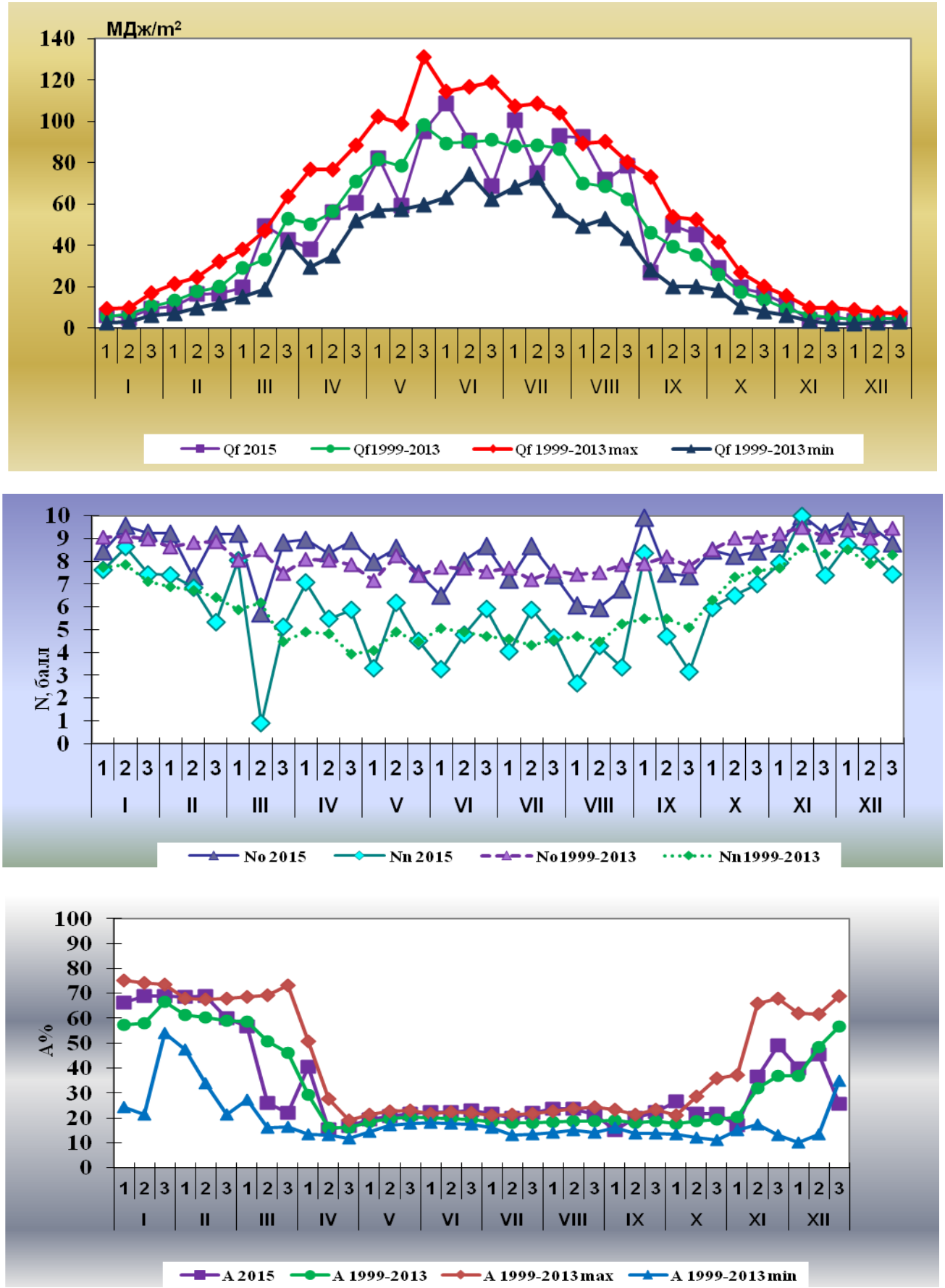


Рис.12.6 - Годовой ход декадных сумм ФАР (Q_f), средних за декаду баллов общей (No) и нижней (Nn) облачности и околополуденного альбедо (A) в 2015 г. и за период 1999-2013 гг.

Литература

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

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

13. Режим естественной освещенности земной поверхности

О.А.Шиловцева

Раздел посвящен анализу режима естественной освещенности горизонтальной поверхности в 2015 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 – килолюксах (клк). Количество освещения в Метеообсерватории МГУ (МО МГУ) оценивается в килолюкс-часах или мегалюкс-часах (клк•ч или Млк•ч=10^3•клк•ч, люкс-час - такое количество освещения, которое получает земная поверхность в течение часа при освещенности в 1 люкс). Для перевода в систему СИ (килолюкс-секунда) величины количества освещения надо умножить на 3600. Световой эквивалент (L_{EQ}), представляющий собой отношение освещенности к солнечной радиации, имеет размерность люмен на ватт (лм/Вт), а световой эквивалент количества освещения – клм/МДж, лм/В=3,6• клм/МДж.

В МО МГУ непрерывная регистрация суммарной освещенности (E_Q) проводится с 1964 года, поэтому текущий год сопоставляется с нормой, рассчитанной за период 1964-2013 гг. В течение всего 2015 года на записи суммарной освещенности стоял прибор LI-210SL №8917 американской фирмы LI-COR (www.licor.com). Контроль регистрирующего прибора проводился ежемесячно по фотометру LI-210SL № 9498. В июле 2015 г. во время сравнений эталонных актинометрических средств измерений Росгидромета, проходивших в Кисловодске, были проведены сопоставления последнего с национальным фотометрическим эталоном ВНИИОФИ, которые подтвердили величину его чувствительности – 10,0 клк/мв.

Годовое количество освещения суммарным светом в 2015 году - 111 Млк•ч, что выше средней многолетней величины или нормы (E_{Qcp}= 110 Млк•ч) всего на 0,9%, т.е. близка к ней. В ранжированном ряду сумма 2015 года стоит на 31 месте, повторяемость градации 110-112 Млк•ч. куда попала сумма, вторая по величине и составляет немногим более 15% (рис. 13.1). За теплый сезон поступило 73% от годовой суммы (80,9 Млк•ч), что на 4% больше нормы (77,9 Млк•ч).

Анализ многолетней изменчивости количества освещения за 52 года показал, что на фоне его квазипериодической изменчивости линейная тенденция к росту E_Q продолжилась, и в настоящее время составил 0,75 Млк•ч за 10 лет, причем тренд статистически значим с P=0.908%, т.е практически такой же, как и был в прошлом году (рис.13.2).

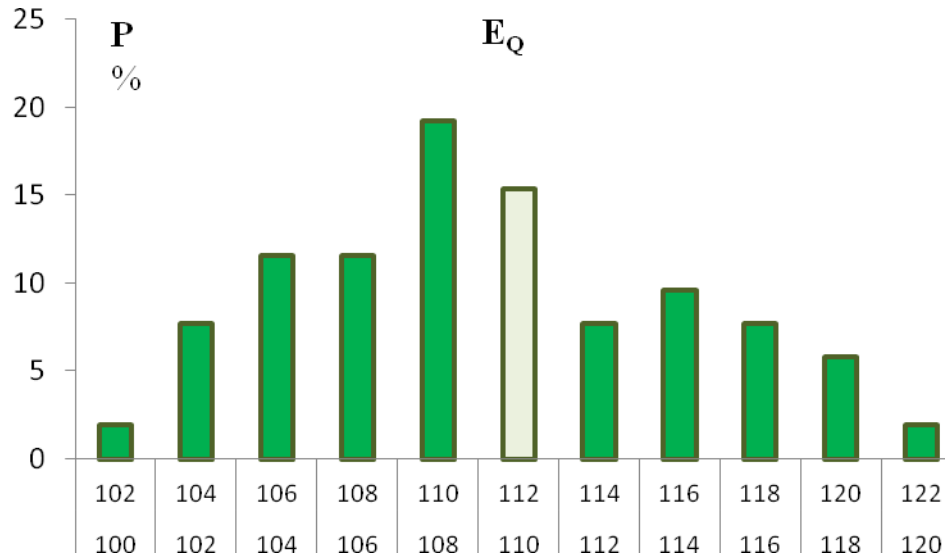


Рис. 13.1 - Гистограмма повторяемости годовых сумм освещения суммарным светом E_Q в Москве за 1964-2015 гг. Другим цветом выделена градация, куда попала сумма 2015 г.

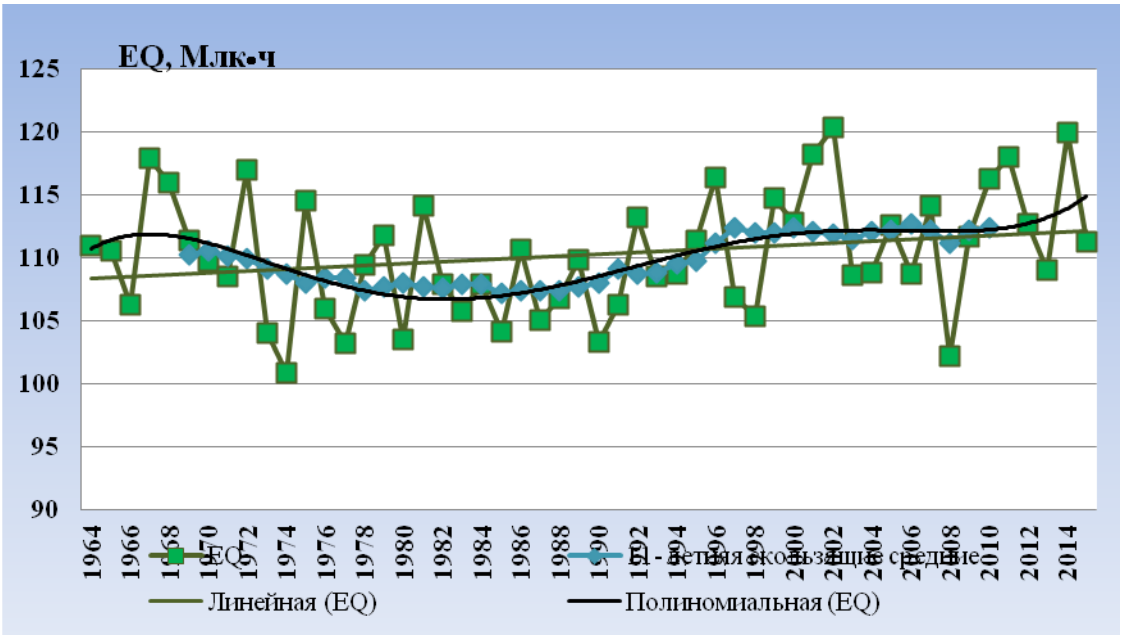


Рис.13.2 - Многолетнее изменение годового количества естественного суммарного освещения в Москве (полином 5 степени).

Таблица 13.1 - Сезонные и годовые суммы количества освещения суммарным светом, суммарная интегральная солнечная радиация и факторы, определяющие их приход к земной поверхности, в 2015 г. и в среднем за 1964-2013 гг. (норма)

		Зима *	Весна	Лето	Осень	Год
Естественная освещенность земной поверхности (E_Q, клк•час)	1964-2013 гг.	6284	37528	51576	14613	110013
	±ДИ***	234	709	798	409	±1335
	$V_{1964-2013}$,%	13	7	6	10	4
	Максимум	7910	44542	58503	18411	*120323*
	Год	*1969*	*2002*	*2011*	*1967*	*2002*
	Минимум	4424	31519	47188	10804	*100783*
	год	*1990*	*1974*	*2000*	*2013*	*1974*
	$L_{EQ1964-2013}$, Лм/Вт	100	108	111	108	109
	2015 год	**5279**	**35858**	**55734**	**14246**	**111197**
	δ_{2015}**, %	-16	-4	+9	-3	+1
	L_{EQ2015}, Лм/Вт	97	108	110	108	109
Характеристики линейного тренда EQ за 1964-2015 гг.	ΔE_Q/10 лет, клк•час	-128	+557	+348	+10	749
	Уровень значимости линейного тренда, α	0,11	0.02	0.20	0.94	0.09
	$\Delta_{1964-2015}$****, %	-10	+8	+3	0	+4
Суммарная интегральная радиация (*Q*, МДж/м^2)	2015 г.	192	1190	1807	488	3678
	1964-2013 гг.	228	1252	1679	489	3648
	δ**, %	-16	-5	8	0	+1
Аэрозольная оптическая толщина AOT_{550}	2015 г.	0,12	0,15	0,09	0,07	0,09
	1964-2013 гг.	0,13	0,23	0,22	0,16	0,19
	δ**, %	-69	-35	-59	-56	-55
Продолжительность солнечного сияния (ПСС), час	2015 г.	102	593	921	281	1899
	1964-2013 гг.	112	638	851	271	1872
	δ**, %	-9	-7	8	4	1
Доля от возможной ПСС,%	2015 г.	14	46	61	29	42
	1964-2013 гг.	15	50	57	28	39
Общая облачность, балл	2015 г.	9.0	8.2	7.2	8.6	8.3
	1964-2013 гг.	8,7	7,7	7,3	8,6	8,1
	δ**, %	4	6	-1	0	2
Нижняя облачность, балл	2015 г.	7.7	5.1	4.3	6.8	5.9
	1964-2013 гг.	7,0	5,1	4,9	7,0	6,0
	δ**, %	10	-1	-13	-3	-1
Альбедо подстилающей поверхности в полуденные часы (11-13 ч.), %	2015 г.	61	26	22	25	-
	1964-2013 гг.	61	29	19	26	-
	δ**, %	0	-9	18	-3	-

Примечания: *Взят декабрь предыдущего года; ** - δ=(E_Q2015-Норма)/Норма; ***ДИ – доверительный интервал среднего с уровнем значимости α=0,05; ****$\Delta_{1964-2015}$ изменение E_Q в % за прошедший период, равный отношению $\Delta_{1964-2015}$ = (E_{Q1964}-E_{Q2015})/E_{Q1964} ; LEQ_{2015}, Лм/Вт световой эквивалент суммарной солнечной радиации.

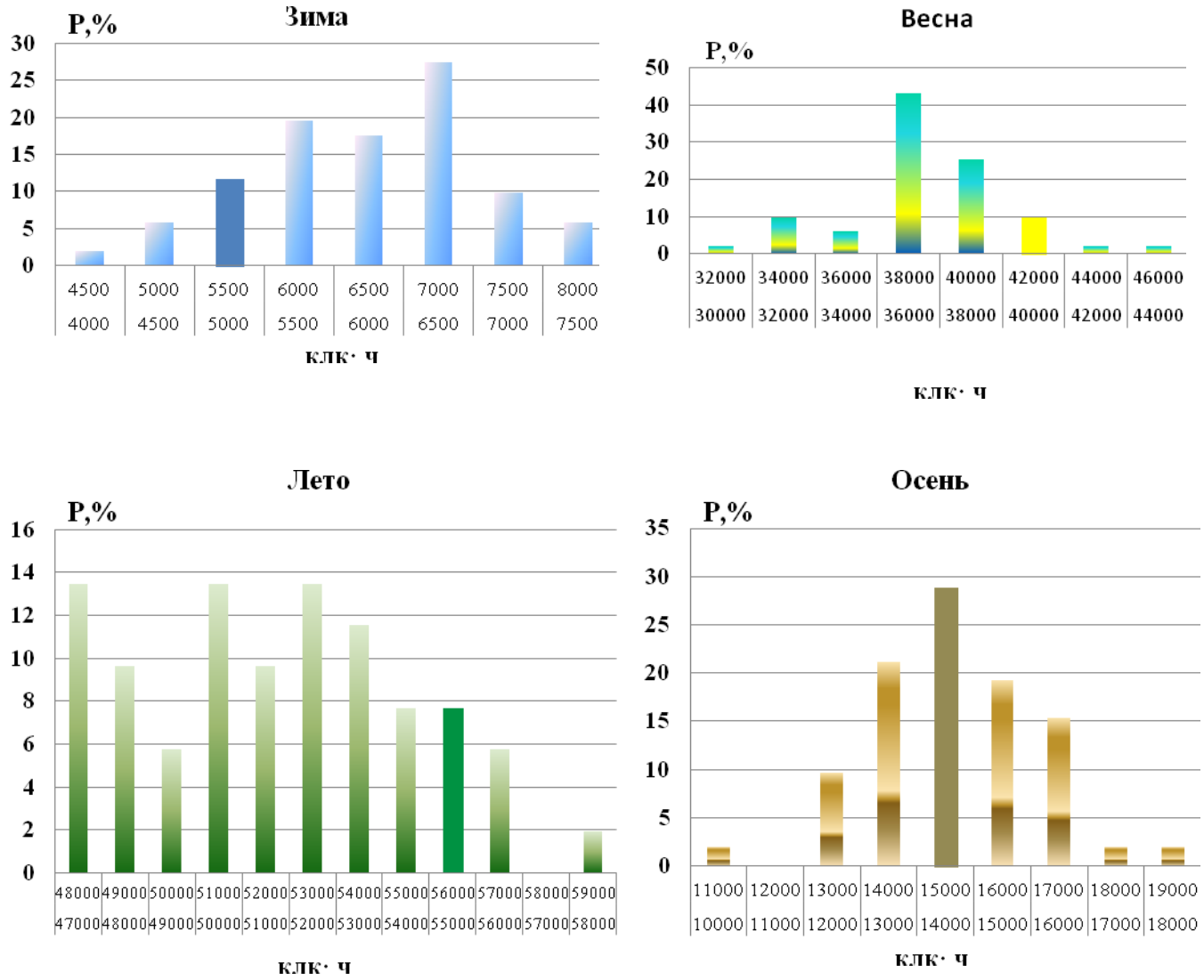


Рис. 13.2 - Гистограмма повторяемости сезонных сумм освещения суммарным светом в Москве за 1964-2014 гг. Другим цветом выделена градация, куда попала сумма 2015 г.

Хотя годовая сумма естественного освещения близка к норме, в отдельные календарные сезоны суммы E_Q мог значительно отличаться от средних значений. Например, наиболее значительное превышение суммы 2015 г. наблюдалось летом: разница между ней и нормой превысила среднее квадратическое отклонение (СКО) в полтора раза. Зима оказалась на 7 месте в ранжированном ряду из 51 члена соответствующих сезонных сумм в результате уменьшения продолжительности солнечного сияния и роста особенно нижней облачности по сравнению с нормой. В переходные сезоны 2015 г. суммы сумм E_Q близки к норме (табл. 13.1, рис. 13.2).

Анализ многолетних изменений сезонных сумм E_Q в течение полувека показал, что статистически значимый рост освещенности наблюдается только весной: на 8% с уровнем значимости α=0,02. Летом и осенью изменения незначительны, а зимой отмечено уменьшение поступление естественного света на 10%, но с α =0,11 (см. табл.13.1, рис. 13.3). Следует отметить, что "потемнение" зимних месяцев за последние пять лет усилилось за счет теплых зим, в течение которых наблюдается сокращение периода залегания снежного покрова, увеличение облачности и уменьшение продолжительности солнечного сияния.

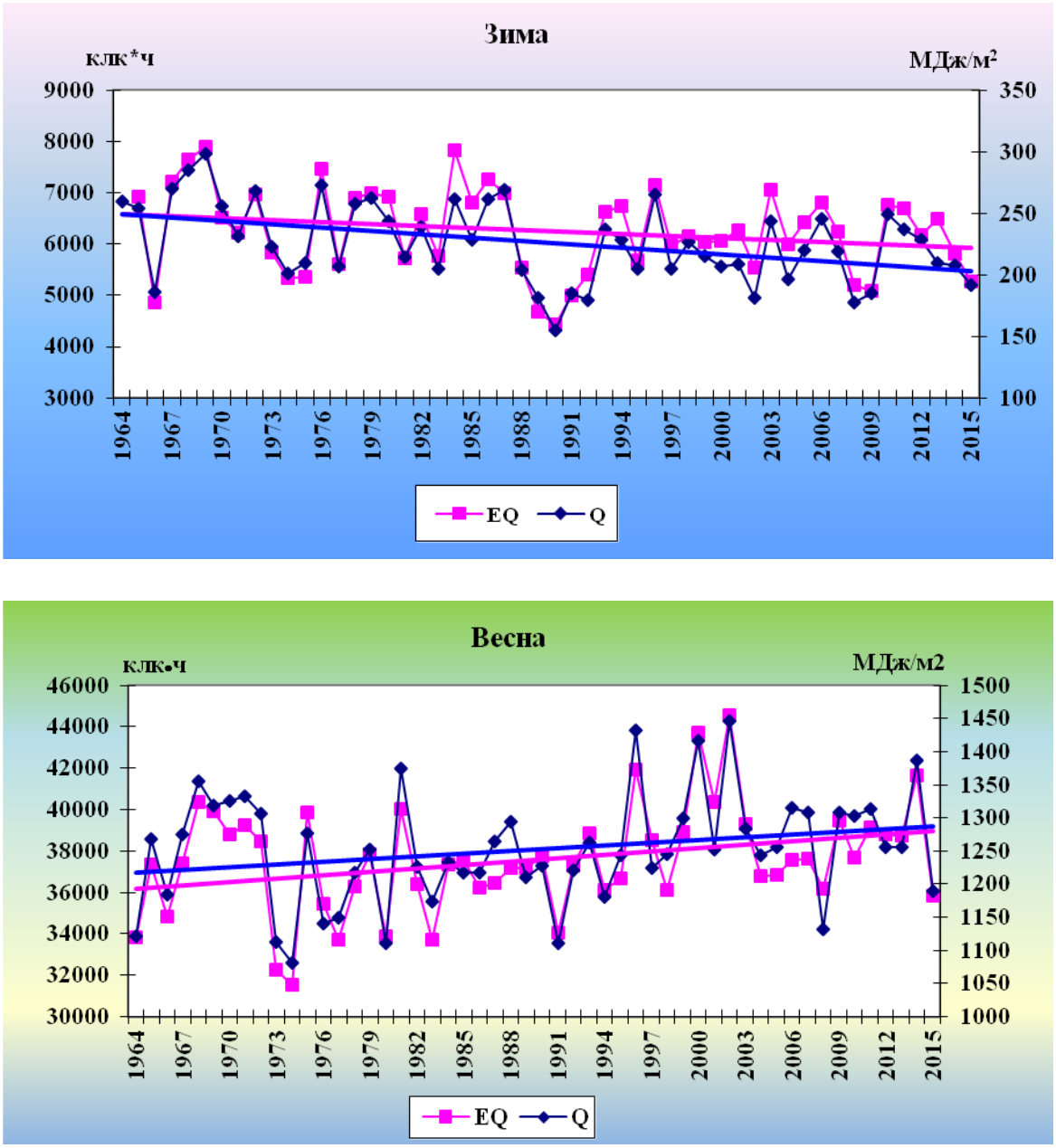
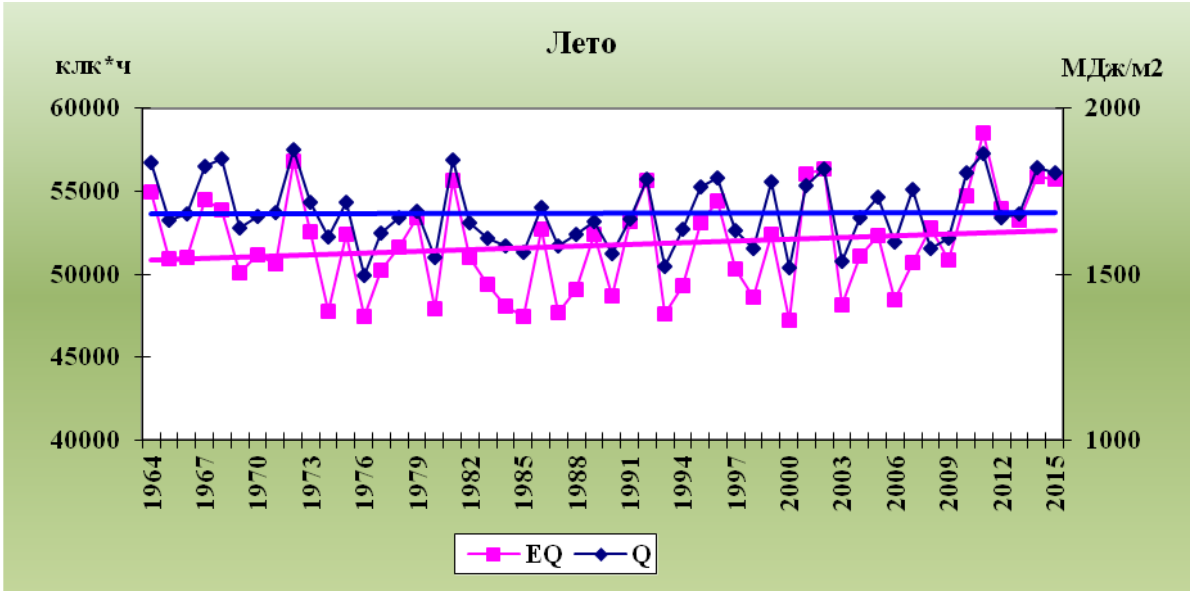


Рис. 13.3 – Многолетнее изменение сезонных сумм освещения суммарным светом (E_Q, клк•ч) и суммарной солнечной радиации (Q, МДж/м^2) в Москве за 1964-2015 гг.



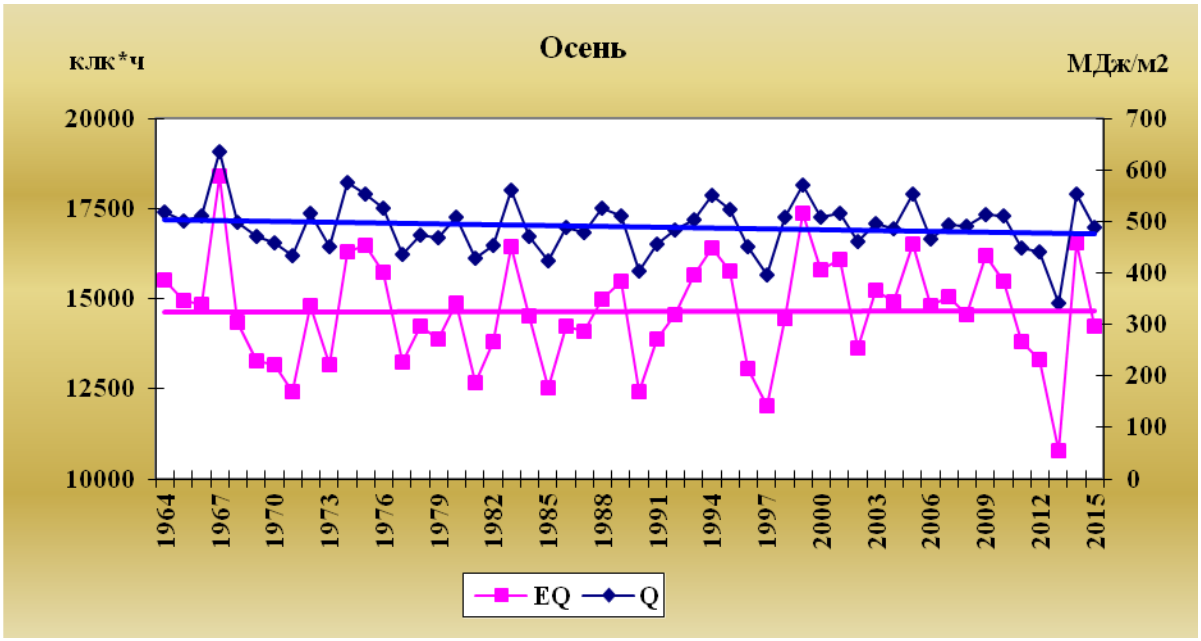


Рис. 13.3 – Многолетнее изменение сезонных сумм освещения суммарным светом (E_Q, клк•ч) и суммарной солнечной радиации (Q, МДж/м^2) в Москве за 1964-2015 гг. (продолжение)

Приведенные в таблице 13.1 световые эквиваленты суммарной солнечной радиации LE_Q показывают, что в 2015 г. они близки к аналогичным средним величинам, возрастая от зимы к лету на 12%.

Рассмотрим, какие месяцы определяли характер изменения сезонных сумм естественной освещенности. В течение 2015 года месячные суммы E_Q изменялись от 904 клк•час в

декабре до 19164 клк•час в июле. Поступление суммарного освещения значительно больше нормы (δ_{2015}>V) отмечено только в августе, причем в этом месяце был перекрыт максимум ΣE_Q за полвека наблюдений, предыдущий был в 1971 г., что и послужило причиной заметного увеличения летней суммы E_Q (табл. 13.2). Кроме этого, значительное превышение ΣE_Q (но δ<V) отмечено октябре, но в сентябре и ноябре уровень освещенности был также значительно ниже нормы, поэтому для осени отмечено небольшое понижение E_Q. Все месяцы зимы характеризуются существенным уменьшением поступления световой энергии, когда уменьшение E_Q составило более 10% от нормы, следуя за годовым ходом продолжительности солнечного сияния, облачности и альбедо подстилающей поверхности (см. п. 10 и 11).

Таблица 13.2 - Количество освещения суммарным светом за месяц (Млк•час) в 2015 г. и в среднем за период 1964-2013 гг.

Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Период 1964-2013 гг.												
Среднее E_Q	1,66	3,63	8,17	11,79	17,55	18,69	18,27	14,64	8,74	4,20	1,67	1,00
±ДИ*	0,08	0,18	0,28	0,36	0,57	0,53	0,49	0,38	0,34	0,19	0,10	0,06
E_{Qmax} 1964-2013	2,21	4,99	10,77	14,12/ 14,57	22,39	22,38	21,92/ 22,73	17,18	10,78	5,62	2,68	1,67
год	2010	1969	1969	2009/ 2014	2002	1968	2010/ 2014	1971	1974	1987	1967	2002
$E_Q$min 1964-2013	1,11	2,22	5,67	8,35	12,54	14,51	15,04	11,57	5,07	2,33	1,02	0,69
год	1989	1990	1979	1986	1974	2003	2000	1998	2013	1970	2003	1965
V,%	17	17	12	11	11	10	9	9	14	16	21	20
$E_{Q1964-2013}/E_{Qo}$	57	61	63	59	67	65	64	62	56	48	45	48
$LE_{Q1964-2013}$	99	101	106	107	109	110	111	111	109	106	105	97
2015 г.												
E_Q	**1.42**	**3.03**	**7.86**	**10.97**	**17.03**	**19.14**	**19.16**	**17.43**	**8.14**	**4.62**	**1.49**	**0.90**
δ 2015,%	-14	-16	-4	-7	-3	+2	+5	+19	-7	+10	-11	-10
LE_{Q2015}	97	101	103	110	110	111	112	110	104	106	107	102
E_{Q2015}/E_{Qo}	49	51	61	55	65	67	68	74	52	53	40	44
	Характеристики линейного тренда E_Q за 1964-2015 гг.											
ΔE_Q/10 лет, клк•час	-35	-96	+84	**+275**	+196	-125	**+417**	+49	+15	+56	-57	+1,4
α	0,21	0,11	0,37	**0,02**	0,29	0,47	**0,01**	0,70	0,89	0,365	0,07	0,94
$\Delta_{1964-2015}$, %	-10	-12	+5	+13	+6	-3	+12	+2	+1	+7	-16	+1

Примечания: те же, что и к таблице 13.1; E_{Qo} суммарная освещенность при безоблачном небе или возможная освещенность

В течение второй половины XX начале XXI вв. внутри каждого месяца изменение E_Q происходит неравномерно. Наиболее заметный рост E_Q (и статистически значимый) наблюдается только в двух месяцах в апреле и июле. Наоборот, существенное уменьшение поступления освещенности отмечено в ноябре (табл. 13.2, рис. 13.4). Во все остальные месяцы квазицикличная изменчивость более заметна, чем линейный тренд . Полученные

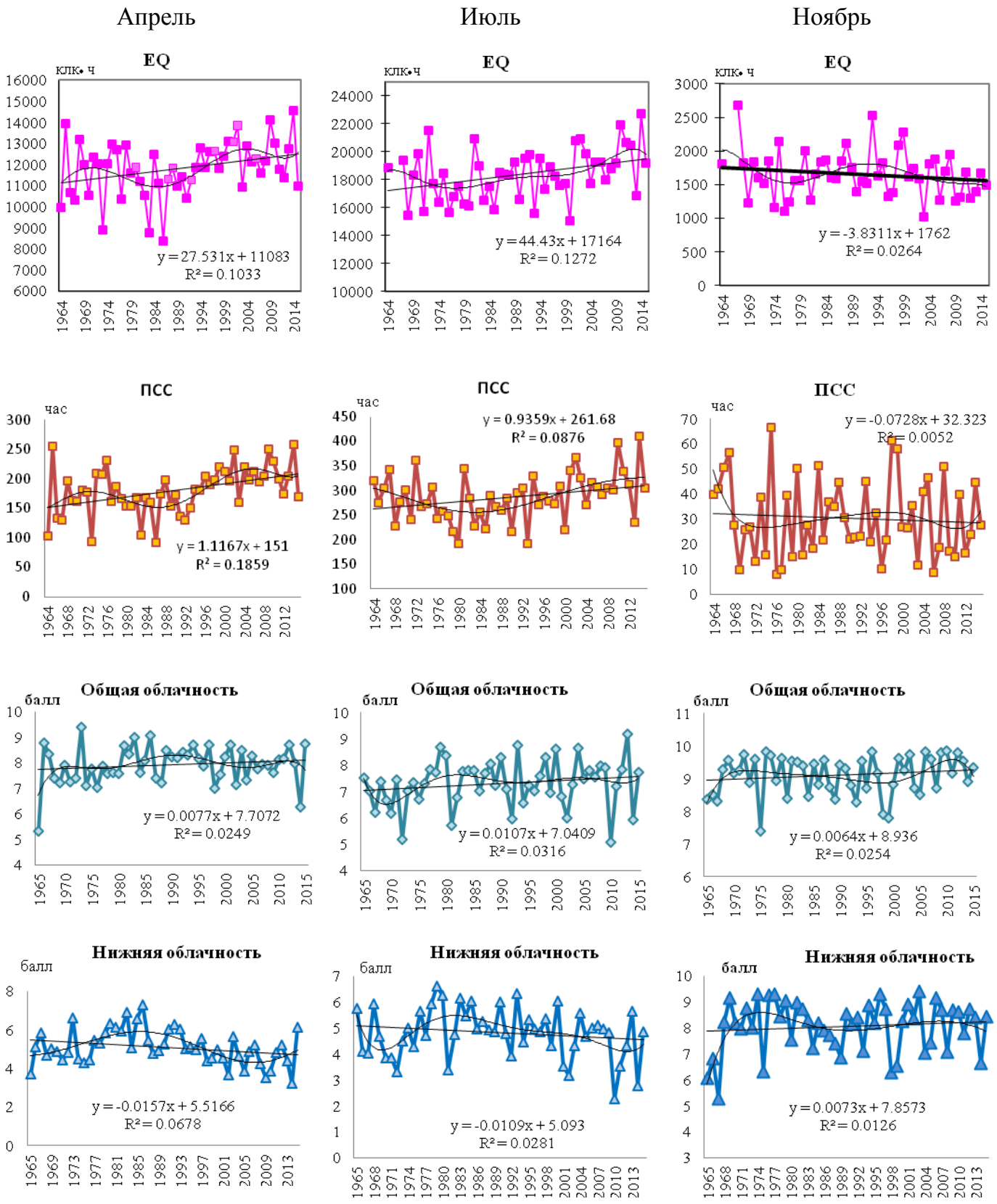


Рис. 13.4. Многолетние изменения месячных сумм суммарной освещенности и факторов, их определяющих

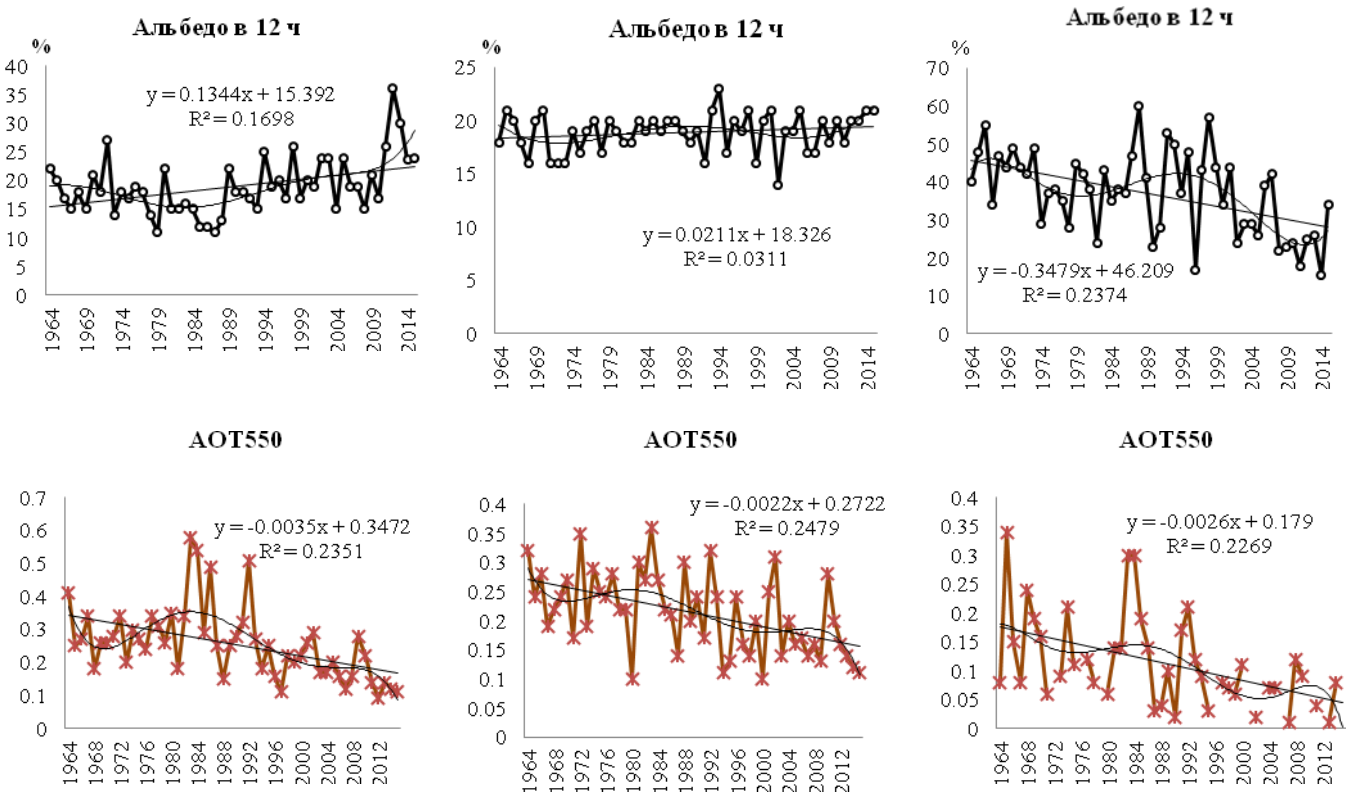


Рис. 13.4. Многолетние изменения месячных сумм суммарной освещенности и факторов, их определяющих (продолжение)

закономерности изменения E_Q хорошо коррелируют с многолетней изменчивостью факторов, формирующих световой режим территории (см. рис. 13.4).

Отношение фактического количества суммарного освещения к возможному (последнее имеет место при отсутствии облаков в течение всего месяца и высокой прозрачности атмосферы, AOT_{550}<0,05) показало, что в целом за 2015 год к земной поверхности поступило 62% от возможной суммы E_Q, что на 10% ниже, чем в прошлом году и равно норме. В течение года наиболее «темными» месяцам были, как уже отмечалось выше, январь и ноябрь-декабрь (менее 50% от возможного количества E_Q). Максимум от возможного количества E_Q поступило в августе - 74% (см. табл. 13.2).

Световые эквиваленты средней за месяц интегральной суммарной радиации (LE_Q), представляющие собой отношение освещенности к суммарной радиации, колеблются в пределах 97-112 лм/Вт, хорошо согласуясь со средними многолетними значениями LE_Q (см. табл. 13.2).

Насколько сильно может меняться суточное количество освещения в зависимости от условий облачности, прозрачности атмосферы и альбедо подстилающей поверхности хорошо видно из рис. 13.5 и табл. 13.3. 2015 год характеризуется тем, что практически не

были перекрыты максимальные суммы на каждый день. Только один день 20 августа стал исключением, когда суточная сумма EQ превысила максимум на 5%. Минимальные количества освещения на конкретный день были перекрыты на 2-72% 14 и 18 января, 1 марта, 16-17 мая и 27 июня, всего 6 дней (см. рис. 13.5). 1 марта сумма EQ оказалась наименьшей для всего месяца, став новым "рекордом" (см. табл. 13.3).

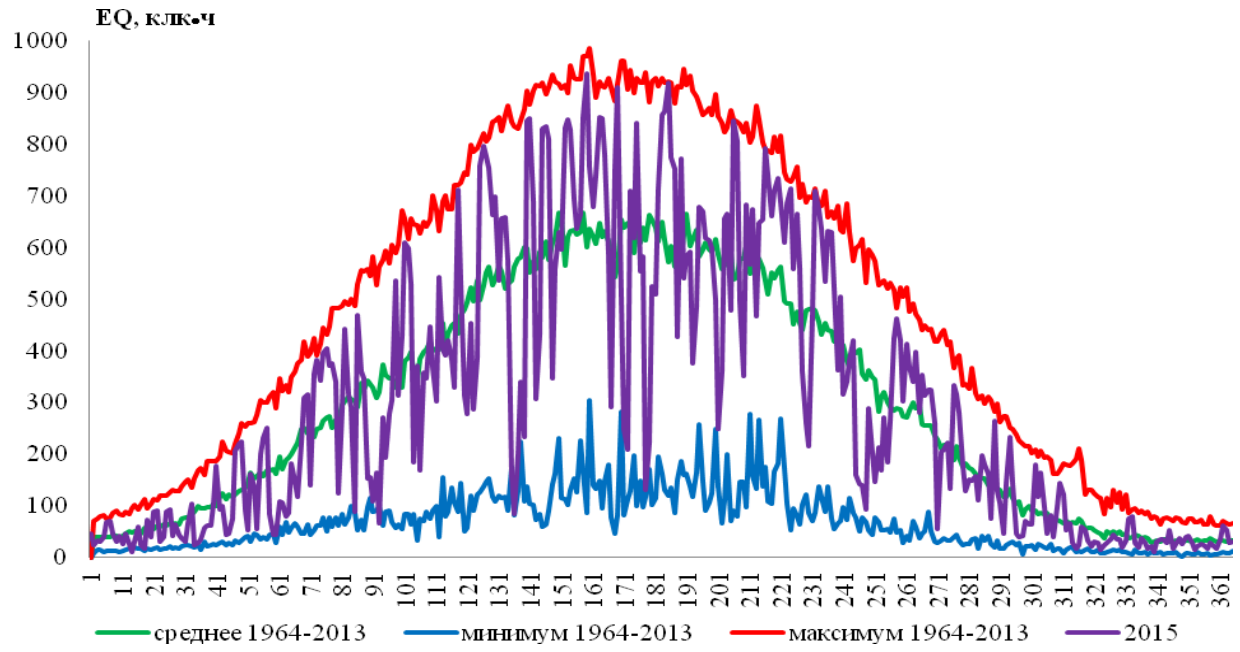


Рис. 13.5 – Изменение ото дня ко дню суточного количества освещения суммарным светом: в среднем за 1964-2013 гг (среднее 1964-2013), максимальные суммы (максимум 1964-2013), минимальные суммы (минимум 1964-2013) и за каждый день 2015 г.

Таблица 13.3 Статистические характеристики количества освещения за сутки в Москве (Клк·ч)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1964-2013 гг.												
E_Qсреднее	53,6	128,0	263,4	393,3	565,8	623,6	589,6	472,1	291,8	135,5	55,3	32.4
±ДИ	1,3	3,2	5,9	8,5	9,6	10,0	9,4	8,25	6,9	4,2	1,9	0,85
V%	50	48	45	42	34	31	31	35	46	62	66	53
E_{Qmax}	151,0	319,3	582,6	744,5	934,8	985,3	946,4	847,1	616,4	417,6	211.1	91,1
дата	31/2011	27/1972	31/2001	29/2013	20/2000	8/1980	8/1973	1/1980	3/1999	1/1967	11/1993	1/2002
E_{Qmin}	7,85	14,7	43,6	31,7	58,5	46	64,8	52,7	27,2	6,4	6.4	2,25
дата	1/1995	4/2013	2/1966	14/1970	24/1974	16/1988	20/1973	11/1980	27/1968	24/1974	28/1969	14/1965
2015 г.												
E_Q среднее	45,9	108,3	253,5	365,8	549,2	638,0	618,2	562,3	271,2	149,0	49,7	29,2
V%	50	66	50	42	42	35	27	28	40	53	65	40
E_{Qmax}	93,4	250,4	469,2	711,8	850,3	935,8	918,4	791,0	463,1	333,2	145,0	61,0
дата	26	26	27	28	21	8	4	4	15	3	6	28
E_{Qmin}	10,8	23,8	**43,4**	66,2	84,5	130,3	249,7	214,7	54,1	40,3	13,9	9,5
дата	14	3	**1**	3	16	27	20	18	28	24	19	6

Представленные в таблице 13.4 максимальные значения освещенности дают возможность оценить одномоментный уровень E_Q. Суммарная максимальная освещенность, так же, как и суммарная 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 за период 1975-2013 гг.

Таблица 13.4 □ Максимальные значения освещенности (клк) в 2015 году

Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
E_Q	29,4	53,2	88,7	126,0	129,9	139,3	138,1	130,8	108,7	89,3	47,3	24,6
Дата	*25*	*12*	*24*	*24*	*31*	*5*	*6*	*2*	*11*	*2*	*3*	*7*
*Время	12^{54}	12^{32}	12^{08}	12^{30}	13^{23}	11^{59}	12^{05}	11^{02}	12^{58}	12^{23}	10^{53}	11^{43}
Характер погоды	☼ [10]/2 Ac, Sc	☼ [10]/7 Ci Ac Sc	☼ 9/0 Ci, Cc, Ac	☼ [10]/ [10] Ci, Cu	☼ [10]/7 Ci, Sc Cu	☼ 8/7 Ac Cu Sc	☼ 9/9 Cu Sc	☼ [10]/9 Ac Sc Cu	☼ 8/6 Cc Ac Sc Cu	☼ [10]/ [10] Sc	☼ [10]/ [10] Sc	☼ [10]/9 Ci, Ac Sc
среднее за 1975-2013	32	52	81	99	115	122	118	110	92	70	41	23

**время истинное солнечное*

Результаты мониторинга освещенности могут быть использованы для оценки световых условий помещения. Учет данных о естественном световом режиме 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 (П), имея данные мониторинга EQ. Расчеты этого параметра были сделаны при условии безоблачного неба (Пя) и средних условий облачности (ПСУО) для двух периодов (2015 год и 1964-2013 гг.), а также для отдельных пасмурных дней 2015 г. (Пп2015, табл.13.5). Это позволяет наглядно представить, насколько облачность может уменьшать возможную продолжительность использования естественного освещения.

Из сопоставления величин ПЯ и ПСУО для периода 1964-2013 гг. видно, что в среднем облачность уменьшает количество времени использования естественного

Таблица 13.5 - Время наступления критической освещенности, равной 5 клк, и продолжительность использования естественного освещения в Москве (П, час) при различных условиях облачности

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Условия ясного неба												
утро[1]	9:07	8:04	6:32	5:32	4:36	4:04	4:17	5:00	6:00	7:04	8:35	9:29
вечер	14.49	16:10	17:27	18:25	19:24	20:04	19:43	19:02	18:01	16:42	15:19	14:24
$П_{я}$	5h42’	8h06’	10h55’	12h53’	14h48’	16h00’	15h26’	14h02’	12h01’	9h38’	6h44’	4h55’
Средние условия облачности за период 1964-2013 гг.												
утро	9:39	8:13	6:53	5:47	4:50	4:20	4:34	5:24	6:33	7:54	9:22	10:18
вечер	14:24	15:50	17:07	18:18	19:17	19:49	19:30	18:38	17:34	16:08	14:37	13:42
$П_{СУО}$	4h45’	7h37	10h14’	12h31’	14h27’	15h29’	14h56’	13h14’	11h01’	8h14’	5h15’	3h24
Средние условия облачности в 2015 г.												
утро	9:41	8:30	6:50	5:37	4:46	4:20	4:31	5:07	6:35	7:45	9:30	10:34
вечер	13:38	15:43	16:59	18:12	19:08	19:43	19:30	18:47	17:23	16:15	14:28	13:34
$П_{СУО}$	3h57’	7h13’	10h09’	12h35’	14h22’	15h23’	14h59’	13h40’	10h48’	8h30’	4h58’	3h00’
Пасмурное небо, облачность нижнего яруса, нет солнечного сияния, 2015 г.												
дата	14	14	1	3	16	21	нет[2]	нет[2]	28	29	26	6
утро	нет[3]	9:30	9:00	8:56	7:49	6:56			9:30	7:45	нет[3]	нет[3]
вечер		14:13	13:30	16:15	16:42	19:12			16:11	15:20		
$П_{п}2015$		4h43’	4h30’	7h19’	8h53’	12h16’			6h41'	7h35’		

Примечание: 1 – моменты критической освещенности указаны по истинному солнечному времени, час:минуты; $П_{я}$ – продолжительность использования E_Q при ясном небе; $П_{СУО}$ - продолжительность использования E_Q при средних условиях облачности; Пп - продолжительность использования E_Q при пасмурном небе. 2 - В июле и августе 2015 г. полностью пасмурных дней не было; 3 - 14 января, 26 ноября и 6 декабря средние часовые значения E_Q<5 клк.

освещения на 20-40 минут в теплое время года и до полутора часов зимой. Для каждого конкретного года разница между П и средними значениями будут варьировать в зависимости от условий, главным образом, облачности. Так, в 2015 г. в месяцы со значительной облачностью ПСУО2015 меньше норм на 20-50 минут, тогда как, например, в августе время полезного использования естественного освещения выросло в среднем почти на полчаса (см. табл. 13.5). Величины EQ в мае-июне близки к средним многолетним величинам, и ПСУО2015 практически равна ПСУО (разница составила ±3-6 минут).

Насколько облачность нижнего яруса может уменьшать время использования EQ хорошо видно при сопоставлении величин Пя, ПСУО с результатами расчетов Пп2015 для конкретных пасмурных дней. Например, в ноябре, декабре и январе при пасмурной погоде естественная освещенность может вообще не достигать установленной границы в 5 клк. Особенно это характерно в условиях отсутствии снежного покрова, как это было отмечено как раз в зимний период 2015 г. В остальные месяцы при сплошной облачности нижнего

яруса и выпадении осадков время использования ресурсов естественного освещения может уменьшиться на 1-5 часов по сравнению с нормой и до 6 часов по сравнению с безоблачным небом (см. табл. 13.5).

Таким образом:

- Годовое количество освещения суммарным светом в 2014 году составило 111 Млк•ч, что практически равно норме и на 7,5 % ниже годовой суммы 2014 г.;
- сезонные суммы суммарного освещения весной и осенью близки к средним многолетним; значительно выше нормы (+9%) летняя сумма EQ и, наоборот, зима оказалась достаточно "темной" (-16%);
- наиболее значительное отклонение от нормы за месяц EQ наблюдалось в августе 2015 г. (+19%), когда был перекрыт на 1,5% рекорд 1971 г., и в феврале, когда земная поверхность "недополучила" естественного освещения на 16% меньше нормы;
- для конкретных суток максимум был перекрыт только 20 августа на 5%. В течение шести дней условия освещения оказались ниже уже установленных минимумов за период 1964-2013 гг. Наибольшая разница достигла 72% 18 января. 1 марта был отмечен новый минимум за месяц;
- максимальная суммарная освещенность колебалась в пределах от 25 клк в декабре до 139 клк в июне;
- в холодный период 2015 года довольно часто складывались некомфортные условия с точки зрения условий освещения, когда даже в середине дня E_Q.<5 клк. Средняя продолжительность полезного использования естественного освещения в течение года колебалась в пределах 3-15 часов.

14. Естественная освещенность различно ориентированных вертикальных поверхностей

О.А.Шиловцева, Н.А.Бунина

Помимо естественной освещенности горизонтальной поверхности большое практическое значение имеет изучение освещенности различно ориентированных поверхностей, в частности, для целей городского и промышленного строительства. В метеорологической обсерватории МГУ проводятся непрерывные наблюдения за естественной освещенностью четырех различно ориентированных поверхностей - северной, южной, западной и восточной. В задачу данного раздела входит представление результатов наблюдений за два года - 2014-2015 гг.

Наблюдения проводятся с помощью фотометра Daylight Photometer Head Model 910GV фирмы PRC Krochman GmbH (Германия) (рис.14.1). В качестве датчиков естественной освещенности используются пять фотоэлементов, покрытых специальными стеклянными колпаками. Наличие термостата позволяет использовать прибор при широком диапазоне температур. Специальный черный экран предотвращает попадание отраженного света на датчики.

а б

Рис. 14.1. Внешний вид прибора Daylight Photometer Head Model 910GV фирмы PRC Krochman GmbH (а) и его датчиков (б)

Измерения осуществляются в режиме непрерывного мониторинга с дискретностью 1 минута с последующим осреднением за час, сутки и т.д. Контроль регистрирующего прибора проводился ежемесячно по фотометру LI-210SL № 9498.

Годовое количество освещения суммарным светом различно ориентированных вертикальных поверхностей (E_{QV}) как в фотометрических, так и в относительных величинах представлено в таблице 14.1. За 100% принята величина освещения горизонтальной поверхности (E_Q). Хорошо видно, что в целом за год количество естественного освещения, поступающего на вертикальную стену любой ориентации, меньше, чем на горизонтальную поверхность.

Таблица 14.1. Годовые количества освещения суммарным светом горизонтальной и вертикальных различно ориентированных поверхностей в Москве

год	горизонтальная поверхность	Север EQN		Юг EQS		Запад EQW		Восток EQE	
	Млк•ч	Млк•ч	%	Млк•ч	%	Млк•ч	%	Млк•ч	%
2014	122	25,3	21	73,6	60	61,1	50	67,7	56
2015	111	24,9	22	66,8	59	56,0	50	61,9	55

Анализ изменения освещения от месяца к месяцу показывает, что E_{QV} имеет четко выраженный годовой ход (рис. 14.2), определяемый, главным образом, годовым ходом высоты солнца, облачности, альбедо подстилающей поверхности и экспозицией стены.

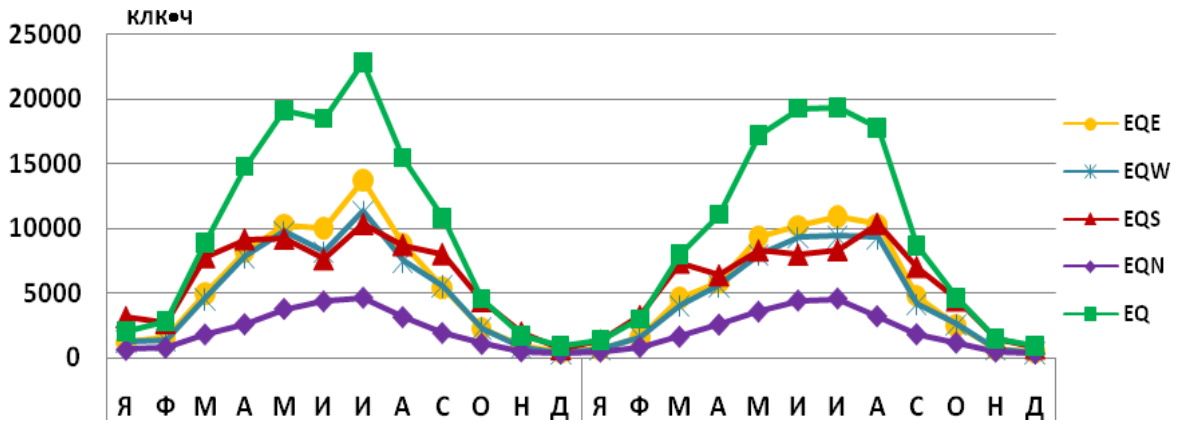


Рис. 14.2. Годовой ход месячного количества освещения на горизонтальную и вертикальные поверхности в 2014-2015 гг. в Москве

Так как суммарная освещенность есть сумма прямой S’ и рассеянной D компонент, то характер годового хода E_{QS} (южная стена), E_{QW} (западная стена) и E_{QE} (восточная стена) тесно связан с изменениями их соотношения, которое, в свою очередь, определяется характером облачности и сезона года. В качестве примера на рис. 14.3. приведено отношение S’/D в месячных суммах интегральной суммарной радиации. Годовой ход этой величины хорошо согласуется с аналогичными изменениями количество освещения на тех стенах, где вклад прямой составляющей в E_Q значителен.

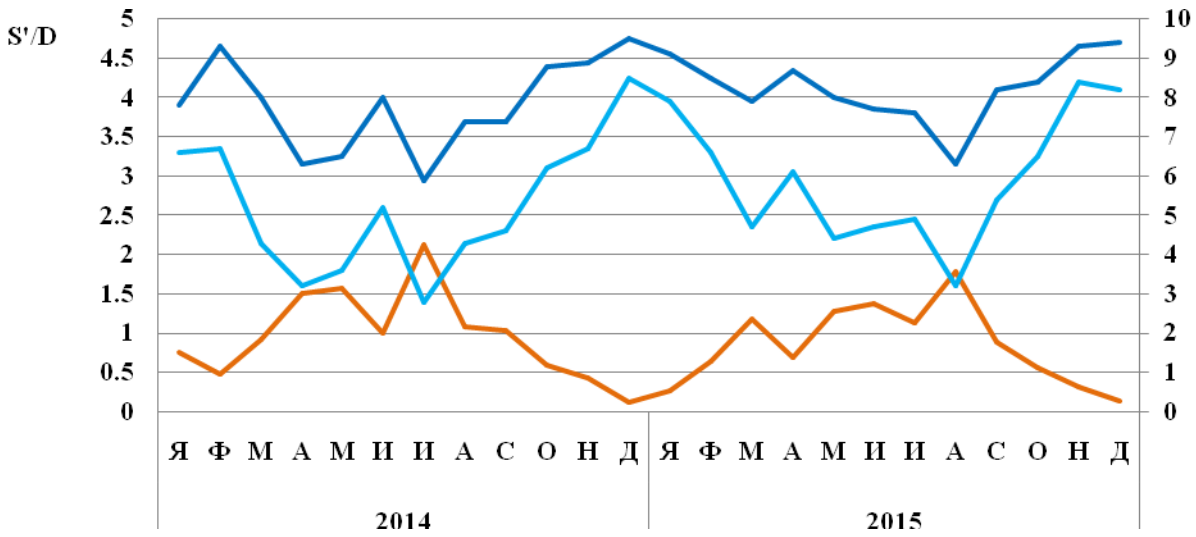


Рис. 14.3. Годовой ход отношения средней за месяц общей (N_O, синяя кривая) и нижней (N_N, голубая кривая) облачности и отношения прямой интегральной солнечной радиации, приходящей на горизонтальную поверхность, к рассеянной интегральной радиации (S'/D) в 2014-2015 гг.

Вклад прямой освещенности в E_{QN} (северная стена) наименьшая, поэтому и годовой ход месячных сумм наименее чувствителен к изменению S'/D, следуя, главным образом, за сезонными изменениями высоты солнца.

Анализ величины отношения E_{QV}/E_Q показывает, что в теплый период года стены любой экспозиции получают значительно меньше освещения, чем горизонтальная поверхность (табл. 14.2, рис.14.4). Для стен восточной и западной экспозиции годовой ход E_{QV}/E_Q отсутствует, тогда как для южной стены он хорошо выражен с максимумом в холодное время года. Причем именно в этот период величина E_{QS} может быть больше, чем

E_Q, что связано с тем, что в это время года высота Солнца такова, что угол падения радиации на южную стену близок к вертикальной.

Таблица 14.2 - Относительное количество освещения суммарным светом за месяц, поступающее на вертикальные различно ориентированные поверхности (Млк•ч), Москва, 2014-2015 гг.

E_{QV}/E_Q	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2014 г.												
север	0.30	0.27	0.20	0.17	0.20	0.24	0.20	0.20	0.18	0.23	0.29	0.36
юг	1.57	0.97	0.88	0.62	0.48	0.41	0.45	0.56	0.74	0.97	1.17	0.79
запад	0.64	0.51	0.52	0.53	0.51	0.45	0.50	0.49	0.52	0.51	0.48	0.44
восток	0.60	0.58	0.56	0.56	0.54	0.54	0.60	0.57	0.50	0.50	0.53	0.52
2015 г.												
север	0.35	0.27	0.20	0.23	0.21	0.23	0.24	0.18	0.21	0.25	0.32	0.35
юг	1.00	1.08	0.92	0.58	0.48	0.41	0.43	0.58	0.81	0.96	0.96	0.86
запад	0.50	0.55	0.51	0.51	0.47	0.49	0.49	0.52	0.48	0.56	0.49	0.45
восток	0.53	0.54	0.58	0.53	0.54	0.53	0.56	0.58	0.55	0.53	0.49	0.52

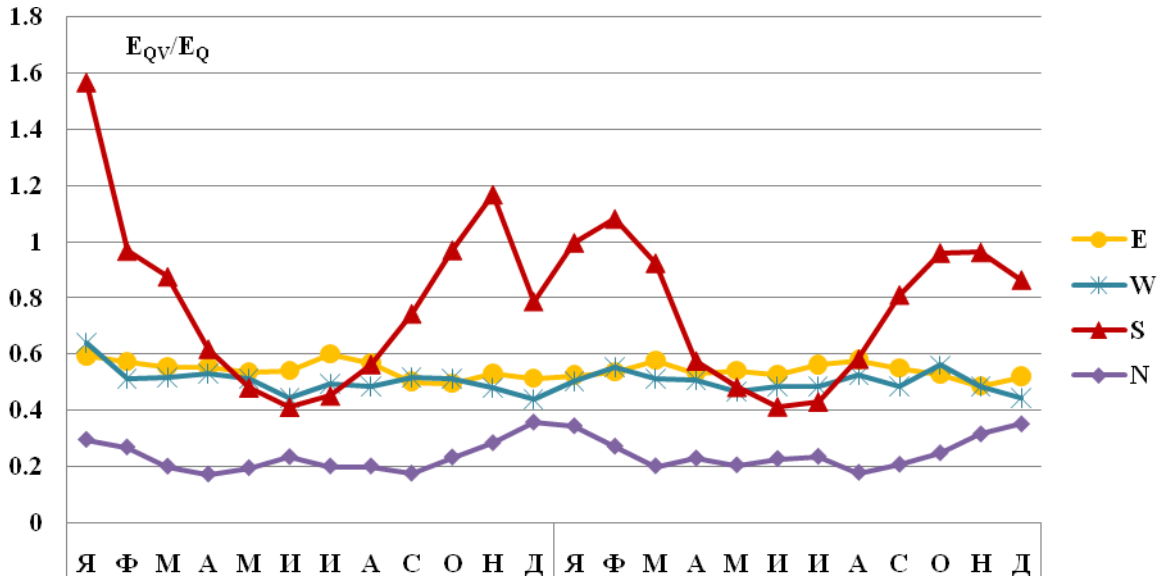


Рис. 14.4. Годовой ход отношения количества освещения за месяц, поступившее на вертикальные различно ориентированные поверхности, к количеству освещения на горизонтальной поверхности (E_{QV}/E_Q) в 2014-2015 гг.

В суточном ходе освещенности северной стены практически для всех месяцев года прослеживается два максимума E_{QN}/E_Q в утренние и вечерние часы, причем летом они достигают величин 1 и более, тогда как зимой в среднем они не превышают 0.5 (рис. 14.5, север). В середине дня величина освещения северной стены составляет всего около 12-17%

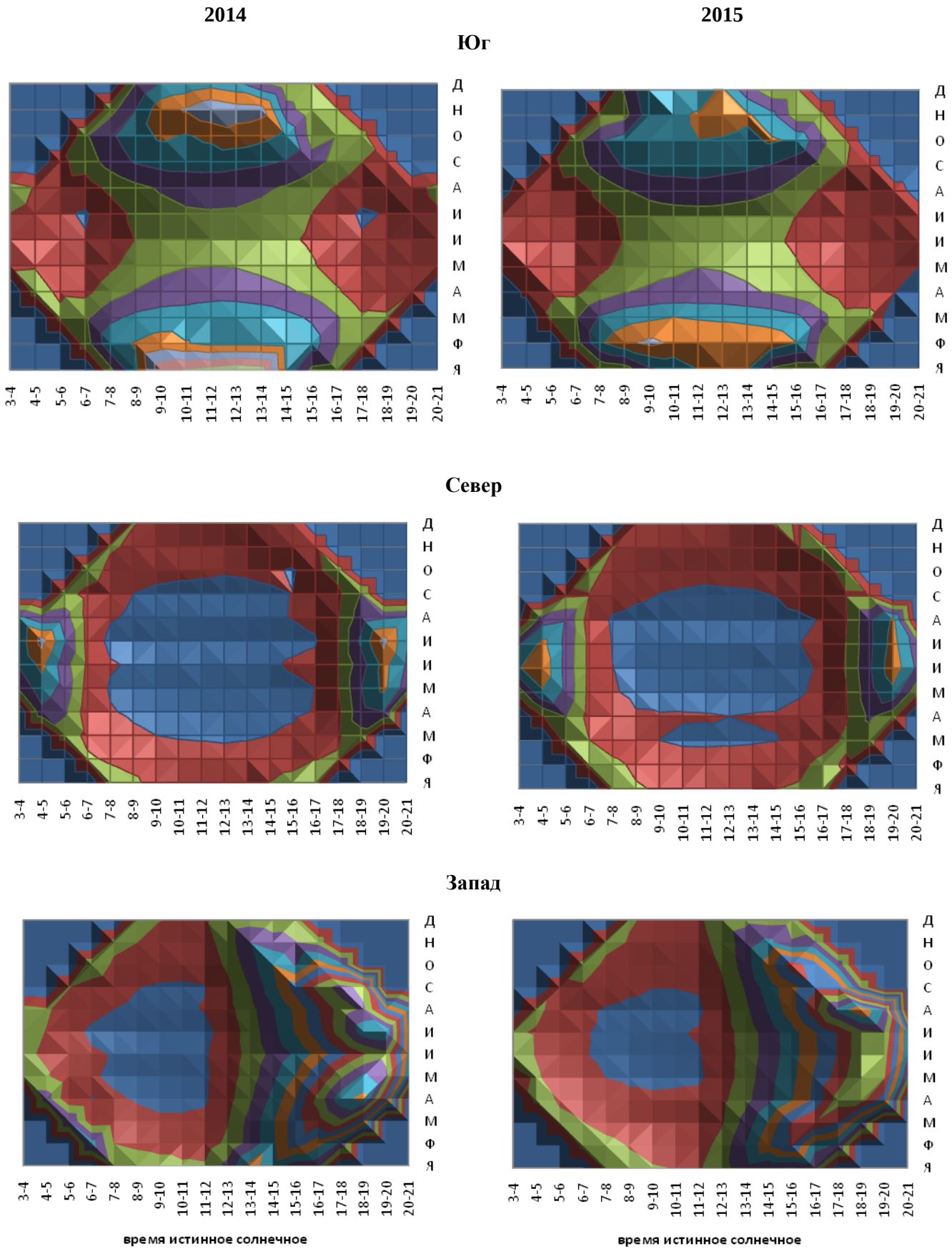


Рисунок 14.5. Изменение относительных величин среднего часового количества суммарного освещения вертикальных различно ориентированных поверхностей в среднем за месяц Москве в 2014 и 2015 г.

Восток

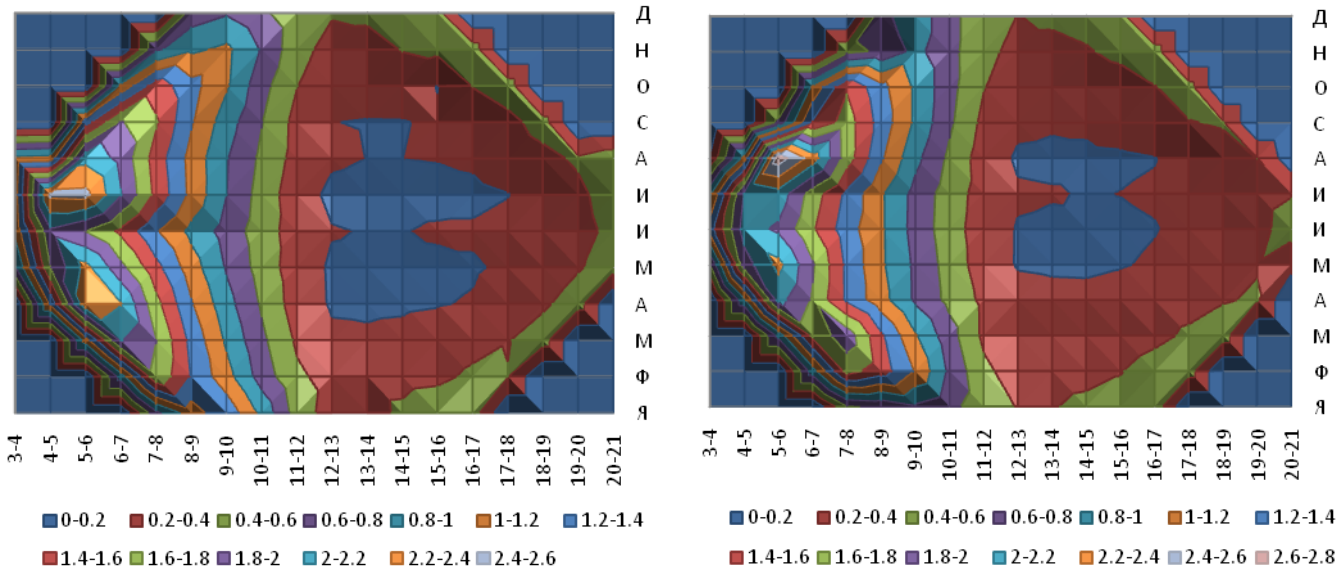


Рис. 14.5. Изменение относительных величин среднего часового количества естественного суммарного освещения вертикальных различно ориентированных поверхностей в среднем за месяц в Москве в 2014 и 2015 г. (продолжение)

от E_Q в теплое время года, увеличиваясь до 35% в холодное. Абсолютные средние величины E_{QN} в околополуденное время меняются от 2 клк в декабре до 10-11 клк в июле.

Южная стена, наоборот, освещена солнцем максимально в середине дня, при этом летние отношения E_{QS}/E_Q составляют 0,4-0,6, тогда как в холодное время они могут достигать 1-1,5 (см. рис. 14.5, лето). E_{QS} в среднем изменяется в полдень от 5 клк в декабре до 42-46 клк летом.

Распределение количества освещения восточной и западной стен практически симметричны друг относительно друга. Например, в случае западной стены летом в первой половине дня отношение E_{QV}/E_Q составляет 0,40-0,50 в ранние утренние часы, уменьшаясь до 0,15-20 в середине дня. После полудня количество освещения возрастает и может в среднем превышать величину горизонтальной освещенности в эти часы суток в 1,5-2 раза. Зимой E_{QV}/E_Q в среднем составляет 0,6-0,8 (см. рис. 14.5, запад). Абсолютные значения E_{QW} в околополуденные часы в среднем изменяются от 2,5 клк в декабре до 11-13 клк в середине лета, а в конце летнего дня E_{QW} достигали 48-58 клк (16-17 ч.).

Для востока отмечены те же закономерности, за исключением того, что значительное превышение количества освещения вертикальной стены по сравнению с горизонтальной освещенностью отмечается в утренние часы (см. рис.14.5, восток). В это время уровень

освещения летом в среднем составил 52-56 клк (7-8 ч.), уменьшаясь к полудню до 12-13 клк. В декабре уровень освещения восточной стены составлял всего 2-3 клк в первой половине дня, уменьшаясь до 1 клк и ниже в послеполуденное время.

Таким образом, в 2015 г.:

- на северную стену поступило в целом за год 25 Млк□ ч, на южную- 67 Млк□ ч, на западную - 56 Млк□ ч, на восточную– 62 Млк□ ч, что составляет 22, 59, 50 и 55% соответственно от прихода EQ на горизонтальную поверхность;
- Максимальные суммы E_{QV} за месяц поступили на северную, западную и восточную стены в июле (4566, 9398 и 10869 клк□ час соответственно), а на южной стене максимум сдвинут на август (10325 клк□ час).
- Минимальные суммы E_{QV} за месяц для всех четырех вертикальных поверхностей отмечены в декабре: E_{QN}=312 клк□ час; E_{QS}=767 клк□ час; E_{QW}=397 клк□ час; E_{QW}=463 клк□ час.

15. Особенности режима УФ радиации 300-380 нм

Е.И.Незваль

Как уже говорилось в предыдущих выпусках (Незваль, 2014, Незваль 2015), в Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) осуществляется непрерывная регистрация суммарной ультрафиолетовой радиации (УФР) в области спектра 300-380 нм. С ноября 1967 г. по ноябрь 2008 года измерения проводились широкополосными уфиметрами (Ультрафиолетовые измерительные приборы, 1977, Chubarova, Nezval, 2000). В июле 2005 г. была произведена привязка показаний контрольного уфиметра МО МГУ №9 к данным спектрорадиометра Bentam DTM-300 Медицинского университета в Инсбруке, входящего в группу приборов, по которым осуществляется градуировка УФ приборов в Европе. Это дало возможность привести показания уфиметров к международному стандарту. Начиная с декабря 2008 года, для измерения суммарной УФ радиации 300-380 нм используется УФ пиранометр UVA-1 Yankee Environmental Systems LTD (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 300-380 нм 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).

В настоящее время во всем мире широко используются приборы фирмы Kipp&Zonen (Нидерланды). Метеорологическая обсерватория располагает двумя экземплярами 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). В работе (Незваль Е.И., 2014) было показано, что данный прибор может быть использован для продолжения мониторинга суммарной УФ радиации в области 300-380 нм.

15.1. 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.

Как уже говорилось в предыдущих выпусках, при обработке данных учитываются переводные множители при высоте Солнца h=30°, 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 (отклонение показаний прибора от закона косинусов). На основании этих данных по расчетам, выполненным по модели TUV – Tropospheric Ultraviolet and Visible Radiation Model (Madroyich, Flocke, 1998), с модернизацией, предложенной в работе (Чубарова, 2006), были определены спектральная и косинусная поправки для ясного и пасмурного неба, которые учитывались при обработке результатов измерений (Незваль, Чубарова, 2011). В 2011 г. вновь была определена кривая спектральной чувствительности, которая практически совпала с данными 2008 г. По градуировке в Инсбруке в 2011 г. переводные множители контрольного прибора №060902 выросли на 2.1% по сравнению с градуировкой 2008 г.

УФ пиранометр UVA-1 № 031201, который используется для непрерывной регистрации суммарной УФ радиации, 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. Косинусные поправки была взяты теми же, что и для контрольного прибора, так как в паспорте прибора UVA-1 YES косинусные характеристики не приводятся. В соответствии с полученными в 2011 г. изменениями переводного множителя контрольного прибора UVA-1 YES методом линейной интерполяции были изменены переводные множители регистратора суммарной УФ радиации (Незваль, 2014).

На протяжении всех лет работы прибора UVA-1 (с 2007 г.) периодически проводится запись суммарной УФ радиации параллельно двумя приборами UVA-1 YES: №060902 и №031201 (Незваль, 2015). На рисунке 15.1 представлены средние за период сравнений с мая 2009 г. по ноябрь 2015 г. отклонения показаний регистратора ($Q_{уфр, рег}$) от данных контрольного прибора ($Q_{уфр, контр}$), выраженные в процентах (d%).

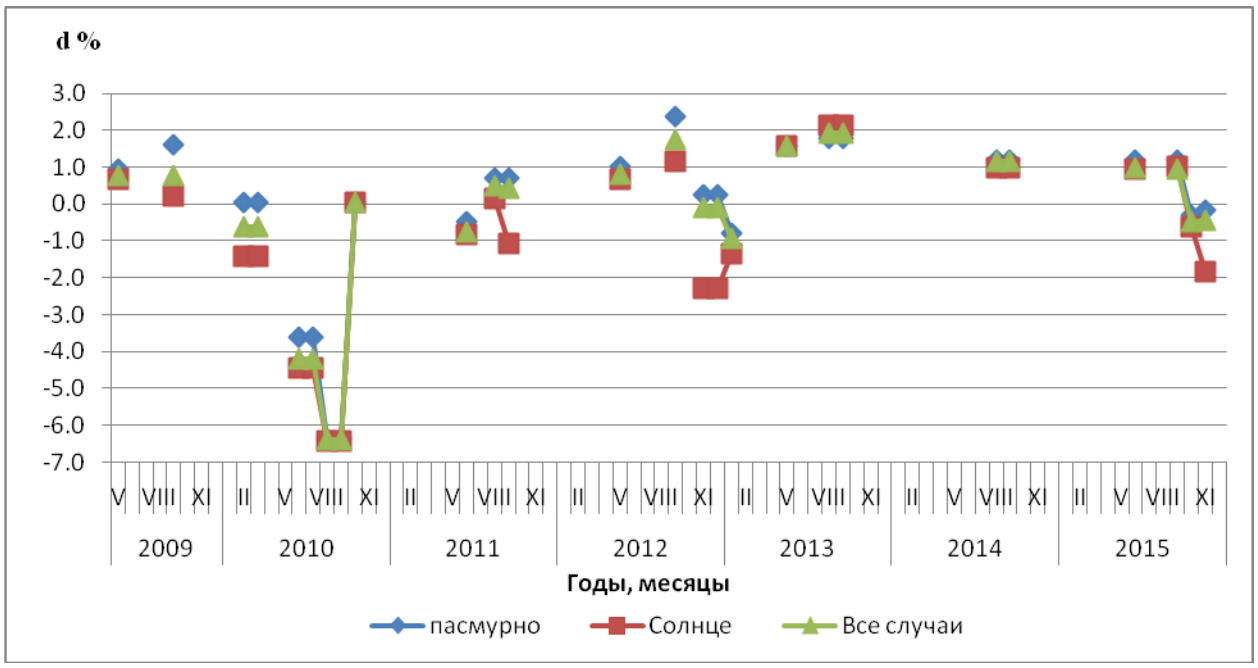


Рисунок 15.1 – Отклонения (d) показаний прибора UVA-1 - регистратора от показаний контрольного прибора UVA-1 с мая 2009 г. по ноябрь 2015 г.

Как следует из рис. 15.1, различия в величине суммарной УФ радиации по контрольному прибору и регистратору при наличии прямой радиации (Солнце) и при ее отсутствии (пасмурно) колеблются в пределах ±2.0 %. Исключение составляют значения d для аномально жаркого лета 2010 г. Учитывая небольшие значения и различные знаки d%, данные регистратора к показаниям контрольного прибора не приводились. Для июня-сентября 2010 г. показания регистратора были приведены к показаниям контрольного прибора.

В конце 2014 г. в работе регистратора UVA-1 YES №031201 появились самопроизвольные отключения прибора. Прибор был снят. После ремонта прибора UVA-1 YES №031201 26 мая 2015 г. запись была возобновлена и продолжены параллельные измерения по регистратору UVA-1 №110062 и контрольному прибору UVA-1 №060902 YES (см. рис. 15.1). Как следует из рис. 15.1, после ремонта различия в показаниях приборов остались практически без изменения по сравнению с различиями, полученными в предыдущие годы.

На протяжении 2013-2014 гг. проводилась градуировка прибора UVS-A-T №110062 фирмы Kipp&Zonen в области спектра 300-380 нм по данным регистратора суммарной радиации UVA-1 YES №031201 (Незваль, 2015). В связи с ремонтом регистратора UVA-1 № 031201 с декабря 2014 г. по май 2015 г запись суммарной УФР проводилась прибором

UVS-A-T №110062 фирмы Kipp&Zonen. Для обработки данных использовались переводные множители, спектральные и косинусные поправки, полученные в 2014 г. (Незваль, 2015). С 20 мая 2015 г. на канал UVS-A-T №110062 в связи с большими значениями Q380 было поставлено дополнительное сопротивление (в предыдущие годы измерения в середине лета не проводились).

После возобновления работы регистратора UVA-1 YES №031201 с 26 мая 2015 г. вновь были определены переводные множители прибора UVS-A-T №110062 фирмы Kipp&Zonen.

В табл.15.1 представлены различия (d%) между показаниями приборов UVS-A-T №110062 фирмы Kipp&Zonen и регистратором UVA-1 №031201 YES при высотах Солнца h>5°, полученные после введения дополнительного сопротивления.

Таблица 15.1 – Различия (d%) между значениями суммарной УФ радиации в диапазоне длин волн 300-380 нм (Q380) по прибору UVS-A-T №110062 Kipp&Zonen и по прибору UVA-1 № 031201 YES (регистратор) при высотах Солнца h>5°

Период	2015 V-VI	2015 VII	2015 VIII	2015 IX	2015 X	2015 XI	2015 XII	2016 I	2016 II
Среднее	-0.2	-0.1	-0.1	-1.2	-1.8	-3.0	-2.5	-0.1	-1.2
Стандартное отклонение	2.0	1.9	2.3	2.0	2.5	1.8	2.0	5.0	2.0
Максимум	6.8	7.2	7.3	3.6	5.7	4.3	3.3	5.2	4.7
Минимум	-6.5	-6.5	-7.1	-7.3	-7.8	-6.3	-6.5	-6.6	-6.1
Число случаев	563	473	402	294	215	198	146	173	305
Доверительный интервал	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.8	0.2

Для обработки данных прибора UVS-A-T №110062 Kipp&Zonen были использованы средние значения переводного множителя за период с конца мая по октябрь 2015 г. Эта величина для Q380 при наличии прямой радиации при высоте Солнца h=30° составила 19.76 (Вт/м^2)/мВ. С учетом характеристик аппаратно-программного комплекса переходный коэффициент от единиц аппаратно-программного комплекса к абсолютным единицам в Вт/м^2 составил 0.008385. Для учета спектральной и косинусной погрешностей использовались уравнения (1) и (2), соответственно при наличии прямой радиации (прямая коротковолновая радиация всего солнечного спектра на горизонтальную поверхность S'_{IR} ≥0.050 кВт/м^2) и при плотной облачности:

$$y=0.00002004*h^2-0.00298269*h+0.92855 \quad (1)$$

$y = -0.00003985*h^2 + 0.00426642*h + 0.97705$ (2),

где h – высота Солнца в градусах.

Можно видеть, что различия для большинства рассмотренных месяцев невелики и лежат в пределах 0 - 2%. Наибольшие отклонения (-3%) наблюдались в ноябре.

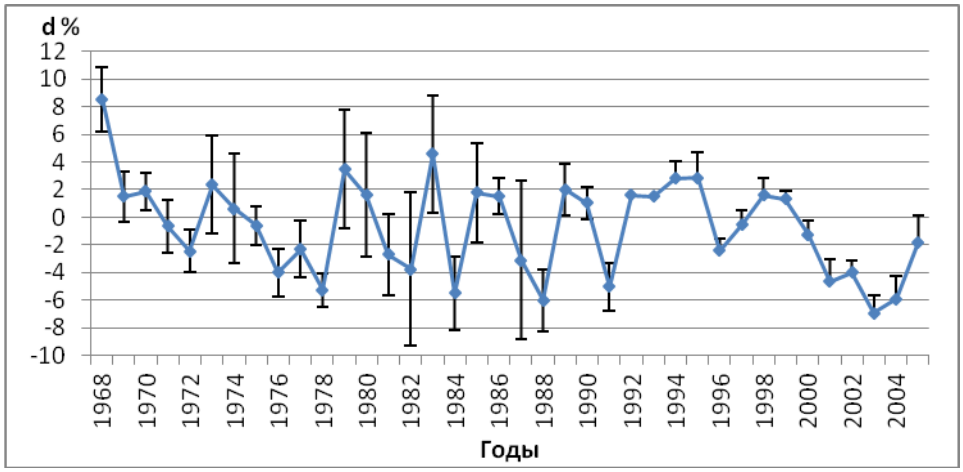
Отметим, что начиная с июня 2015 г. в качестве основного прибора для регистрации Q380 вновь использовался прибор UVA-1 № 110062 YES.

В 2015 г. были уточнены значения Q380, полученные в первые годы наблюдений (ноябрь 1967-август 1974 гг.). По данным расчетов, выполненных профессором кафедры метеорологии и климатологии географического факульета МГУ Н.Е.Чубаровой и аспиранткой той же кафедры Е.Ю.Ждановой по модели TUV (Madronich, Flocke 1998) с уточнениями Н.Е.Чубаровой (Чубарова, 2006), было обнаружено, что средние за час значения Q380 за период май-сентябрь, полученные в условиях безоблачного неба и чистой атмосферы при аэрозольной оптической толщине для длины волны 550 нм AOT550 $\leq$0.2, в 1968 г. заметно выше, чем результаты модельных расчетов (рис.15.2а). В 1998 г. при анализе данных Q380, полученных по уфиметрам МО МГУ, значения Q380 за период ноябрь 1967 - август 1974 гг. были увеличены на 1.045 в связи с изменением в августе 1974 г. милливольтовой чувствительности солнечного кварцевого монохроматора А.Н.Бойко, являвшегося контрольным прибором для уфиметров МО МГУ (Chubarova, Nezval, 2000). В 2015 г. в отличие от коррекции в 1998 г. методом линейной интерполяции была введена поправка от 1 в 1968 до 1.045 в августе 1974 гг. (рис.15.2б). В результате новой коррекции средняя многолетняя величина Q380 за год в целом, за различные месяцы и сезоны года уменьшилась на 0.6-0.7% за период с 1968-по 1997 гг. и на 0.4-0.5% для периода 1997-2007 гг.

15.2 Результаты.

Месячные и годовые суммы ΣQ380. Годовая сумма суммарной УФ радиации в 1915 г. составила 149.3 МДж/м^2, что на 3.7% выше используемой нами нормы за 40 лет (1968-2007 гг.). Эта величина на 4.8 % выше средней величин за 30 первых лет наблюдений (1968-1997 гг.) и на 3% выше по сравнению со средним значением годовой суммы ΣQ380 за 30-летний период с 1981 г. по 2010 г., предложенный в 2015 г. ВМО в

а



б

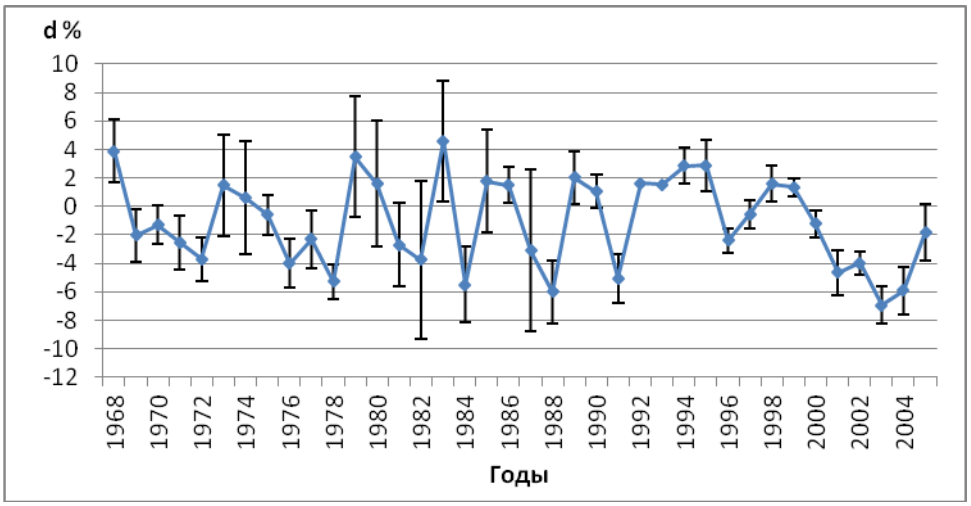


Рисунок 15.2- Различия между данными наблюдений и модельными расчетами средних за час значений Q380 за период май-сентябрь при условиях безоблачного неба и значениях AOT550≤0.2

качестве новой климатической нормы (табл.15.2). Тем не менее, эта величина является лишь пятнадцатой по величине из 48 лет наблюдений (рис. 15.3). Годовая сумма ΣQ380 в 2015 г. близка средней величине за 15 лет с 1999 г. по 2013 гг. (1999 г. - начало наблюдений за эритемной радиацией).

Относительные различия средних величин за приведенные периоды по сравнению с используемым в предыдущие годы 40-летним периодом (1968-2007 гг.) представлены на рис. 15.4.

Таблица 15.2 - Месячные и годовые суммы суммарной УФ радиации 300-380 нм (Q380) за 2015 год и за периоды 1968-1997 гг., 1968-2007 гг., 1981-2010 гг. и 1999-2013 гг. МО МГУ.

Пара-Метры	Месяцы												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Месячные и годовые суммы суммарной УФ радиации 300-380 нм, МДж/м^2													
2015	**2,17**	**4,34**	**10,3**	**14,9**	**22,5**	**25,7**	**25,7**	**22,7**	**11,4**	**5,94**	**2,22**	**1,45**	**149,3**
1968-1997	2,36	4,99	10,5	14,6	22,1	24,4	23,7	19,3	11,2	5,61	2,28	1,57	142,5
Д.И.	0,12	0,30	0,52	0,62	0,74	0,80	0,71	0,68	0,52	0,33	0,13	0,08	2,54
1968-2007	2,35	5,03	10,7	14,8	22,3	24,5	24,0	19,4	11,4	5,60	2,33	1,56	144,0
Д.И.	0,10	0,23	0,44	0,50	0,69	0,75	0,59	0,57	0,42	0,27	0,14	0,08	2,24
1999-2013	2,38	4,90	11,1	15,8	23,1	25,3	25,2	19,3	11,7	5,49	2,27	1,46	148,1
Д.И.	0,17	0,26	0,61	0,48	1,25	1,42	1,14	1,04	0,82	0,35	0,24	0,17	3,61
1981-2010 гг.	2,34	5,00	10,9	15,0	22,8	24,3	24,5	19,1	11,4	5,72	2,38	1,57	145,0
Д.И.	0,11	0,26	0,43	0,56	0,68	0,89	0,74	0,72	0,50	0,33	0,16	0,11	2,65
Отклонения месячных и годовой сумм УФ радиации за 2015 г. (d%) от средних многолетних величин													
1968-1997	**-8,1**	**-13,0**	-1,4	2,6	2,0	**5,3**	**8,5**	**17,5**	1,5	**5,9**	-2,5	**-7,6**	**4,8**
1968-2007	**-7,6**	**-13,6**	-3,7	0,8	1,0	**4,6**	**7,2**	**17,1**	-0,4	**6,1**	-4,6	**-7,3**	**3,7**
1999-2013	**-9,0**	**-11,4**	**-7,2**	**-5,6**	**-2,3**	**1,2**	**2,0**	**17,3**	**-3,1**	**8,1**	**-2,0**	**-0,9**	**0,8**
1981-2010	**-7,3**	**-13,2**	**-5,1**	-0,3	-0,9	**5,4**	**4,8**	**18,7**	-0,4	3,8	**-6,6**	**-7,8**	**3,0**
Максимальные и минимальные месячные и годовые суммы за период 1968-2014 гг., МДж/м^2													
Q $_{макс}$	2,93	6,22	13,6	18,0	27,3	30,4	30,1	22,9	13,4	7,19	3,62	2,22	159,5
Год	2010	1986	1996	2014	2002	1999	2010	1971	1994	1994	1998	2002	1999
Q $_{мин}$	1,81	3,43	7,58	11,1	16,5	20,2	21,1	15,5	7,41	3,39	1,48	1,16	132,1
Год	1989	1974	1979	1986	1980	2003	1984	2008	2013	1982	1976	2006	1980
Доли месячных и годовых сумм суммарной УФ радиации в месячных и годовых суммах суммарной коротковолновой (интегральной) радиации, %.													
2015 г.	4,1	4,0	3,8	4,2	4,0	4,1	4,2	4,0	4,0	3,8	4,4	4,5	4,1
1968-2007	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 средних с доверительной вероятностью α=0.05 за 1968-1997 гг., 1968-2007 гг., 1999-2013 гг. и 1981-2010 гг. Красным и синим цветом отмечены соответственно положительные и отрицательные значимые аномалии.

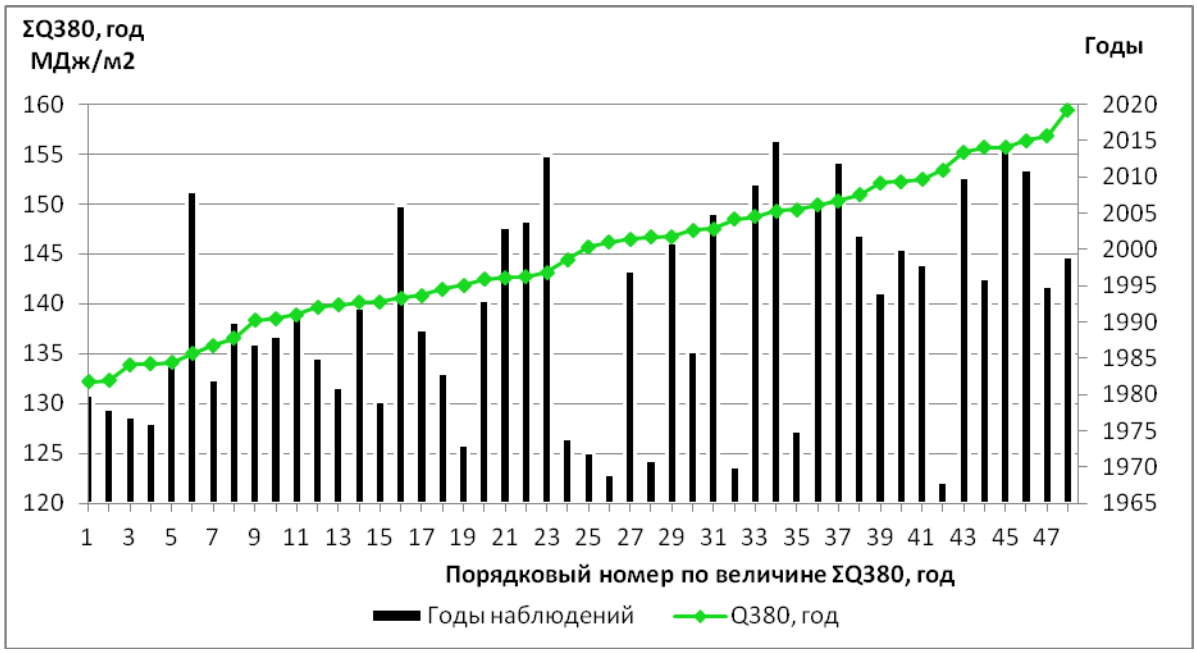


Рисунок 15.3 – Ранжированные по величине значения годовых сумм ΣQ380 и годы им соответствующие.

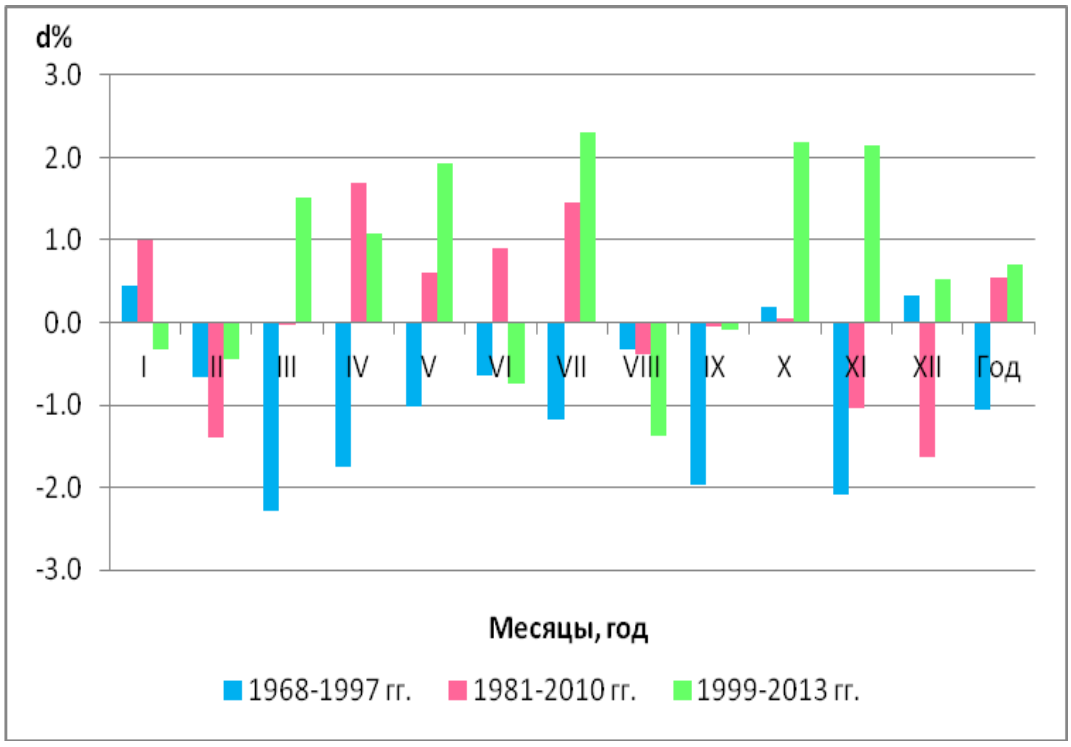


Рисунок 15.4 – Отклонения средних за месяцы и год значений ΣQ380 за рассматриваемые периоды по сравнению со значениями за 1968-2007 гг.

Отклонения средних значений ΣQ380 за рассматриваемые периоды от величины за 1968-2007 гг. не превышают ±2.5%. Средние величины ΣQ380 за первые 30 лет для

большинства месяцев и за год ниже соответствующих величин за период 1968-2007 гг. Средние величины ΣQ380 за 30-летний период 1981-2010 гг. и, особенно, за период 1999-2013 гг. для большинства месяцев и года в целом выше соответствующих значений за 1968-2007 гг.

В 2015 г. значимые положительные аномалии ΣQ380 по сравнению со средними ΣQ380 как за период 1968-2007 гг., так и за период 1981-2010 гг., наблюдались во все летние месяцы и в октябре. Наибольшая положительная аномалия ΣQ380 имела место в августе:17.1 % по сравнению со средней величиной за 40 лет и 18.7 % по сравнению с новой нормой ВМО (1981-2010 гг.). Значимые отрицательные аномалии по сравнению со средними величинами за 40-летний период отмечались в январе, феврале и декабре. По сравнению со средней величиной за 1981-2010 гг. значимые аномалии ΣQ380 отмечались еще в марте и в ноябре.

На рис.15.5 представлены отклонения от средних значений за период 1968-2007 гг. месячных сумм суммарной УФ (dQ380) и коротковолновой (интегральной) (dQ_{IR}) радиации, балла общей (dNобщ, $_{СВ}$) и нижней ($dN_{Н}$иж, $_{СВ}$) облачности за светлую часть суток и продолжительности солнечного сияния ($d_{ПСС}$) за 2015 г..

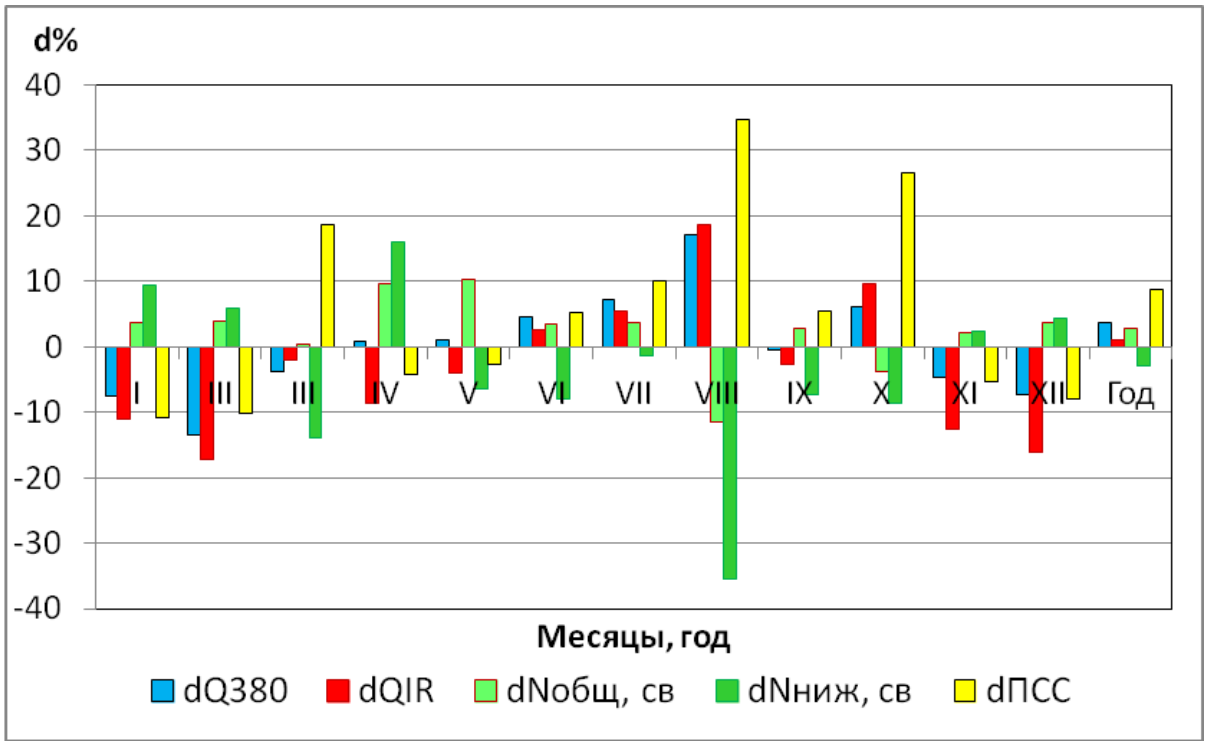


Рис. 15.5 - Отклонения от средних значений за период 1968-2007 гг. месячных сумм суммарной УФ (dQ380) и интегральной (dQ_{IR}) радиации, балла общей (dNобщ, $_{СВ}$) и нижней (dNниж, $_{СВ}$) облачности за светлую часть суток и продолжительности солнечного сияния ($d_{ПСС}$) за 2015 г.

Положительные аномалии в приходе суммарной УФ радиации главным образом определяются отрицательными аномалиями нижней облачности (при этом знак изменения общей облачности в отдельные месяцы может быть противоположным, например, в мае, июне) и вызванными этим положительными аномалиями продолжительности солнечного сияния и наоборот. Резкий рост суммарной УФР в августе обусловлен в основном уменьшением среднего балла нижней облачности почти на 36% и связанным с этим ростом продолжительности солнечного сияния на 35 % по сравнению со средней многолетней величиной. Для августа месячная сумма ΣQ380 в 2015 г. является второй по величине после абсолютного максимума, наблюдавшегося в 1971 г. Отметим, что с 1994 г. (за исключением августа-сентября 2002 и 2010 гг., когда наблюдалась дымная мгла лесных и торфяных пожаров) имели место более низкие значения AOT550 (Горбаренко, 2015). В 2015 г. для всех месяцев года (за исключением марта) значения AOT550 существенно ниже по сравнению с периодом 1968-2007 гг.: на 53% в среднем за год и на 50÷66% для летних месяцев. В 2015 г. даже по сравнению с периодом 1999-2013 гг., когда в основном отмечалась высокая прозрачность атмосферы (Горбарено,2014), в июне и в июле значения AOT550 ниже на 38 и 35%, а для августа – на 53%. В данном случае из осреднения исключены значения AOT550 за июль и август 2002 г. и 2010 г., когда наблюдалась дымная мгла лесных и торфяных пожаров. Среднее значение AOT550 для августа в 2015 г. оказалось самым низким за весь период наблюдений и составило 0.08. (см. раздел 11 настоящего издания). Таким образом, в августе большая месячная сумма ΣQ380 обусловлена также и высокой прозрачностью атмосферы.

Доля суммарной УФ радиации в суммарной интегральной радиации в течение года в среднем за 40 лет колебалась незначительно (см. табл.12.2). В 2015г. наиболее заметные отклонения величины $\Sigma Q380/\Sigma Q_{IR}$ от средней многолетней величины наблюдались в ноябре (4.4% при норме 4.1%), и в декабре (4.5 при норме 4.1%).

Сезонные суммы. Суммы ΣQ380 за сезоны года приведены в табл. 15.3. Значительная положительная аномалия, достигающая 9% от средней величины за 1968-2007 гг. и 1981-2010 гг. и почти 10% от средней за первые 30 лет наблюдений отмечались летом. По сравнению со средней за 15 лет, приходящихся на последний период наблюдений, различия с данными за 2015 г. несколько меньше – около 6%. Сумма ΣQ380 за лето в 2015 г. является пятой величиной от абсолютного максимума, имевшего

Таблица 15.3 - Суммы суммарной УФ радиации ΣQ380 за сезоны 2015 г. и в среднем за периоды 1968-1997 гг., 1968-2007 гг. , 1981-2010 гг. и 1999-2013 гг., МДж/м^2.

Период	Характеристики-	Зима	Весна	Лето	Осень
2015 г.		7.94	47.81	74.00	19.53
1968-1997 гг.	Средняя	**8.92**	**47.13**	**67.33**	**19.08**
	Доверительный Интервал	**0.41**	**1.17**	**1.39**	**0.63**
	d %	**-11.0**	1.4	**9.9**	2.3
1968-2007 гг.	Средняя	8.95	47.86	67.83	19.34
	Доверительный интервал	0.32	1.05	1.16	0.55
	d %	-11.3	-0.1	9.1	0.9
1981-2010 гг.	Средняя	**8.91**	**48.62**	**67.94**	**19.51**
	Доверительный интервал	**0.38**	**1.00**	**1.45**	**0.67**
	d %	**-10.9**	-1.7	**8.9**	0.1
1999-2013 гг.	Средняя	8.78	50.02	69.85	19.49
	Доверительный Интервал	0.36	1.56	2.00	1.00
	d%	**-9.6**	**-4.4**	**5.9**	**0.2**
1968-2014 гг.	Максимум	**10.88**	**54.82**	**76.04**	**23.16**
	Год	1996	2000	2011	1994
	Минимум	**6.83**	**40.20**	**60.75**	**15.07**
	Год	1990	1980	1984	2013

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

место в 2011 г. (см. табл.15.3). Существенные отрицательные аномалии в 2015 г. отмечались зимой: около 11% по сравнению со средними за 1968-1997 гг., 1968-2007 гг., 1981-2010 гг. и около 10% по сравнению со средней за 1999-2013 гг. Однако эта величина является лишь девятой по отношению к абсолютному минимуму, отмеченному в 1990 г. По сравнению с периодом 1999-2013 гг. в 2015 г. отмечается значимая отрицательная аномалия (~4%) и для весны.

Суточные суммы. Максимальные и минимальные за каждый месяц суточные суммы в 2015 г. ниже максимальных суточных сумм и выше минимальных суточных сумм за все предыдущие годы (табл.15.4, рис.15.6). Однако, для отдельных дней года отмечались экстремальные суточные суммы за весь период наблюдений (рис.15.7). Максимальные суточные суммы ΣQ380 отмечены только для трех дней: 06.01 (6), 25.07 (206) и 26.07 (207). В скобках указан номер дня года. В эти дни наблюдалась или малооблачная погода - 06.01,

26.07 или кучевая (Cu) и разорванно-кучевая облачность (Cu fr) в сочетании с облаками верхнего яруса: перистыми Ci и перисто-кучевыми (Cc) - 25.07. Минимальные суточные суммы ΣQ380 наблюдались: 14.01 (14), 01.03 (60), 16.05 (136) и 27.06 (178) при сплошном покрове плотных облаков нижнего яруса, часто сопровождающихся осадками: слоисто-кучевые (Sc), кучево-дождевые (Cb), разорванно-дождевые (Frnb), а затем слоистые (St), разорванно-слоистые (St fr) 14.01, St, St fr – 01.03, Cb, Frnb; Sc, Cb,Frnb; Cb,Sc – 16.05, Sc, Cb, Frnb – 27.06. Как правило, максимальные значения, полученные в 2015 г. ненамного превышают максимальные суммы, полученные в предыдущие годы (на 4.7% - 06.01, на 1.3 и 1.7% соответственно 25.07 и 26.07. Экстремально низкие суточные суммы в 2015 г.

Таблица 15.4 - 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 2015 г., средние квадратические отклонения (σ), кДж/м^2 и коэффициенты вариации (V),%.												
$Q_{средн}$	70	155	333	498	727	855	828	731	379	192	74	47
$Q_{макс}$	138	307	583	885	1052	1182	1195	984	584	400	168	75
Число	26	26	27	28	20	8	4	4	1	3	6	28
$Q_{мин}$	19	42	74	134	155	227	393	333	111	54	24	18
Число	14	3	1	3	16	27	20	18	28	25	19	6
σ	29	83	142	174	264	264	192	175	122	97	38	14
V	41	54	43	35	36	31	23	24	32	51	52	30
Средние суточные суммы за 1968-1997 гг.,1968-2007 гг. , 1999-2013 гг., 1981-2010 гг. ,кДж/м^2 и коэффициенты вариации V%.												
1968-1997 гг.												
$Q_{средн}$	76	179	338	485	713	812	764	622	373	181	76	51
V	40	41	39	39	30	29	30	32	43	53	55	44
1968-2007 гг.												
$Q_{средн}$	76	180	346	494	720	818	773	624	380	181	78	50
V	41	41	40	39	31	29	29	32	41	53	54	43
1999-2013 гг.												
$Q_{средн}$	77	175	359	528	744	785	812	623	391	177	76	47
V	43	41	40	36	31	30	26	32	42	53	53	43
1981-2010 гг.												
$Q_{средн}$	76	179	351	499	734	789	791	616	380	185	79	51
V	44	40	40	38	29	31	28	33	41	53	52	44
Максимальные и минимальные суточные суммы за период 1968-2014 гг., кДж/м^2												
$Q_{макс}$	**175**	**382**	**683**	**1054**	**1305**	**1240**	**1236**	**1066**	**826**	**487**	**227**	**116**
Число	31	25	31	27	29	15	10	6	1	3	1	3
Год	2002	1998	2000	1974	1974	1999	1995	1995	1994	1998	1975	2001
$Q_{мин}$	**14**	**29**	**52**	**65**	**126**	**91**	**92**	**91**	**41**	**15**	**6**	**8**
Число	1	4	5	14	2	15	20	14	26	10	18	18
Год	1995	2013	1992	1970	1980	1993	1973	2004	1972	1983	1976	1980

значительно отличаются от соответствующих значений, полученных в предыдущие годы: например, минимум 14.01.2015 ниже минимума, наблюдавшегося 14.01 в предыдущие годы, на 44%, а 16.05.2015 – на ~22%.

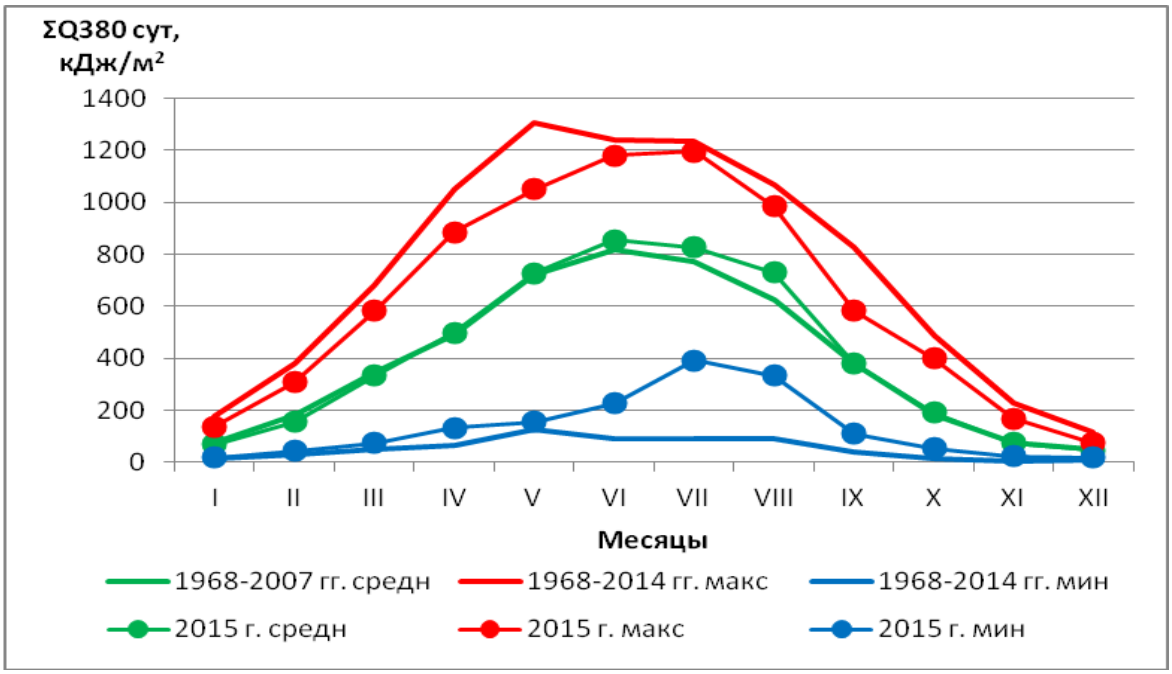


Рисунок 15.6 – Годовой ход средних суточных сумм за 2015 г. и за период 1968-2007 гг. и максимальных и минимальных величин за 2015 г. и период 1968-2014 гг.

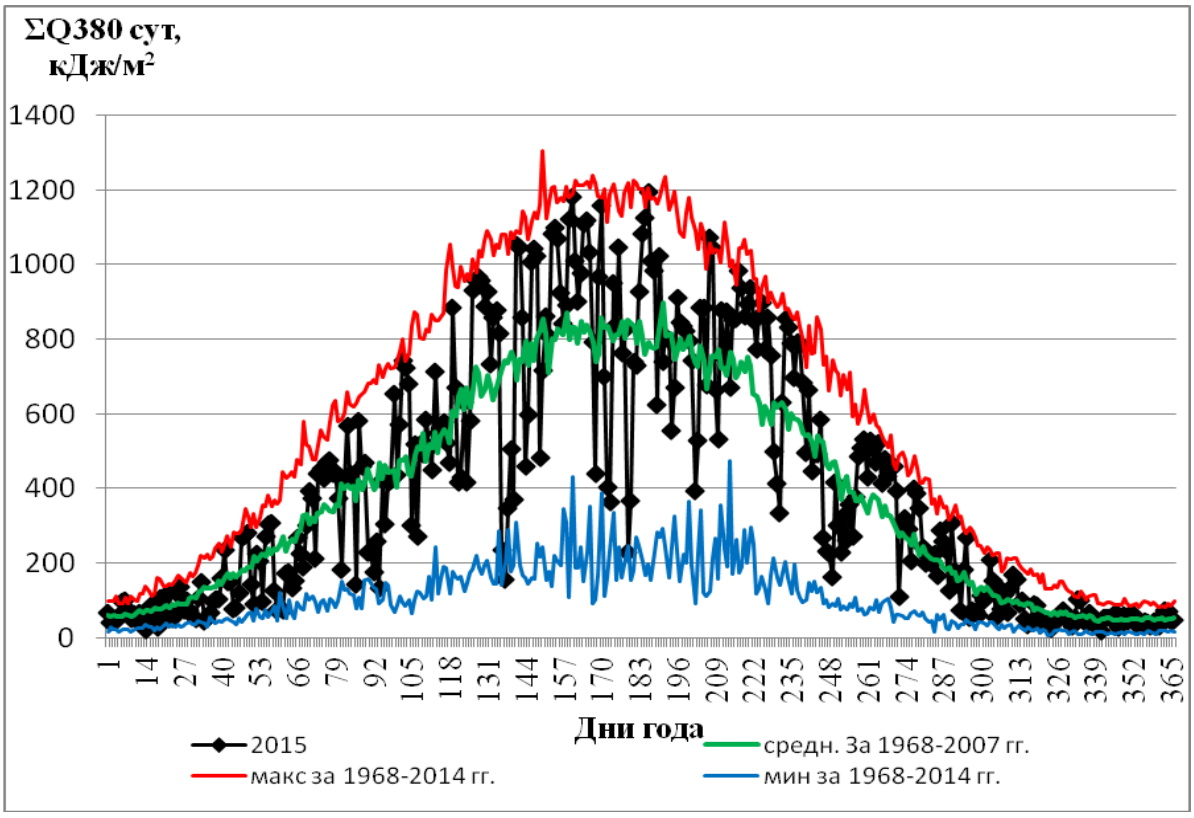


Рисунок 15.7 – Суточные суммы ΣQ380 за каждый день 2015 г., средние суточные суммы за период 1968-2007 гг., экстремальные суточные суммы за весь предыдущий период наблюдений

В годовом ходе изменчивости суточных сумм за различные периоды осреднения максимальные значения коэффициента вариации V приходятся на октябрь-ноябрь, а минимальные – на май-июль (рис. 15.8). Одной из причин пониженных по сравнению с октябрем и ноябрем значений V в декабре, по-видимому, является очень низкий вклад прямой радиации в суммарную (1% для периода 1968-2007 гг.) при низких высотах Солнца для УФ области спектра (Незваль, 2015). Поэтому изменение продолжительности солнечного сияния в УФ области спектра в декабре не так сильно сказывается на величине суточных сумм ΣQ380, как на соответствующих значениях для всего солнечного спектра, где доля прямой радиации в суммарной заметно выше (~13% для периода 1968-2007 гг.).

В отличие от многолетних данных, но так же, как в 2014 г., в 2015 г. максимальная величина коэффициента вариации (V=54%) наблюдалась в феврале; в то же время в октябре-ноябре 2015 г. сохранялись высокие значения V, превышающие 50%. Неустойчивая погода в мае 2015 г. также привела к увеличению V. Особенностью 2015 г. являются заниженные по сравнению с многолетними данными значения V в августе, сентябре и декабре.

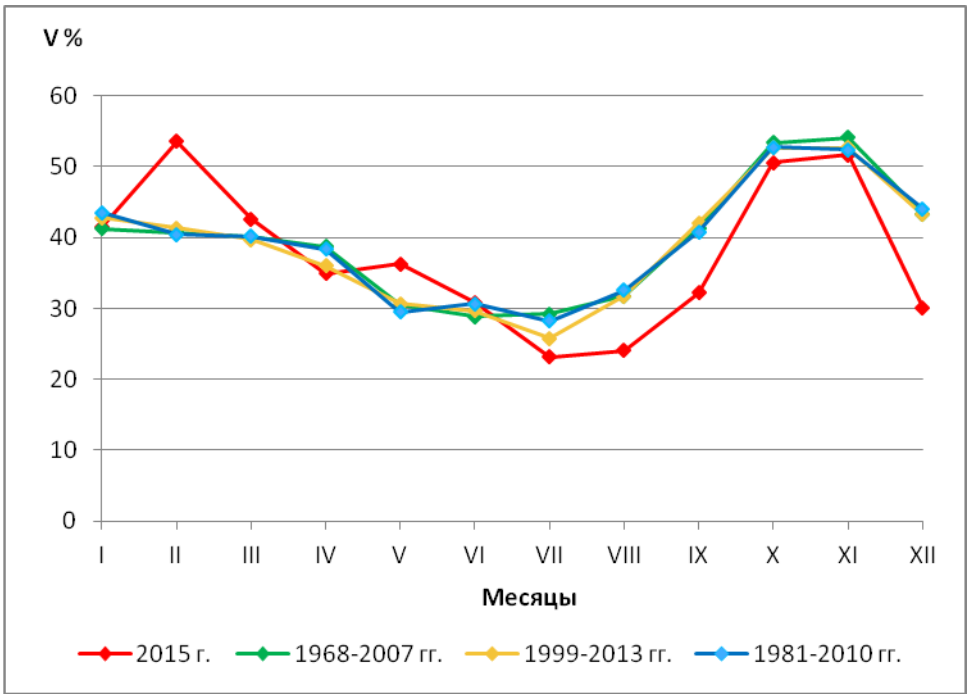
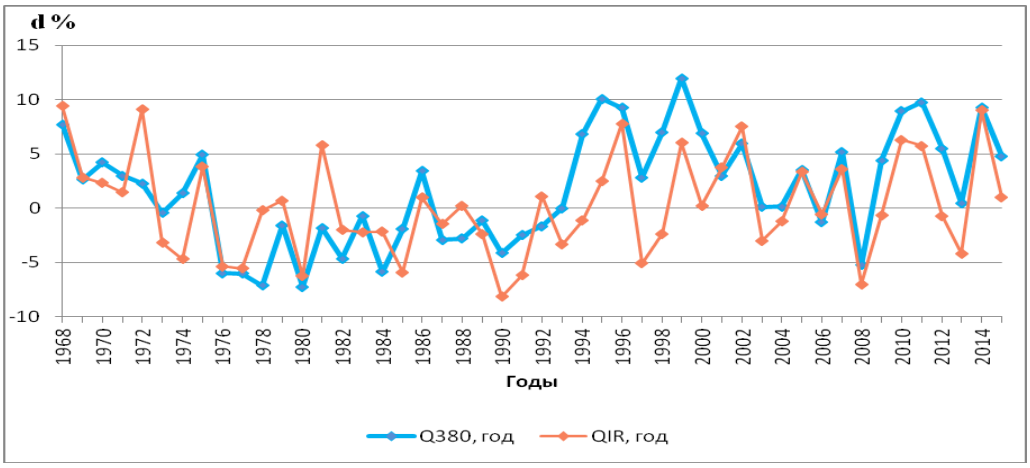


Рисунок 15.8 – Годовой ход коэффициента вариации суточных сумм Q380 в 2015 г. и в среднем за различные периоды наблюдений.

Многолетние изменения Q380. Многолетние изменения сумм ΣQ380 за год и за сезоны года приведены на рис. 15.9. Можно видеть, что изменения ΣQ380 и ΣQ_{IR} достаточно хорошо согласуются между собой. Отмечаются очень высокие коэффициенты корреляции между ΣQ380 и ΣQ_{IR} для всех месяцев года: от 0.77 в январе до 0.91 в июне (табл. 15.5). Высокие коэффициенты корреляции наблюдаются и для сезонов года, и для теплого и холодного периодов. Наиболее низкий коэффициент корреляции (r=0.68) имеет место для года в целом.

Как следует из рис.15.9, в целом за год, а также весной, летом и за период (май-сентябрь) самый низкий приход суммарной Q380 приходится на вторую половину 70-х и первую половину 80-х годов XX столетия, а в последующие годы в основном отмечается тенденция к росту ΣQ380. Лишь в 2008 г. имела место существенная отрицательная аномалия, составлявшая для указанных периодов 6-7%.

а



б

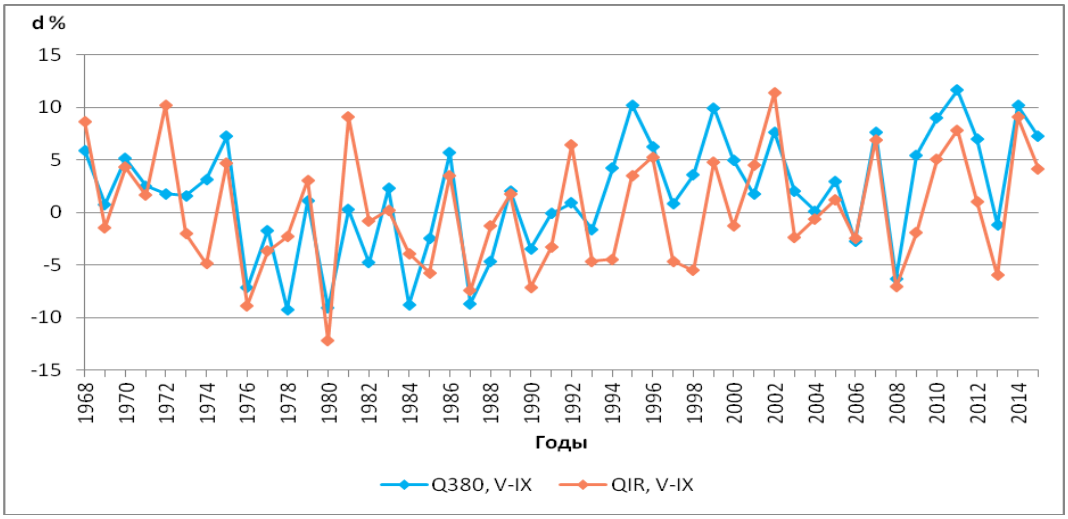
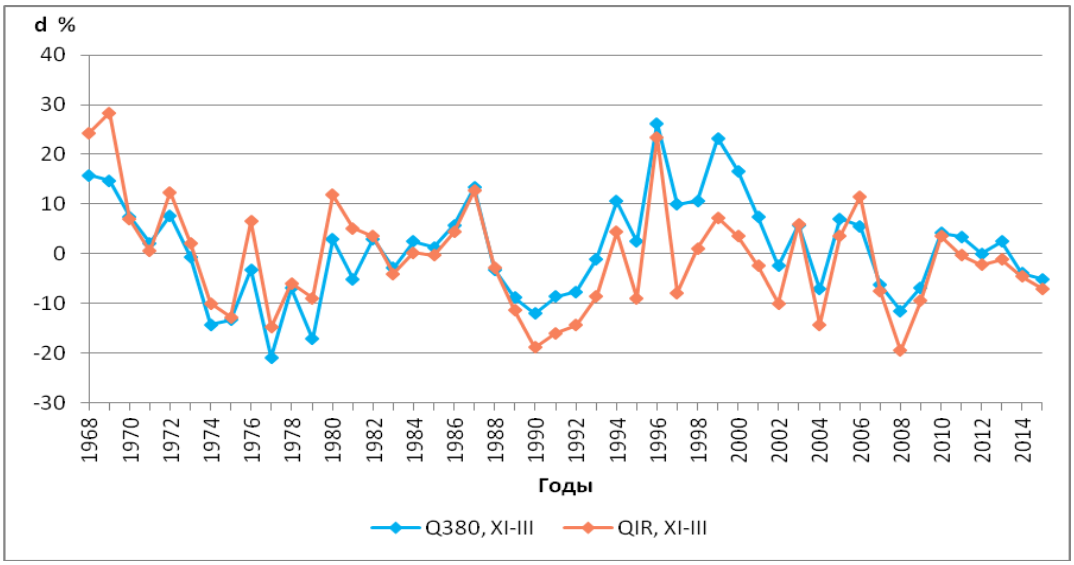
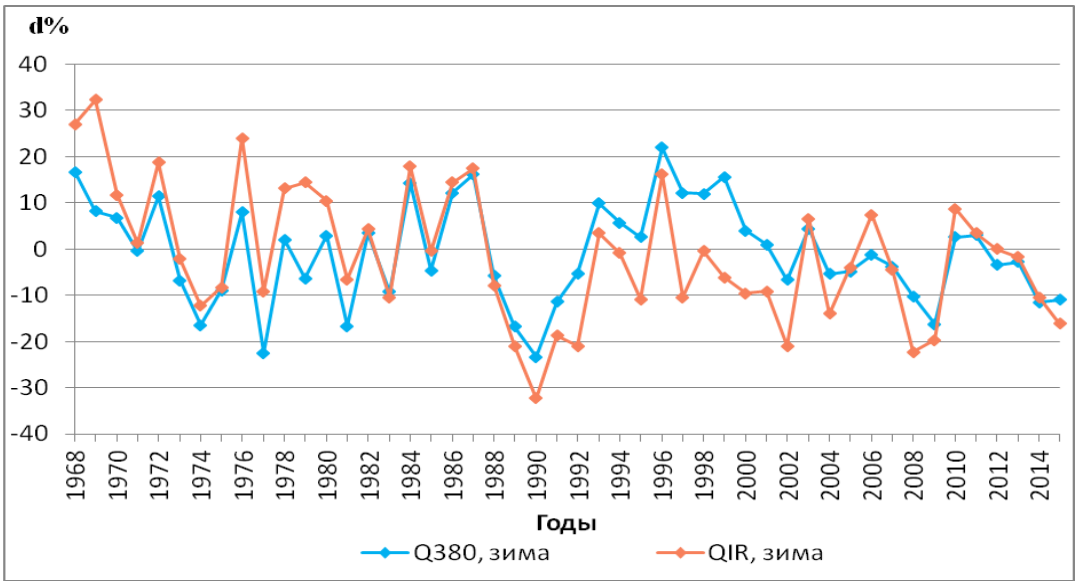


Рисунок 15.9 – Многолетние изменения суммарной УФ радиации ΣQ380 и коротковолновой (интегральной) суммарной радиации ΣQ_{IR} в целом за год и за различные периоды года относительно средней за 40 лет (1968-2007 гг.). а – год, б – теплый период, в – холодный период, г - зима, д – весна, е – лето, ж – осень.

В



Г



Д

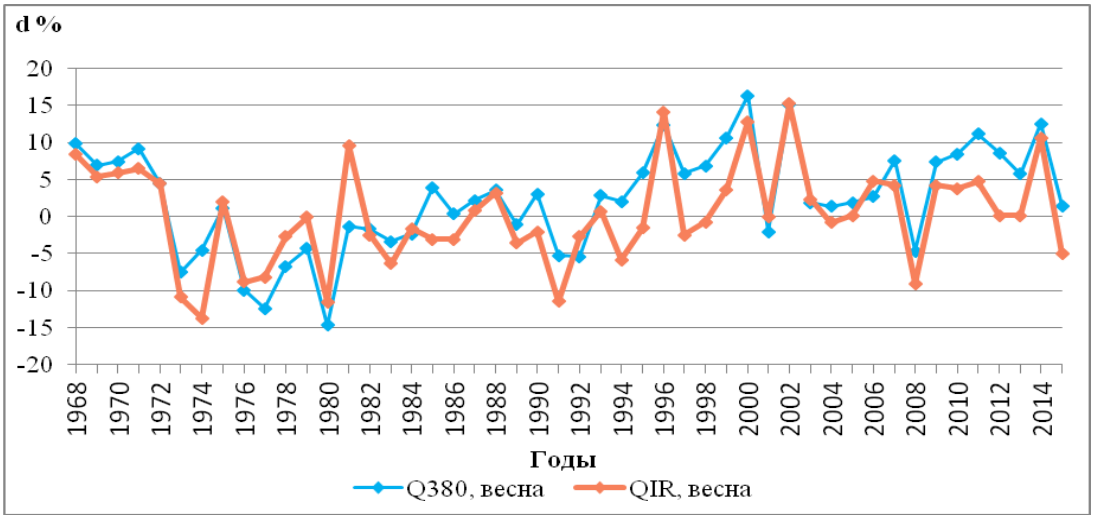
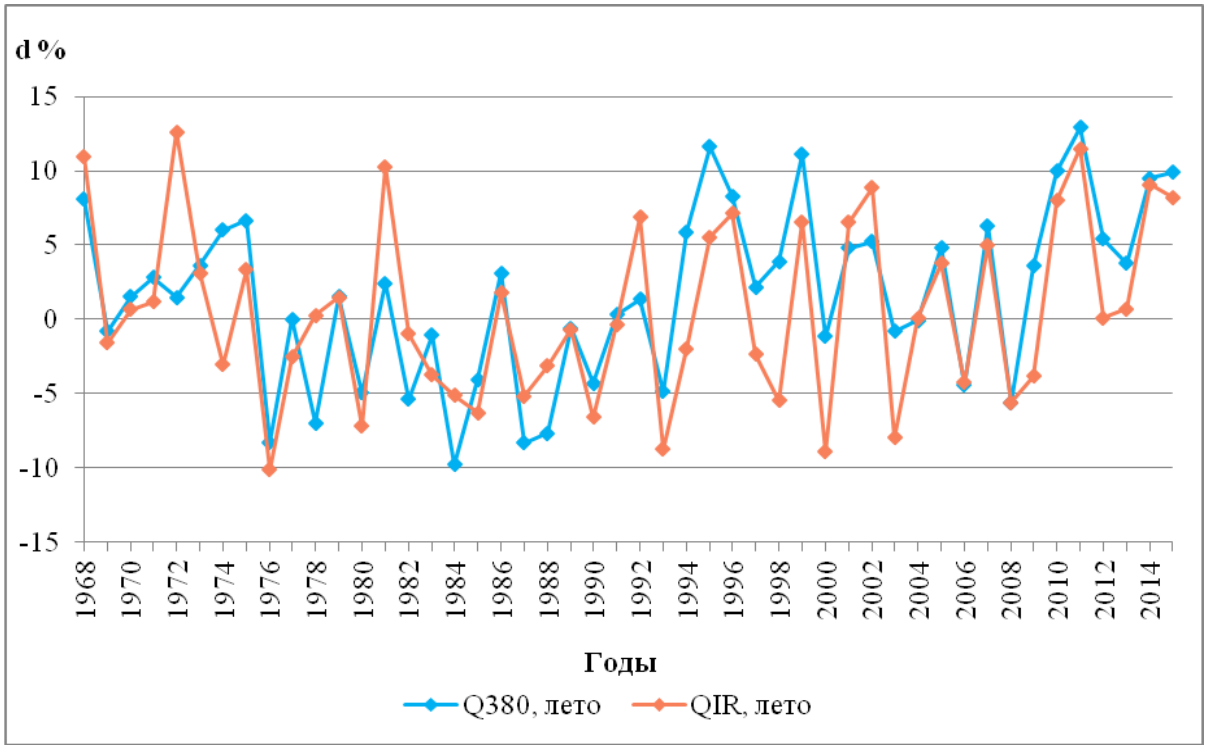


Рисунок 15.9 – Многолетние изменения суммарной УФ радиации ΣQ380 и коротковолновой (интегральной) суммарной радиации ΣQ_{IR} в целом за год и за различные периоды года относительно средней за 40 лет (1968-2007 гг.). а – год, б – теплый период, в – холодный период, г - зима, д – весна, е – лето, ж – осень (продолжение)

е



ж

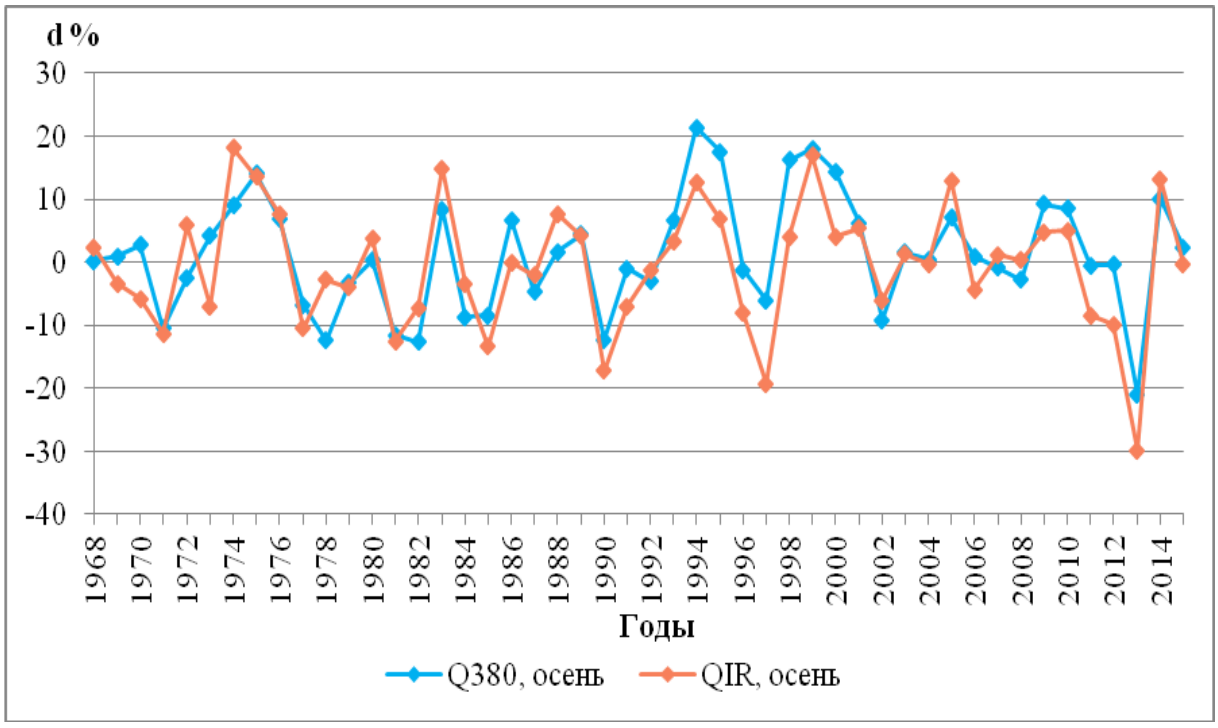


Рисунок 15.9 – Многолетние изменения суммарной УФ радиации ΣQ380 и коротковолновой (интегральной) суммарной радиации ΣQ_{IR} в целом за год и за различные периоды года относительно средней за 40 лет (1968-2007 гг.). а – год, б – теплый период, в – холодный период, г - зима, д – весна, е – лето, ж – осень (продолжение)

Таблица 15.5 – Коэффициенты корреляции (r) между суммами ΣQ380 и суммами коротковолновой (интегральной) радиации ΣQ_{IR}.

Месяцы	r	Месяцы, год, периоды года	r
Январь	0.77	Ноябрь	0.87
Февраль	0.84	Декабрь	0.81
Март	0.90	Год	0.68
Апрель	0.88	Теплый период	0.70
Май	0.86	Холодный период	0.79
Июнь	0.91	Зима	0.72
Июль	0.84	Весна	0.82
Август	0.79	Лето	0.73
Сентябрь	0.87	Осень	0.80
Октябрь	0.89		

За период с 1978 по 2015 гг. в целом для года отмечается значимый положительный линейный тренд ΣQ380 в 3,0 % за 10 лет с коэффициентом детерминации R^2=0,36. Положительный линейный тренд за этот же период имеет место для весны (3.6% за 10 лет с R^2=0,34), лета (3,4 % за 10 лет с R^2=0,34), а также для теплого периода с мая по сентябрь (3.2% за 10 лет с R^2= 0,34). Максимальные величины ΣQ380 приходятся на последние годы XX столетия и на XXI столетие: в целом за год на 1999 г. (+10.8 % по сравнению со средней величиной за 40 лет), за теплый период (май-сентябрь) и за лето – на 2011 г. (соответственно +10.6 % и +12.1 %) и для весны - на 2000 г. (+14.5 %).

Для холодного периода, весны и осени подобных тенденций в многолетних изменениях ΣQ380 не прослеживается.

Выводы:

1. Годовая сумма суммарной УФ радиации ΣQ380 в 1915 г. составила 149.3 МДж/м^2, что на 3.7% выше средней величины за 1968-2007 гг., на 4.8 % выше средней величин за первые 30 лет наблюдений (1968-1997 гг.) и на 3% выше по сравнению со средним значением годовой суммы ΣQ380 за 30-летний период с 1981 г. по 2010 г. Однако, она является лишь пятнадцатой по величине из 48 лет наблюдений.

2. В 2015 г. значимые положительные аномалии ΣQ380 по сравнению со средними значениями ΣQ380 как за период 1968-2007 гг. наблюдались во все летние месяцы и в октябре. Значимые отрицательные аномалии отмечались в январе, феврале и декабре. Наибольшая положительная аномалия ΣQ380 имела место в августе (17%) при

уменьшении балла нижней облачности на 36% и связанным с этим ростом продолжительности солнечного сияния на 35 %. В 2015 г. имела место самая низкая за период 1968-2014 гг. для августа величина AOT550=0.08. Для августа месячная сумма в 2015 г. является второй по величине после абсолютного максимума, наблюдавшегося в 1971 г.

3. Для сезонов 2015 г. положительная аномалия ΣQ380, достигающая 9% от средней величины за период 1968-2007 гг., отмечалась для лета и отрицательная аномалия, составившая 11%, для зимы.

4. В 2015 г. максимальные суточные суммы ΣQ380 за весь период наблюдений отмечены только для трех дней: 06.01, 25.07 и 26.07,. а минимальные суточные суммы – для 4 дней: 14.01, 01.03, 16.05 и 27.06 .

5. В 2015 г. в годовом ходе коэффициента вариации суточных сумм ΣQ380 максимум наблюдался в феврале (V=54%), что на 2-3% выше значений V в октябре-ноябре, т.е. в те месяцы, на которые приходится наибольшая изменчивость суточных сумм ΣQ380. В 2015 г. в июле-сентябре, а также в декабре имела место небольшая изменчивость суточных сумм ΣQ380 по сравнению со средними многолетними данными.

6. Отмечаются очень высокие коэффициенты корреляции за весь период наблюдений между ΣQ380 и ΣQ_{IR} для всех месяцев года: от 0.77 в январе до 0.91 в июне. Высокие коэффициенты корреляции наблюдаются для сезонов года, для теплого и холодного периодов. Наиболее низкий коэффициент корреляции (r=0.68) имеет место для года в целом.

7. Для года в целом, теплого периода (май-сентябрь), весны и лета отмечаются самые низкие суммы ΣQ380 во второй половине 70-х и первой половине 80-х годов XX столетия. За период 1978-2015 гг. имеет место значимый линейный тренд: для года 3,0% за 10 лет, для теплого периода 3,2 % за 10 лет, для весны 3,6 % за 10 лет и для лета 3,4 % за 10 лет. Для холодного периода подобных тенденций не прослеживается.

Работа выполнялась при частичной поддержке гранта РФФИ № 15-05-03612.

Литература

Горбаренко Е.В. Характеристика прозрачности атмосферы и составляющих радиационного баланса. «Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2013 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ», под редакцией О.А.Шиловцевой и Е.И.Незваль, М., МАКС Пресс, 2015, CD-ROM 978-5-317-05113-6, с.81-90.

Горбаренко Е.В. Характеристика прозрачности атмосферы и составляющих радиационного баланса Настоящий сборник.

Незваль Е.И. Особенности прихода УФ радиации 300-380 нм. «Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2013 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ», под редакцией Н.Е.Чубаровой, М., МАКС Пресс, 2014, CD-ROM 978-5-317-03592-1, с.95-113.

Незваль Е.И. Особенности прихода УФ радиации 300-380 нм. «Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2013 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ», под редакцией О.А.Шиловцевой и Е.И.Незваль, М., МАКС Пресс, 2015, CD-ROM 978-5-317-05113-6, с.115-128.

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.

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

Чубарова Н.Е. Chubarova, N.E., 2006. О роли тропосферных газов в поглощении УФ радиации. Доклады Академии Наук, 407, 2, 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. Flocke,S., 1998. The role of solar radiation in atmospheric chemistry, in Handbook of Environmental Chemistry, edited by P.Boule, Springer-Verlag, Heidelberg, 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 NO_2 in the surface layer of the atmospere", Москва 2008, с.13-19.

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

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

16. Биологически активная эритемная УФ-радиация

Е.Ю. Жданова, Н.Е. Чубарова

16.1. Краткая характеристика приборов и методических аспектов измерений.

Измерения эритемной УФ-радиации в 2015 году в Метеорологической Обсерватории проводились широкополосным прибором фирмы KIPP&Zonen UV-S-E-T с серийным номером №120056. С января 2015 года для обработки его измерений был использован увеличенный на 4% переводный множитель, полученный по результатам сравнений измерений регистрирующего (№120056) и контрольного (№060904) приборов в 2015 г. и весной 2016 г.

В 2015 году для контроля качества измерений были проведены две серии сравнений регистрирующего и контрольного приборов (28 апреля - 22 мая, 10 - 21 сентября), в 2016 году серия сравнений была проведена в мае (12 - 27 мая). На рис. 16.1а и 16.2 показаны отношения измерений приборов №120056 и №060904 в зависимости от градаций высот Солнца для различных дней. В среднем отношение измерений регистрирующего прибора к контрольному в мае 2015 года составило – -4%, а в сентябре 2015 года – -3%, в мае 2016 года – - 4% при высотах Солнца около 30 градусов (27-33 градуса) (Табл. 16.1). При низких высотах Солнца наблюдается занижение показаний регистрирующего прибора, а при больших высотах Солнца, напротив, наблюдается небольшое завышение показаний регистрирующего прибора относительно контрольного.

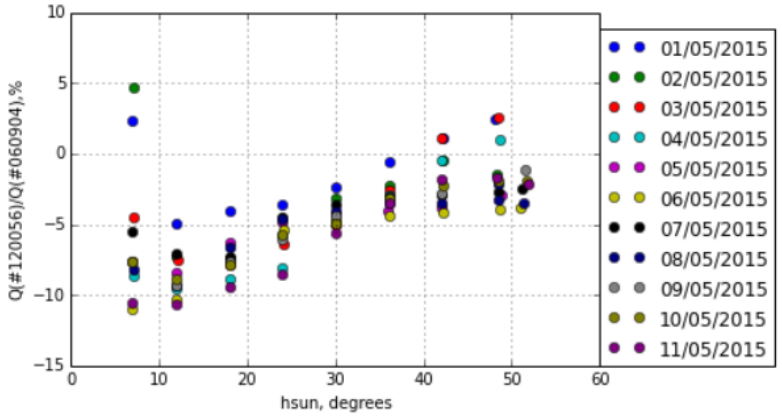


Рисунок 16.1 – Относительное отклонение измерений регистратора UV-S-E-T №120056 от показаний контрольного прибора UVB-1 YES №060904 в зависимости от градаций высот Солнца для различных дней в мае 2015 года.

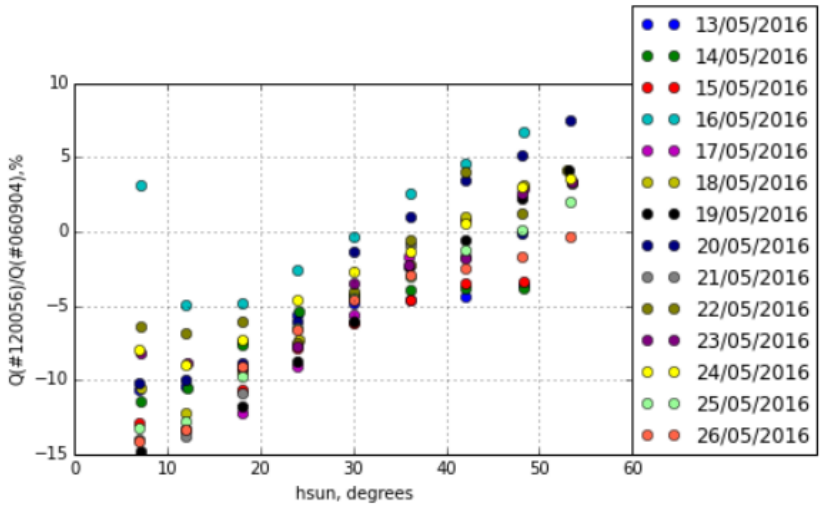


Рисунок 16.2 – Относительное отклонение измерений регистратора UV-S-E-T №120056 от показаний контрольного прибора UVB-1 YES №060904 в зависимости от градаций высот Солнца для различных дней в мае 2016 года.

Таблица 16.1 – Средние относительные отклонения измерений регистратора UV-S-E-T №120056 от показаний контрольного прибора UVB-1 YES №060904 в мае и сентябре 2015 года и мае 2016 года при высоте Солнца около 30 градусов.

месяц	**Q(№120056)/ Q(№060904)**	**Q(№120056)/Q(№120057)**	**Q(№060904)/ Q(№120057)**
05.2015	-4%	-7%	4%
09.2015	-3%	-6%	3%
05.2016	-4%	-8%	4%

Из рис. 16.3 видно, что с течением времени происходит постепенное изменение чувствительности приборов №120056 и №120057 относительно друг друга. Наиболее сильные изменения в показаниях приборов связаны с низкими высотами Солнца, т.е. предположительно со смещением спектральной чувствительности №120056 в коротковолновую область спектра. Причины указанных изменений следует определить, используя дополнительные исследования приборных характеристик спектральной кривой чувствительности обоих приборов, что возможно только в лабораторных условиях.

Таким образом, по результатам проведенных сравнений измерения эритемной радиации в 2015 году в архиве данных были дополнительно увеличены на 4%. Отметим, что наличие зависимости относительных сигналов от высоты Солнца может привести к

некоторому дополнительному завышению результатов измерений при больших высотах Солнца и занижению – при низких высотах Солнца. Отсутствие такой зависимости для отклонений второго контрольного прибора №120057 от контрольного прибора UVB-1 YES свидетельствует именно об изменении именно характеристик регистрирующего прибора.

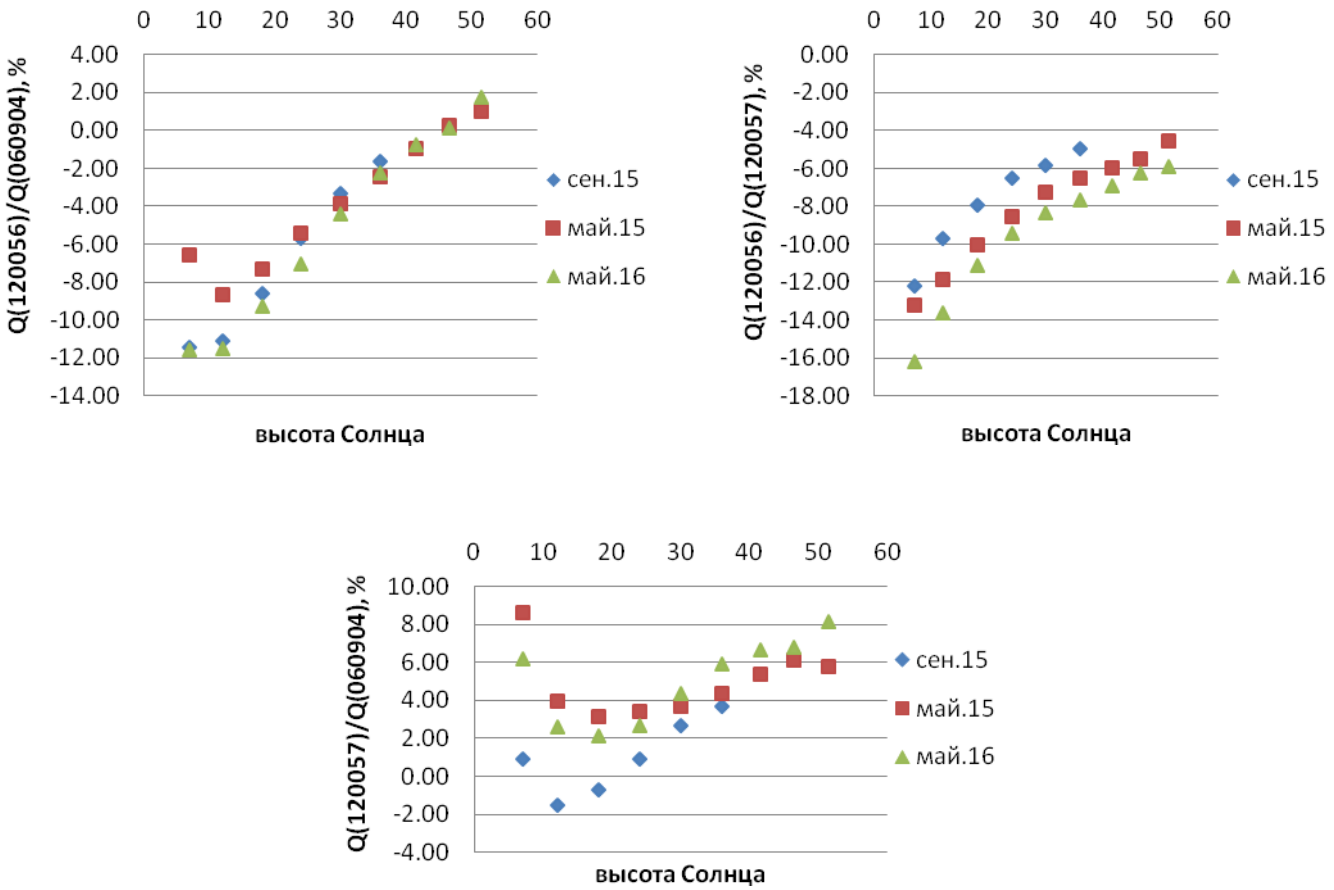


Рисунок 16.3 – Средние относительные отклонения показаний регистратора и второго контрольного прибора от данных измерений контрольного прибора UVB-1 YES в зависимости от высоты Солнца для разных периодов.

16.2. Анализ данных измерений биологически активной эритемной радиации в 2015 году.

Годовая сумма эритемной УФ-радиации *(Qer)* в 2015 году составила 428.9 Дж/м^2(эфф), что всего на 0.7% ниже среднего значения за 1999-2013 гг. Месячные суммы радиации в 2015 году были ниже средних почти во все месяцы за исключением августа

(+21%) и июня (+3%) (табл. 16.2). На рис. 16.4 показан сезонный ход средних за месяц суточных сумм *Qer* в 2015 году, средние многолетние суточные суммы *Qer* за период 1999-2013 гг, а также относительная разница между среднесуточными суммами в 2015 году и средними многолетними значениями.

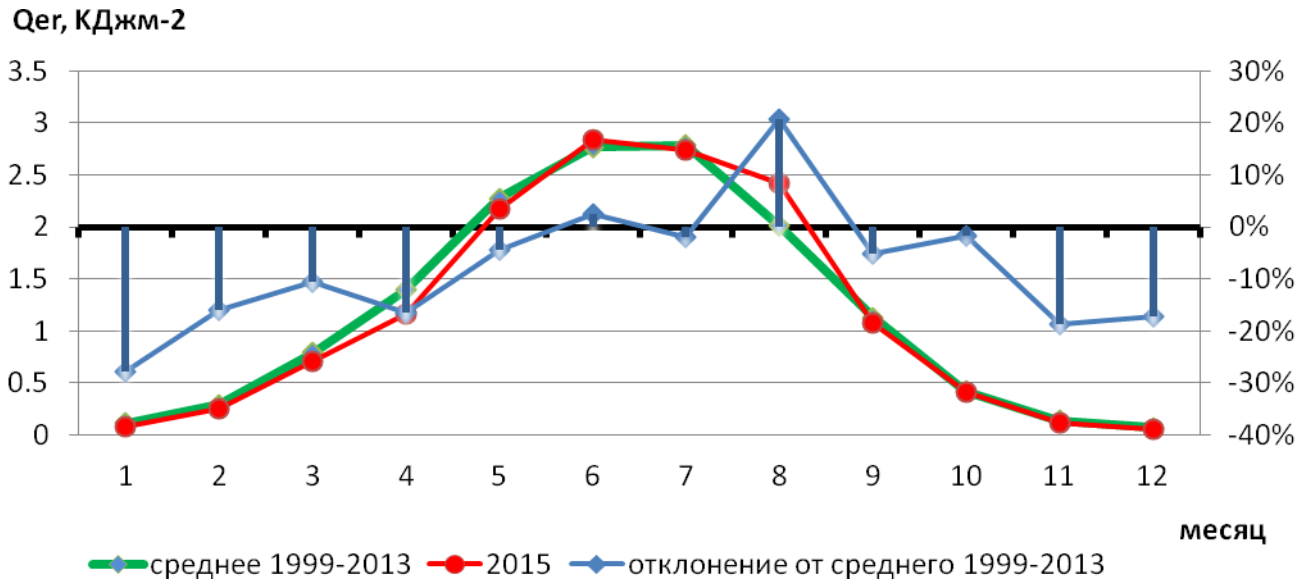


Рисунок 16.4 – Сезонный ход средних за месяц суточных сумм *Qer* в 2015 году, среднемноголетних значений за период 1999-2013 гг. (левая ось) и относительные изменения *Qer* по сравнению со средними значениями (правая ось)

Из рис.16.4 видно, что относительные изменения эритемной УФ-радиации в 2015 году относительно средних многолетних значений варьировались от -28% в январе до +21% в августе. В январе уменьшение эритемной радиации связано в равной мере с увеличением общего содержания озона и увеличением облачности. В феврале и марте, мае, сентябре, декабре пониженные значения эритемной радиации связаны с влиянием облачности, поскольку общее содержание озона в эти месяцы было ниже или близко к норме. Эритемная радиация в июне, июле, октябре была близка к средним значениям. В августе высокий уровень эритемной радиации связан с менее облачными условиями относительно средних, общее содержание озона в этот месяц было на 1% выше нормы. Отметим также, что в августе наблюдалась максимальная в этом году и превысившая норму продолжительность солнечного сияния. Пониженные суммы эритемной радиации в апреле и ноябре связаны как с более высоким содержанием озона, так и с большей облачностью относительно нормы.

На рис. 16.5 показаны максимальные УФ-индексы в 2015 году и их абсолютные максимумы за 1999-2013 гг. В 2015 году максимальное значение УФ-индекса наблюдалось 4 июля в околополуденное время и составило 7.3 и превысило максимальные значения УФ-индексов в июле за весь период измерений, начиная с 1999 года. Погода 4 июля характеризовалась высокой температурой воздуха и хорошо развитой кучевой облачностью (7 баллов), которая не закрывала диск Солнца, и за счет переотражения радиации от которой было достигнуто максимальное среднечасовое значение УФ-индекса.

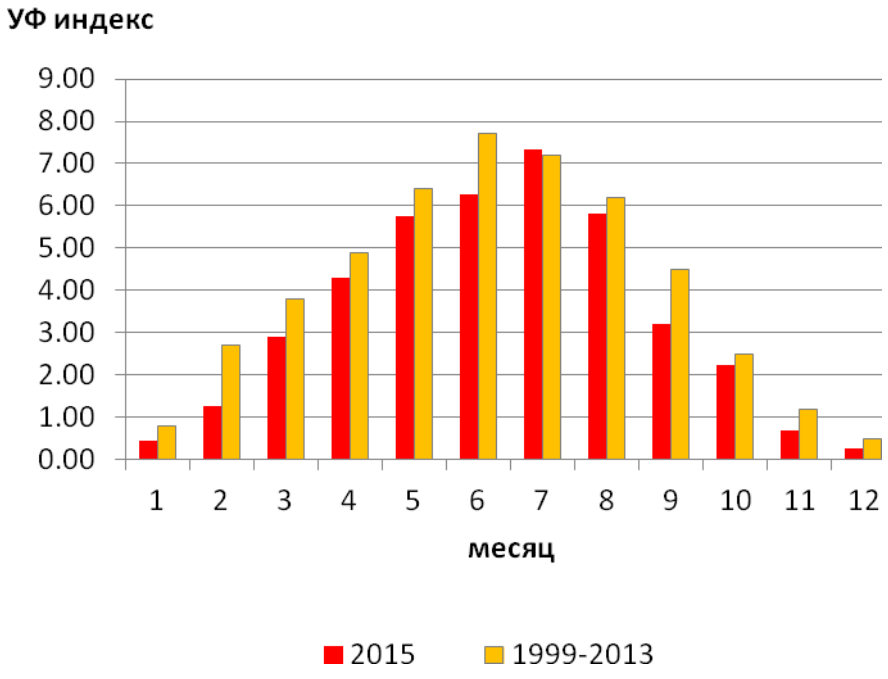


Рисунок 16.5 – Максимальные часовые значения УФ-индексов в 2015 году и абсолютные максимумы за 1999-2013 гг.

13.3. Межгодовая изменчивость биологически активной эритемной радиации по данным измерений и моделирования.

На основании данных модели реконструкции получены оценки межгодовой изменчивости биологически активной эритемной УФ радиации и причин ее вызывающих (рис.16.6).

Хорошо видно, что изменчивость всех факторов относительно нормы за 1999-2013 гг. была небольшая. Облачность и озон способствовали понижению уровня *Qer*, а продолжающееся уменьшение аэрозольной оптической толщины – некоторому росту *Qer*. В целом это и привело к относительно небольшому изменению *Qer* относительно нормы.

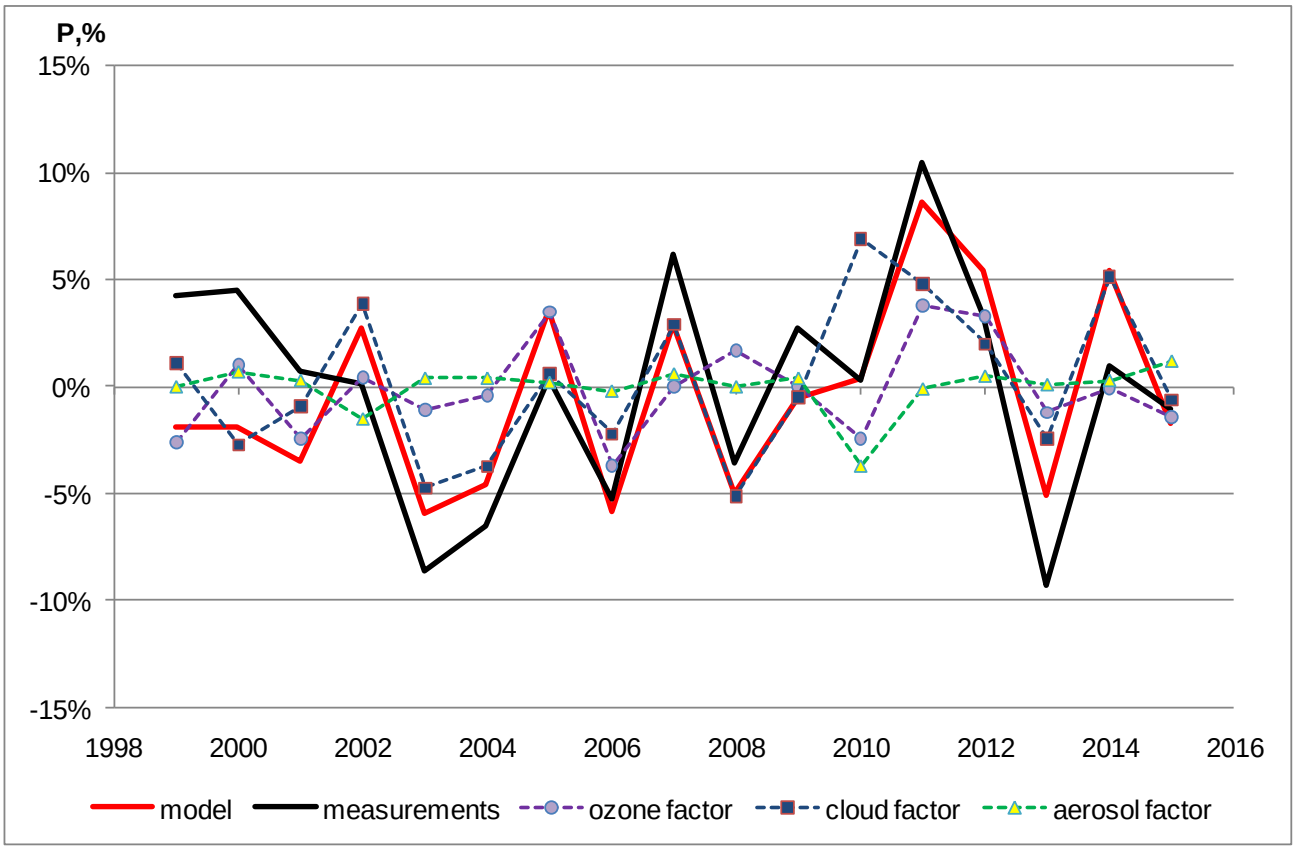


Рисунок 16.6 – Изменчивость годовых величин биологически активной эритемной радиации по данным измерений и модели реконструкции, а также факторов ее вызывающих относительно 15-летнего периода 1999-2013г.

Отметим, что результаты моделирования хорошо совпадают с данными измерений. (коэффициент корреляции составляет 0.76).

Таблица 16.2 – Средние, минимальные, максимальные суточные суммы *Qer* (Дж/м^2 эфф) в 2015 году, в период 1999-2013 гг. и максимальные УФ-индексы в 2015г, 1999-2013 гг; относительные изменения *Qer* в 2015 году

	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Qer 2015	82	247	707	1165	2178	2840	2735	2423	1073	416	111	58
Qer (среднее) 1999-2013	113	293	791	1394	2278	2770	2786	2008	1132	424	137	70
Qer (максимум) 1999-2013	155	378	975	1635	2710	3332	3308	2471	1267	501	205	115
Qer (минимум) 1999-2013	89	245	643	1222	1949	1890	2177	1658	625	351	105	51
УФ-индекс (максимум) 2015	0.4	1.3	2.9	4.3	5.8	6.3	7.3	5.8	3.2	2.2	0.7	0.3
УФ-индекс (максимум) 1999-2013	0.8	2.7	3.8	4.9	6.4	7.7	7.2	6.2	4.6	2.5	1.2	0.5
$Q_{er2015}/_{Qer1999-2013}$ -1, %	-28%	-17%	-11%	-16%	-4%	+3%	-2%	+21%	-5%	-1%	-18%	-17%

16.4. Ресурсы ультрафиолетовой радиации.

Согласно рис.16.7, в 2015 году для людей со вторым типом кожи, типичным для жителей средней полосы России, в Москве оптимальные условия наблюдались с февраля по октябрь. Наибольшая повторяемость условий УФ-оптимума отмечалась в марте, апреле и сентябре. По сравнению со средней повторяемостью категорий УФ-ресурсов за период 1999-2013 гг. (рис. 16.8) повторяемость УФ-ресурсов в 2015 году демонстрирует наибольшие отклонения от оптимальных условий в сентябре и октябре за счет низких температур воздуха, которые способствовали большей закрытости тела.

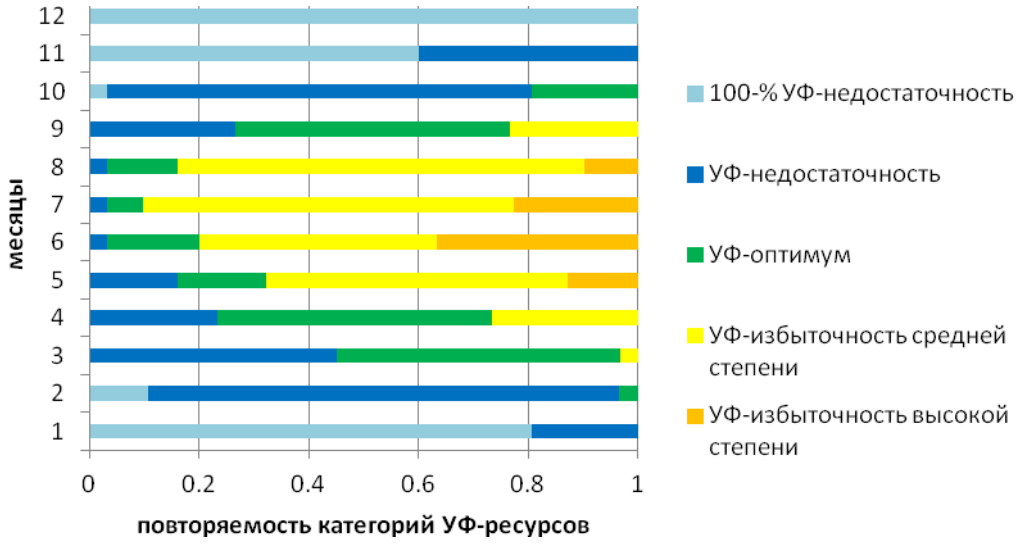


Рисунок 16.7 – Повторяемость категорий УФ-ресурсов в Москве в 2015 году для второго типа кожи.

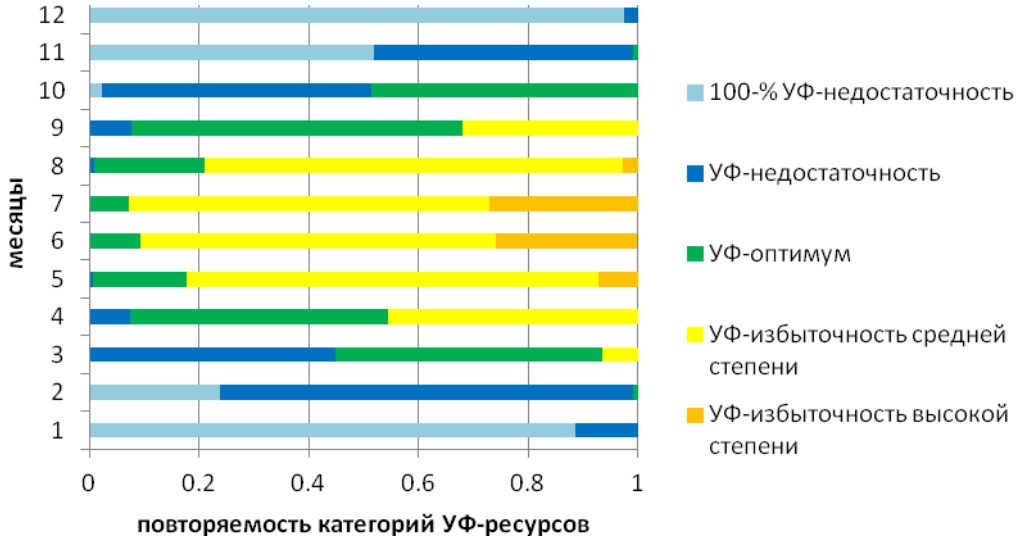


Рисунок 16.8 – Повторяемость категорий УФ-ресурсов в Москве в 1999-2013 гг. для второго типа кожи.

Таким образом, поступление эритемной УФ-радиации к поверхности Земли в 2015 году было для большинства месяцев, кроме июня и августа ниже нормы.

Среднегодовое значение было близко к среднему уровню (1999-2013 гг.). В июле был зарегистрирован абсолютный максимум (UVI=7.3) за весь период измерений.

Повторяемость УФ-оптимума в 2015 году была близка к средним условиям, однако, была ниже в отдельные месяцы, в особенности в сентябре и октябре.

Работа выполнялась при частичной поддержке гранта РФФИ № 15-05-03612.

Литература

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

Zhdanova E. Yu., Chubarova N. Ye., Blumthaler M. Biologically active UV-radiation and UV-resources in Moscow (1999–2013) // Geography, Environment, Sustainability. — 2014. — Vol. 7, no. 2. — P. 71–85

Часть III. Аэрозольный и газовый состав атмосферы, химический состав атмосферных осадков

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

А.С. Пастухова, Н.Е. Чубарова

17.1 Особенности аэрозольных измерений, проводимых в 2015 году.

В МО МГУ проводятся регулярные измерения аэрозольных свойств атмосферы с помощью солнечно-небесных фотометров CIMEL CE 318–2 в рамках международной программы AERONET с 2001 г. (Holben et al., 1998, Chubarova et al., 2011). Измерения ослабления прямой солнечной радиации ведутся на 8 длинах волн -340, 380, 440, 500, 670, 870, 940 и 1020 нм. Канал 940 нм используется для восстановления влагосодержания атмосферы W, а остальные каналы– для определения спектральной аэрозольной оптической толщины атмосферы AOT_λ. Измерения рассеянного излучения в солнечном альмукантарате и в главной солнечной плоскости проводятся в 4 спектральных каналах: 440, 670, 870 и 1020 нм. Ширина полосы пропускания на половине максимума составляет 2 нм в УФ области спектра и 10 нм – для остальных фильтров. Прибор имеет 2 коллиматора с одинаковыми углами зрения 1.2^0 для измерений прямого и рассеянного солнечного излучения. Погрешность измерений в видимом и ближнем ИК диапазоне составляет 0.01, в УФ области спектра для каналов 340 и 380нм – 0.02. Более подробную информацию о методах измерений можно найти на сайте AERONET или в наших предыдущих публикациях. В настоящем анализе данных за 2015 г. используются данные уровня 2, поскольку данные измерений откалиброваны с учетом замыкающей калибровки в США. Дополнительно применялась фильтрация данных измерений, проводимых по прямому солнечному излучению, по часовым визуальным данным наблюдений за облачностью. Подробно алгоритм изложен в работе Chubarova et al. (2016).

Измерения аэрозольных характеристик проводились в течение 129 дней, что несколько меньше среднего числа измерений в год (135 дней) за период 2001-2014г.

17.2. Сезонные вариации аэрозольных характеристик атмосферы в 2015 г.

Сезонный ход аэрозольных оптических толщин (АОТ) на разных длинах волн, полученный по данным измерений в 2015 г., показан на рисунке 17.1а. При сопоставлении получившегося графика с графиком средних значений за весь период (рис. 17.1б) можно отметить, что в 2015 г. распределение аэрозоля сильно отличается от среднего, но в то же

время характерное уменьшение АОТ с ростом длины волны от УФ до ближней ИК области, обусловленное рассеянием на мелкодисперсном аэрозоле, наблюдается в течение всего года. Максимум АОТ на разных длинах волн приходится на один и тот же месяц - май. Таким образом, весенний аэрозольный максимум, обычно наблюдавшийся в апреле, оказывается смещен. Этот максимум обычно связан с поступлением в воздух грубодисперсного аэрозоля, источником которого является открытая почвенная поверхность при отсутствии травы. Весной 2015 г. снег сошел несколько позже, чем обычно в последние годы. Снежный покров наблюдался до 6.04.2015, но даже в конце апреля на сутки устанавливался снежный покров (21.04). В то же время присутствие снега в апреле свидетельствует о преобладании холодных вторжений на территорию ЕТР, которые характеризуются низким содержанием аэрозоля. Это вероятно объясняет смещение типично апрельского максимума содержания аэрозоля на май. Аэрозольный максимум, характерный для августа, в 2015 г. не наблюдался, но, судя по локальным максимумам в июле и сентябре, накопление различного аэрозоля, в том числе и дымового, в течение лета все-таки происходило. Отсутствие максимума АОТ в августе 2015 г. можно объяснить сложившейся в это время синоптической ситуацией, в ходе которой происходили вторжения более холодного и относительно чистого воздуха западных и северных румбов.

а б

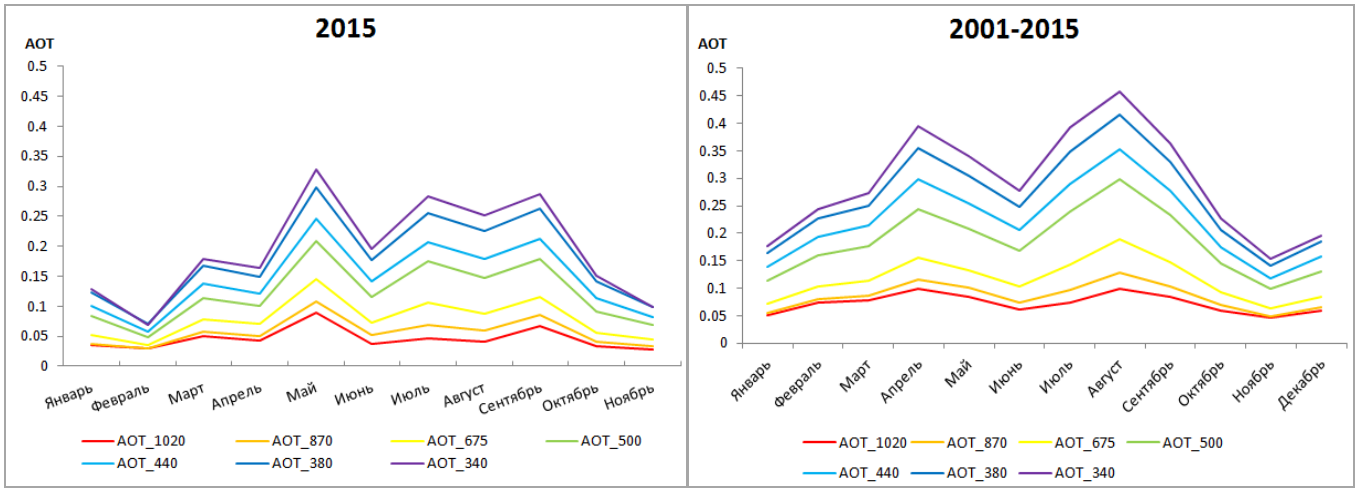


Рисунок 17.1. Вариации среднемесячных значений аэрозольной оптической толщины на разных длинах волн по данным AERONET в 2015 г. и в среднем за период 2001-2015(б). Уровень 2. Москва.

Таблица 17.1. Средние, минимальные, максимальные месячные значения и коэффициенты вариации (Cv,%)* аэрозольных оптических толщин на 500нм, 340нм и 1020 нм, влагосодержания атмосферы (W,см), параметра Ангстрема** в 2015 году и их относительные разницы (R, доли) со средними многолетними значениями за период 2001-2015г. Москва, МО МГУ. Уровень 2. Общее число дней измерений – 129.

Месяц	Число дней	AOT500					AOT340					AOT1020					W,см					Параметр Ангстрема				
		Сред	Cv,%	Max	Min	R	Сред	Cv,%	Max	Min	R	Сред	Cv,%	Max	Min	R	Сред	Cv,%	Max	Min	R	Сред	Cv,%	Max	Min	R
Январь	3	0.08	16.06	0.09	0.07	-0.27	0.13	10.92	0.14	0.11	-0.27	0.04	12.81	0.04	0.03	-0.30	0.33	58.66	0.55	0.17	0.01	1.50	8.96	1.63	1.36	0.07
Февраль	6	0.05	87.28	0.13	0.02	-0.70	0.07	86.36	0.19	0.02	-0.71	0.03	63.49	0.07	0.02	-0.60	0.38	45.39	0.67	0.23	0.04	0.96	10.06	1.04	0.78	-0.26
Март	13	0.11	89.92	0.40	0.04	-0.35	0.18	100.53	0.69	0.06	-0.35	0.05	58.41	0.13	0.02	-0.35	0.58	68.51	1.67	0.26	0.11	1.09	28.04	1.60	0.68	-0.17
Апрель	7	0.10	32.19	0.16	0.07	-0.59	0.16	36.88	0.28	0.11	-0.59	0.04	27.54	0.06	0.03	-0.58	0.64	24.20	0.85	0.41	-0.14	1.27	20.37	1.63	0.85	-0.10
Май	10	0.21	45.57	0.39	0.08	0.00	0.33	43.23	0.56	0.13	-0.04	0.09	54.15	0.18	0.03	0.05	1.96	30.16	2.76	1.09	0.39	1.24	19.91	1.43	0.61	-0.11
Июнь	19	0.12	46.70	0.26	0.06	-0.31	0.20	48.00	0.45	0.09	-0.30	0.04	33.40	0.06	0.02	-0.39	1.59	29.19	2.58	1.00	-0.08	1.42	16.25	1.81	1.10	-0.07
Июль	21	0.17	45.25	0.43	0.07	-0.27	0.28	43.88	0.71	0.14	-0.28	0.05	44.71	0.12	0.02	-0.37	1.96	18.50	3.14	1.43	-0.11	1.63	11.87	2.03	1.21	-0.01
Август	24	0.15	86.18	0.56	0.05	-0.51	0.25	86.64	0.95	0.09	-0.45	0.04	80.91	0.15	0.01	-0.59	1.83	24.65	2.72	0.87	-0.07	1.57	11.78	1.85	1.16	0.01
Сентябрь	13	0.18	37.40	0.30	0.10	-0.24	0.29	36.94	0.47	0.16	-0.21	0.07	49.16	0.14	0.03	-0.19	1.92	23.55	2.62	1.23	0.22	1.38	19.29	1.85	1.03	-0.07
Октябрь	10	0.09	69.16	0.25	0.05	-0.37	0.15	72.56	0.41	0.06	-0.33	0.03	47.42	0.07	0.02	-0.45	0.96	37.65	1.67	0.55	0.01	1.40	28.14	1.90	0.45	0.01
Ноябрь	3	0.07	67.31	0.12	0.03	-0.31	0.10	59.61	0.17	0.05	-0.36	0.03	51.33	0.04	0.02	-0.38	0.49	27.16	0.64	0.40	-0.22	1.34	3.09	1.38	1.31	0.00
Среднее		**0.12**	**56.64**	**0.28**	**0.06**	**-0.36**	**0.19**	**56.87**	**0.46**	**0.09**	**-0.35**	**0.05**	**47.58**	**0.10**	**0.02**	**-0.38**	**1.15**	**35.24**	**1.81**	**0.69**	**0.01**	**1.35**	**16.16**	**1.65**	**0.96**	**-0.06**

*Cv- определяется как средняя из суточных вариаций AOT.

**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.

В таблице 17.1 приведены некоторые статистические параметры для AOT различных областей спектра (видимой, ультрафиолетовой и ближней инфракрасной), влагосодержания и параметра Ангстрема.

Сопоставив данные таблицы и графиков, можно отметить, что общее аэрозольное содержание в 2015 г. было меньше, чем в среднем за весь период измерений. Для всех месяцев, в которых проводились измерения, наблюдается отрицательная тенденция AOT, за исключением мая, где для AOT500 не имеет тенденции, а AOT1020 имеет слабую положительную тенденцию (+0.05 по сравнению со среднемноголетними значениями). В целом уменьшение AOT колеблется от 35% до 38% в зависимости от длины волны (см. табл.17.1).

Статистические данные AOT500 и влагосодержания приведены на рисунке 17.2. Сравнение средних месячных значений аэрозольных параметров 2015 года проводилось с медианными оценками за период 2001-2015 гг., для того чтобы исключить влияние дымового аэрозоля в 2002 и 2010 гг. Из рисунка 17.2б видно, что весенний аэрозольный максимум смещен на май, но приблизительно равен среднему значению для этого месяца. Летне-осенний максимум аэрозоля практически не выражен, и значения AOT в июле и августе близки к минимальным, хотя и наблюдается некоторое общее увеличение AOT к концу лета – началу осени. Максимальные значения влагосодержания (рис. 17.2а) в 2015 году достигаются в мае, июле и сентябре, причем значения в мае и сентябре являются

а б

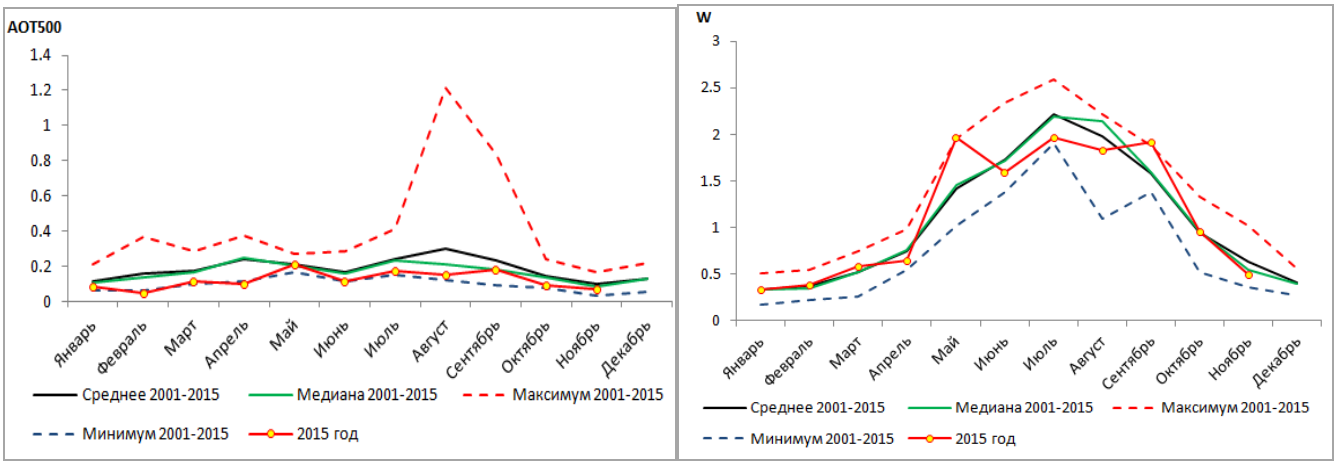


Рис. 17.2. Сезонные вариации содержания AOT500 (а) и водяного пара (б)в 2015 году, а также средние за месяц минимальные, максимальные, средние и медианные оценки за период 2001-2015 г. Уровень 2. Москва.

абсолютными максимумами. Это может быть связано с общей тенденцией климатического потепления на территории ЕТР, которое способствует росту влагосодержания воздуха.

Локальные минимумы содержания водяного пара в апреле, июне и августе соответствуют пониженному содержанию аэрозоля, что объясняется вторжениями холодного арктического воздуха.

Межгодовая изменчивость средних и медианных значений за весь период представлена на рисунке 17.3. 2001 год исключен из рассмотрения, так как измерения проводились только во второй половине года. На рисунке 17.3а отчетливо видны максимумы, характерные для дымной мглы в 2002 и 2010 гг. В 2015 году, как и в 2014, наблюдается отрицательный тренд AOT, особенно в последние годы, начиная с 2011 г.

а б

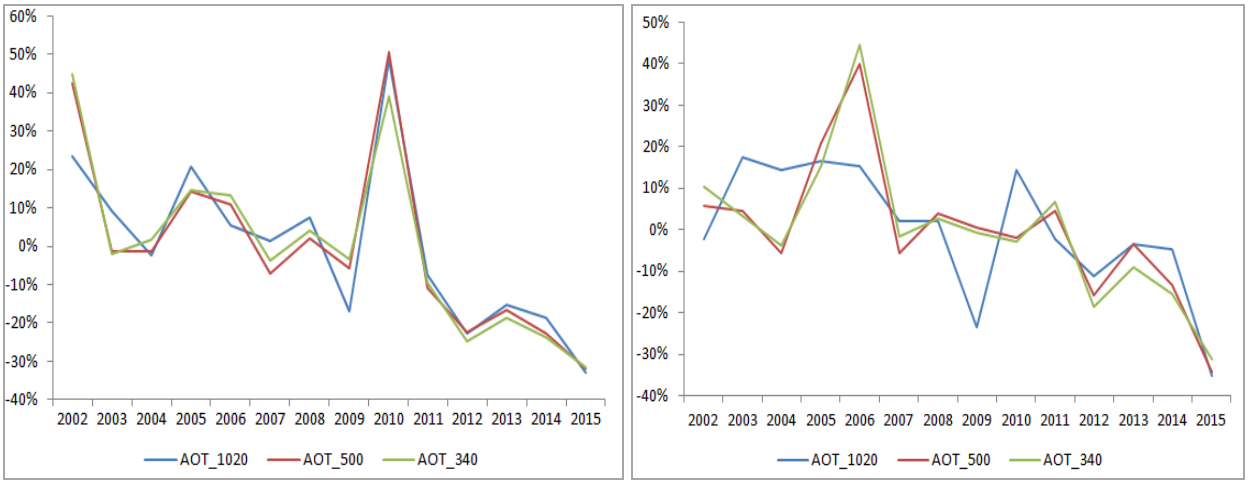


Рис. 17.3. Межгодовая изменчивость среднегодовых (а) и медианных (б) оценок AOT500, AOT340 и AOT1020 за период наблюдений в Москве. Среднегодовое значение считалось с равным весом каждого месяца, не учитывая числа случаев измерений в месяце.

а б

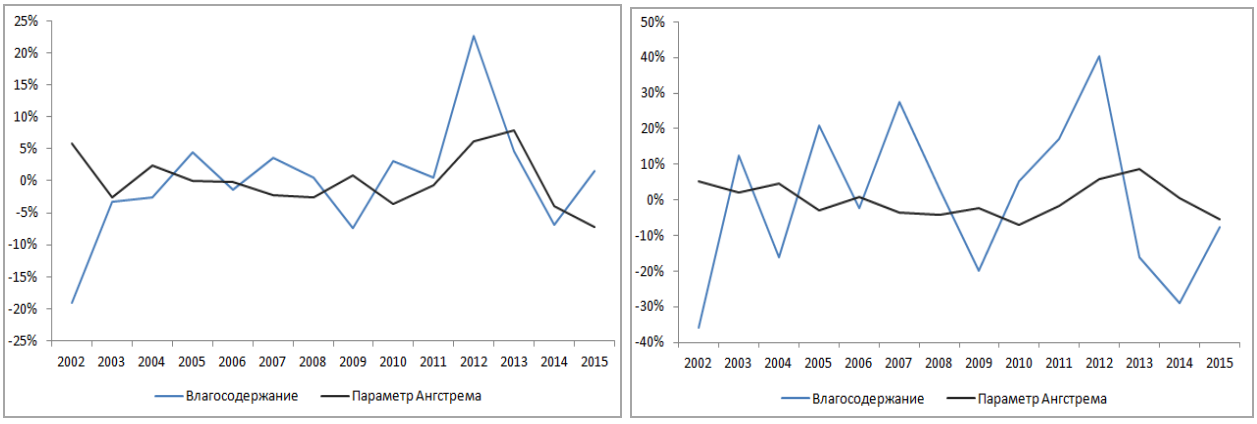


Рис. 17.4. Межгодовая изменчивость среднегодовых (а) и медианных (б) оценок влагосодержания атмосферы и параметра Ангстрема.

На рисунке 17.4 приведена межгодовая изменчивость средних и медианных значений содержания водяного пара и параметра Ангстрема. Отклонения значений параметра Ангстрема укладываются в интервал ±10%. Отклонение величины влагосодержания от среднего значения за весь период в некоторые годы превышает 20%, но в целом для обоих параметров значимых трендов выявить нельзя.

17.3. Микрофизические, оптические и радиационные свойства аэрозоля в 2015 году

Наиболее важные оптические, микрофизические и радиационные аэрозольные характеристики, рассчитанные на основе алгоритма AERONET, приведены в таблице 17.2. Для того чтобы получить корректные статистические оценки, были выбраны данные уровня 1.5 после окончательной калибровки.

Таблица 17.2. Среднемесячные микрофизические, оптические и радиационные аэрозольные характеристики атмосферы в 2015 г. Уровень 1.5 после окончательной калибровки. Москва.

Месяц	Число дней	Число случаев	AOT500	Альбедо однократного рассеяния на длине волны 675 нм	Действительная часть показателя преломления на 675	Мнимая часть показателя преломления на 675 нм	Фактор асимметрии на 675 нм	Объемная концентрация, мкм^3/мкм^2	Эффективный радиус мелкодисперсной фракции, мкм	Эффективный радиус грубодисперсной фракции, мкм	Доля объемного содержания мелкодисперсной фракции
Январь	3	3	0.106	0.834	1.376	0.023	0.710	0.025	0.209	1.917	67%
Февраль	6	33	0.114	0.718	1.449	0.063	0.727	0.061	0.214	2.645	36%
Март	14	63	0.131	0.775	1.483	0.039	0.674	0.049	0.154	2.244	38%
Апрель	4	25	0.111	0.849	1.540	0.018	0.598	0.038	0.133	2.000	42%
Май	12	52	0.211	0.921	1.502	0.008	0.630	0.077	0.141	2.023	38%
Июнь	15	55	0.113	0.894	1.484	0.011	0.626	0.039	0.139	2.227	40%
Июль	15	60	0.159	0.920	1.468	0.009	0.598	0.045	0.145	2.414	58%
Август	21	83	0.183	0.873	1.487	0.014	0.600	0.061	0.135	2.435	47%
Сентябрь	11	61	0.173	0.891	1.487	0.010	0.605	0.078	0.124	2.272	42%
Октябрь	6	24	0.108	0.851	1.456	0.015	0.601	0.046	0.129	2.759	51%
Ноябрь	3	9	0.075	0.781	1.449	0.035	0.645	0.027	0.152	3.170	52%
Год	**110**	**468**	**0.135**	**0.846**	**1.471**	**0.022**	**0.638**	**0.050**	**0.152**	**2.373**	**47%**

Среднее за 2015 год альбедо однократного рассеяния на длине волны 675 нм (SSA675) составляло 0.846, что практически совпадает со средним многолетним значением, полученным [Chubarova et al., 2011]. Отклонения от средней величины не превышают ±10%.

Значения вещественной (REFR) и мнимой (REFI) частей комплексного показателя преломления на уровне 1.5 в 2015 году близки к среднегодовым оценкам (REFR= 1.46, REFI=0.02) за весь период. Фактор асимметрии индикатрисы рассеяния был также близким к среднему за период наблюдений значению.

Доля мелкодисперсной фракции в среднем составила 47%. Минимальные значения (36-38%) достигались в феврале, в марте и в мае, а максимальное (67%) – в январе. Низкие значения параметра Ангстрема согласуются с преобладанием грубодисперсной фракции в конце февраля за счет конвективного вовлечения пылевых частиц при фрагментарном снежном покрове.

Таким образом, в 2015 году сохраняется отрицательная тенденция уменьшения содержания аэрозоля в атмосфере. Максимум АОТ на всех длинах волн наблюдался в мае, а локальный летне-осенний максимум был слабо выражен. Альбедо однократного рассеяния на длине 675 нм было примерно равным среднему многолетнему значению. Доля мелкодисперсного аэрозоля была изменчиво в течение года, минимум пришелся на февраль, максимум - на январь.

Работа выполнялась при частичной поддержке гранта РФФИ № 16-05-00985.

Литература

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.

Chubarova N., Poliukhov A., Gorlova I. Long-term variability of aerosol optical thickness in Eastern Europe over 2001–2014 according to the measurements at the Moscow MSU MO AERONET site with additional cloud and NO2 correction, Atmospheric Measurement Techniques, 2016, v. 9, № 2, p. 313-334.

Holben,B.N., T.F.Eck, I.Slutsker, D.Tanré, J.P.Buis, A.Setzer, E.Vermote, J.A. Reagan, Y.J.Kaufman, T.Nakajima, F.Lavenu, I.Jankowiak and A.Smirnov. AERONET-A federated

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

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

18. Химический состав атмосферных осадков в 2015 году.

И.Д.Еремина

В 2015 г. были продолжены наблюдения за химическим составом осадков и их кислотностью. Собрано и проанализировано 140 проб твердых и жидких осадков, подвергнутых полному химическому анализу, и 24 пробы, в которых было определено только значение кислотности (из-за малого количества образца). Из них 73 пробы дождя, 43 – снега и 24 пробы – смешанных осадков. В теплый период было получено 7 проб снега, а в холодные месяцы – 15 проб дождевых осадков. Общее количество полностью проанализированных осадков составило 98,4% всех выпавших в этом году.

Кислотность осадков. Среднее годовое значение pH составило 4,89 pH – почти совпадающее со средним многолетним (4,88). Минимальное значение в 2015 г. равно 3.85 pH (дождь 25 мая 2015 г.), еще один очень кислый дождь (3,95 pH) выпал 10 июля 2015 г. Максимальное значение 7,90 pH получено для двух последних проб снега в году – 27 и 31 декабря 2015 г. В целом кислотных осадков в этом году выпало гораздо меньше, чем в предыдущие годы (около 19%) (рис.18.1). В теплый период их выпало всего 37,3 % от всех проб дождей (а в прошлом – более половины - 56%), а в холодные месяцы 2015 г., как и в 2014 г., кислотных осадков не было.

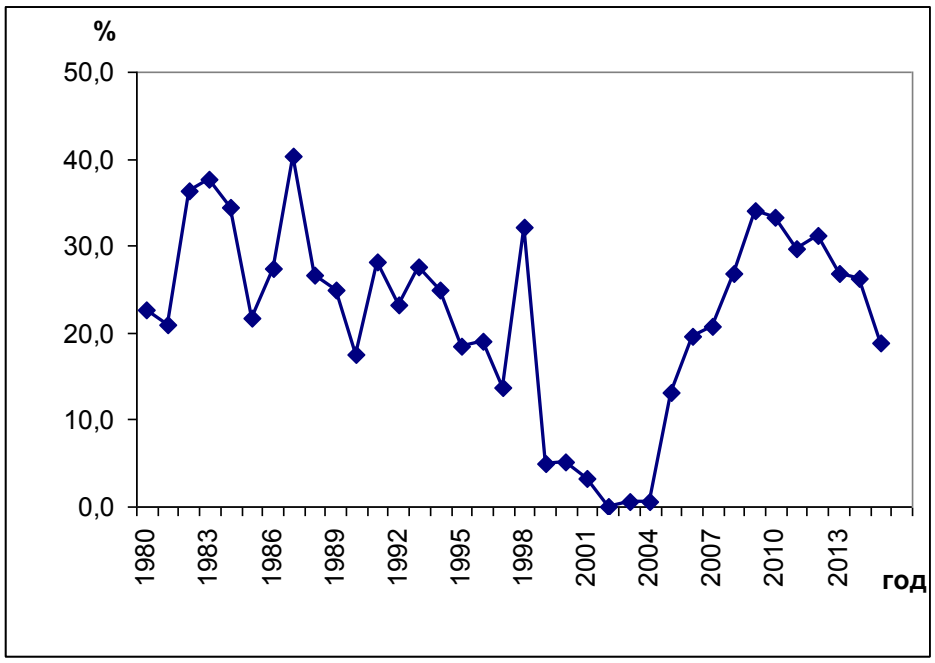


Рисунок 18.1. – Доля кислотных осадков за все годы наблюдений

Среднее значение pH осадков за теплый период 2015 года равно 4,75 (среднее многолетнее 4,76 pH), а для холодных месяцев 6,07 pH (среднее многолетнее 5,51 pH). Видно, что разница в кислотности осадков теплого и холодного периодов 2015 г. довольно значительна (1,3 ед.pH), что объясняется полным отсутствием кислотных осадков в зимние месяцы этого года.

Распределение проб по градациям pH для всех проб (без разделения по агрегатному состоянию), а также для теплого и холодного периодов в 2015 г. представлено на рис. 18.2.

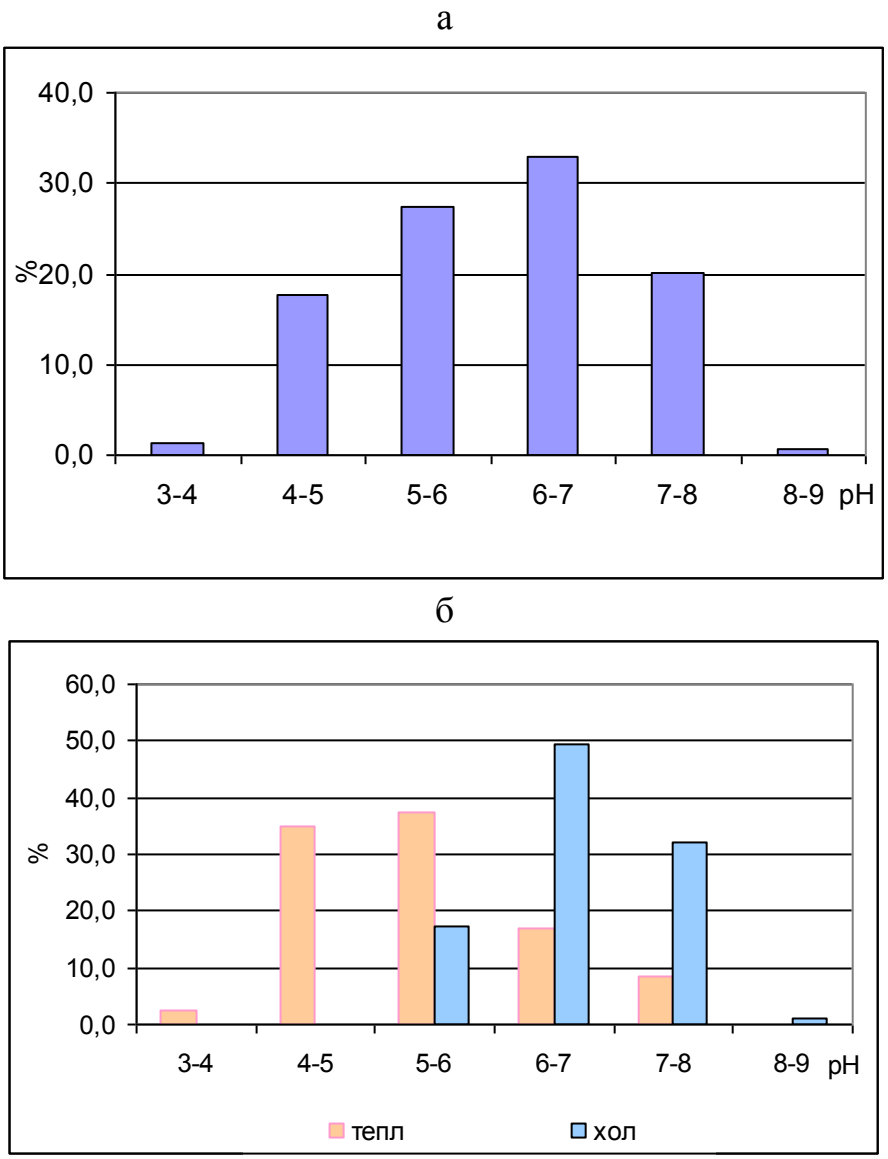


Рисунок 18.2 – Распределение проб осадков по градациям pH для всех осадков (а), а также для теплого и холодного периодов (б) 2015г.

Распределение всех проб 2015 г. (а) вполне соответствует среднему многолетнему, максимальное число проб имело значение от 6 до 7 pH. Кислотных осадков, как уже отмечалось, было меньше, чем в предыдущие годы, и их доля тоже практически совпала со средним многолетним значением (около 19%). Выпадение дождей с pH в интервалах 4-5 и

5-6 pH в 2015 г. примерно равновероятно (рис. 18.2 б), а дождей с нейтральными значениями 6-7 pH было почти в 2 раза меньше, чем в среднем многолетнем распределении. В распределении проб снега 2015 г. как всегда больше всего проб имело значение от 6 до 7 pH, и в холодные месяцы не было ни одной кислотной пробы с pH≤5,0.

Годовой ход pH осадков в 2015 г. (рис.18.3) примерно соответствует среднему многолетнему, и по-прежнему с мая по сентябрь среднемесячные значения осадков кислые (pH <5). Отметим резкий переход pH осадков от сентября к октябрю. Количество проб в эти месяцы почти одинаково (10 и 9 соответственно), но количество осадков в сентябре 94 мм, а в октябре 23 мм (при норме в эти месяцы около 60 мм). Получается, что в октябре осадки хоть и выпадали регулярно, но по количеству это были слабые дождики или снегопады, значит, весьма загрязненные, а у таких и pH всегда выше, чем у обильных осадков, вот и среднее значение получилось «с подскоком».

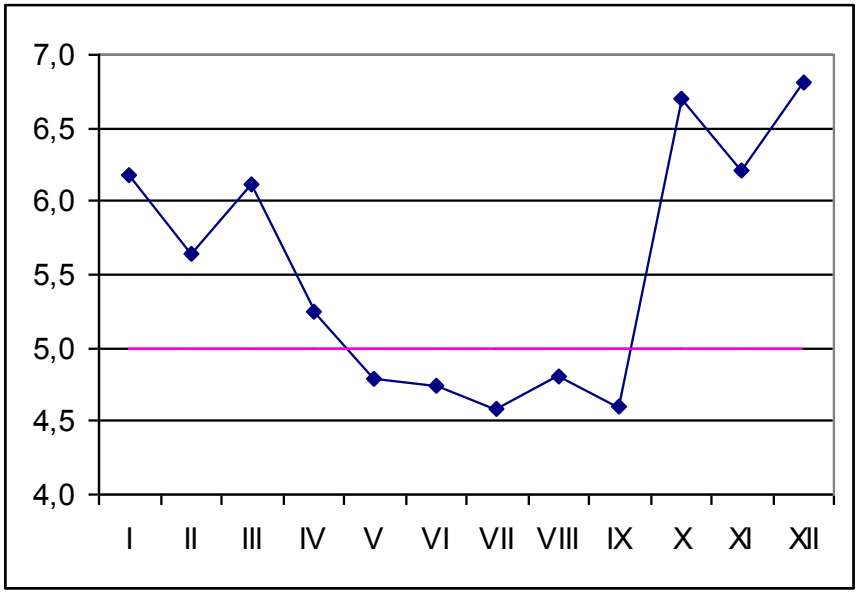


Рисунок 18.3 – Годовой ход pH осадков в 2015

Для обоснования на рис. 18.4 дана зависимость минерализации и pH осадков от количества выпавших осадков. То, что минерализация снижается при выпадении обильных осадков, это понятно – идет разбавление проб. Но вот давно подмечено, что более загрязненные осадки имеют высокие значения pH, а чистые пробы, собранные после частых обильных дождей, довольно часто оказываются более кислыми.

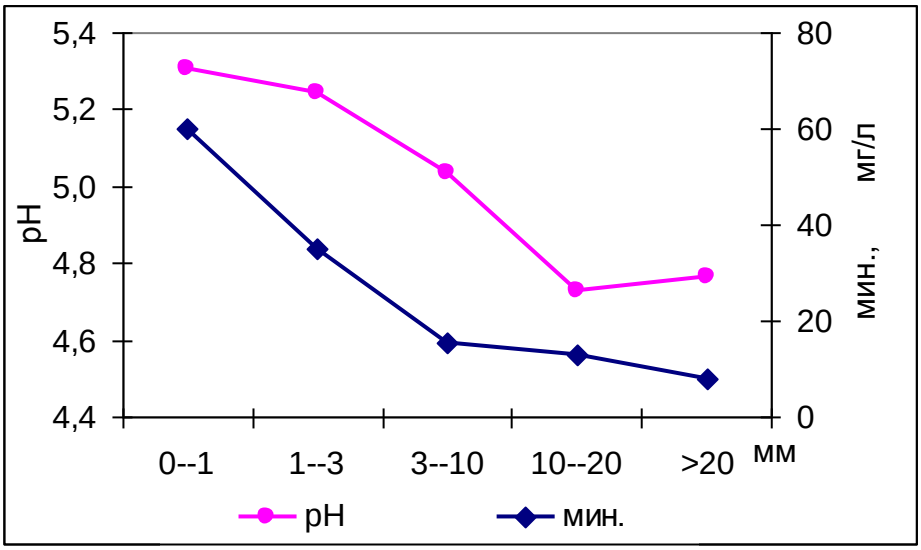


Рисунок 18.4. – Зависимость минерализации и pH осадков от количества осадков.

Ионный состав осадков. В табл.18.1 приведены осредненные данные химического состава осадков за 2015 г. по сравнению с прошлым годом и средними многолетними значениями. Видно, что годовые значения в 2015 г. почти всех ионов и минерализации ниже, чем в прошлом. Это понятно, поскольку прошлый 2014 г. был очень «сухой» (477,5 мм), проб было гораздо меньше, чем обычно, и, естественно, они были больше загрязнены.

Таблица 18.1. Средние значения концентраций ионов в осадках в 2015 г. по сравнению с 2014 г. и многолетними данными.

Сезон	Концентрация ионов, мг/л										
	pH	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	Сумма ионов
2015 г.											
Год	4,89	2,0	2,0	5,5	1,74	3,0	0,13	0,55	0,22	1,24	16,3
Тепл. (IV-X)	4,75	1,2	1,9	5,4	1,69	2,7	0,13	0,22	0,21	1,32	14,8
Хол. (I-III, XI-XII)	6,07	3,9	2,1	5,6	1,86	3,7	0,14	1,37	0,25	1,05	20,0
2014 г.											
Год	4,90	1,5	2,4	**7,2**	1,97	3,7	0,13	0,62	0,21	1,36	19,2
Тепл. (IV-X)	4,72	0,8	2,3	**7,6**	1,93	3,6	0,14	0,29	0,23	1,49	18,4
Хол. (I-III, XI-XII)	6,14	2,8	2,6	**6,5**	2,04	4,0	0,11	1,25	0,18	1,13	20,6
Многолетние данные (1982-2014 гг)											
Год	4,88	2,9	4,7	3,5	1,81	3,2	0,18	0,38	0,17	0,91	17,6
Тепл. (IV-X)	4,77	2,0	4,7	3,7	1,73	3,0	0,18	0,22	0,18	1,05	16,7
Хол. (I-III, XI-XII)	5,51	4,8	4,4	3,0	1,99	3,6	0,17	0,74	0,14	0,64	19,4

Исключение составляет годовая концентрация гидрокарбонатов – годовая и средне-сезонные концентрации ионов HCO_3^- выше в 2015 г., чем в прошлом году (но ниже многолетних). Отметим большие концентрации хлоридов - они меньше прошлогодних, но по сравнению с многолетними и предыдущими годами явно растут (рис. 18.5)

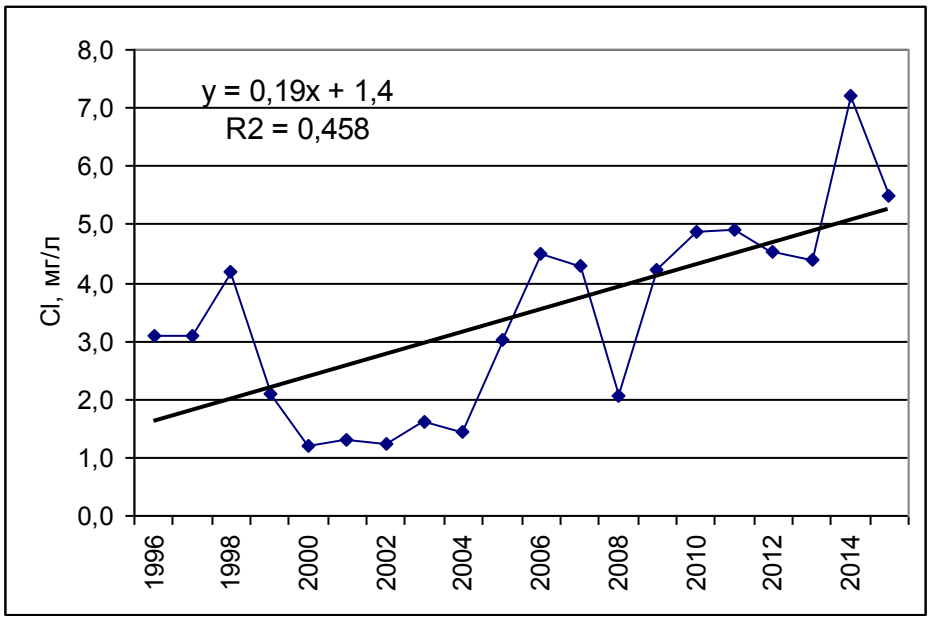


Рисунок 18.5 – Средние годовые концентрации хлоридов за последние 20 лет

По сравнению с многолетними значениями больше стало и натрия, особенно в зимнее время (даже по сравнению с «сухим» прошлым годом), а также ионов аммония. А вот сульфатов становится все меньше, и их концентрации по сезонам практически не различаются, как и средние концентрации нитратов, магния и калия (табл. 18.1).

Годовой ход минерализации осадков 2015 г. по сравнению с многолетним представлен на рис. 18.6. Несмотря на то, что по количеству выпавших осадков год был близок к норме, малое количество осадков в марте дало максимум минерализации в 2 раза превышающий многолетний. Есть и вторичные пики – в августе, а также в октябре (количество осадков 29 и 23 мм соответственно).

Аналогичный годовой ход наблюдается для средних концентраций всех катионов и анионов (рис. 18.7).

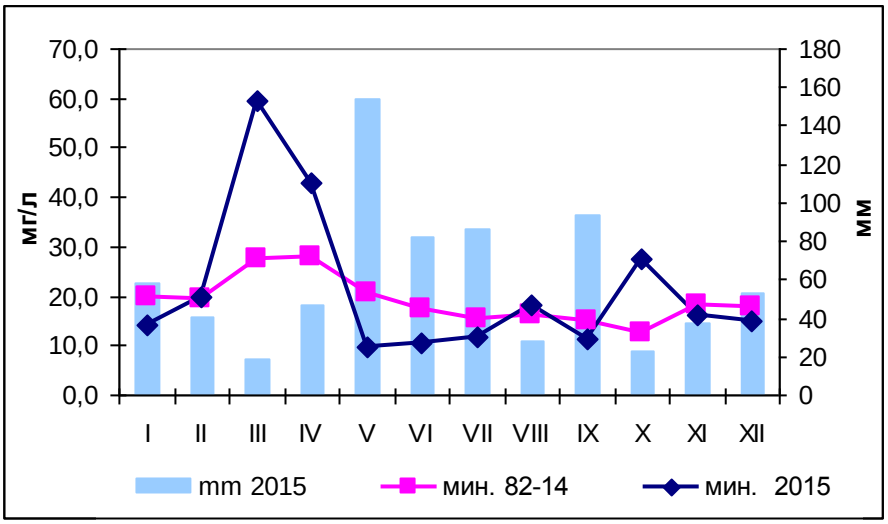


Рисунок 18.6 – Годовой ход минерализации осадков 2015 г. по сравнению с многолетним

а б

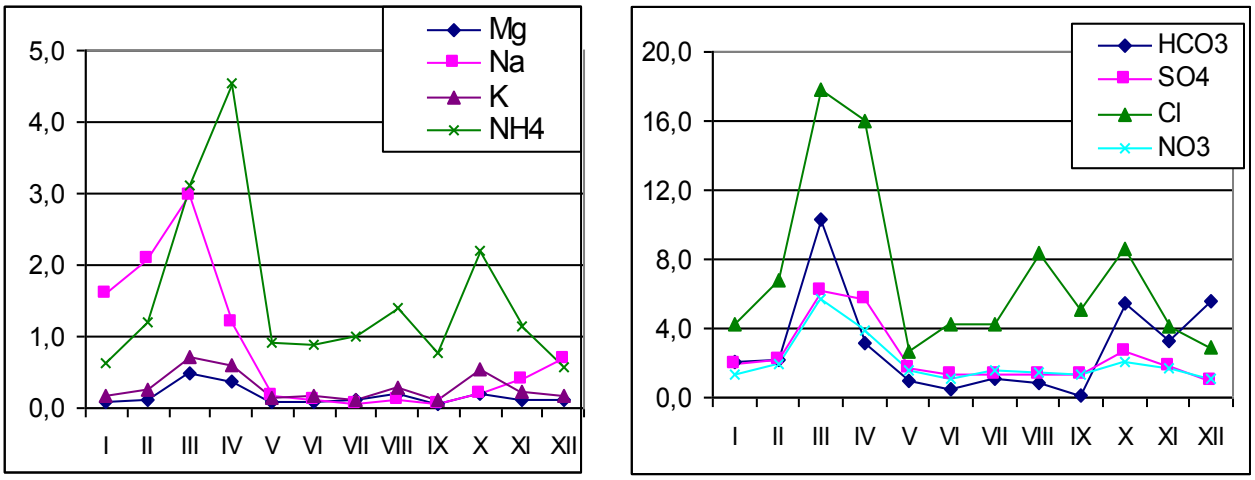


Рисунок 18.7 – Годовой ход катионов (а) и анионов (б) в осадках 2015 г.

Распределение проб осадков по градациям минерализации в 2015 г. обычное – максимальное число проб не превышает значение 20 мг/л (рис.18.8). Исключения были в 2008, 2010 и 2013 гг. – тогда максимальное число проб имело значение минерализации ≤10 мг/л. Как правило, это следствие большого количества осадков, выпавших в году, и/или большого количества обильных дождей. За все годы наблюдений наблюдался один раз максимум проб в году с минерализацией 20-30 мг/л (2006 г.) и один раз - 30-50 мг/л (1991 г.). Осадки 1991 г. вообще были наиболее загрязненными за весь период наблюдений

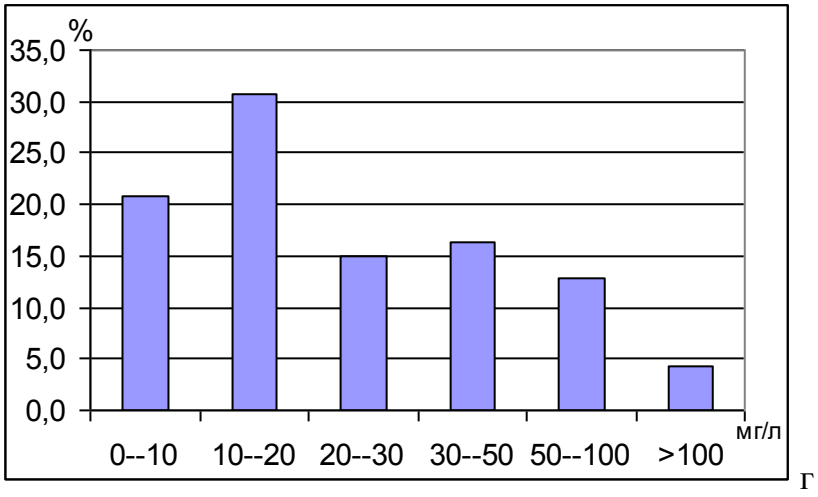


Рисунок 18.8 – Распределение проб осадков по градациям минерализации в 2015 г.

(средняя минерализация 27,0 мг/л), и тогда же наблюдалась максимальная концентрация сульфатов (10,9 мг/л), что явилось следствием извержения вулкана Пинатубо.

Сравнительное содержание всех ионов в осадках (в мк-экв/л) показано на рис.18.9. Содержание катионов не претерпевает больших изменений в течение всего периода наблюдений. Преобладающим катионом является всегда ион кальция. И далее средние годовые значения катионов убывают в следующем порядке: $Ca^{2+}>NH_4^{+}>Na^{+}>H^{+}>Mg^{2+}>K^{+}$, практически ничем не отличаясь от многолетнего порядка. Отметим только небольшое увеличение ионов аммония и натрия в 2015 г. по сравнению с многолетними данными.

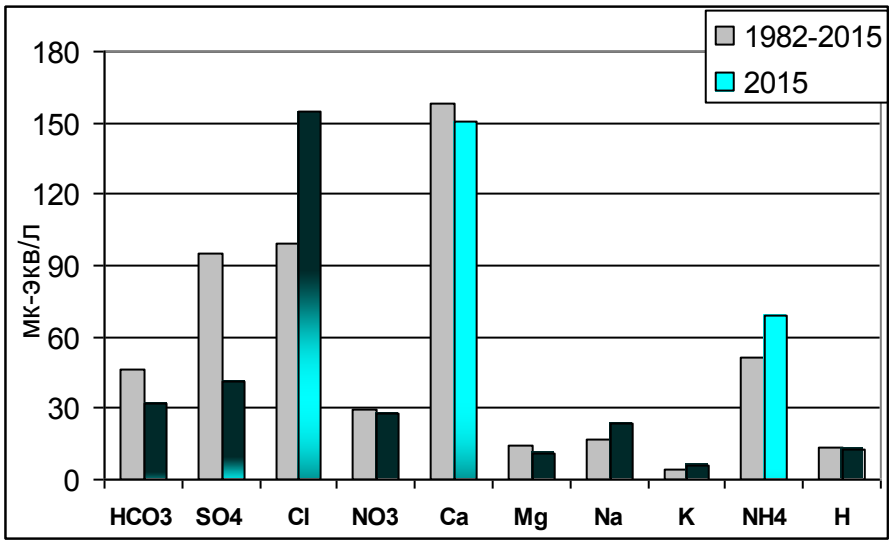


Рисунок 18.9 – Сравнительное содержание всех ионов в осадках 2015 г. по сравнению со средними многолетними

Что касается содержания анионов, то тут постоянно происходят какие-то изменения. Первые 20 лет наблюдений почти без исключений преобладающим анионом, судя по средним годовым значениям, был сульфат. Затем, в период с 2000 по 2004 гг., когда практически не было кислотных осадков, на первом месте был анион гидрокарбоната. А с 2005 г. до настоящего времени с единственным исключением в 2008 г. среди анионов каждый год преобладает хлорид-ион. И количество его растет столь заметно, что даже в многолетних данных за все годы наших наблюдений (1982 – 2015 гг.) относительная концентрация хлорида (100 мк-экв/л) стала превосходить таковую для сульфат-ионов (95 мк-экв/л) (рис.18.9). А в 2015 г. средняя годовая концентрация Cl^--иона превосходит среднюю концентрацию ионов SO_4^{2-} в 4 раза! По сравнению с многолетним значением в этом году немного меньше гидрокарбонатов, а содержание нитратов практически не меняется на протяжении многих лет.

В разовых пробах осадков 2015 г. также из 140 случаев в 122 преобладали хлориды (87,1%), и только в 18 – сульфаты. Интересно, что из 18 проб с преобладанием сульфата 11 относятся к декабрю. Преобладающий катион, как обычно, кальций (88,6% проб), и только в 5,7% случаев преобладал ион аммония, а в 3,6 % - ион натрия (в основном в январе и феврале).

Поступление минеральных солей с атмосферными осадками рассчитывали по формуле (1)

$$\mathbf{D}, \text{ кг/га в год} = \mathbf{C}_{ср.} \times \Sigma\mathbf{m} \times 10^{-2} \qquad (1)$$

где $\mathbf{C}_{ср.}$ – средняя концентрация иона, мг/л; Σm – сумма осадков за год, мм. Коэффициент 10^{-2} дает результат расчета выпадения компонентов в кг на гектар, можно рассчитывать и на км^2. В 2015 г. на поверхность земли вместе с атмосферными осадками выпало 119,9 кг/га минеральных солей (многолетнее годовое значение составляет 125,4 кг/га год), табл.18.2.

Больше всего на поверхность земли в этом году выпало хлоридов (40,3 кг/га в год), 18,5% солей кальция, примерно по 11-12% - гидрокарбонатов, сульфатов и нитратов. Отметим, что общее количество солей, выпадающих с осадками, заметно снизилось. До2000 г. среднее значение суммы выпадений составляло примерно 140 кг/га в год, а в последние годы в среднем 108 кг/га в год. Минимальное значение этой величины было получено в 2002 г (81,6 кг/га), а максимальное – в 1991 г. (229,5 кг/га).

Таблица 18.2. Выпадение ионов с атмосферными осадками

	ионы										
Сезон	H	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	Сумма
Выпадение ионов в 2015 г											
кг/га	0,1	14,4	14,4	40,3	12,8	22,2	1,0	4,0	1,6	9,1	119,9
%	0,1	12,0	12,0	33,6	10,6	18,5	0,8	3,4	1,3	7,6	
Многолетние данные (1982-2015)											
кг/га	0,09	20,1	32,5	25,2	12,9	22,6	1,3	2,8	1,2	6,6	125,4
%	0,1	16,1	25,9	20,1	10,3	18,0	1,0	2,2	1,0	5,3	

Выводы

Среднее значение pH осадков за теплый период 2015 года равно 4,75, а для холодных месяцев 6,07 pH. Большая разница кислотности сезонных значений осадков объясняется отсутствием кислотных осадков в зимние месяцы этого года (как и в 2014 г.).

Количество кислотных осадков в 2015 г. по сравнению с 2009-2010 гг. уменьшилось на 15% по величине равно среднему многолетнему значению (около 19% в год).

Увеличение ионов хлорида в осадках в последние годы привело к тому, что даже средние годовые значения, но и многолетнее значение хлорида в относительных единицах (мк-экв/л) превысило значение сульфат-иона, хотя преобладающим ионом по средним многолетним данным всегда был сульфат.

19. Особенности аэропалинологического состава атмосферы в 2015 году

Северова Е.Э., Волкова О.А., Полевова С.В.

Кафедра высших растений Биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Наблюдения за аэропалинологическим составом атмосферы проводили с 10 марта по 10 сентября при помощи волюметрического пыльцеуловителя Буркарда по стандартной методике (Принципы и методы, 1999). Всего за период наблюдения в атмосфере были обнаружены пыльцевые зерна 38 таксонов, 18 из которых были отмечены в составе спектра единично. Пыльца, относящаяся к 20 палинологическим типам, представляет опасность с аллергологической точки зрения. Кроме пыльцевых зерен, в препаратах фиксировали споры грибов из родов *Cladosporium* и *Alternaria*.

Вегетационный сезон 2015 года можно условно разделить на три периода, различающихся по качественному и количественному составу пыльцевого спектра. Первый период пришелся на 10 марта - 20 мая и связан с цветением деревьев.

Первыми в воздухе были зафиксированы пыльцевые зерна ольхи (*Alnus*) и орешника (*Corylus*) – для обоих таксонов было отмечено очень раннее начало пыления по сравнению с многолетними данными. Начало пыления ольхи было зарегистрировано 15 марта, интенсивность пыления (суммарная концентрация пыльцы за сезон) была ниже средней многолетней и составила 1306 пыльцевых зерен в $м^3$ воздуха ($пз/м^3$), пик пыления пришелся на 21 марта (325 $пз/м^3$). Пыление орешника началось 15 марта. В 2015 году была зафиксирована самая высокая интенсивность пыления за весь период наблюдения (1126 $пз/м^3$), в 4 раза превышающая средние многолетние значения. Пик пыления пришелся на 20 марта и составил 163 $пз/м^3$. Анализ многолетней динамики пыльцевой продуктивности орешника выявил ее значимое увеличение за время наблюдений ($p=0,0248$) (рис.19.1).

Раннее начало пыления отмечено также для тополя (*Populus*, 27 марта) и ивы (*Salix*, 8 апреля), опережение по сравнению со средними сроками составило 15 и 7 дней соответственно. Интенсивность пыления тополя составила 3479 $пз/м^3$, что в два раза превысило средние многолетние значения, пик пыления пришелся на 12 апреля (1404 $пз/м^3$). Сходное начало пыления было зафиксировано ранее в 2011 и 2012 гг. Пыление вяза (*Ulmus*) и клена (*Acer*) в 2015 соответствовало средним показателям: начало пыления было отмечено 11 и 25 апреля, интенсивность пыления составила 352 и 293 $пз/м^3$ соответственно. Пыление ясеня (*Fraxinus*) началось 29 апреля, что на неделю позже

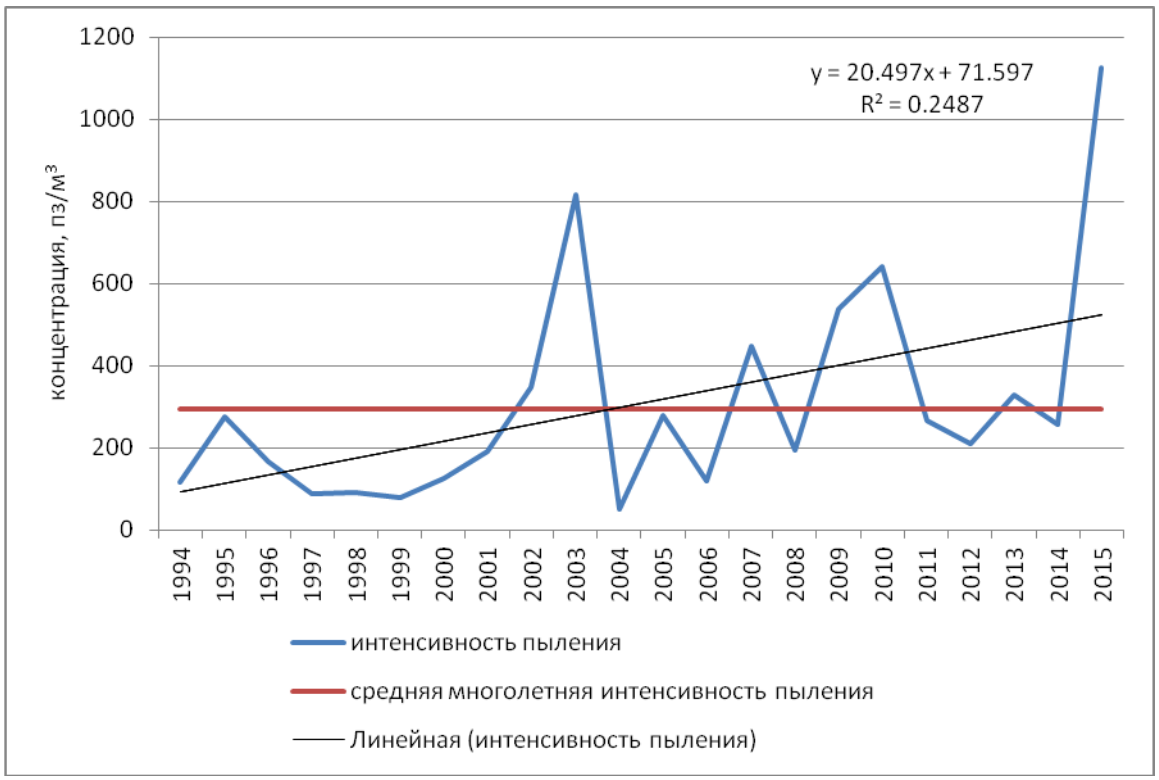


Рисунок 19.1. - Многолетняя динамика интенсивности пыления орешника (*Corylus*), 1994-2015

средних многолетних показателей, интенсивность пыления была ниже средней, пик пыления пришелся на 10 мая (52 пз/м^3).

Абсолютной доминантой спектра в первый период пыления является пыльца березы (*Betula*) – на ее долю в 2015 году пришлось 87% от всей пыльцы, зарегистрированной в период с 10 марта по 20 мая (рис. 19.2).

Начало пыления березы было зафиксировано 28 апреля, что на 5 дней позже средних сроков начала пыления за весь период наблюдений. Пик пыления березы пришелся на 29 апреля, концентрация пыльцы в этот день составила 9824 пз/м^3. Пыльцевая продукция березы существенно варьирует из сезона в сезон, для многих регионов показан двухлетний или трехлетний ритм пыления. Сезон 2015 года был сезоном высокой пыльцевой продукции, суммарная концентрация пыльцы березы (61101 пз/м^3) существенно превышала средние многолетние значения. Анализ пыльцевой продукции березы за весь период наблюдений выявил тенденцию к ее увеличению (p=0,0263). Сходные изменения были выявлены ранее и в других регионах и связаны, вероятно, с глобальными климатическими изменениями.

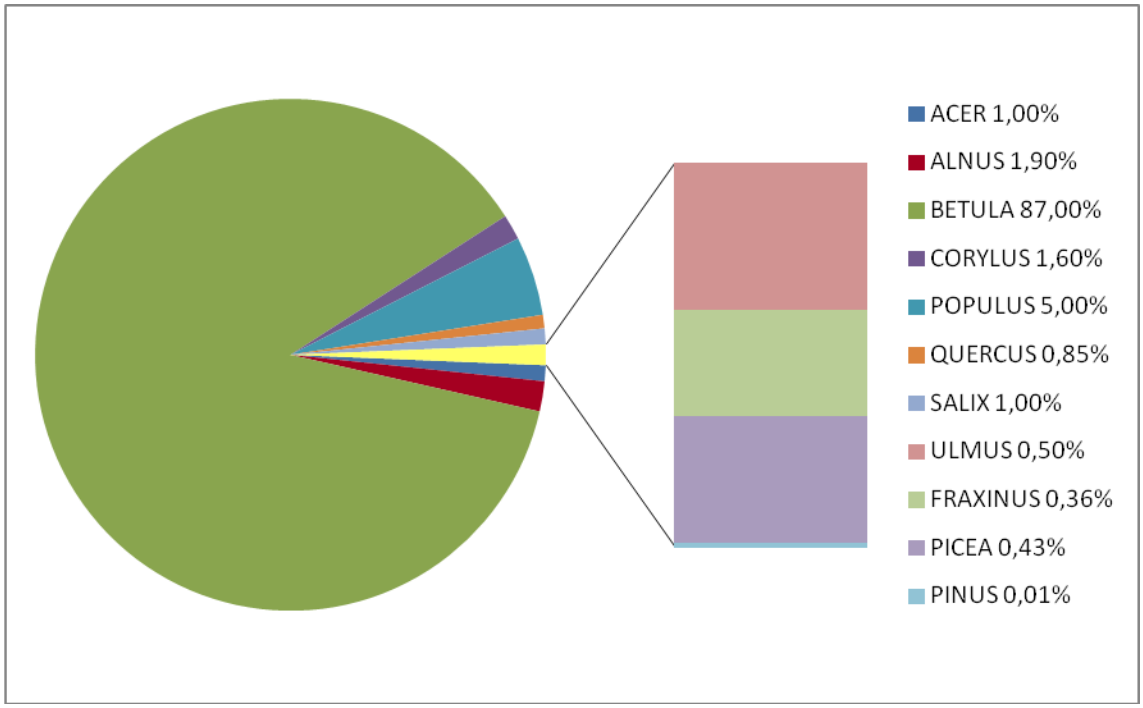


Рисунок 19.2. - Состав аэропалинологического спектра 10 марта - 20 мая

Первый период завершается пылением дуба, которое в целом соответствовало средним показателям. Начало пыления отмечалось 9 мая, пик пришелся на 12 мая (223 пз/м3), интенсивность пыления составила 797 пз/м^3.

Споры грибов в весенний период в составе пыльцевого спектра были очень немногочисленны.

Во втором периоде пыления (21 мая – 23 июля) основными компонентами спектра выступают пыльцевые зерна сосны (*Pinus*), крапивы (*Urtica*) и злаков (Poaceae), пыльца последних представляет наибольшую опасность с аллергологической точки зрения (рис.3.). Споры грибов в составе спектра отмечаются регулярно: в начале периода их концентрация невелика (суточная концентрация спор *Alternaria* не превышала 10-20 спор/ м^3, спор *Cladosporium* – 1000 спор/м^3), в конце периода концентрация спор *Cladosporium* в отдельные дни составляла более 5000 спор/м^3, концентрация спор *Alternaria* – 50-70 спор/м^3 (рис.19.4).

Пыление сосны и злаков в 2015 году происходило почти синхронно, начало пыления злаков (30 мая) соответствовало средним многолетним. Интенсивность пыления составила 1492 пз/м^3, что соответствует средним показателям, пик пыления пришелся на 29 июня (92 пз/м^3). Пыление сосны началось на неделю позже средних сроков (21 мая), интенсивность пыления (17108 пз/м^3) в 5 раз превысила средние многолетние значения и в 2,5 раза -

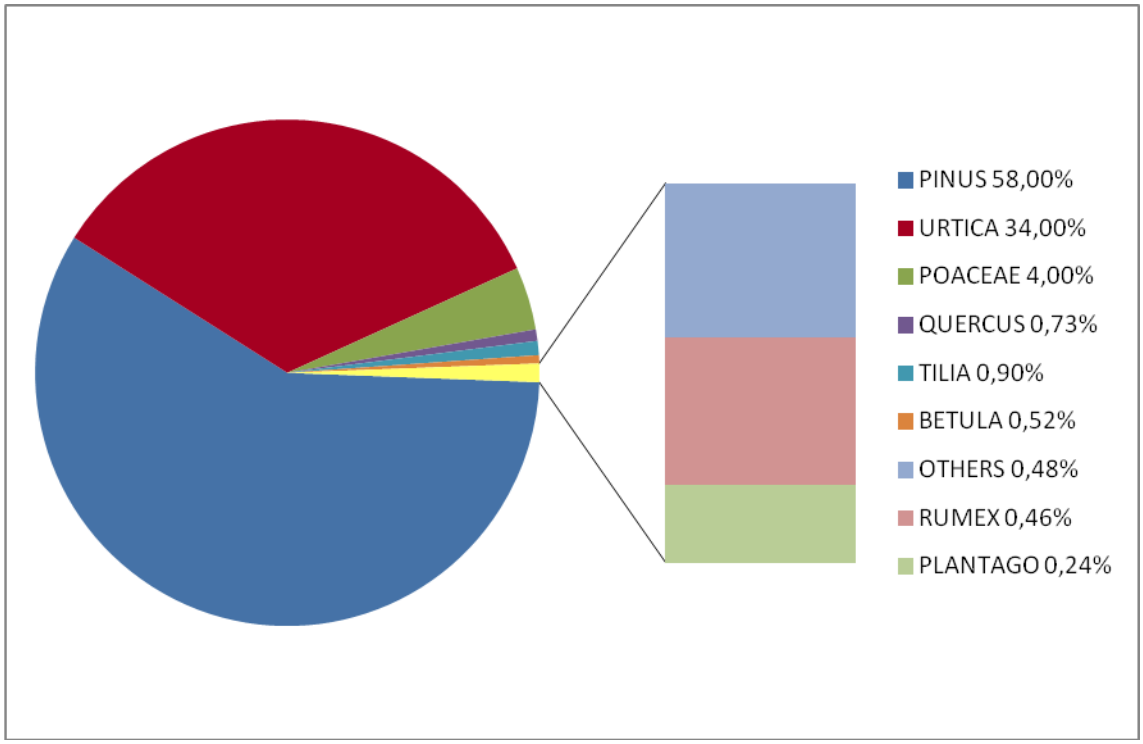


Рисунок 19.3. - Состав аэропалинологического спектра 21 мая – 23 июля

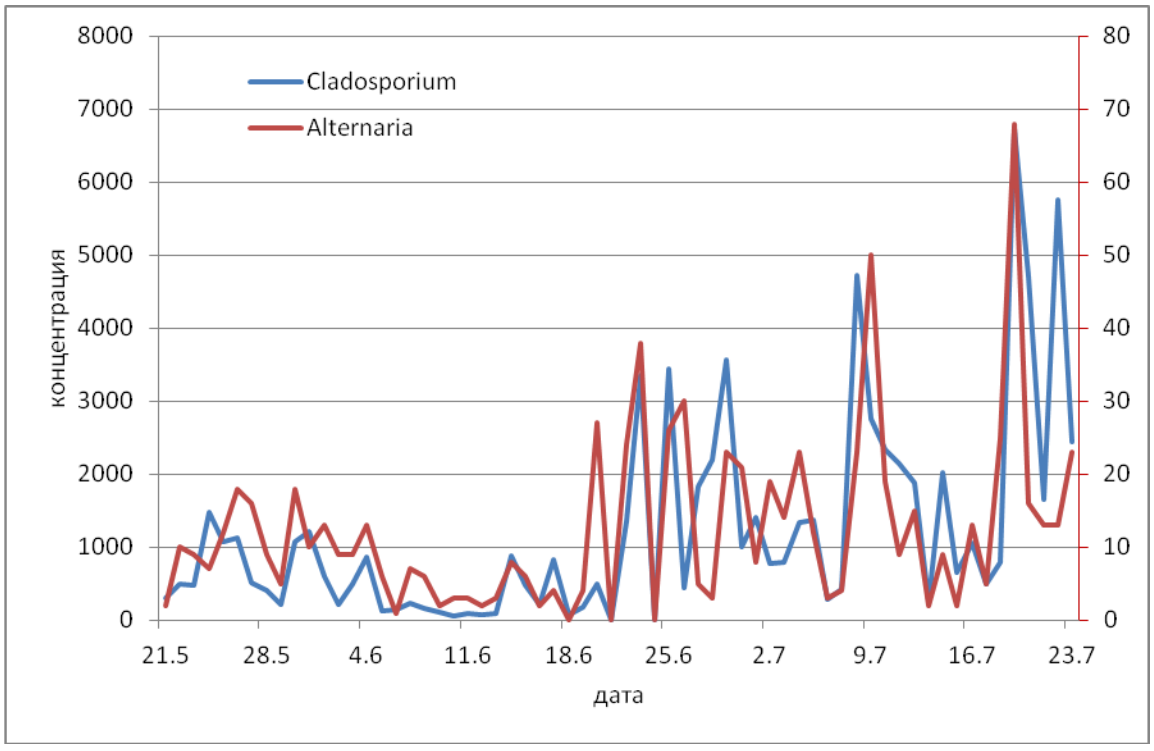


Рисунок 19.4. – Динамика спороношения Cladosporium и Alternaria, 21 мая – 23 июля

предыдущий максимум, отмеченный в 2010 г. Пик пыления пришелся на 26 мая и составил 13888 пз/м^3, что в 10 раз превышает средние значения.

Пыление крапивы началось 14 июня, что соответствует средним срокам, интенсивность пыления (17438 пз/м^3) в два раза превышала средние показатели. Пик пыления наблюдался 26 июля, он составил 985 пз/м^3, что в 1,7 раза превышает средние значения. Анализ пыльцевой продукции крапивы за весь период наблюдений выявил отчетливую тенденцию к ее увеличению (p=0,0004).

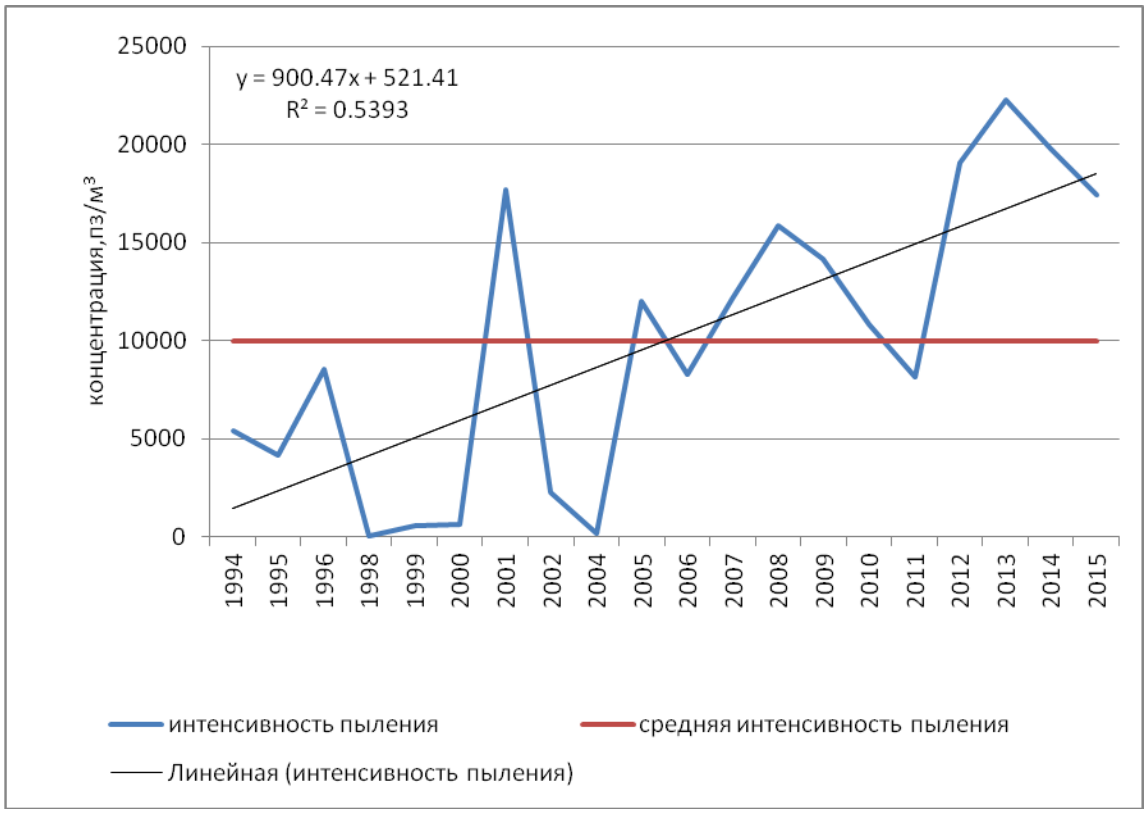


Рисунок 19.5. - Многолетняя динамика интенсивности пыления крапивы (*Urtica*), 1994-2015

Третий период пыления приходился на 24 июля – 10 сентября и отличался высокой концентрацией спор грибов: максимальная суточная концентрация спор *Alternaria* составила 222 спор/м^3 (27 июля), спор *Cladosporium* – 9990 спор/м^3 (30 июля). Во второй половине августа концентрация спор грибов стала снижаться и составляла в среднем 10-20 спор/м^3 для *Alternaria* и 1000 спор/м^3 для *Cladosporium*. В пыльцевой части спектра доминировала пыльца крапивы (*Urtica*) и полыни (*Artemisia*), в качестве маркера спектра этого времени можно отметить также пыльцу маревых (Chenopodiaceae) (рис.19.6).

Начало, продолжительность и интенсивность пыления полыни в 2015 году соответствовало многолетним наблюдениям. Начало пыления пришлось на 22 июля, интенсивность составила 1874 пз/м^3, пик пыления был отмечен 9 августа и составил 316

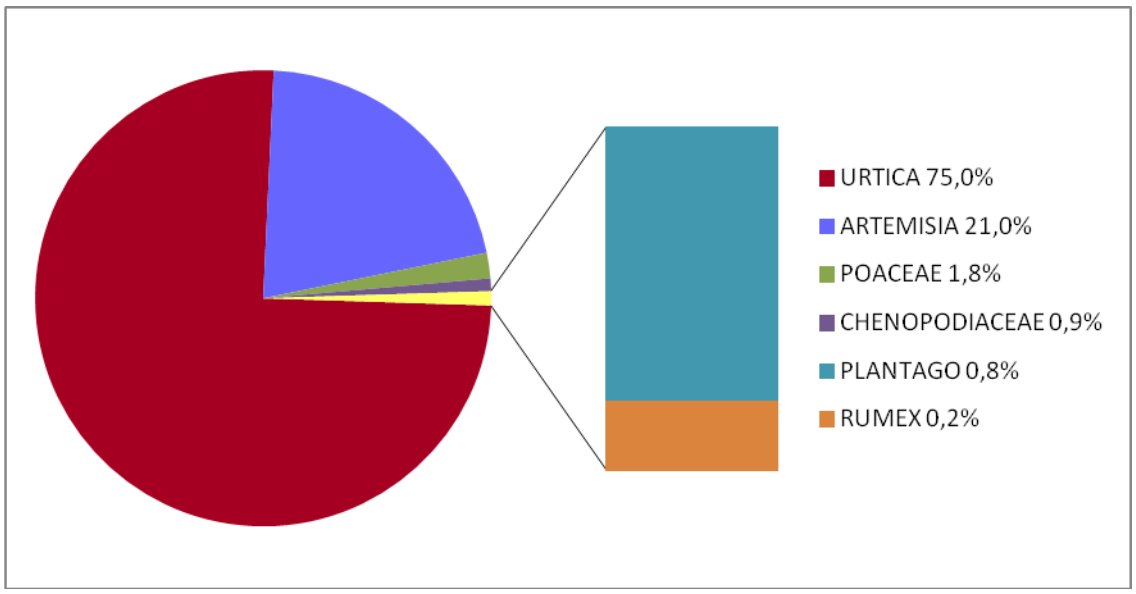


Рисунок 19.6. - Состав аэропалинологического спектра 24 июля – 10 сентября

пз/м^3. Пыльца амброзии (*Ambrosia*) в составе аэропалинологического спектра в 2015 г. не была зарегистрирована.

Таким образом, сезон пыления 2015 года отличался ранним началом и интенсивным пылением раннецветущих деревьев (ольхи, орешника, тополя, ивы) и очень интенсивным пылением орешника и сосны. Пыления завершилось к началу сентября, что соответствует многолетним наблюдениям.

Исследования проводились при финансовой поддержке гранта Российского Научного Фонда (РНФ) № 14-50-00029.

Литература

Принципы и методы аэропалинологических исследований / Под ред. Н.Р. Мейер-Меликян, Е.Э. Северовой. М., 1999. 48с.

Часть IV. .Прикладные аспекты метеорологических наблюдений.

20. Изучение пространственно-временной неоднородности снежной толщи с использованием пенетрометра высокого разрешения SnowMicroPen на территории метеорологической обсерватории МГУ.

Комаров А.Ю., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Гребенников П.Б.
Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, НИЛ снежных лавин и селей

20.1. Вступление

Представляются результаты исследований снежной толщи, выполненных зимой 2014/15 года на площадке метеорологической обсерватории МГУ на Воробьевых горах. Исследования включали в себя регулярные замеры автоматическим датчиком толщины снежного покрова с дискретностью 1 раз в 15 минут (Москва), периодические наблюдения за строением снежной толщи в шурфе с определением температуры и плотности снега, измерения показателя сопротивления снега датчику пенетрометра высокого (4 Мкм) разрешения SNOWMICROPEN. Измерения сопротивления датчику выполнялись через 50 см по линии протяженностью 10 м.

Исследование направлено на изучение пространственно-временной изменчивости строения и свойств снежного покрова по вертикальному и горизонтальному профилям, автоматизированное выявление слоев по значениям твердости и ее дисперсии и обнаружение ослабленных слоев с определением их параметров. Установлено, что различия в толщине и взаиморасположении слоёв снежной толщи, сложенных различными типами снега (неоднородность снежной толщи) существенны даже в пределах одного равнинного ландшафта.

Актуальность использования подобных технологий связана необходимость оперативного получения максимально возможного количества информации о строении и свойствах снежного покрова на склонах и быстрой ее интерпретации для прогноза лавинной опасности в условиях значительной пространственно-временной неоднородности и изменчивости строения и свойств снежного покрова.

20.2. Методика

Изучению пространственно-временной изменчивости строения и свойств снежного покрова посвящены работы Л.А. Канаева, А.А. Чирковой, П.А. Черноуса и других авторов, в которых рассматриваются такие показатели как толщина снежного покрова и его отдельных слоев, плотность, сопротивление на сдвиг. Получение таких данных требует значительных временных и физических затрат на рытье шурфов и проведение измерений. Изучение твердости снега и ее изменчивости с использованием таких приборов как зонд Хефели было достаточно редким. К тому же, прибор позволял выявить только крупные слои внутри снежной толщи. Кроме того, следует принимать во внимание, что погрешности, связанные с «человеческим фактором» и субъективностью оценки могут быть значительны.

Новые возможности для изучения твердости снега дает разработанный в Швейцарском институте снеголавинных исследований (SLF) Snowmicropen (SMP) (Рис. 20.1, 20.2).

После установки прибора на поверхность снега движимый электромотором с постоянной скоростью щуп с датчиком сопротивления приложенному воздействию на конце фиксирует и записывает на флэш-карту значения через каждые 4 микрометра. Измерение прибором исключает ошибки, определяемые "человеческим фактором", такие как применение различных усилий, неверная регистрация значений, недобор пробы и пр.

Сопоставление полученных в ходе измерений значений с типовыми для слоев с определенной плотностью и размером зерен позволяет по установленным в Альпах закономерностям реконструировать без копания шурфов строение снежной толщи и, что особенно важно в снеголавинных исследованиях, выявлять лавиноопасные слои.

Рисунок 20.1. Щуп с датчиком сопротивления SMP.

Рисунок 20.2. Прибор SMP в работе

Цель настоящего исследования - апробация прибора SnowMicroPen в отличных от альпийских физико-географических условиях, выявление соответствия определенных средних значений измеряемого параметра и дисперсий определенным слоям в снежной толще, выявление в ней лавиноопасных слоев. Методика использования прибора заключается в периодических линейных (через определенные интервалы) измерениях. Происходит постепенное накопление массива информации и его обработка в специальных программах. Параллельно выполняются измерения толщины снежного покрова и отдельных его слоев, их плотности и размера зерен в шурфах и траншеях.

20.3. Результаты

По данным наблюдений в метеорологической обсерватории МГУ в Москве зимой 2014-2015 года снежный покров установился в первых числах декабря, а к 12 февраля достиг своей максимальной толщины 42 см, после чего началась его деградация, связанная с преобладанием положительных температур. Как видно на схеме (Рис. 20.3), период с декабря по середину февраля характеризовался периодическими оттепелями, в результате которых происходила активная трансформация снежной толщи с формированием новых горизонтов и различных структурных неоднородностей. Характерными чертами развития снежной толщи являются увеличение размера кристаллов, формирование многочисленных структурных неоднородностей (линз, корок, агрегатов и прочее), связанных с просачиванием жидкой воды во время зимних оттепелей и перекристаллизацией в периоды антициклональной активности.

Во время оттепелей рыхлая толща свежего снега насыщалась водой, формирую слои повышенной плотности при последующем промерзании.

Зимой 2014-2015 гг. на площадке метеорологической обсерватории МГУ был выполнен ряд из 6 последовательных наблюдений за строением снежной толщи в шурфе с определением температуры и плотности снега, измерением показателя сопротивления снега датчику. Рассмотрены такие показатели как строение и толщина снежного покрова и его отдельных слоев, значения плотности слоев, размер кристаллов в каждом из них.

Как видно на схемах (рис. 20.3, 20.4), в течение зимы происходило постепенное увеличение плотности снежной толщи и рост размера кристаллов. Так, в январе (13 и 28) значения плотности варьировали в пределах от 120 до 260 кг/м^3, со средними значениями около 200 кг/м^3. Преобладал мелкозернистый (МЗ) рыхлый оплавленный снег с размером

кристаллов менее 1 мм, к концу месяца начал формироваться горизонт глубинной изморози, проявляться огранка, размер кристаллов в нижней части толщи увеличился до 2 и более мм.

В феврале (12 и 27) толща претерпела значительные изменения — появились многочисленные структурные неоднородности (ледяные включения и корки, зоны разрыхления), средний размер кристаллов увеличился до 2 см — стал преобладать среднезернистый (СЗ) снег. Увеличился разброс значений плотности — от 120 до 400 кг/м^3, средняя плотность толщи также значительно возросла (250 кг/м^3). В марте перекристаллизация продолжалась — преобладали сильнольдистые слои крупнозернистого (КЗ) снега, значения плотности варьировали от 200 до 400 кг/м^3, при среднем значении около 300-320 кг/м^3.

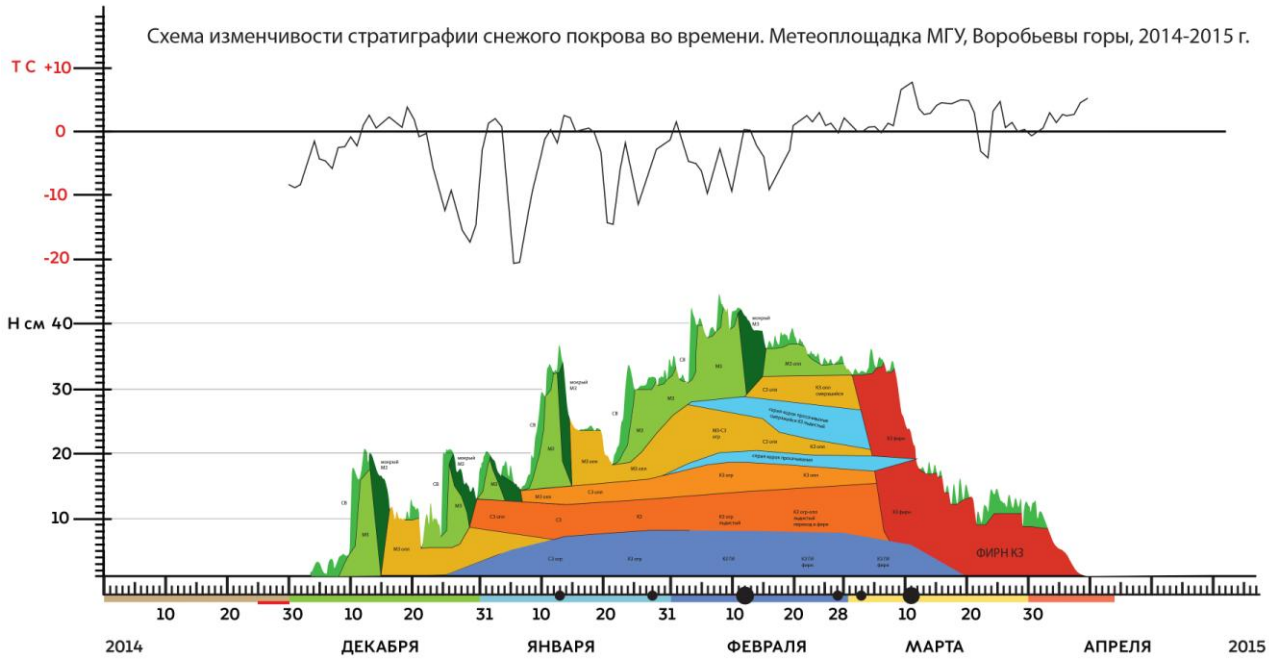


Рисунок 20.3. Схема изменчивости стратиграфии снежного покрова во времени. Площадка метеообсерватории МГУ. Зима 2014/2015 гг.

Было выполнено сравнение средних значений сопротивления и коэффициентов вариации для замеров в точке №1. Описание изменения значений сопротивления приложенному воздействию датчика представляется для периода максимального снегонакопления (12 февраля) и для периода, когда происходило активное таяние снежной толщи (11 марта).

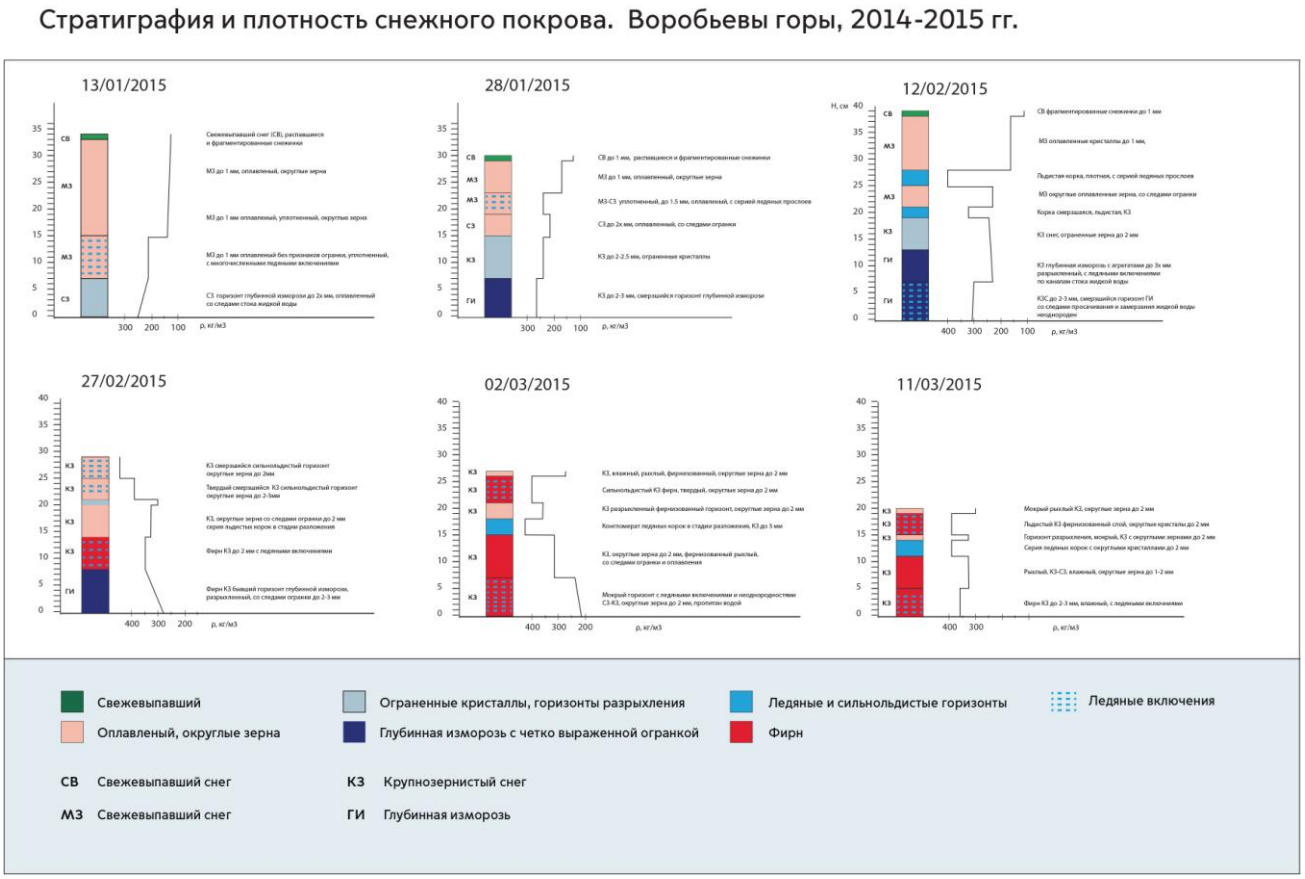


Рисунок 20.4. Стратиграфия и плотность снежного покрова на различные даты зимы 2014/2015 гг.

Определено, что наибольшие значения сопротивления и коэффициента вариации характерны для крупнозернистых и сильнольдистых слоев, в то время как минимальные значения сопротивления и вариации характерны для однородных слоев мелкозернистого и свежевыпавшего слабо метаморфизированного снега (Рис. 20.5, 20.6).

Так, 12/02 было выделено 8 слоев с различными свойствами. Усредненные по слоям значения сопротивления варьируют от 0,02 до 1,4 Н (0,62 Н если не брать в расчет прослои льда) (для измерений 12/02/15) и от 0,04 до 0,13 (для измерений 11/03/15). Причем наименьшие значения соответствуют однородным слоям СВ и МЗ снега (0,02 для слоя №1, 0,08 для слоя №2 для 12/02) (0,04 для слоя №1 для 11/03), а также участкам разрыхления и ГИ (0,08 для слоя №7 ГИ 12/02 или 0,07 для слоя №5 бывшая глубинная изморозь (ГИ) 11/03). Максимальные значения сопротивления наблюдаются в сильнольдистых слоях (0,36 для слоя №6 и 0,62 для слоя 8 (12/02)) (0,13 для слоя №2 (11/03)) (Рис. 20.7).

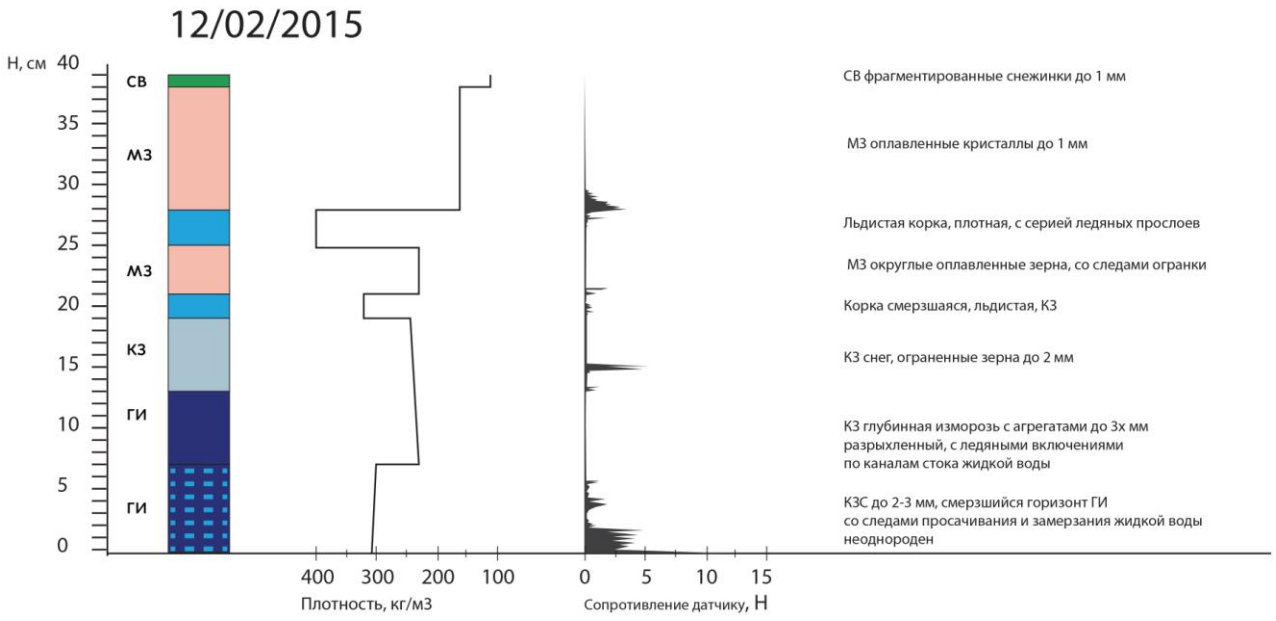


Рисунок 20.5. Данные SnowMicroPen в точке №1 12/02/15

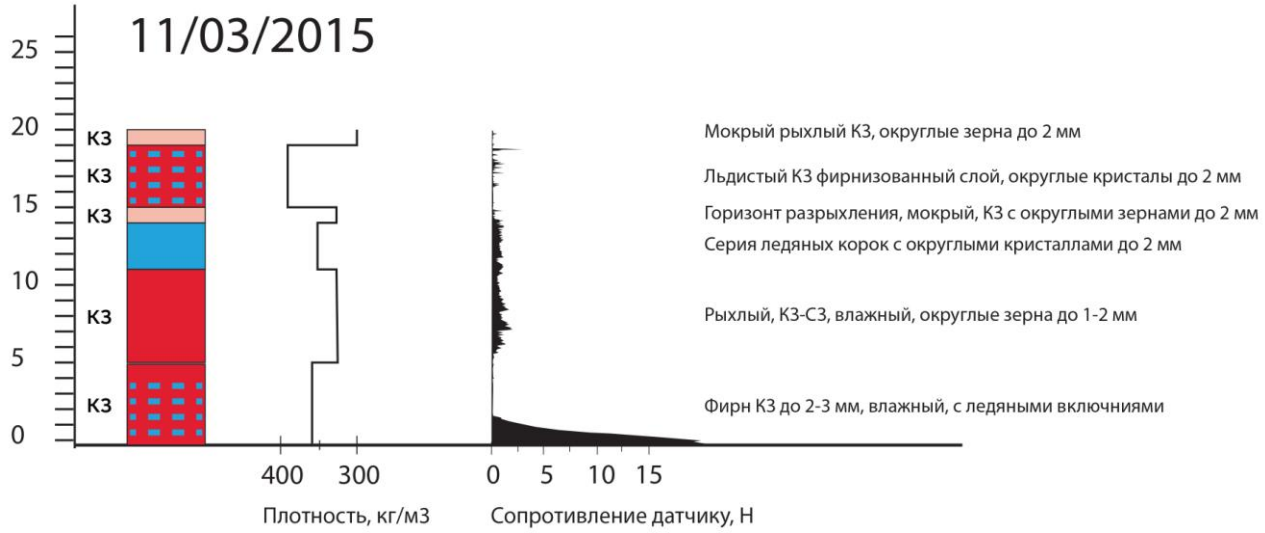


Рисунок 20.6. Данные SnowMicroPen в точке №1 11/03/15

В целом же, значение сопротивления увеличивается в соответствии с увеличением льдистости (и неоднородностей повышенной плотности) и размера кристаллов.

Аналогичным образом выглядит распределение коэффициента вариации — разброс значений максимален для сильнольдистых К3 слоев с многочисленными включениями и агрегатами (№6,8 для 12/02 и №2,6 для 11/03) и минимальны для однородных рыхлых горизонтов (№2,7 (0,3) для 12/02 и №3 (0,05 слой тонкий и довольно однородный) №5 (0,15) для 11/03).

12/02/15

№ слоя	Толщина слоя, см	Сопротивление, Н	Коэффициент вариации
1	0,7	0,022	1,0
2	9,2	0,086	0,3
3	3,9	1,008	1,0
4	4,6	0,129	0,5
5	3,9	1,389	1,5
6	5,5	0,364	1,4
7	7,0	0,082	0,3
8	5,8	0,623	0,9

11/03/15

Слой	Толщина слоя, см	Сопротивление, Н	Коэффициент вариации
1	0,8	0,04	0,25
2	4,2	0,13	1,48
3	1,0	0,08	0,05
4	3,3	0,10	1,05
5	3,3	0,07	0,15
6	3,3	0,10	0,41

Рисунок 20.7. Сравнение данных измерений SMP 12/02/15 и 11/03/15. Точка №1 (зона шурфа)

Были установлены следующие закономерности:

коэффициент вариации меньше там, где размеры кристаллов одинаковые, больше где разные;

чем больше разница в размере зерен, тем больше вариация;

чем тоньше слой, тем меньше вариация;

сопротивление меньше в слоях, где нет инородных включений и маленький размер кристаллов.

20.4. Пространственная изменчивость показателей сопротивления и вариации

В период максимального снегонакопления 12.02.15 были выполнены линейные (с интервалом 0,5 м) измерения сопротивления датчику. Они показали, что в верхней части (0-5см) снежной толщи (рыхлый снег низкой плотности без ледяных включений и неоднородностей) наблюдались значения в интервале от 0,02 до 0,07 Н, в средней (20-25

см — СЗ и КЗ снег с огранкой) — от 0,11 до 0,58 Н, в нижней (35-40 см — ГИ с ледяными включениями) от 0,06 до 10,7 Н. Такие значения свидетельствуют о значительной пространственной неоднородности в нижних горизонтах снежной толщи, в то время как верхний слой 0-5 см достаточно однороден по своим свойствам (Рис. 20.8).

Величина коэффициента вариации значительна, несмотря на визуальную однородность исследуемых слоев, и составляет от 0,1 до 0,6 для слоя 0-5 см (рыхлый снег низкой плотности без ледяных включений и неоднородностей), от 0,4 до 1,7 для слоя 20-25 см (СЗ-КЗ с огранкой) и от 0,1 до 1,2 для слоя 35-40 (ГИ с ледяными включениями).

0-5 см

Профиль	Сопротивление, Н	Коэффициент вариации
69	0,069	0,4
70	0,068	0,4
71	0,058	0,6
72	0,071	0,6
73	0,066	0,5
74	0,056	0,4
75	0,053	0,4
76	0,022	0,1
77	0,023	0,4
78	0,048	0,4

5-10 см

Профиль	Сопротивление, Н	Коэффициент вариации
69	0,095	0,2
70	0,110	0,8
71	0,093	0,3
72	0,103	0,2
73	0,098	0,1
74	0,089	0,1
75	0,086	0,0
76	0,046	0,4
77	0,464	1,1
78	0,081	0,3

10-15 см

Профиль	Сопротивление, Н	Коэффициент вариации
69	0,817	1,2
70	0,390	1,1
71	0,566	1,7
72	0,743	1,3
73	0,615	1,2
74	0,397	1,0
75	0,511	1,1
76	0,074	0,3
77	0,134	1,5
78	0,521	1,2

15-20 см

Профиль	Сопротивление, Н	Коэффициент вариации
69	1,002	1,9
70	0,266	1,8
71	0,335	2,1
72	0,437	2,3
73	0,284	2,1
74	0,274	2,4
75	0,543	2,4
76	0,388	1,3
77	0,834	1,6
78	0,160	1,3

20-25 см

Профиль	Сопротивление, Н	Коэффициент вариации
69	0,264	1,6
70	0,111	0,6
71	0,119	0,6
72	0,173	0,4
73	0,275	1,3
74	0,175	1,3
75	0,582	1,7
76	0,109	1,4
77	0,536	2,0
78	0,123	0,6

25-30 см

Профиль	Сопротивление, Н	Коэффициент вариации
69	0,326	1,5
70	0,098	0,5
71	0,214	1,2
72	0,195	1,3
73	0,106	0,2
74	0,199	1,5
75	0,557	1,9
76	0,057	0,2
77	0,074	1,3
78	0,360	2,0

30-35 см

Профиль	Сопротивление, Н	Коэффициент вариации
69	0,082	0,3
70	0,195	0,9
71	0,100	0,2
72	0,117	0,2
73	0,238	0,9
74	0,095	0,0
75	0,223	0,8
76	0,358	1,8
77	0,920	1,6
78	0,112	0,1

35-40 см

Профиль	Сопротивление, Н	Коэффициент вариации
69	0,603	0,8
70	0,127	0,8
71	0,203	1,1
72	0,206	0,6
73	3,132	0,8
74	0,313	1,2
75	0,276	0,5
76	0,059	0,1
77	10,776	0,8
78	0,540	1,2

Рисунок 20.8. Данные измерений SMP 12.02.15. Интервал измерений 0,5 м.

Подтверждается сделанный ранее вывод о том, что наибольшие значения вариации характерны для сильнольдистых КЗ слоев с неоднородным строением, наименьшие — для однородных МЗ слоев

Аналогичные измерения были выполнены 11/03/15 (Рис. 20.9). Они показали, что в верхней части (0-5см) снежной толщи (рыхлый КЗ снег) наблюдались значения в интервале от 0,09 до 0,26 Н (К от 1,5 до 3,1), в средней (10-15см — КЗ-СЗ фирнизованный снег) — от 0,02 до 0,85 Н (К от 0,2 до 1,5), в нижней (35-40см — ГИ с ледяными включениями) от 0,02 до 0,65 Н (К от 0,4 до 2,0). Такие значения свидетельствуют о значительной пространственной неоднородности во всех горизонтах снежной толщи в

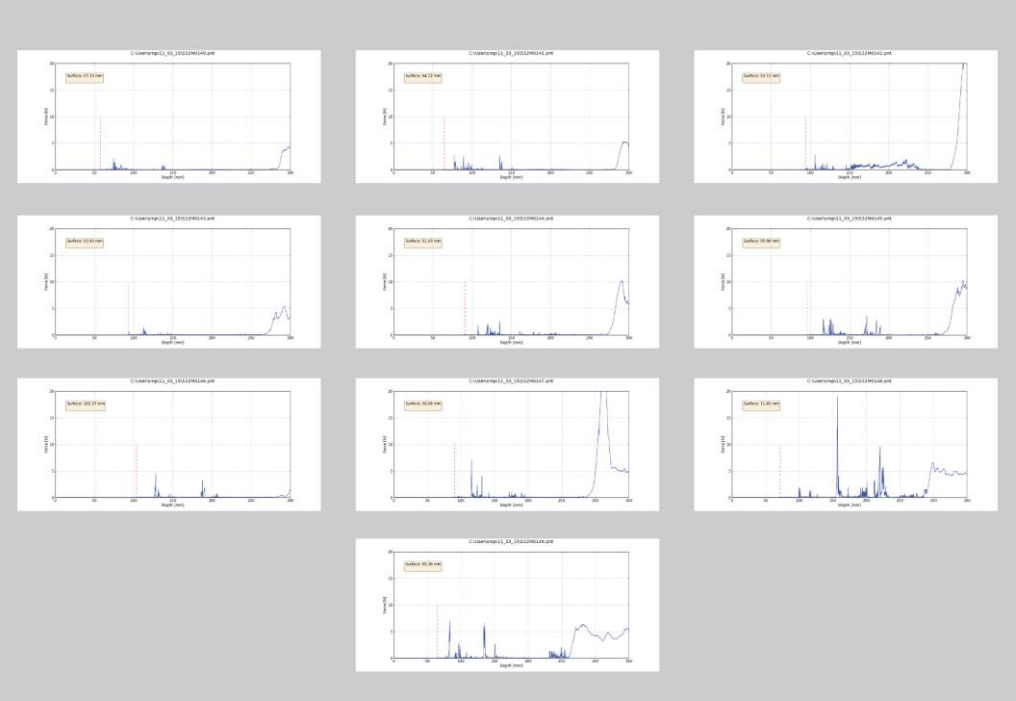


Рисунок 20.9. Данные измерений SMP 11.03.15. Интервал измерений 0,5 м.

период снеготаяния, что может быть связано с появлением многочисленных структурных неоднородностей при просачивании жидкой воды и еще промерзании в толще.

Средние для 11/03/15 значения толщины снежного покрова составили от 18 до 22,6 см.

Усредненные для всей толщи значения сопротивления составили от 0,08 до 0,45 Н, показателя коэффициента вариации — от 1 до 3.

20.5. Выводы

1. Хотя измерения твердомера дискретны (4 мкм), но они охватывают всю снежную толщу независимо от толщины отдельных субъективно выделенных слоев
2. Частота измерений твердости, осуществляемых твердомером, позволяет установить более детальные по сравнению с другими характеристиками изменения их по профилю - то есть можно выделить гораздо большее число слоев, нежели чем традиционными методами
3. Изменчивость значений сопротивления от слоя к слою (коэффициент вариации слоев) больше изменчивости их толщины и плотности.
4. Наибольшие значения сопротивления характерны для сильнольдистых

слоев КЗ снега и наименьшие - для однородных МЗ слоев единовременного накопления

5. Наибольшее значение коэффициента вариации наблюдаются в слоях со структурными неоднородностями в виде линз, корок, прослоев и пр, а также в слоях с высокой вариацией размера кристаллов. Соответственно, минимальные значения характерны для однородных рыхлых МЗ слоев единовременного накопления

Исследования проводились при финансовой поддержке проекта Российского Научного Фонда (РНФ) 16-17-00104.

21. Особенности годового цикла водоплавающих птиц на примере кряквы (*Anas platyrhynchos L.*)

К.В.Авилова

Кафедра зоологии позвоночных Биологического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова

Подсчет водоплавающих птиц зимой проводили ежегодно с 1998 по 2015 гг. в третье воскресенье января на всех свободных ото льда участках рек и других водных объектов Москвы, а летом – с конца июня до конца июля на большинстве освоенных водоплавающими птицами акваторий в границах МКАД. Это более 150-и замкнутых водоемов (озер, прудов, очистных сооружений) и 23 участка рек и каналов. Летом подсчитывали число утят в каждом выводке и определяли их возраст по шкале Ю.А.Исакова (1963). Сроки вылупления птенцов и дату откладки первого яйца самками вычисляли методом обратного отсчета (Oja, Poysa, 2007), исходя из возраста птенцов, среднего срока насиживания и среднего числа яиц в кладке (Птушенко, Иноземцев, 1968). Успешность размножения оценивали по числу утят в выводке и по соотношению общего числа молодых птиц и размножавшихся самок в конце июля.

Годовой цикл городской популяции кряквы *(Anas platyrhynchos L.)* отличается от цикла природной отсутствием сезонных миграций. Напротив, численность зимующих в городе птиц увеличивается в несколько раз по сравнению с летом благодаря прибывающим в город мигрантам. Зимовки кряквы в городе приурочены к свободным ото льда прудам и рекам на рекреационных территориях и в других часто посещаемых людьми местах, где утки получают регулярную подкормку. В Москве ежегодно образуется более 30-и незамерзающих акваторий, пригодных для зимовок водоплавающих птиц. Численность зимующих на водоемах города крякв обычно стабилизируется в ноябре и сохраняется до марта.

Зимний учет проведен 18.01.2015 г. Погода в день учета: облачно, температура воздуха 0-2°С, временами небольшой мокрый снег. Всего в 2014/15 гг. в Москве зимовало 32339 особей 15 видов водоплавающих птиц с резким преобладанием кряквы: 28122 или 91,75%. На Москве-реке зимовало 6654, на Яузе – 4775 и на остальных малых реках и прудах – 16693 кряквы. Среди последних наиболее крупные скопления, более тысячи зимующих птиц в каждом, образовались на Обводном канале Москвы-реки, на реках Сходне, Лихоборке, Чермянке, Городне и Битце, а также на

Царицынских и Борисовских прудах и на прудах зоопарка. Повсеместно число самцов превосходило число самок на 3-50%, чаще всего – на 30%. В Московском зоопарке селезней зимовало вдвое больше, чем самок. Численность кряквы выросла на 14,3% по сравнению с численностью зимой 2013/2014 гг. и в четыре раза относительно минимальной численности зимующих птиц в 1997/1998 г. При этом число птиц, зимующих на внутригородских водоемах и реках, выросло в 5,7 раз, а зимующих на Москве-реке – в 1,9 раза (рис.21.1).

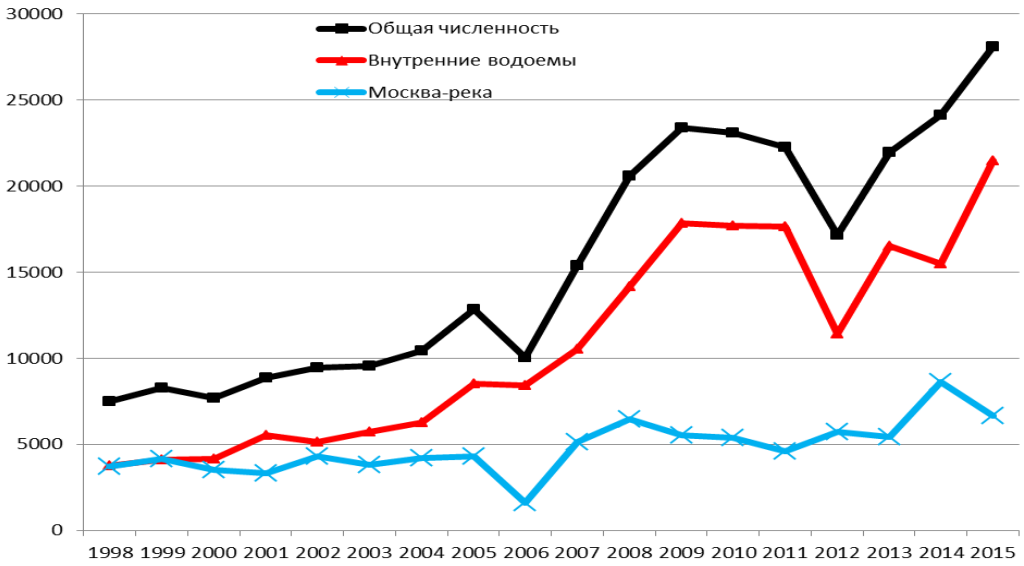


Рисунок 21.1. Численность зимующих крякв в 1998-2015 гг.

В марте часть зимовавших в городе уток скапливается на еще не освободившихся ото льда прудах, куда впоследствии приходят самки с утятами, и остается там, пока пруды не вскроются. Прирост числа гнездящихся самок положительно связан с приростом зимней численности крякв предшествующей зимой в течение всего периода наблюдений с 1998 года *($r=0.52$; $p=0.03$; $n=17$)*. В соответствии с ростом числа самок увеличивалось и общее количество птенцов *($r=0.88$; $p<0.001$; $n=18$)*.

Летом 2015 г. в Москве вывело птенцов около 870 самок крякв. Общее число утят в выводках составило более 4000. С 1998 года численность выводков выросла в 3,5 раза, численность утят – в 3,1 раза, число остальных взрослых птиц: самцов, не гнездившихся и потерявших выводки самок, выросло в 3,7 раза с 1200 до 4440 птиц (рис.21.2).

Период гнездования сильно растягивается, так как молодые самки гнездятся позднее старых, а птицы, потерявшие кладки или птенцов, гнездятся повторно. Расчетное время начала первых кладок 26.03.-03.04.2015 г, а начала последних – 14-20.06.15 г. Общая длина периода гнездования в городе превосходит большинство полученных в природе показателей.

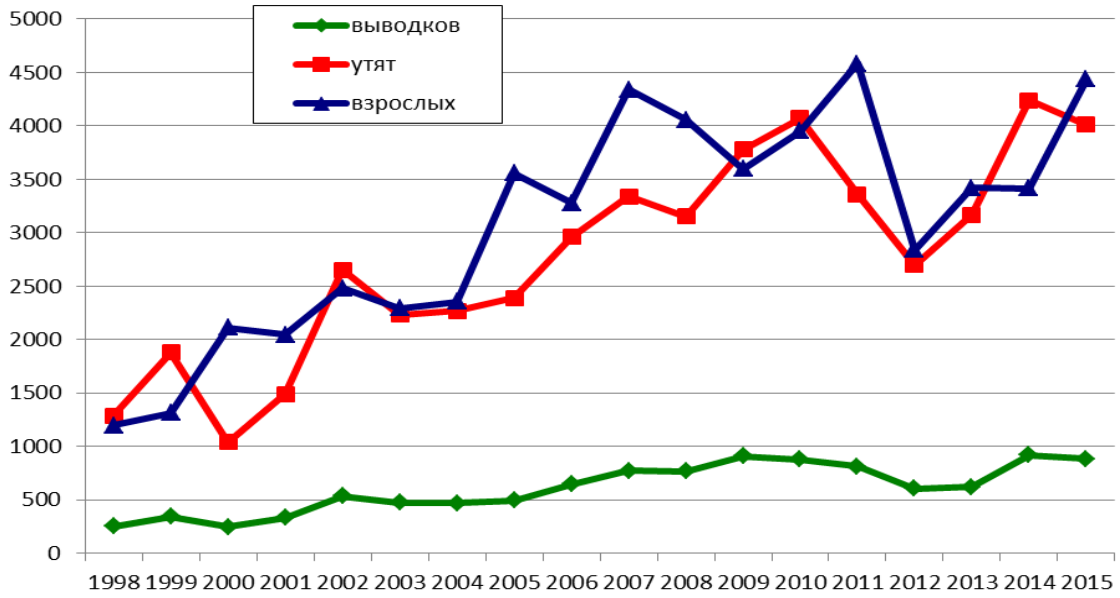


Рисунок 21.2. Численность крякв летом с 1998 по 2015 гг.

Время начала первых кладок у птиц − традиционная точка отсчета наступления благоприятной для гнездования ситуации. За прошедшие 18 лет, особенно с весны 2010 года, кряквы в Москве стали гнездиться раньше (*r=-0.60; r=0.008; n=18*): Вместо начала-середины апреля они стали приступать к кладке в третьей декаде марта. Это соответствует времени начала кладки у кряквы южных регионов России. У основной массы городских крякв дата откладки первого яйца связана с наступлением теплой погоды. Последняя определяется переходом среднесуточных температур воздуха через 0°С. В годы с ранней весной в размножении участвует на треть больше самок (*Z=2,22; p=0,03; n=18*), чем в годы с поздней. Число утят в выводке в годы с ранней весной также больше *(Z=2,04; p=0,04; n=18).* Известно, что в такие годы самки откладывают больше яиц (Михантьев, Селиванова, 2009).

В 2015 году с ранней весной у крякв с перехода средней суточной температуры через 0°С до начала кладки прошло 38 дней, а в 2013 году с поздней весной – 7 дней. В годы с поздней весной кряквы начинают кладку вскоре после перехода среднесуточных температур через 0°С или одновременно (рис. 21.3).

Диапазон изменчивости (стандартное отклонение) сроков даты перехода средней суточной температуры через 0°С *(C=16.2)* почти в два раза больше, чем диапазон изменчивости сроков начала гнездования *(C=8.7)*. Сроки размножения кряквы, таким образом, упорядочены относительно более изменчивых сроков наступления устойчиво теплой погоды.

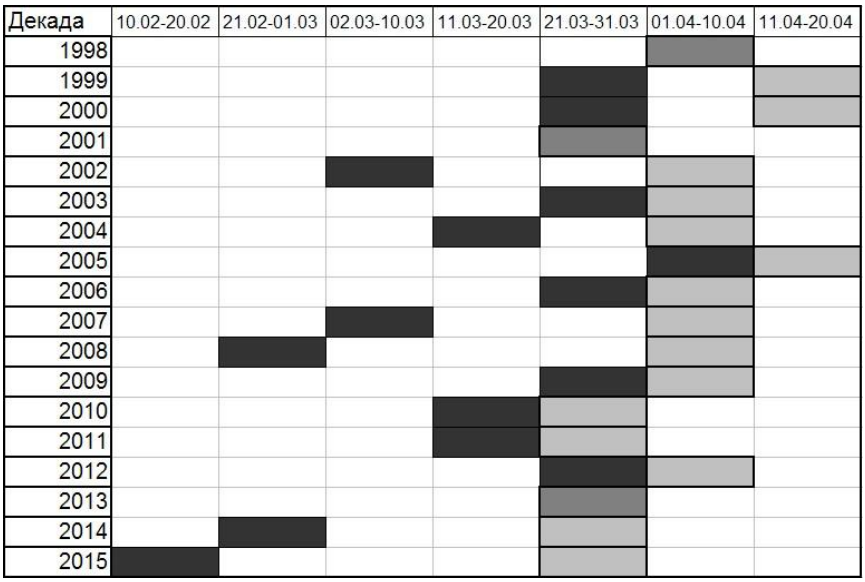


Рисунок 21.3. - Даты откладки 1-го яйца кряквой относительно дат перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°С.

Черный прямоугольник – декада, когда произошел переход температуры через 0°С
Серый прямоугольник – декада, когда было отложено 1-е яйцо
Темно-серый прямоугольник – декада, когда произошли оба явления

В Москве кряквы приступают к откладке яиц при все более коротком естественном фотопериоде: если в 2000 году они начали гнездиться при длине дня в 14 часов 30 минут, то в 2015 г.– 12 часов 56 минут. Продолжительность светлого времени суток в это время на 30 минут меньше в годы с ранней весной, чем в годы с поздней *(Z=-2.0; p=0.04; n=18)*.

В 2015 году условия обитания водоплавающих птиц усугубились проливными дождями. Особенно интенсивные осадки были 15–16.05 (~60% месячной нормы осадков), а также 29.05, когда Московский регион находился во власти мощного южного циклона. В мае в Москве выпало 106 мм осадков, или 234% месячной нормы. 20.06.2015 за 10 часов выпал еще 41 мм осадков или 55% месячной нормы (Статистика городов России http://www.atlas-yakutia.ru/weather/2015/prec/moskva_prec_2015.php). Московские водоёмы наполнились водой до краёв, что затрудняло утятам сбор корма на мелководьях, заставляя их часто нырять. Тем не менее, уменьшение числа выводков кряквы в 2015 г. по сравнению с 2014 г. составило всего 3,4%, т.е. находилось в пределах пятипроцентной статистической погрешности.

Выводки начали выходить на водоемы с 30 апреля. За лето 2015 года в Москве появилось около 870 выводков кряквы. Последняя «волна» их была приурочена к 13-21.07.15. С 3 по 23 мая появилось 260 выводков (30%), в период с 23 мая по 9 июня 180 выводков (21%), с 10 по 25 июня – 262 выводка (30%), с 26 июня по 6 июля – 92 выводка (11%) и после 6 июля – 71 выводок (8%), рис 21.4.

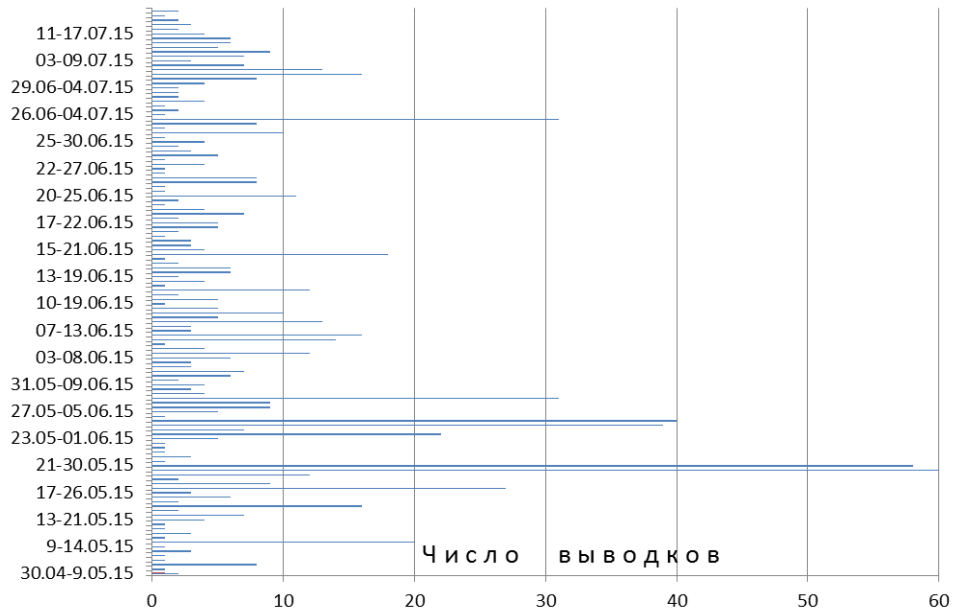


Рисунок 21.4. Последовательность выхода на водоемы самок с выводками в ходе сезона размножения 2015 г.

Общее число выводков в Москве выросло за 18 лет с 250 почти до 900, а общее число птенцов в них – с 1300 до 4000 *(r =0.88; p<0.01; n=18).*

Наметился заметный сдвиг времени появления выводков к началу сезона. Наиболее заметен положительный тренд в мае: в 2000 г. на водоемах отмечено 5%, а в 2015 – 30% выводков. Отрицательный тренд выражен в июле: с 26% в 2000 году до 8% в 2015 году. Размер выводка сокращается по мере роста и развития птенцов (рис.21.5): число оперенных утят меньше числа пуховиков *(Z=3.16; p=0.01; n=18)*. В 2015 году на одну самку приходилось 4,62 пуховика и 3,44 оперенных утенка. Соотношение взрослых птиц и оперенных молодых в конце лета составило 0,9 (в 2014 г. — 1,24). Успех размножения был чуть ниже прошлогоднего: на самку приходилось в среднем 4,53 утёнка всех возрастов (в 2014 г. — 4,62). Число взрослых не размножающихся птиц было почти рекордным (4440), выше наблюдали только в 2011 г. (4580), сразу после экстремального сезона 2010 г. Репродуктивный потенциал городской популяции, видимо, еще далеко не исчерпан.

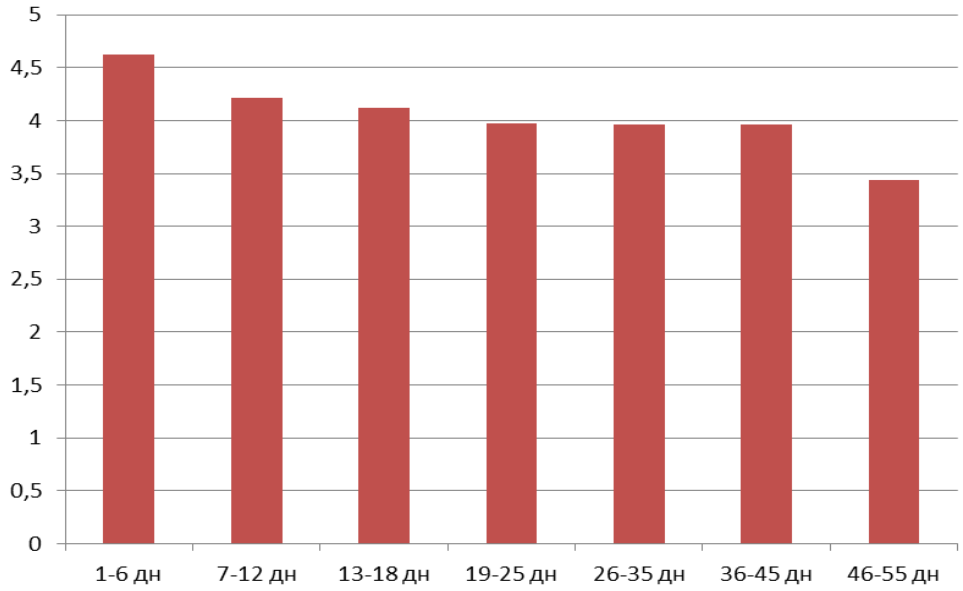


Рисунок. 21.5. Сокращение числа утят в выводке с возрастом (2015 год)

Молодые птицы вместе с линяющими взрослыми в конце июля скапливаются на водоемах недалеко от мест подкормки. Самки, сохранившие утят до подъема на крыло, приступают к линьке после объединения выводков в общие стаи, когда потерявшие выводки самки уже заканчивают линьку. После замерзания водоемов кряквы

перемещаются на свободные ото льда участки вблизи сбросов с охладителей, очистных сооружений и промышленных предприятий, а также на пруды зоопарка. В ходе формирования зимних скоплений их общая численность увеличивается за счет прибывающих в город на зимовку мигрантов.

Динамика размножения кряквы за последние 18 лет отличается сдвигом откладки яиц и вылупления утят к началу сезона, удлинением периода откладки яиц, ростом числа и доли выводков в начале гнездового цикла и снижением – в конце. Такие тенденции соответствуют изменениям метеорологической обстановки (Изменения, 2015). Более ранний переход температур воздуха через 0°С (Исаев, 2005), увеличение среднегодовой температуры на 1.7°С за десятилетие, особенно в январе (0.07°С/*год*) и в марте − апреле (0.06°С/*год*) (Чубарова и др., 2014) способствуют более раннему началу гнездования. Увеличение прозрачности атмосферы над Москвой, рост продолжительности солнечного сияния (Горбаренко, 2014, 2015), тенденция роста количества освещения, рост освещенности на 8%, наблюдаемый именно весной (Шиловцева, 2015), видимо могут дополнительно стимулировать наступление репродуктивного состояния птиц. Свой вклад в корректировку жизненного цикла вносит и искусственное освещение. В 2005 г. был принят Закон города Москвы "О городской целевой программе развития наружного освещения города Москвы на 2005-2009 годы". Разработаны и внедрены программы на 2010–2012 гг. и на 2011–2015 гг., что привело к образованию зон повышенной освещенности. Введены в эксплуатацию инновационные системы освещения. Это не могло не отразиться на биологических ритмах обитающих в городе птиц.

В целом 2015 год характеризуется ростом числа зимующих уток, ранним началом их размножения, удлиненным периодом откладки яиц, большим числом выводков и птенцов, почти рекордным количеством взрослых не размножающихся птиц и близким к среднему уровнем успешности размножения.

Литература

Горбаренко Е.В., 2014. Особенности облачного покрова и продолжительности солнечного сияния // Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2013 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ. Под редакцией Н.Е.Чубаровой. М.: МАКС Пресс. С. 57–61.

Горбаренко Е.В., 2015. Особенности облачного покрова и продолжительности солнечного сияния // Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2014 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ. Под ред. Шиловцевой О.А. и Незваль Е.И. М.: МАКС Пресс. С. 75–79.

Изменения климата, 2015. Весна: март – май. Обзор состояния и тенденций изменения климата России // ФГБУ «Институт Глобального Климата и Экологии». Москва, 35 с

Исаев А.А. (отв. ред.), 2005. Справочник эколого-климатических характеристик г.Москвы (по наблюдения Метеорологической обсерватории МГУ). Том.2 // Прикладные характеристики климата, мониторинг загрязнения атмосферы, опасные явления, ожидаемые явления в XXI веке. М.: Изд-во МГУ. 410 с.

Исаков Ю.А.,1963. Учет и прогнозирование численности водоплавающих птиц // Организация учета численности птиц и вредных грызунов. М.: Изд-во АН СССР. С. 36–90.

Михантьев А.И., Селиванова М.А., 2009. Экологические основы прогнозирования продуктивности и численности уток // Казарка. Т. 12. № 1. С. 47–67. Материалы Междунар. симп. Казань.: 157–164.

Птушенко Е.С., Иноземцев А.А., 1968. Биология и хозяйственное значение птиц Московской области и сопредельных территорий. М.: Изд-во МГУ.461 с.

Статистика городов России

http://www.atlas-yakutia.ru/weather/2015/prec/moskva_prec_2015.php

Чубарова Н.Е., Незваль Е.И., Беликов И.Б., Горбаренко Е.В., Еремина И.Д., Жданова Е.Ю., Корнева И.А., Константинов П.И., Локощенко М.А., Скороход А.И., Шиловцева О.А., 2014. Климатические и экологические характеристики московского мегаполиса за 60 лет по данным Метеорологической обсерватории МГУ // Метеорология и гидрология. № 9. С. 49-64.

Шиловцева О.А., 2015.Световой режим. Особенности облачного покрова и продолжительности солнечного сияния // Эколого-климатические характеристики

атмосферы в 2014 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ. Под ред. Шиловцевой О.А. и Незваль Е.И. М.: МАКС Пресс. С. 104-114

Oja H., Pöysä H., 2007. Spring phenology, latitude, and the timing of breeding in two migratory ducks: implications of climate change impacts // Annales Zoologici Fennici. V. 44. P. 475−485.

22. Дрозд-рябинник (*Turdus pilaris*) в Москве в 2015 г.: сроки гнездования и последствия двух аномальных метеорологических явлений

Н.С. Морозов, В.В. Худяков

Лаборатория синэкологии Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН

22.1 – Общие сведения

Гнездовой ареал рябинника занимает значительную часть Северной Евразии от Западной Европы до Восточной Сибири и охватывает целый ряд природных зон от тундры до степей (Гладков, 1954; Tiainen et al., 1997; Рябицев, 2014б), в том числе – множество регионов, характеризующихся весьма суровыми климатическими условиями. Достаточно сказать, что на север этот дрозд проникает, пусть и по населенным пунктам, вплоть до южных частей подзоны арктических тундр, например, до поселка Диксон на Западном Таймыре (Вронский, 1985). Но и в тех областях гнездового ареала, которые характеризуются более мягким климатом, в периоды размножения данного вида нередки экстремальные ситуации, создаваемые аномальными метеорологическими явлениями, главным образом – возвратами холодов. Весной в рационе рябинника плоды (в основном, ягоды) уступают место беспозвоночным, добываемым преимущественно на поверхности и в самом верхнем слое почвы. Из-за довольно ранних календарных сроков начала размножения (в целом определяемых фотопериодом) и этой специфики кормового поведения рябинник, как, впрочем, и другие наши дрозды, сильно зависит от погодных условий первой половины весны, особенно от сроков разрушения снежного покрова и похолоданий, сопровождающихся замерзанием поверхности почвы или новым залеганием снежного покрова (Wiklund, 1984; Hogstad et al., 2003). Зависимость дат начала и степени синхронности гнездования от общего характера весны и отдельных «капризов погоды» проявляется у этого вида как в относительно высоких (Wiklund, 1984; Arheimer, Svensson, 2008), так и в средних широтах (Болотников и др., 1973; Артемьев, Попов, 1978; Москвитин, Блинов, 1981; Левин, Губин, 1985; Головань, Пчелинцев, 2005; Смирнов, Тюрин, 2007; Венгеров, Смирнов, 2013).

В настоящее время рябинник – одна из самых заметных птиц в Москве. Он размножается в древесных насаждениях разного типа и лесных массивах по всей территории столицы (Атлас птиц города Москвы, 2011), располагая гнезда на деревьях практически любых пород и, изредка, на технических сооружениях и зданиях, на высотах

от ~0,5 до 19,5 м (наши данные; минимальная высота – по личному сообщению А.В. Фильчагова). Впрочем, в центральных областях Европейской части России находили также гнезда, устроенные выше 20 м (Птушенко, Иноземцев, 1968) и ниже полуметра (Барановский, Иванов, 2016), в том числе – на земле (Марголин, Баранов, 2002; Сапетина, 2009). Как и в загородных ландшафтах, в городе этот дрозд обычно селится «рыхлыми» колониями численностью до нескольких (иногда – многих) десятков пар, но обособленное гнездование, особенно во второй половине сезона размножения, также не представляет редкости. Прилежащие, а иногда и отдаленные от мест гнездования «открытые» участки – газоны, клумбы, пустыри, поляны и просеки среди леса и т.п. – используются им для сбора корма, основу которого с апреля по июнь составляют дождевые черви (Рис. 22.1 и 22.2). В рационе птенцов, по нашим наблюдениям, в некоторые годы значительна также доля гусениц (Рис. 22.3).

Рисунок 22.1 – Взрослый рябинник на газоне возле станции метро «Владыкино», 15 июня 2009 г.

Рисунок 22.2 – Гнездо с птенцами 11-12-суточного возраста, территория МГУ, 18 мая 2014 г.

Рисунок 22.3 – Рябинник с кормом для птенцов на газоне по улице Лебедева, территория МГУ, 23 мая 2013 г.

В последнее время в некоторых кварталах города плотность гнездования рябинника достигала очень высоких значений. Так, в 2013 и 2014 гг. на нашей основной пробной площади 1,45 км^2 в пределах территории МГУ на Воробьевых горах в первом (основном) цикле размножения, продолжающемся с апреля по май, она составляла (с поправкой на гибель гнезд и обусловленные ею повторные попытки гнездования) 158 и 175 пар/км^2, а локально – до 10,4 и 8,4 пар/га, соответственно. Эти показатели – одни из самых высоких среди имеющихся в литературе как для антропогенных, так и для природных биотопов из разных частей ареала вида (Шкарин, Родимцев, 1978; Книстаутас, Люткус, 1979; Москвитин, Блинов, 1981; Handbook …, 1988; Tiainen et al., 1997; Захарова, Яковлева, 1999; Бурский, 2002; Фетисов и др., 2002; Hogstad et al., 2003; Tomiałojc, Stawarczyk, 2003; Головатин, Пасхальный, 2005; Лыков, 2006; Бокотей и др., 2010; Венгеров, Смирнов, 2013; Шепель, Матвеева, 2014; Барановский, Иванов, 2016 и др.). Еще более высокие значения, приводимые в отдельных публикациях (например, Шкарин, Родимцев, 1978), отражают плотность размещения гнезд в отдельных колониях рябинника, занимающих небольшую площадь (от 1 до 7-8 га). Оценки плотности, рассчитанные подобным способом, по причинам методического порядка обычно оказываются выше тех, что получены на значительной площади и характеризуют более крупные «ландшафтные» выделы, как в нашем случае (см. Haila, 1988).

Величина полной кладки у рябинника варьирует, по данным разных источников, от 3-4 до 7-8 яиц (Мальчевский, Пукинский, 1983; Handbook …, 1988; Никифоров и др., 1989; Климов и др., 1998; Смирнов, Тюрин, 2007; Венгеров, Смирнов, 2013; Рябицев, 2014а; Барановский, Иванов, 2016 и др.). Как и в большинстве других регионов, в Москве наиболее обычны кладки из 5 и 6 яиц. Единичные случаи обнаружения в столице гнезд, содержащих по 9 и 10 яиц (наши данные), вероятнее всего, объясняются внутривидовым гнездовым паразитизмом – подкладыванием одного или нескольких яиц «чужой» самкой. Очень редкие кладки по 8 яиц, возможно, также имеют «смешанное» происхождение. Редкие кладки из 3 (полные ли?) и довольно обычные из 4 яиц появляются преимущественно во второй половине гнездового сезона либо при повторном гнездовании после неудачных первых попыток. У рябинника самка откладывает по одному яйцу приблизительно каждые сутки, а плотно (то есть в продолжение большей части суток) насиживать кладку начинает, чаще всего, до ее завершения, обычно после откладки 4 или 5 яиц, а то и раньше. Птенцы в гнезде появляются на свет в разное время, вылупление всего

выводка нередко растягивается на 2-3 дня. В дальнейшем птенцы довольно резко различаются по размерам. Между откладкой первого яйца и вылетом из гнезда последнего птенца обычно проходит немногим меньше месяца, вылет птенцов одного выводка может произойти как (почти) одновременно, так и растянуться на несколько дней.

У рябинника в условиях средних широт особи, по той или иной причине потерпевшие неудачу по ходу первой попытки гнездования, во многих (большинстве?) случаях строят новое гнездо и приступают к повторному размножению (см. библиографию: Морозов, 2001). В Москве, Московской и сопредельных областях весь период от начала откладки яиц в самых ранних гнездах (в норме – в апреле) до вылета птенцов из самых поздних (выживших) гнезд (в норме – в конце июня или в июле) длится значительно больше двух месяцев (Птушенко, Иноземцев, 1968; Сапетина, 2009; наши данные). Если пара успешно и более или менее «своевременно» завершает первый цикл (птенцы покидают гнездо в мае), у нее более чем достаточно времени для благополучного прохождения и второго цикла размножения. Его наличие в некоторых областях ареала у некоторой части особей рябинника (как и у целого ряда других видов воробьиных птиц) доказано (например, Hohlt, 1957; Lübcke, 1975; Мальчевский, Пукинский, 1983; Hogstad, 1985; Фетисов и др., 2002). К сожалению, оценить долю особей, вступивших во второй цикл, гораздо сложнее, чем просто подтвердить факт существования двух циклов. Для этого требуется следить за судьбами значительного числа индивидуально маркированных взрослых особей на протяжении всего гнездового периода на довольно большой площади. Подобные исследования на рябиннике – редкость. Тем не менее, имеются основания полагать (см. библиографию: Морозов, 2001), что на большей части ареала второй цикл размножения в году все же отсутствует или наблюдается у небольшой доли особей, а многочисленные случаи позднего гнездования объясняются, главным образом, неудачами при более ранних попытках. По-видимому, лишь в некоторые годы (или) в некоторых регионах порядка 10% всех особей или более вступают во второй цикл размножения после благополучного завершения первого (Мальчевский, Пукинский, 1983; Handbook …, 1988; Климов и др., 1989; Талпош, 1996; Чаплыгина, Кривицкий, 1996; Смирнов, Тюрин, 2007). Косвенным доказательством «массового участия» птиц во втором цикле может служить наличие второго – четко выраженного и высокого – пика на кривой распределения числа начатых кладок по календарным датам (на практике – по пятидневкам), особенно – в сочетании с высокой долей «успешных» гнезд (таких, из которых вылетело хотя бы по одному птенцу)

в первом цикле. Если же в первом цикле многие попытки гнездования оказываются неуспешными (например, из-за частого разорения), второй пик (а точнее – «провал» между первым и вторым пиками) на графике может оказаться нечетко выраженным или даже полностью «замаскированным» вследствие большого количества повторных кладок, принадлежащих «неудачникам».

В природе основной причиной гибели гнезд большинства некрупных видов птиц чаще всего становится деятельность хищников (Nice, 1957; Мальчевский, 1959; Ricklefs, 1969; Nilsson, 1984; Martin, 1992, 1993; Wesołowski, Tomiałojć, 2005 и др.). Рябинник выделяется среди воробьиных птиц небольших размеров способностью жестко противостоять – в светлое время суток – потенциальным разорителям гнезд. Животные, представляющие угрозу для гнезд и выводков, при этом не только «окрикиваются», но и подвергаются прямым нападениям, преследованию в воздухе, на деревьях и на земле, нередко также обливаются пометом. Однако набор и интенсивность оборонительных действий варьируют в зависимости от ряда факторов, в том числе – между разными областями ареала (обзоры: Handbook …, 1988; также Håland, 1989; Hogstad, 1993, 2004a, b; Meilvang et al., 1997). Московские рябинники, пикируя либо в маневренном полете преследуя врага «по пятам», зачастую наносят ему весьма чувствительные удары туловищем и/или клювом, во многих случаях обливают экскрементами. На незнакомого им человека они, как правило, не реагируют как на врага. Однако в ответ, например, на проверки содержимого гнезда у пары довольно быстро проявляется набор действий, в норме адресуемых хищникам. При этом рябинники, несомненно, узнают «обидчика» в лицо и обороняют окрестности своего гнезда главным образом персонально от него, не обращая, за некоторыми (не всегда понятными) исключениями, своего активного недовольства на других людей (наши наблюдения).

Особи нынешней московской популяции даже на стадии откладки яиц очень редко бросают гнездо из-за того, что его содержимое осмотрел человек (в нашей практике проверок – единичные случаи на сотни гнезд, причем все произошли в начальный период откладки, при наличии в гнезде первых яиц), что контрастирует с наблюдениями Д.Н. Нанкинова (1970) в 1966 г. в парке Старого Петергофа, свидетельствующими о чувствительности этого дрозда в гнездовой период к беспокойству со стороны людей. Нами отмечено также несколько случаев, когда после проверки (ставшей как бы «последней каплей») самка бросала гнездо с птенцами, по каким-то причинам

находящимися в крайне ослабленном состоянии: холодными, вялыми, с нарушенной моторикой. Один из таких случаев, произошедший, по всей видимости, из-за продолжительных дождей, упоминается в подразделе 22.7. Считается, что пернатые хищники гораздо более уязвимы для атак рябинника (особенно из-за загрязнения перьев пометом), чем хищные млекопитающие, оказавшиеся засветло вблизи его гнезд или выводков (Hogstad, 1995, 2004a; Håland, 1989). И по литературным данным (Морозов, 2001; см. также Венгеров, Смирнов, 2013), и по нашим наблюдениям интенсивность защиты своего гнезда конкретной парой нарастает на протяжении цикла гнездования, от начала откладки яиц до вылета птенцов, но «при прочих равных условиях» она широко варьирует между разными парами.

Однако и у рябинника значительная часть (иногда – большинство) гнезд, как одиночных, так и в колониях может разоряться дневными хищниками, особенно серой/черной воронами *Corvus cornix/corone* (Попов и др., 1954; Hohlt, 1957; Мальчевский, 1959; Нанкинов, 1970; Москвитин, 1974; Furrer, 1979, 1980; Slagsvold, 1980; Москвитин, Блинов, 1981; Wiklund, 1982; Мальчевский, Пукинский, 1983; Левин, Губин, 1985; Morozov, 1993; Meilvang et al., 1997; Захарова, Яковлева, 1999; Arheimer, Svensson, 2008 и др.). Сведения и суждения об уязвимости перед ними гнезд этого дрозда при колониальном и обособленном гнездовании весьма противоречивы (Морозов, 2001). Например, скандинавские исследователи пришли к заключению, что в колониях совместные действия разных пар обычно увеличивают результативность противодействия дневным хищникам, в первую очередь врановым птицам. Некоторые отечественные специалисты, напротив, пишут о повышенной разоряемости гнезд в колониях, объясняя ее особой заметностью, привлекательностью колоний для врановых. Они отмечают, что предпринимая повторные попытки, «пострадавшие» дрозды нередко селятся уже обособленно и ведут себя более скрытно; отыскивание таких «поздних» гнезд осложняется, к тому же, ростом листвы. В Центральной Норвегии разоряемость изменялась по годам то в пользу колониального, то в пользу рассредоточенного гнездования, предположительно – в связи с динамикой популяций мышевидных грызунов (Hogstad, 1995, 2004a). В годы падения их численности некоторые виды хищных млекопитающих из семейства куньих, против которых оборона рябинников даже в светлое время суток менее действенна (куньи считаются преимущественно ночными или сумеречными хищниками, но в Северной Евразии размножение рябинника приходится на

период белых ночей), чем против врановых и соколообразных птиц, переключаются на альтернативные корма, в том числе – на содержимое птичьих гнезд.

В темное время суток, даже при неплохой видимости (например, в городе, благодаря освещению), рябинники не способны активно защищать гнездо (наши наблюдения). Более того, жертвой ночных хищников, например, ряда видов куньих, серой неясыти *Strix aluco* (Wiklund, 1984; Wiklund, Andersson, 1994) и даже ушастой совы *Asio otus* (наши данные) «легко» становится находящаяся на гнезде взрослая птица. Для конкретной пары размножение в колонии может быть более безопасным при наличии эффективной обороны. В противном случае оно, наоборот, увеличивает риск, поскольку после разорения одного или нескольких однотипных гнезд у хищников (на индивидуальном уровне) зачастую формируется «образ искомого», они концентрируют усилия на поиске таких же гнезд поблизости. В этих условиях скученность гнезд повышает вероятность разорения каждого из них. Поэтому в условиях сильного прессинга хищников в темное время суток, а хищных млекопитающих также и засветло, рассредоточенное (обособленное) гнездование представляется более безопасным для рябинника (Håland, 1984; Wiklund, Andersson, 1994; Hogstad, 1995, 2004a). В силу изложенных обстоятельств – в зависимости от видового состава, плотности населения и особенностей поведения конкретных особей хищников, состояния их кормовой базы (наличия альтернативных кормов) и т.п. – доля «успешных гнезд» может широко варьировать как между разными регионами и близко расположенными местами, так и в одной «точке» по годам (Скуодис, 1960; Нанкинов, 1970; Furrer, 1979, 1980; Slagsvold, 1980; Москвитин, Блинов, 1981; Håland, 1984, 1989; Левин, Губин, 1985; Morozov, 1993; Wiklund, Andersson, 1994; Meilvang et al., 1997; Hogstad, 1983, 1995, 2004a; Головань, Пчелинцев, 2005; Головань, 2006; Смирнов, Тюрин, 2007; Arheimer, Svensson, 2008).

К числу преимущественно ночных/сумеречных хищников, обитающих в границах МКАД в последние десятилетия и способных разорять гнезда рябинника в значительных количествах, относятся несколько видов куньих и сов, а также домашняя кошка. Однако из четырех таких видов куньих три – лесная куница *Martes martes*, горностай *Mustela erminea* и черный хорь *Mustela putorius* – обнаружены в немногих местах, причем последний вид к настоящему времени практически исчез. Намного более обычна ласка *Mustela nivalis*, но и она населяет преимущественно крупные природные и природно-антропогенные территории, расположенные по периферии города (Карасева и др., 1999; Красная книга

города Москвы, 2001, 2011). Кошки нередко добывают слетков рябинника, но достоверными сведениями о разорении ими гнезд этого вида в городе мы не располагаем. Среди встречающихся в Москве сов наиболее опасными для дроздов, на первый взгляд, представляются неясыти, из которых постоянно обитает и гнездится (в крупных лесных и лесопарковых массивах) лишь серая неясыть (Красная книга города Москвы, 2001, 2011; Атлас птиц города Москвы, 2011). Однако местами, например, на территории МГУ на Воробьевых горах (наши данные), существенный вклад в разорение гнезд рябинника вносит весьма преуспевшая в освоении столицы ушастая сова, которую справедливо считают потребителем главным образом мелких грызунов. Возможно, к регулярному нападению на гнезда с птенцами, слетков и взрослых рябинников склонны лишь некоторые особи или пары этой совы.

Попыток разорения (в том числе – не доведенных до конца) гнезд рябинника людьми в местах наших исследований в Москве (см. подраздел 22.2) мы не наблюдали. Дневным хищникам (белке *Sciurus vulgaris*, врановым и соколообразным птицам, большому пестрому дятлу *Dendrocopos major*), в первую очередь серой вороне, московские рябинники в настоящее время противодействуют в целом довольно эффективно. В 2013 и 2014 гг. в первом (основном) цикле размножения доля «успешных» гнезд, из которых вылетели птенцы, на пяти из шести модельных территорий (с плотностью гнездования вороны от 0 до 41 пары/км^2) была очень высокой, от 89 до 95%, и к тому же не коррелировала с плотностью гнездования вороны. Более того, максимальные значения обоих показателей (2014 г.: 95% и 41 пара/км^2) зафиксированы на одной и той же территории (в Воронцовском парке). Некоторые жилые гнезда ворон располагались посреди плотных скоплений гнезд рябинника. Лишь в дендрарии Главного ботанического сада РАН в Останкино (в 2014 г.), где плотность гнездования вороны невелика (4,3 пары/км^2), но общее число видов потенциальных разорителей больше, чем в других местах, доля успешных гнезд у рябинника (74%) оказалась менее впечатляющей (Морозов и др., 2015). Отход яиц и птенцов в «успешных» гнездах был сравнительно невелик. Наши значения близки к показателям успешности гнездования, полученным в лесопарковой зоне г. Воронежа (72-77,5% в 1982, 1986, 1987 и 1995 гг.) (Венгеров, Смирнов, 2013), в г. Рязани (74% по объединенным данным за последние полтора десятилетия) (Барановский, Иванов, 2016), пригородах Санкт-Петербурга (92% в среднем за 22 года с 1971 по 1992) (Смирнов, Тюрин, 2007) и разных районах Литвы (89% по объединенным данным за разные годы с

1969 по 1978) (Книстаутас, Люткус, 1979), с той важной оговоркой, что в опубликованных оценках успешности размножения для этих четырех мест были учтены не только «полностью неуспешные» гнезда, но и так называемые частичные потери, а именно отход яиц и птенцов в «успешных» гнездах. Иными словами, доля успешных гнезд во всех четырех «точках» была даже выше приведенных значений. Это высокие показатели по сравнению с таковыми и у самого рябинника в большинстве других мест исследований (Попов и др., 1954; Hohlt, 1957; Скуодис, 1960; Нанкинов, 1970; Furrer, 1980; Москвитин, Блинов, 1981; Мальчевский, Пукинский, 1983; Hogstad, 1983; Левин, Губин, 1985 и др.), и, тем более, у большинства других «открыто гнездящихся» видов воробьиных птиц (Nice, 1957; Martin, 1988; Meilvang et al., 1997; Wesołowski, Tomiałojć, 2005; Morozov, 2009 и др.). Однако если говорить не о сравнительно небольшой доле гибнущих гнезд у рябинника в Москве, а о вкладе разных факторов в эту гибель, на первом месте, по нашим данным, все равно является деятельность хищников.

Представление о хищничестве как главной причине репродуктивных потерь у большинства некрупных видов птиц, разумеется, следует воспринимать как широкое обобщение, «исключения» из которого (касающиеся отдельных видов, конкретных регионов/мест или/и конкретных лет) не представляют большой редкости. Даже тогда, когда деятельность хищников лидирует среди причин гнездовых потерь, значительным может быть и вклад других факторов, особенно – неблагоприятных гидрометеорологических явлений. Очевидно, что воздействие на размножение животных и «кратковременных» (не дольше нескольких суток), и продолжительных метеорологических аномалий может быть как прямым, так и опосредованным, например, через кормовые условия (Мальчевский, 1959; Kennedy, 1970; Stewart, 1972; Fischer, 1994; Zając, 1995; Прокофьева, 2003; Both et al., 2006; Boersma, Rebstock, 2014; Bordjan, Tome, 2014 и др.).

Сведений о репродуктивных потерях вследствие, казалось бы, прямого воздействия метеорологических факторов в орнитологической литературе не так уж много, причем часть их касается птиц, размножающихся на морских побережьях, в зонах непосредственного влияния штормов (Boersma, Rebstock, 2014). Среди прочих преобладают упоминания о единичных или немногих случаях гибели кладок, птенцов или слетков в «плохую» погоду (например, Мальчевский, 1959; Нанкинов, 1970; Kennedy, 1970; Паевский, 1982; Прокофьева, 2003), но даже данные внушительного объема

(например, Zając, 1995; Wesołowski et al., 2002; Imanishi, 2007; Arheimer, Svensson, 2008) не всегда дают четкое, исчерпывающее представление о последовательности событий и непосредственных причинах гибели. Например, погибли ли птенцы в гнезде от намокания и переохлаждения или все-таки от нехватки корма во время продолжительных дождей? Происходило ли это из-за того, что обогревавшие их взрослые птицы были вынуждены покидать гнезда в поисках пищи?

В данном разделе представлены сведения о сроках и некоторых особенностях гнездования рябинника в связи с погодными условиями весны в 2015 г.

22.2 – Материал и методы

Поскольку рябиннику свойственны крайне неравномерное распределение гнезд даже внутри пригодных для гнездования древостоев и регулярные вылеты за кормом (иногда – довольно далеко) за их пределы, работа была спланирована таким образом, чтобы основная модельная территория, обследуемая на протяжении ряда лет, имела бы значительную площадь и представляла собой мозаику из древесных насаждений разной конфигурации, открытых участков (газонов, полян, пустырей, асфальтированных поверхностей и т.п.) и застройки (см. Haila, 1988). Вместе с тем, нам представлялось принципиально важным получить представление об особенностях гнездования рябинника в разных местах и «ландшафтах» города.

В 2015 г. материал собирался в восьми точках: (1) на Воробьевых горах на территории МГУ им. М.В. Ломоносова между Ломоносовским и Университетским проспектами (включая 850-метровый отрезок последнего от проспекта Вернадского до фонтана «Лилия»), за исключением огороженных внутренних дворов Главного здания МГУ, а также участка, ограниченного Университетским и Мичуринским проспектами, улицами Менделеевская и Академика Хохлова, большую часть которого занимает Ботанический сад МГУ (основная модельная территория площадью 1,45 км²); (2) в спорткомплексе «Лужники» (0,07 км²); в четырех жилых кварталах, располагающихся между (3) Фрунзенской набережной, Комсомольским проспектом, улицами Хамовнический Вал и 3-я Фрунзенская (0,23 км²); (4) Ленинским проспектом, улицами Вавилова, Губкина и Дмитрия Ульянова (0,15 км²); (5) Ленинским проспектом, улицами Вавилова, Панферова и Гарибальди (0,22 км²); (6) Нахимовским проспектом, улицами Архитектора Власова, Профсоюзная и Гарибальди (0,075 км²); (7) в западной части

Воронцовского парка (0,06 км²); (8) в северной части лесного массива (преимущественно – в дендрарии) Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН (два поселения и отдельные пары на участке 0,93 км²). Кроме того, 16 апреля мы посетили юго-восточную часть территории ВДНХ, где осмотрели содержимое нескольких гнезд в очень раннем поселении рябинника, обнаруженном М.С. Шаминым (2015). На территории МГУ исследования ведутся с 2013 г. (на отдельных небольших ее участках – с 2011 г.), в Лужниках – с 2013 г., в жилом квартале между Хамовническим Валом и 3-й Фрунзенской улицей, в Воронцовском парке и Главном ботаническом саду РАН – с 2014 г.

Поиски и картирование гнезд, отслеживание их судеб в 2015 г. велись непрерывно с апреля по июнь на всех модельных территориях, кроме 5-й, на которой они осуществлялись только в течение первого цикла размножения, а со 2-й половины мая из-за нехватки времени были прекращены. По причине большого суммарного количества гнезд, к тому же находившихся на разных территориях, интервалы между их проверками оказались в целом более продолжительными, чем хотелось бы (каждые 3-4, еще лучше каждые 2 суток, см. Martin, Geupel, 1993; Демидова, 2011). Частые проверки особенно важны для точного определения стадии размножения, на которой что-то случилось с кладкой или птенцами, и оценки «почерка» происшествия (например, разорения) по свежим следам, которые могут довольно быстро измениться или исчезнуть. Их значимость возрастает в обстоятельствах, когда большинство жилых гнезд удается найти лишь на довольно поздних стадиях размножения, спустя много времени после окончания откладки яиц (с сильно насиженной кладкой или птенцами), а вероятность их выживания на разных стадиях и успешность гнездования планируется оценивать, например, методом Мэйфилда (Mayfield, 1975). Вместе с тем, частые проверки, как бы аккуратно они не проводились, могут иметь «побочные эффекты», повышают вероятность артефактов. Например, зачастую экспрессия неприязни к наблюдателю со стороны гнездящейся пары с каждым разом нарастает и может привлекать «дополнительное» внимание хищников. В нашем случае между последовательными проверками гнезда обычно проходило от 1 до 7, чаще – 5-6 суток, но в некоторых случаях интервал достигал 8-10 суток. Вместе с тем, большинство гнезд первого цикла удавалось обнаружить на довольно ранних стадиях размножения. Мы сочли такой «компромисс» – между большим количеством гнезд из разных точек, с одной стороны, и увеличением интервалов между проверками гнезд, с другой – допустимым еще и потому, что у дроздов (в отличие от многих более мелких

видов воробьиных птиц) отличить успешную попытку гнездования от неуспешной, как правило, можно, не только наблюдая за развитием событий в жилом гнезде, но и на протяжении значительного времени после ее успешного/неуспешного окончания благодаря хорошей сохранности большинства гнезд. Осмотр нежилого гнезда или его остатков в подавляющем большинстве случаев позволял нам судить о том, было ли гнездование в нем «успешным» (=птенцы в гнезде оперились, достигли возраста хотя бы 9 суток, в котором они, будучи напуганы нападением хищника и реакцией на него родителей, способны быстро выскочить из гнезда) или нет.

В большинстве гнезд содержимое проверяли неоднократно, но во многих высоко расположенных гнездах – лишь 1-2 раза (обычно – на стадии насиживания) либо не проверяли вообще, но определяли «занятость» гнезда и стадию размножения. О стадии в таких случаях судили по поведению взрослых птиц, актам кормления птенцов и наличию больших птенцов, которых обычно видно (сразу или после некоторого ожидания), а периодически и хорошо слышно с земли. Проверка содержимого гнезда чаще всего проводилась с земли одновременно с помощью бинокля и зеркала диаметром 15 см, подвижно закрепленного на конце пластикового телескопического удилища высотой около 7,5 м. В ряде случаев мы влезали на дерево, обычно с помощью лестницы, и осматривали содержимое гнезда непосредственно. Для подсчета птенцов прямой осмотр намного предпочтительнее осмотра через зеркало, особенно если в гнезде их больше трех, а возраст превышает 3-4 суток. Возраст птенцов, как правило, оценивали по внешним признакам (Мальчевский, 1959; Промптов, 1960), но в целом ряде случаев точность этой «глазомерной» оценки возраста можно было проверить по известным нам датам вылупления из яиц. В части гнезд птенцов кольцевали (приблизительно в недельном возрасте).

Хотя большинство гнезд было найдено на ранних стадиях размножения (строительства, откладки яиц или в первую неделю насиживания), все же, основная масса – уже после начала откладки яиц. Для них, как это принято, дата начала кладки (=откладки первого яйца) определена расчетным путем. При этом мы исходили из следующих допущений: в сутки откладывается по 1 яйцу; насиживание начинается после откладки предпоследнего яйца; если число яиц в полной кладке не было известно, то в первой половине сезона размножения оно принималось за 6, а во второй – за 5; продолжительность насиживания – 12 суток, выкармливания птенцов – 12 суток.

Спровоцированный (чаще всего – попыткой нападения хищника и/или бурной реакцией на него родителей) преждевременный вылет птенцов из гнезда считался высоко вероятным, начиная с 9-суточного возраста. Гнезда, «брошенные» взрослыми птицами в явно недостроенном состоянии, ни при оценке численности размножающихся пар, ни при анализе сроков размножения, ни при оценке доли «успешных» гнезд в расчет не принимались.

Следуя широко распространенной практике, попытку гнездования считали «успешной», если гнездо самостоятельно покинул (пусть досрочно – в возрасте приблизительно 9-11 суток) хотя бы один оперившийся птенец. Считалось, что гнездо «дожило» до такого вылета (т.е. может быть отнесено к «успешным»), если при проверке на момент рассчитанной даты вылета или после нее оно оказывалось пустым, но испачканным пометом птенцов с внутренней и внешней стороны, а также содержало другие следы пребывания в нем оперившихся птенцов старшего возраста. (Заметим, что компактные «пятна» или «мазки» помета на стенках и дне лотка в случае исчезновения из гнезда птенцов моложе 9 суток, напротив, являются признаком разорения – обычно они указывают на то, что птенцов похитил хищник, причем процесс похищения, скорее всего, был растянут во времени, на протяжении которого остававшиеся птенцы пачкали пометом дно и стенки лотка.) Под другими следами пребывания больших птенцов мы подразумеваем в первую очередь наличие «перхоти», специфический запах и состояние самого гнезда. Как правило, ко времени вылета оперившихся птенцов в лотке гнезда скапливается «перхоть» от разрушившихся чехликов, в которые изначально заключены растущие перья. Стенки лотка обычно затираются; нередко верхний край гнезда разрушается птенцами, глубина лотка уменьшается – гнездо «затаптывается», становится более плоским. Больших птенцов обычно удается также наблюдать с земли непосредственно (Рис. 22.2 и 22.6), поскольку они «возвышаются» над верхним краем гнезда, стоят или топчутся, расправляя крылья, сидят на краю или рядом с гнездом, и т.п. Гибель некоторых яиц и птенцов в «успешных» в целом гнездах (так называемые частичные потери), которая происходит как вследствие деятельности хищников, так и по другим причинам, в данной статье не рассматривается.

Попытку гнездования считали «не успешной», либо если гнездо было найдено «жилым», затем периодически проверялось, и гибель кладки/всех птенцов произошла между проверками, либо если гнездо было найдено уже «не жилым», выглядело

достроенным, но не имело следов пребывания в нем оперившихся птенцов (см. выше). Наличие осколков скорлупы или остатков содержимого яиц в «неуспешном» гнезде, найденном уже нежилым, указывало на то, что в нем, по меньшей мере, началась откладка яиц, а наличие останков птенцов обычно позволяло судить о возрасте, в котором они погибли. «Неуспешное» гнездо считали разоренным хищником, либо если кладка или весь выводок моложе 9-10-суточного возраста бесследно исчезали между проверками, либо если в гнезде были обнаружены яйца/мертвые птенцы с повреждениями или их фрагменты (все это –при отсутствии явных следов того, что некоторые птенцы не были похищены и достигли возраста вылета!). По «почерку» разорения (наличию повреждений гнезда, перьев взрослой птицы, следам крови, остаткам яиц и/или останкам птенцов в гнезде и вне него) предположительно судили о наиболее вероятных разорителях – разумеется, с учетом их фактического видового состава на данной модельной территории.

Разорение гнезд хищниками было не единственной причиной неуспешного гнездования. Некоторые гнезда ко времени той или иной проверки оказывались «брошенными»; они не имели повреждений и содержали «холодные» кладки или мертвые выводки младшего/среднего возрастов (моложе 9 суток), причем яйца были целыми, а птенцы – без видимых травм. К этим «брошенным» кладкам относятся и несколько (предположительно) неоплодотворенных, в том числе таких, которые, по нашим наблюдениям, насиживались намного дольше нормального срока, и лишь после этого были, по всей видимости, покинуты потерявшими терпение самками. Большинство других случаев подобного рода, очевидно, объяснялось гибелью самок, которые у рябинника несут все или почти все бремя «ответственности» за обогревание кладок и птенцов. Птенцы младшего и среднего возрастов, еще не способные самостоятельно поддерживать температуру тела, при исчезновении самки гибнут от переохлаждения.

Подчеркнем, что одной из наиболее вероятных причин гибели или серьезного ранения взрослых самок в период размножения является, опять же, нападение на них хищников, которое может произойти как на удалении от гнезда (например, во время кормежки жертв), так и на гнезде, причем «следы» произошедшего (повреждения гнезда, выдранные перья, кровь жертвы и т.п.) остаются или сохраняются далеко не всегда (наши наблюдения). Добыв самку на гнезде, не всякий хищник обязательно возвращается за птенцами. В 2011-14 гг. случаи обнаружения в гнездах мертвых выводков с не травмированными птенцами отмечались нами почти ежегодно, но были единичными. Исключением стала ситуация в середине мая 2015 г., которой посвящен подраздел 22.7.

22.3 – Плотность гнездования на территории МГУ в 2015 г.

Распределение на основной модельной территории гнезд, построенных в первой (апрель – первая пятидневка мая) и во второй (четвертая пятидневка мая – июнь) «половинах» сезона размножения, отражено на Рис. 22.4 и 22.5. Плотность гнездования (с поправкой на гибель гнезд и обусловленные ею повторные попытки гнездования) в 2015 г. составила 210 пар/км^2 в первой и 77 пар/км^2 во второй «половинах» сезона размножения. В оба предшествующие года она была несколько ниже: соответственно 158 и 91 пар/км^2 в 2013 г. и 175 и 43 пар/км^2 в 2014 г. При поисках гнезд некоторое их количество «ускользает» от внимания, поэтому в действительности плотность была, скорее всего, даже несколько выше приведенных значений. Как уже подчеркивалось в подразделе 22.1, показатели за апрель–начало мая можно считать если не рекордно высокими, то одними из самых высоких среди всех опубликованных оценок плотности гнездования рябинника.

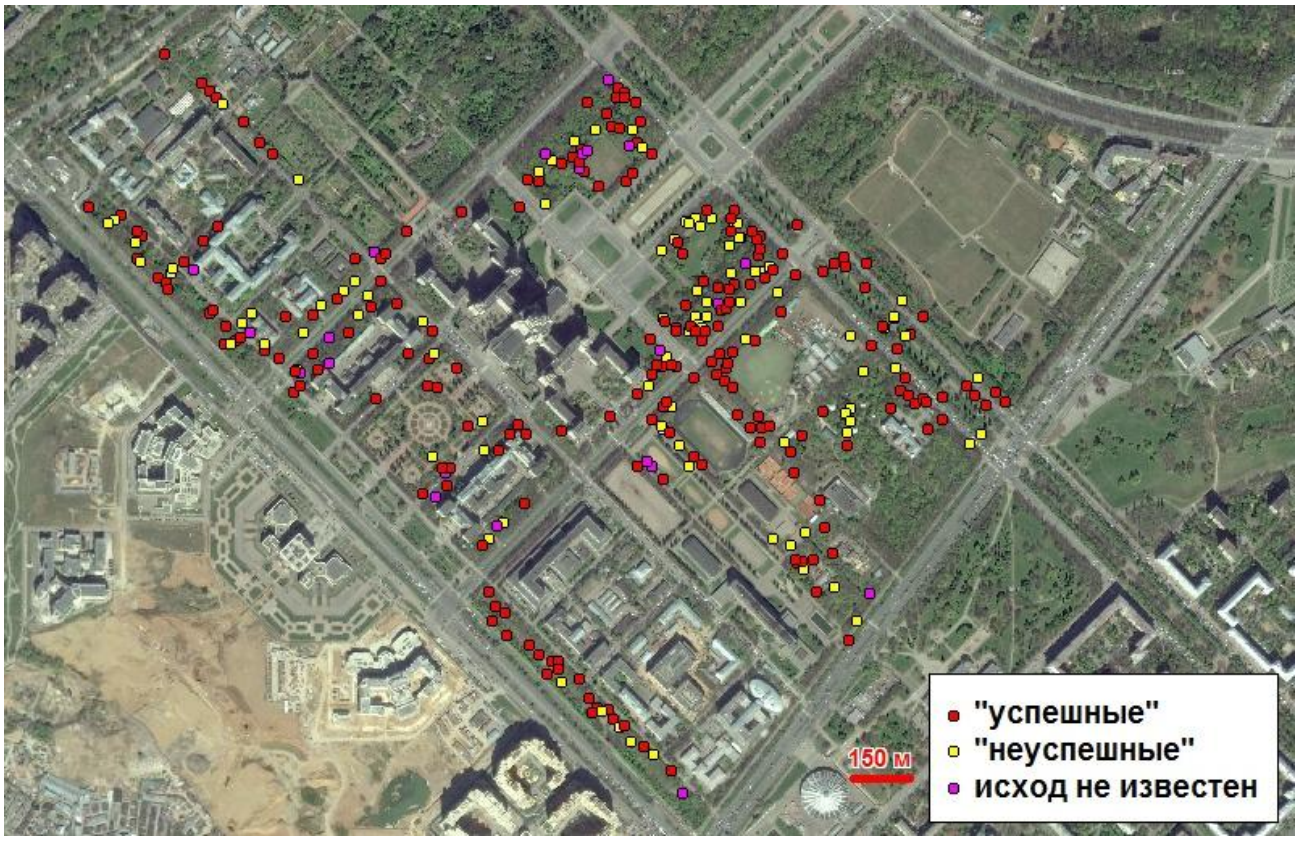


Рисунок 22.4 – Гнезда рябинника на основной модельной площади (1,45 км^2) на Воробьевых горах (часть территории МГУ и прилежащий участок Университетского проспекта), построенные в апреле и 1-й пятидневке мая 2015 г.

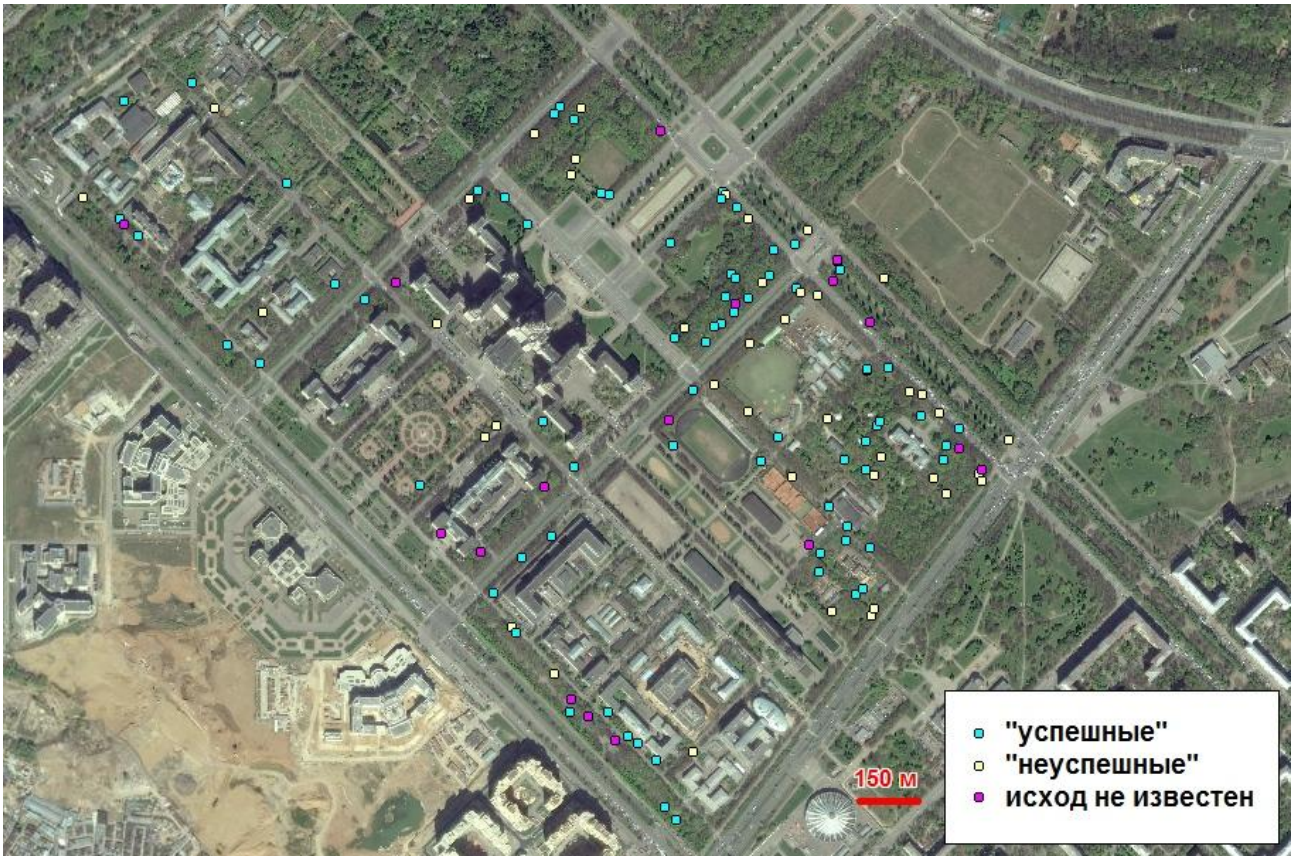


Рисунок 22.5 – Гнезда рябинника на основной модельной площади на Воробьевых горах, построенные в 4-6-й пятидневках мая и в июне 2015 г.

22.4 – Самые ранние случаи размножения

В сводке Е.С. Птушенко и А.А. Иноземцева (1968) самые ранние даты откладки первого яйца и появления слетков у рябинника в Московской области (по данным за 20 лет до 1965 гг.) – 20 апреля и 19 мая, соответственно. Судя по всему, они упустили из виду одну из статей И.В. Александровой (1959), из которой следует, что в Приокско-Террасном заповеднике наиболее ранняя откладка яиц в 1953 г. отмечена 15 апреля, а в 1956 г. – 12 апреля, причем неясно, идет ли речь о первом или об уже нескольких отложенных в гнездо яйцах. В оба эти года строительство гнезд там началось 6 апреля. В 15 гнездах, проверявшихся в окрестностях Биостанции «Малинки» ИПЭЭ РАН в 25 км юго-западнее окраины Москвы в 1990-98 гг. гг., появление первого яйца датируется 26 апреля 1998 г. (личное сообщение С.Е. Черенкова).

Наиболее ранний срок начала кладки в Ивановской области в XX столетии (по всей видимости, главным образом по наблюдениям в последней его трети) – конец апреля (Герасимов и др., 2000), в южной части Псковской области (Себежском Поозерье) в 1980-90-е гг. – 14 апреля 1983 г. (Фетисов и др., 2002), в разных районах Литвы в период с 1968

по 1979 гг. – 19 апреля (Книстаутас, Люткус, 1979; Книстаутас и др., 1981), в Белоруссии – приблизительно середина апреля (Федюшин, Долбик, 1967; Никифоров и др., 1989), в Калужской области в последней трети XX столетия – вторая декада апреля (Марголин, Баранов, 2002), в г. Рязани с 2000 по 2015 гг. – 11 апреля (Барановский, Иванов, 2016), в Рязанской области (Окском заповеднике и его окрестностях) с 1954 по 1992 гг. – по двум разным источникам, либо 26 апреля 1979 г., 27 апреля 1982 г. и 28 апреля 1962 г. (Сапетина, 2009), либо не позднее четвертой пятидневки апреля 1988 г. (Нумеров и др., 1995), в Волжско-Камском крае (по-видимому, в его центральной части) до середины 1970-х гг. – третья декада апреля 1947 г. (Артемьев, Попов, 1978), в Мордовии с 1964 по 2003 гг. – середина апреля (Лысенков и др., 2003), в пойме среднего течения р. Урал с 1976 по 1980 гг. – 21 апреля 1977 г. (Левин, Губин, 1985), в Липецкой и северной части Воронежской областей с 1973 по 1997 гг. – 15 апреля 1983 г. (Климов и др., 1989; Климов и др., 1998), в лесопарковой зоне г. Воронежа за 11 лет в период с 1980 по 2012 гг. – 14 апреля 2012 г. (Венгеров, Смирнов, 2013), в Харькове и его окрестностях с 1987 по 1995 гг. – 13 апреля 1994 г. и 14 апреля 1995 г. (Чаплыгина, Кривицкий, 1996), на Тернопольщине – 8 апреля (Талпош, 1996), на юго-западе Волынской области – 13 апреля 1984 г., в Львовской области в парках гг. Львов и Жовква в период с 1970-х до начала 1990-х гг. – соответственно 1 апреля 1990 г. и 6 апреля 1970 и 1974 гг. (Бокотей и др., 1994).

На фоне большей части этих сведений, относящихся главным образом к «давним» десятилетиям, календарные сроки начала размножения некоторых пар в московской популяции в последние годы представляются очень ранними, тем более, что вышеупомянутые регионы, взятые для сравнения, находятся либо приблизительно на одной широте с Москвой, либо значительно южнее. Так, в 2008 г. на территории ГАИШ МГУ слетки и гнездо с четырьмя готовыми к вылету птенцами были обнаружены 16 мая. Откладка яиц, из которых они вылупились, очевидно, началась приблизительно в середине апреля. В 2010 г. там же первые слетки были отмечены 10 мая, т.е. откладка яиц началась во второй или третьей пятидневках апреля. К 22 мая это место уже изобиловало выводками разного возраста (Морозов, 2010). В 2011 г. там же первый слеток встречен нами 12 мая, что свидетельствует о начале откладки в середине или третьей пятидневке апреля. В 2012 г. в гнездах на территории ГАИШ и в полосе леса между Биологическим факультетом МГУ и Ломоносовским проспектом начало самой ранней кладки, по расчетам, пришлось на 15 и 16 апреля, соответственно. В 2013 г. в Лужниках откладка яиц

в одном из гнезд началась 11-12 апреля, еще в двух – 12-14 апреля, а на Воробьевых Горах между корпусами Химического и Физического факультетов МГУ в двух гнездах – 14 и 15 апреля. В 2014 г. в Лужниках 24 апреля было найдено гнездо с пятью птенцами 5-суточного возраста и одним яйцом, в котором первое яйцо, по расчетам, появилось 4-5 апреля (наши данные за 2011-14 гг.). В юго-восточной части территории ВДНХ в период между 2010 и 2014 гг. едва покинувших гнезда слетков М.С. Шамин (2015) неоднократно наблюдал уже между 5 и 8 мая включительно, т.е. откладка яиц у этих пар начиналась, скорее всего, во второй или первой пятидневках апреля.

Наконец, в 2015 г. на ВДНХ были обнаружены два гнезда, в которых первые яйца появились, по расчетам, соответственно 20-22 и 28-30 марта. Первое из этих гнезд было обнаружено 16 апреля, накануне вылета из него трех птенцов (Рис. 22.6). За вторым наблюдения велись с 8 апреля, когда птица еще насиживала кладку. К 16 апреля в нем находились четыре птенца приблизительно 3-4-суточного возраста, трое из которых благополучно вылетели между 23 и 27 апреля (Шамин, 2015 и личное сообщение).

Рисунок 22.6 – Рекордно раннее гнездо рябинника с птенцами накануне вылета, территория ВДНХ, 16 апреля 2015 г.

Кроме того, в 2015 г. еще как минимум в трех точках Москвы откладка яиц началась очень рано. В парке между Домом Правительства РФ и станцией метро «Краснопресненская», где 23 апреля К.Ю. Шамина наблюдала слетков (Шамин, 2015), это произошло, по нашим расчетам, приблизительно в середине третьей декады марта, на Щукинском полуострове, где 24 апреля найдено гнездо с 6-7 суточными птенцами (Кузиков, 2015) – 1-2 апреля или в последних числах марта, в Лужниках в трех гнездах – в первую пятидневку апреля (рассчитанные даты – 3, 4 и 5 апреля) (наши данные). Как уже отмечалось выше, во многих регионах, несмотря на жесткую оборону, значительная часть гнезд рябинника все же уничтожается серыми воронами и другими хищниками. Неоднократное, из года в год, появление очень ранних выводков свидетельствует не только о регулярности попыток раннего размножения, но и о весьма высокой вероятности их успешного завершения.

Ранние сроки начала размножения (вплоть до зимних месяцев) у некоторых пар – одна из особенностей городских популяций птиц в условиях средних широт, которую обычно объясняют более мягкими условиями (в том числе, климатическими) в городах зимой и в начале весны (Luniak, 2004). Самые ранние из обнаруженных нами в литературе дат начала кладки у рябинника в более южных регионах Восточной Европы (Бокотей и др., 1994) также зафиксированы в урбанизированных ландшафтах. Вместе с тем, в последние 60 лет климат не только Москвы (Абакумова и др., 1998; Lokoshchenko, Vasilenko, 2009; Бюллетень …, 2015а, б, также Бюллетени Метеорологической Обсерватории МГУ (МОМГУ) за другие месяцы 2015 г.), но и в целом Центра европейской части России становился «более теплым» (Мирвис и др., 1996; Влияние изменений климата …, 2001; Груза и др., 2001; Lokoshchenko, Vasilenko, 2009 и др.). Длительное время этот процесс происходил главным образом благодаря потеплению в зимний и весенний периоды. В Московском регионе лишь в начале 2010-х гг. основной вклад в потепление стали вносить уже месяцы теплого, а не холодного периодов года (Константинов, 2014).

К сожалению, мы не располагаем ни собственными, ни литературными сведениями о современных или изучавшихся хотя бы в пределах последних 15 лет сроках гнездования рябинника в природных/сельских ландшафтах Московской области. Более того, нам не известны сколько-нибудь значительные по объему данные такого рода и за последнюю треть XX-го столетия. Поэтому можем лишь предположить, что необычно раннее начало размножения некоторых пар в Москве – это «реакция» не только на локальные условия

мегаполиса (в том числе мезоклиматические), но и на глобальные климатические сдвиги, влиявшие на фенологию вида в том же направлении, что и урбанизация. В этом контексте примечательно, что сравнительно недавний рекорд начала откладки яиц рябинником в Ленинградской области был зафиксирован в сельском, а не городском или пригородном ландшафте: 18-25 апреля в 2000-2004 гг. (Головань, Пчелинцев, 2005) против 28 апреля (1949 г.), 25 апреля (1962 г.) и 22 апреля (1990 г.) в более отдаленном прошлом (Мальчевский, 1959; Мальчевский, Пукинский, 1983; Смирнов, Тюрин, 2007).

И в 2014, и в 2015 гг. в Москве и Московской области февраль и март (в 2015 г. – две первые декады этого месяца) были аномально теплыми, сроки появления проталин в снежном покрове в начале весны – ранними (в 2014 г. – исключительно ранними) по сравнению с нормой (средними многолетними показателями за период 1961-90 гг.) (Бережная и др., 2014а, б, 2015а, б; Бюллетень …, 2014а, 2015а; Константинов, 2015; Локощенко, 2015, 2016). Температурные условия в апреле в оба года приближались к норме (Бережная и др., 2014в, 2015в; Бюллетень …, 2014б, 2015б). Зимой 2013-14 гг. устойчивый снежный покров был необычно маломощным и сохранялся очень недолго. Он почти полностью исчез к концу первой декады января, образовался вновь 12 января, но просуществовал (и в Подмосковье тоже, см. Бережная и др., 2014б) лишь до начала марта. Следующее залегание снежного покрова произошло 17 марта, но устояло лишь два дня. Еще через день, 20 марта, снежный покров образовался снова и продержался до утра 22 марта (Локощенко, 2015). В 2014 г. на Воробьевых Горах средняя температура воздуха в марте (3,0^{o}C) превысила норму на 5,2^{o}. Третья декада месяца в целом выдалась аномально теплой (температура поднималась до 19,5^{o}C), но в последние ее дни средняя суточная температура была близка к норме, а к 1 апреля опустилась ниже нормы, и снова выпал снег. Ночью 2 апреля температура воздуха опускалась до -6,2^{o}C, отрицательная аномалия средней суточной температуры продолжалась до 5 апреля включительно, а снежный покров полностью исчез 6 апреля (Бюллетень …, 2014а, б; Локощенко, 2015). Это похолодание со снегопадом в самом начале апреля не воспрепятствовало вышеупомянутому раннему началу откладки яиц рябинниками: 4-5 апреля в Лужниках и во второй или первой пятидневках этого месяца на ВДНХ.

В 2015 г. средняя температура воздуха в марте (2,2^{o}C) на Воробьевых Горах превысила норму на 4,4^{o}. Средние суточные температуры воздуха в двух первых декадах марта постоянно и на значительные величины (многократно на 5° или выше) превышали

норму, а вот в третью декаду марта и особенно в первую декаду апреля большей частью были близки к норме (чаще – немного ниже нормы) (Бюллетень …, 2015а, б). В Москве и Подмосковье абсолютные максимумы температуры воздуха были перекрыты 9, 11 и 15-19 марта (Бережная и др., 2015б). Не только начало весны, но и вся зима 2014-15 гг. выдалась очень теплой, однако все зимние месяцы оказались снежными, поэтому высота снежного покрова зимой в целом была значительной. На Воробьевых Горах ее устойчивое уменьшение началось уже с 11 февраля, а особенно стремительным стало после 7 марта. Первые проталины были отмечены уже утром 12 марта, но полностью снежный покров не сходил еще долго. Снегопады в третьей декаде марта трижды увеличивали его покрытие, в том числе – до сплошного (хотя высотой лишь 1 см) 22-24 марта. В последний раз сплошной снежный покров восстановился 31 марта, достиг средней высоты 7 см и продержался целую неделю. Лишь 5 апреля в нем снова появились проталины, а 6 апреля стало датой окончательного схода устойчивого снежного покрова (Локощенко, 2016). Однако похолодание не помешало отдельным парам рябинника в разных точках города приступить к откладке яиц уже в последней декаде марта и начале апреля. И в целом, если говорить о погодных условиях, все же выглядит закономерным, что случаи рекордно раннего, даже по меркам последнего десятилетия, начала размножения у этого вида в Москве пришлись на 2014 и 2015 гг.

Напротив, в 2013 г. в Москве и Московской области март (после аномально теплого февраля) выдался на редкость холодным и при этом исключительно снежным (редкое совпадение), средние суточные температуры большей частью были значительно ниже нормы. Апрель по температурному режиму в целом приближался к норме, лишь в период с 14 по 20 апреля средняя суточная температура существенно превышала норму (Бережная и др., 2013а, б; Бюллетень …, 2013а, б; Константинов, 2014; Локощенко, 2014). Средняя температура воздуха в марте на Воробьевых Горах (-6,0^{o}C) была ниже нормы на 3,8^{o}, на ВДНХ (-6,5^{o}C) – на 4,3^{o}, в апреле на Воробьевых Горах (6,6^{o}C) – выше нормы на 0,8^{o}, на ВДНХ (6,1^{o}C) – на 0,3^{o}. Почти всю последнюю декаду марта средние суточные температуры были значительно ниже нормы, в некоторые дни отмечались 10-12-градусные морозы (в сочетании с огромными сугробами, которые 26 марта на Воробьевых Горах и ВДНХ достигли высоты 77 см!), всю первую декаду апреля – близки к норме (Бережная и др., 2013а, б; Бюллетень …, 2013а, б; Константинов, 2014; Локощенко, 2014). В Москве небывалой мощности снежный покров, высота которого в начале апреля превышала норму

в 3-4 раза, полностью растаял лишь к середине этого месяца, вскоре (на Воробьевых Горах – через 1-2 суток) после появления первых проталин, местами его остатки сохранялись до 19 апреля (Бережная и др., 2013б; Локощенко, 2014). Тем не менее, по нашим данным, откладка яиц в Лужниках началась 11-12 апреля, а на территории МГУ – 14-15 апреля, т.е. хотя и не настолько, как в 2014 и 2015 гг., но все же довольно рано. И это – несмотря на исключительные холода и снежность в марте, чудовищную высоту снежного покрова вплоть до начала апреля, а также нормальные (не повышенные) температуры воздуха в первой декаде апреля и, как следствие, очень поздние сроки появления первых проталин и исчезновения снежного покрова.

Довольно затяжной выдалась (после очень холодной зимы, особенно – декабря и февраля) и весна 2011 г. Снежный покров был высоким и сохранялся очень долго (Бережная и др., 2011а, б; Локощенко, 2012). Март по температурному режиму в целом соответствовал норме, но в течение него наблюдались пять волн холода, причем две из них – в конце месяца. Первая декада апреля, кроме двух последних суток, была на 2-6° теплее обычного. Высота снежного покрова в марте примерно на 30% превышала норму, в Москве в конце третьей декады этого месяца она варьировала от 21 см в МСХА им К.А. Тимирязева до 32 см на ВДНХ и 39 см на Воробьевых Горах (Бережная и др., 2011а, б). С 23 марта из-за похолодания уменьшение высоты снежного покрова практически прекратилось на 10 дней, на Воробьевых Горах она стабилизировалась на уровне 38-40 см. С 3 апреля интенсивное таяние возобновилось, а первые проталины появились 5 апреля. Однако этот процесс был остановлен похолоданием со снегопадом, в результате которого в ночь на 9 апреля высота снежного покрова возросла в среднем с 5 до 14 см, и на три дня он снова стал сплошным. Разрушение устойчивого снежного покрова пришлось на 15 апреля, последнее выпадение твердых осадков произошло 19 апреля – на следующий день после окончательного схода снежного покрова (Локощенко, 2012). Несмотря на затяжную весну, на ВДНХ в 2011 г. первые слетки рябинника были встречены между 5 и 8 мая (Шамин, 2015 и личное сообщение), а на территории ГАИШ МГУ – 12 мая (наши данные), что свидетельствует о начале откладки яиц соответственно во второй/первой пятидневках и в середине/третьей пятидневке апреля.

Случаи раннего гнездования даже в поздние по метеорологическим условиям весны 2011 и 2013 гг. свидетельствуют об определенном постоянстве, «инерционности» изменений фенологии в московской популяции рябинника в последние годы/десятилетия.

Среди параметров урбосреды, благодаря которым такое размножение сделалось возможным даже в годы с поздним приходом весны, важную роль, по-видимому, играет прохождение подземных теплотрасс под газонами и другими открытыми участками земной поверхности (Шамин, 2015). В холодное время года почвы на таких участках прогреваются, их поверхность освобождается от снежного покрова и может использоваться дроздами для кормежки намного раньше, чем окружающие территории.

22.5 – Распределение числа начатых кладок по пятидневкам в 2015 г.

Для построении гистограмм распределения числа начатых кладок и случаев гибели всей кладки/всех птенцов в гнезде (из-за разорения хищниками и по другим причинам) по пятидневкам (Рис. 22.7, 22.8), разумеется, использованы сведения только по тем гнездам, которые были найдены жилыми и в которых появилось хотя бы первое яйцо. Для немногих из них дата начала кладки установлена «напрямую» в процессе проверок, для подавляющего большинства – рассчитана (см. подраздел 22.2).

В 2015 г. в Москве сроки откладки яиц не только в первых гнездах, о которых шла речь в подразделе 22.4, но и в целом были исключительно ранними. Достаточно сказать, что в общей сложности 33 кладки из числа тех 486, в которых первое яйцо появилось до 5 мая включительно, то есть почти 7% всех кладок «первого цикла» были начаты в первую декаду апреля. Эти ранние кладки обнаружены на пяти модельных территориях из восьми. Их относительное количество было наибольшим в Лужниках, Воронцовском парке и двух жилых кварталах. Пик начала кладок в Лужниках пришелся на вторую и третью пятидневки, а в Воронцовском парке – на третью пятидневку апреля, тогда как в 2014 г., несмотря на исключительно раннее наступление весны (см. подраздел 22.4), он наблюдался в обоих этих местах в четвертую пятидневку, а в очень «позднюю» весну 2013 г. в Лужниках – в пятую пятидневку апреля.

Вместе с тем, сроки появления первых кладок и последующая динамика откладки яиц по пятидневкам в 2015 г. значительно различались между некоторыми модельными территориями. Очевидно, что различия не связаны со степенью удаленности территорий друг от друга. Так, самые ранние сроки зафиксированы на территории спорткомплекса «Лужники», наибольшее число кладок там было начато во вторую и третью пятидневки апреля, но всего в 1,4 км от этого места – в жилом квартале между Хамовническим Валом и 3-й Фрунзенской улицей – первая кладка началась двумя пятидневками позже, а пик

пришелся на четвертую и пятую пятидневки (Рис. 22.7, 22.8). Самые поздние сроки наблюдались в лесопарковом массиве Главного Ботанического сада РАН (Рис. 22.7), но менее чем в 2 км оттуда на территории ВДНХ были найдены рекордно ранние гнезда (см. подраздел 22.4). В разных жилых кварталах распределение числа начатых кладок по пятидневкам также было различным (Рис. 22.8).

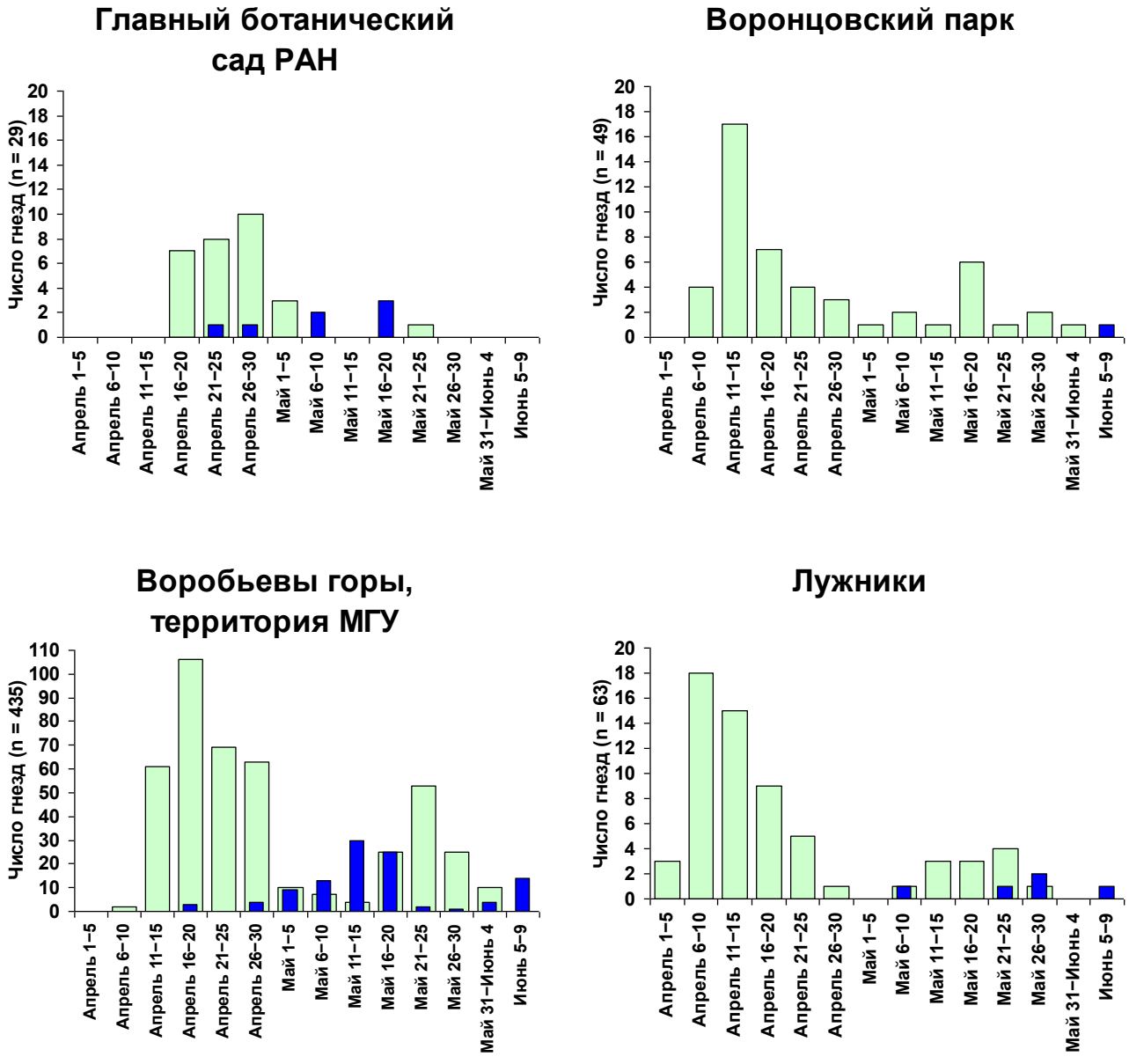


Рисунок 22.7 – Распределение числа начатых кладок (голубые столбики) и случаев гибели гнезд до 9 июня (синие столбики) по пятидневкам на модельных площадях в двух лесопарковых массивах, на территориях МГУ и спорткомплекса «Лужники» в 2015 г.

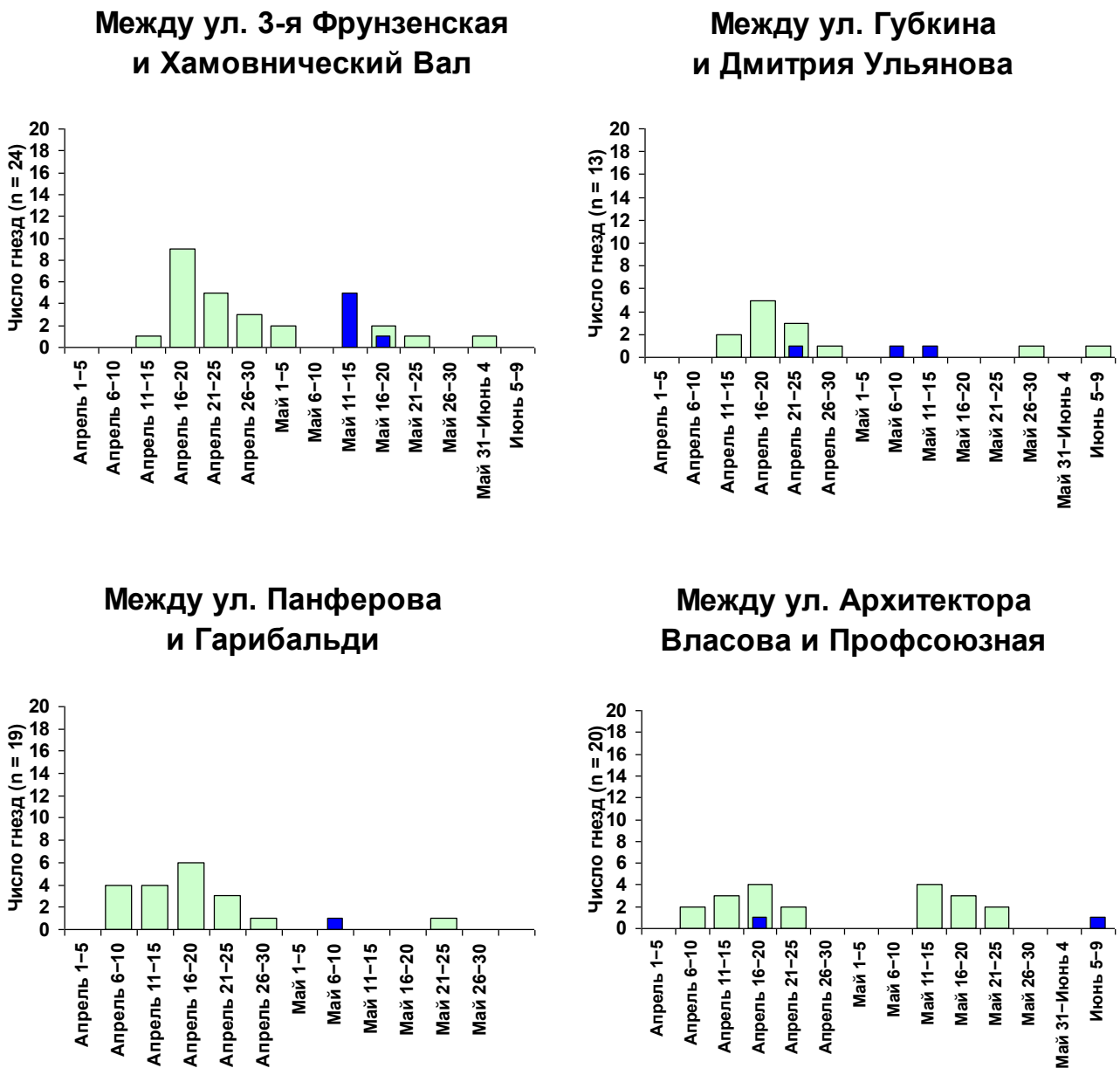


Рисунок 22.8 – Распределение числа начатых кладок (голубые столбики) и случаев гибели гнезд до 9 июня (синие столбики) по пятидневкам в кварталах жилой застройки в 2015 г. Между ул. Панферова и Гарибальди со 2-й половины мая поиски гнезд не велись.

За годы исследований факт наличия у некоторых рябинников московской популяции второго цикла гнездования после успешного завершения первого цикла доказан нами на территории МГУ благодаря присутствию, хотя и в крайне небольших количествах, индивидуально распознаваемых взрослых птиц. Это были особи, либо окольцованные цветными кольцами (в уникальном сочетании), либо со специфическим поведением по

отношению к наблюдателю, которое проявлялось на протяжении обоих циклов размножения в данном году. Однако наличие четко выраженного второго пика на четырех из семи (в жилом квартале между ул. Панферова и Гарибальди со второй половины мая поиски гнезд не велись) гистограмм распределения числа начатых кладок по пятидневкам является (с учетом внушительного процента «успешных» гнезд в первом цикле) косвенным доказательством того, что не просто «некоторые», а «многие» птицы, вырастившие первый выводок, гнездились второй раз. Долю таких птиц в 2015 г. мы оцениваем в целом не менее чем в 20%. Можно возразить, что на территории МГУ второй пик появления новых кладок был обусловлен главным образом не вторым, а повторным гнездованием – того значительного количества пар, которые «потеряли» гнезда в 1-4-й пятидневках мая (синие столбики на гистограмме). Это происходило преимущественно из-за разорения хищниками, а также из-за непогоды 15-17 мая (см. подраздел 22.7). Однако оснований для такого утверждения применительно к Лужникам, Воронцовскому парку, жилому кварталу между ул. Архитектора Власова и Профсоюзной нет. Еще более выразительны вторые пики появления новых кладок на гистограммах для территории МГУ и Лужников за 2013 г., причем тогда в первом из этих мест, в отличие от 2015 г., доля «погибших» гнезд во все пятидневки мая была ничтожно малой.

22.6 – Похолодание со снегопадом 19-21 апреля

В конце четвертой пятидневки апреля произошло похолодание (Рис. 22.9). На Воробьевых Горах средняя суточная температура воздуха с 19 по 21 апреля была приблизительно на 5° ниже нормы, а минимальная варьировала от -2,2°С в первый до -0,4°С в последний из этих трех дней (Бюллетень …, 2015б). Днем 19 апреля и на протяжении большей части дня 20 апреля неоднократно выпадал снег, который довольно быстро таял, однако ближе к вечеру 20 апреля снегопад усилился и стал практически беспрерывным, что привело к образованию снежного покрова (Рис. 22.10). По данным Метеорологической Обсерватории МГУ, выпадение мокрого ливневого снега продолжилось ночью и утром следующего дня. Утром 21 апреля снег полностью покрывал поверхность, а его высота составляла 3 см. Однако в течение первой половины этого дня он полностью растаял. В Московском регионе столь позднее залегание снежного покрова, даже непродолжительное, наблюдается редко (Локощенко, 2016).

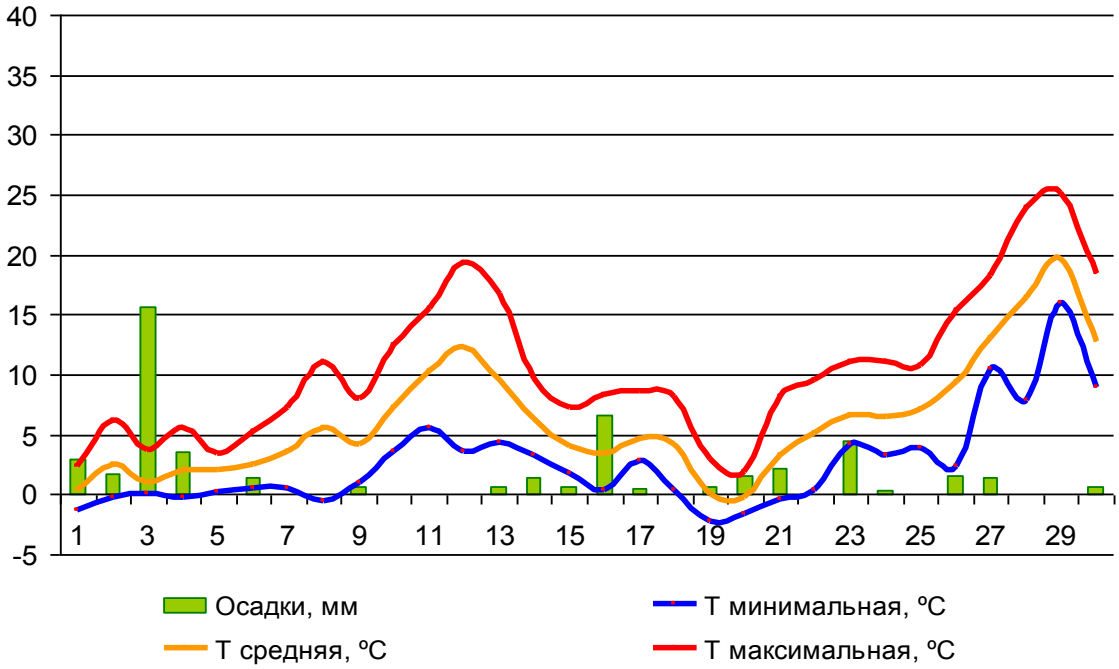


Рисунок 22.9. Динамика суточных температур воздуха (Т) и осадков в апреле 2015 г. по измерениям Метеорологической Обсерватории МГУ (Бюллетень …, 2015б).

Рисунок 22.10 – Снегопад вечером 20 апреля 2015 г. Территория спорткомплекса МГУ.

К началу похолодания все гнезда (не считая тех, которые строились) на модельных территориях находились на стадиях либо откладки яиц (53%, n=289) (Рис. 22.11), либо насиживания полной кладки (47%). В Лужниках между 19 и 21 апреля, по нашим расчетам, в трех гнездах с полными кладками началось вылупление птенцов. Несмотря на похолодание, гибель гнезд рябинника во второй половине апреля оказалась незначительной (Рис. 22.7, 22.8). С 19 апреля по 25 апреля включительно погибли в общей сложности лишь пять гнезд на стадии насиживания, и во всех этих случаях имелись признаки разорения хищниками.

Рисунок 22.11 – Рябинник насиживает неполную кладку из пяти яиц во время снегопада вечером 20 апреля 2015 г. Впоследствии в гнезде было шесть яиц. Территория спорткомплекса МГУ.

К сказанному добавим, что рекордно раннее гнездо на территории ВДНХ (в котором откладка яиц, по расчетам, началась 20-22 марта – см. подраздел 22.4 и Рис. 22.6) двое птенцов покинули к утру 17 апреля. Третий еще находился в гнезде. Как выяснилось 21 и 22 апреля, двое слетков из этого гнезда благополучно пережили похолодание и снегопад, тогда как еще один, по сообщению дворника, был найден на газоне мертвым. Там же в

другом очень раннем гнезде 21 апреля были живы все четыре птенца приблизительно 8-9-суточного возраста, хотя к 22-23 апреля по неизвестной причине их, похоже, осталось трое (Шамин, 2015 и личное сообщение).

Таким образом, резкое похолодание со снегопадом в конце четвертой пятидневки апреля не привело к гибели кладок и первых выводков в гнездах от переохлаждения, хотя, разумеется, оно могло иметь «отложенные» негативные последствия, например, отразиться на физиологическом состоянии взрослых птиц. Однако если бы сплошной снежный покров сохранялся дольше, рябинники могли понести существенные репродуктивные потери. В подобных условиях взрослые дрозды испытывают трудности с добыванием корма и бывают вынуждены надолго покидать места расположения гнезд, вследствие чего возрастает риск гибели кладок/птенцов не только от переохлаждения, но и из-за беспрепятственного нападения хищников (Москвитин, Блинов, 1981).

22.7 – Дожди 15-17 мая

Как уже подчеркивалось в подразделе 22.2, в 2011-14 гг. случаи обнаружения в гнездах рябинника всех (а не отдельных) птенцов выводка мертвыми и к тому же без травм наблюдались очень редко. Вплоть до 15 мая не был исключением и 2015 г.: произошло лишь два таких прецедента (оба – на территории МГУ) на 257 гнезд, в которых к тому времени появились птенцы. Наиболее вероятной их причиной представляется гибель самок. Однако в четвертой пятидневке мая мы зафиксировали подобную картину гибели выводков (Рис. 22.12) сразу во многих гнездах и объясняем ее непогодой 15-17 мая, а именно – сочетанием почти беспрерывного, временами сильного дождя, с понижением температуры воздуха (особенно – в ночное время) и сильным порывистым ветром (Рис. 22.13, 22.14). Видимого ущерба гнездам с кладками эта непогода не нанесла.

Показателен следующий пример с территории МГУ. На второй день дождей – 16 мая вечером – взрослая птица сидела в гнезде с пятью птенцами: тремя мертвыми в возрасте 1,5-2 суток и двумя едва живыми в возрасте около 3 суток. Покинув гнездо при нашей кратковременной проверке, она, судя по всему, бросила его: в ближайшее время не объявилась, спустя сутки уже все птенцы были мертвы. Конечно, такое вряд ли могло бы случиться, если хотя бы один птенец находился в «приемлемом» состоянии. Как мы уже отмечали, московские рябинники даже на стадии откладки яиц редко бросают гнездо из-за того, что его содержимое осмотрел человек. На всех модельных территориях к 15 мая под

наблюдением находились 219 гнезда с птенцами, и гибель 35 из этих выводков (16%) мы связываем непосредственно с данной метеорологической аномалией. Кроме того, еще в одном случае (на территории МГУ) причиной гибели 5 или 6 птенцов (старший из которых выглядел приблизительно на 9, а младший – на 5 суток) стало падение гнезда 15 или 16 мая из-за дождя и ветра.

Рисунок 22.12. Гнездо с шестью погибшими, уже начавшими разлагаться птенцами (возраст старших ~5-5,5 суток) без видимых травм в дендрарии Главного ботанического сада РАН, 19 мая 2015 г. Судя по всему, они погибли из-за непогоды 15-17 мая. Вечером 11 мая в этом гнезде находились три яйца и три недавно вылупившихся птенца.

В отдельных случаях все или часть погибших птенцов «среднего» возраста без видимых травм были обнаружены не в гнезде, а на земле под гнездом или в нескольких метрах от гнездового дерева. Так, в одном из гнезд на второй день дождей – 16 мая в полдень – взрослая птица, расставив крылья, прикрывала от дождя четырех мертвых,

холодных птенцов в возрасте примерно от 7 до 7,5-8 суток. После осмотра гнезда с лестницы одним из авторов она вернулась и продолжила их греть. Трупы еще двух (6- и 7-суточного) птенцов были обнаружены на земле под гнездом. Ни на одном не было травм, указывающих на нападение хищника. При проверке в это же время другого гнезда выяснилось, что глубоко сидящая в нем взрослая птица согревает пустой лоток (в кладке было 6 яиц, и птенцы успешно вылупились из всех немногим более чем за неделю до описываемых событий). Трех мертвых птенцов приблизительно недельного возраста, без видимых повреждений, удалось обнаружить на земле в 4-6 м от гнездового дерева.

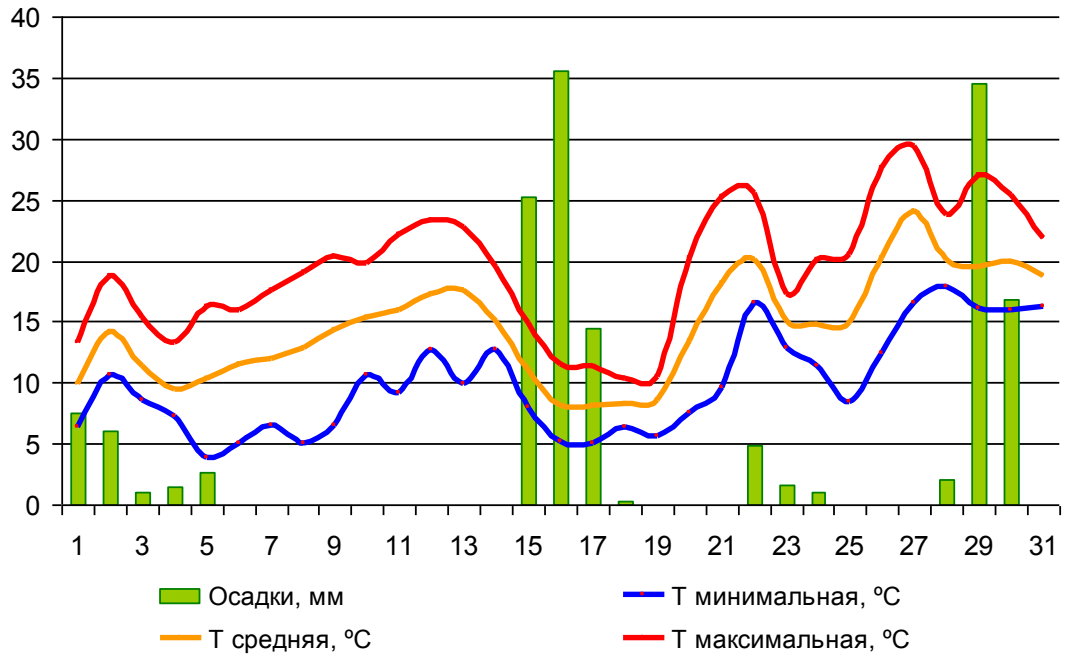


Рисунок 22.13. Динамика суточных температур воздуха (Т) и осадков в мае 2015 г. по измерениям Метеорологической Обсерватории МГУ (Бюллетень …, 2015в).

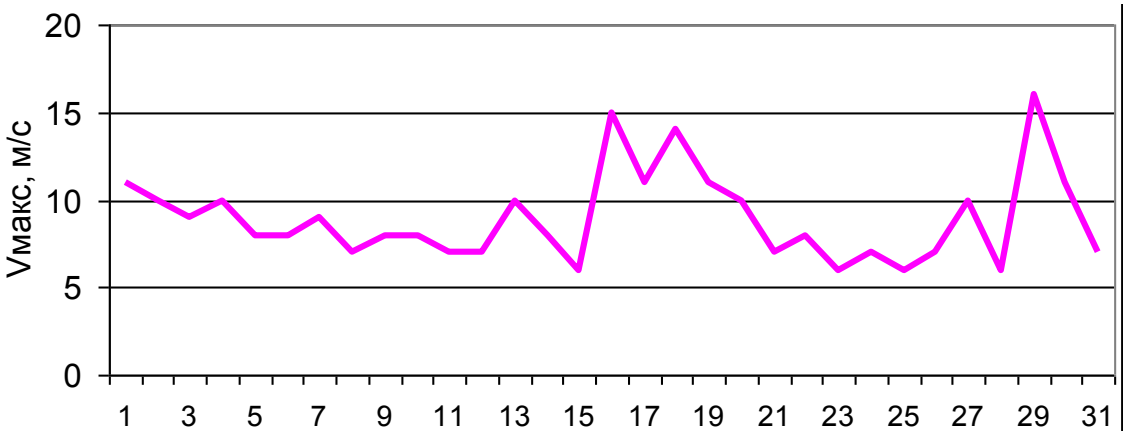


Рисунок 22.14. Максимальная скорость ветра (Vмакс) в мае 2015 г. по измерениям Метеорологической Обсерватории МГУ (Бюллетень …, 2015в).

На первый взгляд это выглядело так, словно в какой-то момент (например, во время отлучки самки на кормежку) птенцы не выдержали дождь и холод, стали слишком интенсивно перемещаться в лотке и, в итоге, выпали или были «непреднамеренно» вытолкнуты другими из гнезда, после чего еще проползли небольшое расстояние по земле. Однако более вероятно, что из обоих гнезд погибших или ослабевших и переставших реагировать птенцов выбросил кто-то из родителей – в порядке рутинной «санитарно-гигиенической» процедуры удаления трупов и сильно отстающих в росте отпрысков (Строков, 1968; Kirkpatrick et al., 2009). В 2013-15 гг., забирая птенцов рябинника из гнезд (в нормальную погоду) для кольцевания, мы неоднократно фиксировали случаи, когда самка усаживалась в опустевшее гнездо и сидела в нем до водворения птенцов на место. У целого ряда видов воробьиных птиц, включая рябинника, среди трех компонентов так называемого гнездового комплекса (гнездо как таковое, яйца, птенцы) главным стимулятором насиживания и обогревания птенцов выступает собственно гнездо, а не его содержимое (Дольник, 1960). Мы предполагаем, что у рябинника, при гибели в гнезде целого выводка, родители в отдельных, редких случаях способны выбросить из него всех до последнего погибших птенцов (см. Kirkpatrick et al., 2009), после чего самка может еще какое-то время согревать пустое гнездо (см. Дольник, 1960).

Гибель птенцов насекомоядных птиц во время похолоданий и продолжительных дождей подчас объясняют не прямым воздействием метеорологических факторов, а уменьшением доступности, острым дефицитом кормов из-за резкого падения активности беспозвоночных (Мальчевский, 1959; Stewart, 1972; Прокофьева, 2003 и др.). Однако в гибели выводков рябинника в гнездах в середине мая 2015 г., по всей видимости, погода «повинна» напрямую. По нашим наблюдениям дождевые черви – основная пища, которой рябинники выкармливают птенцов и кормятся весной сами – благодаря дождям были доступны в избытке, в частности, в массе встречались на асфальтированных дорожках. Хотя в 2015 г., как и в предшествующие годы, разорение хищниками лидировало среди причин отхода гнезд (среди 104 «неуспешных» гнезд первого цикла, построенных до 5 мая включительно – 50% случаев), вклад трехдневной метеорологической аномалии середины мая оказался тоже значительным (34%).

Как показано на Рис. 22.15, из-за непогоды гибли в гнездах почти исключительно выводки младшего (до 4 суток; погибло 29,5% выводков) и среднего (от 5 до 8 суток включительно; 28%) возрастов, тогда как почти все старшие (9 суток и старше; менее 2%)

пережили ее. Очевидно, что различие в «выживаемости» между младшей и средней возрастными группами статистически не достоверно, а между каждой из них и старшей группой – высоко достоверно (two-tailed Fisher's exact test, P=0,00000002). Столь разительный контраст объясняется, по всей видимости, различиями в терморегуляторных способностях птенцов разного возраста (Шилов, 1968; Dunn, 1975).

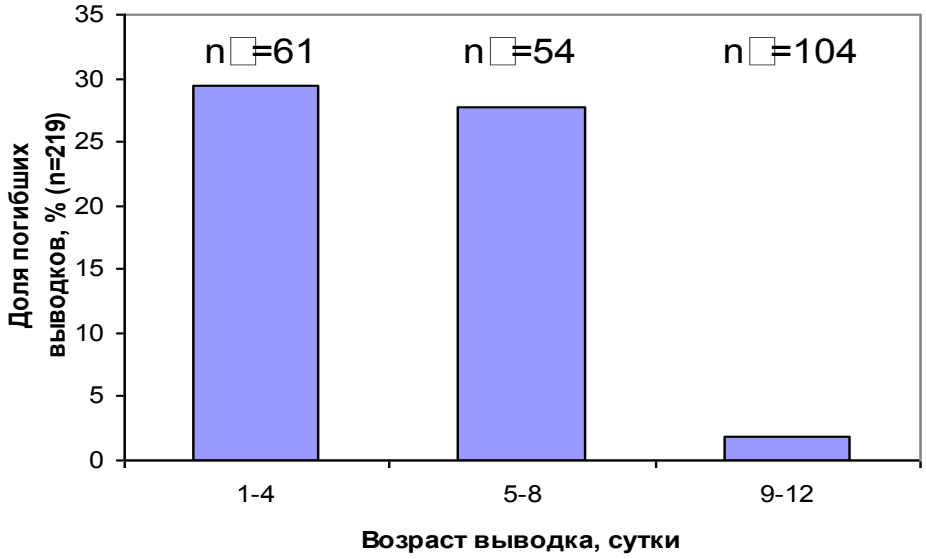


Рисунок 22.15. Доля выводков, целиком погибших в гнездах из-за дождей 15-17 мая 2015 г., в каждой из трех возрастных групп. Данные со всех восьми модельных территорий объединены. n_1, n_2, n_3 – количество контролировавшихся гнезд с выводками младшей, средней и старшей группы, соответственно. Выводок относили к одной из трех возрастных групп, исходя из возраста его старших птенцов на 15 мая.

Таким образом, в сравнительно мягком климате Москвы широко распространенный и пластичный вид, населяющий и регионы с весьма суровыми климатическими условиями, понес, причем при явном изобилии основного корма, значительные репродуктивные потери из-за продолжительных дождей, сопровождавшихся умеренным похолоданием и порывами ветра значительной силы.

22.8 – Выводы

1) Плотность гнездования рябинника в 2013-15 гг. на нашей основной модельной территории площадью 1,45 км^2 на Воробьевых горах, которая представляет собой

«мозаику» из древесных насаждений, открытых участков (в том числе газонов и полян) и застройки МГУ, оказалась одной из самых высоких в сравнении с показателями из других точек ареала. В 2015 г. в первом, основном, цикле размножения (210 пар/км^2) она была на 33% и 20% выше, чем в предшествовавшие два года.

2) Календарные сроки начала размножения некоторых пар и вылета из гнезд первых выводков рябинника в Москве в последние годы можно охарактеризовать как весьма ранние – на фоне литературных сведений, большей частью относящихся к «давним» десятилетиям. Случаи раннего гнездования наблюдались даже в поздние по метеорологическим условиям весны 2011 и 2013 гг., что свидетельствует об определенном «постоянстве» изменений фенологии в московской популяции. Отсутствие данных по Подмосковью за последние десятилетия не позволяет с уверенностью судить о том, является ли это «реакцией» только на локальные условия мегаполиса (в том числе мезоклиматические), или также на глобальные климатические сдвиги, влиявшие на фенологию вида в том же направлении, что и урбанизация.

3) В 2015 г. первые кладки появились в третьей декаде марта, первый выводок покинул гнездо 17 апреля. Почти 7% всех кладок «первого цикла» были начаты в первую декаду апреля. Столь ранние сроки начала размножения – рекорд не только для Москвы и Подмосковья, но и для регионов Восточной Европы, расположенных гораздо южнее.

4) Похолодание со снегопадом в конце четвертой пятидневки апреля 2015 г., сопровождавшееся непродолжительным (с вечера 20-го до утра 21 апреля) залеганием снежного покрова, не привело к гибели кладок рябинника, равно как и появившихся к тому времени в немногих гнездах выводков.

5) В 2015 г. в значительном числе гнезд рябинника отмечена гибель целых выводков из-за аномального метеорологического явления 15-17 мая – сочетания продолжительных дождей с сильными порывами ветра «на фоне» похолодания. Хотя, как и в предшествующие годы, разорение хищниками лидировало среди причин отхода гнезд, вклад этой погодной аномалии в общие репродуктивные потери вида также оказался значительным. В гнездах гибли выводки младшего и среднего возрастов (моложе ~9 суток), тогда как почти все выводки в возрасте 9-12 суток пережили непогоду. Судя по всему, смерть была вызвана переохлаждением и обусловлена не снижением доступности

для родителей основного корма (дождевых червей), а собственно непогодой, особенно дождями, от которых взрослые птицы оказались не в состоянии «защитить» птенцов.

6) Очень высокая плотность гнездования и ранние сроки (начала) размножения в московской популяции рябинника соответствуют обобщенному экологическому «портрету» так называемых синурбанистов – видов, которые «сформировали» в последние десятилетия/столетия специфические городские популяции, хотя продолжают населять также природные и сельские ландшафты (Luniak, 2004; Francis, Chadwick, 2011).

Благодарности. Мы глубоко признательны заведующей Метеорологической обсерваторией МГУ им. М.В. Ломоносова О.А. Шиловцевой и ведущему научному сотруднику М.А. Локощенко за предоставленные нам данные метеорологических наблюдений и публикации. Выражаем благодарность М.С. Шамину, С.Е. Черенкову и А.В. Фильчагову за сведения о некоторых аспектах гнездования рябинника в Москве и Подмосковье. Сотрудники строительной компании «ЭМТ Эритман А.Ш.», особенно К.З. и Х.К. Кенджаевы, оказывали постоянную техническую поддержку в проведении работ на территории МГУ. Руководство Ботанического сада МГУ и Главного ботанического сада РАН, лично заместители директоров этих учреждений А.В. Раппопорт и А.Н. Швецов предоставили возможность беспрепятственных работ на подведомственных им территориях и оказали техническую помощь. Наше исследование выполнено в Лаборатории синэкологии Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН при финансовой поддержке программ Президиума РАН I.22П «Эволюция органического мира и планетарных процессов» и I.21П «Биоразнообразие природных систем. Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга».

Литература

Абакумова Г.М., Исаев А.А., Локощенко М.А., Шерстюков Б.Г. 1998. Тенденции изменений климата Москвы в конце двадцатого века // Природа Москвы / Ред. Л.П. Рысин. М.: Биоинформсервис. С. 39-49.

Александрова И.В. 1959. Дрозды Приокско-Террасного заповедника // Труды Третьей Прибалтийской орнитологической конф. Вильнюс: Ин-т биологии АН Литовской ССР. С. 3-12.

Артемьев Ю.Т., Попов В.А. 1978. Семейство дроздовые // Птицы Волжско-Камского края. Воробьиные / Ред. В.А. Попов. М.: Наука. С. 70-94.

Атлас птиц города Москвы / Ред.-сост.: М.В. Калякин, О.В. Волцит, Х. Гроот Куркамп / Научн. ред. Н.С. Морозов. М.: «Фитон XXI», 2014. 332 с.

Барановский А.В., Иванов Е.С. 2016. Гнездящиеся птицы города Рязани (Атлас распространения и особенности биологии). Рязань: Изд-во «ПервопечатникЪ». 367 с.

Бережная Т.В., Голубев А.Д., Паршина Л.Н. 2011а. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в марте 2011 г. // Метеорология и гидрология 6: 105-112.

Бережная Т.В., Голубев А.Д., Паршина Л.Н. 2011б. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в апреле 2011 г. // Метеорология и гидрология 7: 116-124.

Бережная Т.В., Голубев А.Д., Паршина Л.Н. 2013а. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в марте 2013 г. // Метеорология и гидрология 6: 112-123.

Бережная Т.В., Голубев А.Д., Паршина Л.Н. 2013б. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в апреле 2013 г. // Метеорология и гидрология 7: 122-127.

Бережная Т.В., Голубев А.Д., Паршина Л.Н. 2014а. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в феврале 2014 г. // Метеорология и гидрология 5: 115-122.

Бережная Т.В., Голубев А.Д., Паршина Л.Н. 2014б. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в марте 2014 г. // Метеорология и гидрология 6: 116-122.

Бережная Т.В., Голубев А.Д., Паршина Л.Н. 2014в. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в апреле 2014 г. // Метеорология и гидрология 7: 120-127.

Бережная Т.В., Голубев А.Д., Паршина Л.Н. 2015а. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в феврале 2015 г. // Метеорология и гидрология 5: 127-135.

Бережная Т.В., Голубев А.Д., Паршина Л.Н. 2015б. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в марте 2015 г. // Метеорология и гидрология 6: 122-128.

Бережная Т.В., Голубев А.Д., Паршина Л.Н. 2015в. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в апреле 2015 г. // Метеорология и гидрология 7: 120-128.

Бокотей А.А., Горбань І.М., Костюшин В.А., Фесенко Г.В. 1994. Гніздування чикотня в природних та урбанізованих ландшафтах Західної України // Беркут 3 (1): 22-26.

Бокотей А.А., Дзюбенко Н.В., Горбань І.М., Кучинська І.В., Башта А-Т.В., Пограничний В.О., Бучко В.В., Сеник М.А. 2010. Гніздова орнітофауна басейну Верхнього Дністра. Львів: ДПМ НАН України. 400 с.

Болотников А.М., Шураков А.И., Шкарин В.С. 1973. К экологии размножения дроздов в Предуралье // Сборник статей по орнитологии / Научн. ред.: А.И. Шураков / Ученые записки кафедры зоологии. Том 113. Пермь: Пермский гос. пед. ин-т. С. 29-34.

Бурский О.В. 2002. Структура сообщества воробьиных птиц Центральной Сибири // Изучение биологического разнообразия на Енисейском экологическом трансекте. Животный мир / Отв. ред. Д.А. Шахин, Э.В. Рогачева. М.: ИПЭЭ РАН. С. 218-307.

Бюллетень Метеорологической Обсерватории МГУ (МОМГУ): Москва, март 2013 г. / Отв. за выпуск Л.Г. Руднева. М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, 2013а. 10 с.

Бюллетень Метеорологической Обсерватории МГУ (МОМГУ): Москва, апрель 2013 г. / Отв. за выпуск Л.Г. Руднева. М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, 2013б. 9 с.

Бюллетень Метеорологической Обсерватории МГУ (МОМГУ): Москва, март 2014 г. / Отв. за выпуск Л.Г. Руднева. М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, 2014а. 9 с.

Бюллетень Метеорологической Обсерватории МГУ (МОМГУ): Москва, апрель 2014 г. / Отв. за выпуск Л.Г. Руднева. М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, 2014б. 9 с.

Бюллетень Метеорологической Обсерватории МГУ (МОМГУ): Москва, март 2015 г. / Отв. за выпуск Л.Г. Руднева. М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, 2015а. 9 с.

Бюллетень Метеорологической Обсерватории МГУ (МОМГУ): Москва, апрель 2015 г. / Отв. за выпуск Л.Г. Руднева. М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, 2015б. 9 с.

Бюллетень Метеорологической Обсерватории МГУ (МОМГУ): Москва, май 2015 г. / Отв. за выпуск Л.Г. Руднева. М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, 2015в. 9 с.

Венгеров П.Д., Смирнов С.В. 2013. Рябинник – *Turdus pilaris* L. // Атлас гнездящихся птиц города Воронежа / Нумеров А.Д., Венгеров П.Д., Киселев О.Г. и др. Воронеж: Изд-во «Научная книга». С. 287-293.

Влияние изменения климата на экосистемы. 2001. Ред. А.О. Кокорин, А.В. Кожаринов, А.А. Минин. М.: Русский университет. 184 с.

Вронский Н.В. 1985. О залетах и расселении птиц на Западном Таймыре // Зоологический журнал 66 (1): 78-85.

Герасимов Ю.Н., Сальников Г.М., Буслаев С.В. 2000. Птицы Ивановской области. М.: Типография Россельхозакадемии. 125 с.

Гладков Н.А. 1954. Рябинник *Turdus pilaris* L. // Птицы Советского Союза. Том 6 / Ред. Г.П. Дементьев, Н.А. Гладков М.: Гос. изд-во «Советская наука». С. 413-420.

Головань В.И. 2006. Продуктивность и успешность размножения трех видов дроздов рода *Turdus* на юго-западе Псковской области // Русский орнитологический журнал 15 (313): 255-263.

Головань В.И., Пчелинцев В.Г. 2005. Материалы по распределению, численности и гнездованию дрозда-рябинника *Turdus pilaris* на юге Ленинградской области // Русский орнитологический журнал 14 (289): 494-500.

Головатин М.Г., Пасхальный С.П. 2005. Птицы Полярного Урала. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та. 560 с.

Груза Г.В., Бардин М.Ю., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В., Соколов Ю.Ю., Самохина О.Ф., Платова Т.В. 2001. Об изменениях температуры воздуха и атмосферных осадков на территории России в XX веке // Состояние и комплексный мониторинг природной среды и климата. Пределы изменений. М.: Наука. С. 18-39.

Данилов Н.Н., Тарчевская В.А. 1962. Географическая изменчивость размножения рябинника и белобровика на Урале // Орнитология 4: 142-153.

Демидова Е.Ю. 2011. Репродуктивные параметры четырех видов дроздов Центральной Сибири // Известия РАН, серия биологическая 5: 593-602.

Дольник В.Р. 1960. О врожденных компонентах инстинктивной деятельности птиц в гнездовой период // Вестник Ленинградского ун-та. №21. Серия биологии. Вып. 4: 101-112.

Захарова Л.С., Яковлева М.В. 1999. Сезонная изменчивость величины кладки и успешности размножения рябинника *Turdus pilaris* в заповеднике «Кивач», Карелия // Русский орнитологический журнал 8 (71): 3-8.

Карасева Е.В., Телицына А.Ю., Самойлов Б.Л. 1999. Млекопитающие Москвы в прошлом и настоящем. М.: Наука. 245 с.

Климов С.М., Сарычев В.С., Землянухин А.И. 1989. Сравнительные аспекты гнездовой экологии дроздов Верхнего Подонья // Гнездовая жизнь птиц / Отв. ред. А.И. Шураков. Пермь: Пермский гос. педагогический ин-т. С. 58-62.

Климов С.М., Сарычев В.С., Недосекин В.Ю., Абрамов А.В., Землянухин А.И., Венгеров П.Д., Нумеров А.Д., Мельников М.В., Ситников В.В., Шубина Ю.Э. 1998. Кладки и размеры яиц птиц бассейна Верхнего Дона. Липецк: Изд-во Липецкого гос. педагогического ин-та. 120 с.

Книстаутас А., Люткус А. 1979. К биологии рябинника в период гнездования в Литве // Тез. Всесоюзной конференции молодых ученых «Экология гнездования птиц и методы ее изучения», Самарканд, 23-25 мая 1979 г. / Отв. ред. А.К. Сагитов, Д.Ю. Кашкаров. Самарканд: Самаркандский гос. университет. С. 102-103.

Книстаутас А., Люткус А., Бараускас Р. 1981. Основные фенологические и гнездовые показатели дроздов в Литве // Тез. докл. X Прибалтийской орнитол. конф. Том 2. Рига: Ин-т биологии АН Латвийской ССР. С.70-75.

Константинов П.И. 2014. Температура и влажность воздуха // Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2013 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ / Ред. Н.Е. Чубарова. М.: МАКС Пресс. С. 10-19.

Константинов П.И. 2015. Температура и влажность воздуха // Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2014 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ / Ред. О.А. Шиловцева, Е.И. Незваль. М.: МАКС Пресс. С. 10-17.

Красная книга города Москвы. 2001. / Ред. Б.Л. Самойлов, Г.В. Морозова. М.: АБФ. 624 с.

Красная книга города Москвы. 2-е издание. 2011. / Отв. ред. Б.Л. Самойлов, Г.В. Морозова. М.: Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. 928 с.

Кузиков И.В. 2015. О некоторых орнитологических находках на Щукинском п-ове в Москве в 2015 году // Московка 22: 23-28.

Левин А.С., Губин Б.М. 1985. Биология птиц интразонального леса (на примере воробьиных в пойме Урала). Алма-Ата: Изд-во «Наука» Казахской ССР. 248 с.

Локощенко М.А. 2005. Снежный покров и его современные изменения в Москве // Метеорология и гидрология 6: 71-82.

Локощенко М.А. 2012. Снежный покров // Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2011 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ / Ред. Н.Е. Чубарова. М.: МАКС Пресс. С. 38-45.

Локощенко М.А. 2014. Снежный покров // Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2013 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ / Ред. Н.Е. Чубарова. М.: МАКС Пресс. С. 36-41.

Локощенко М.А. 2015. Снежный покров // Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2014 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ / Ред. О.А. Шиловцева, Е.И. Незваль. М.: МАКС Пресс. С. 39-46.

Локощенко М.А. 2016. Снежный покров // Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2015 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ / Ред. О.А. Шиловцева. М.: МАКС Пресс. С. …-….

Лыков Е.Л. 2006. Видовой состав, численность и особенности территориального размещения гнездящихся птиц семейства дроздовых в Калининграде // Беркут 15 (1-2): 66-80.

Лысенков Е.В., Лапшин А.С., Спиридонов С.Н. 2003. Птицы Мордовии: оологические и нидологические материалы. Саранск: Мордовский гос. педагогический ин-т им. М.Е. Евсевьева. 139 с.

Мальчевский А.С. 1959. Гнездовая жизнь певчих птиц. Размножение и постэмбриональное развитие лесных воробьиных птиц европейской части СССР. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та. 281 с.

Мальчевский А.С., Пукинский Ю.Б. 1983. Птицы Ленинградской области и сопредельных территорий. Том 2. Певчие птицы. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та. 504 с.

Марголин В.А., Баранов Л.С. 2002. Птицы Калужской области. Часть 2. Воробьинообразные. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой. 640 с.

Мирвис В.М., Гусева И.П., Мещерская А.В. 1996. Тенденции изменения временных границ теплого и вегетационного сезонов на территории бывшего СССР за длительный период // Метеорология и гидрология 9: 106-116.

Морозов Н.С. 2001. Межвидовые ассоциации и организация населения гнездящихся птиц в лесах умеренного пояса. 2. Ассоциации, формирующиеся в поселениях дрозда-рябинника, *Turdus pilaris* // Успехи современной биологии 121 (5): 428-447.

Морозов Н.С. 2010. Необычно раннее гнездование рябинника // Московка 12: 37-38.

Морозов Н.С., Худяков В.В., Панфилова И.М. 2015. Рябинник (*Turdus pilaris*) в большом городе: особенности размножения и репродуктивные потери из-за хищников // XIV Международная орнитологическая конференция Северной Евразии (Алматы, 18-24 августа 2015 г.). I. Тезисы. Алматы: Мензбировское орнитологическое общество. С. 342-343.

Москвитин С.С. 1974. Некоторые биоценотические связи дрозда-рябинника в районе среднего Приобья // Труды НИИ биологии и биофизики при Томском гос. ун-те им. В. В. Куйбышева. Том 4. Биология. С. 15-22.

Москвитин С.С., Блинов В.Н. 1981. Взаимоотношения серой вороны и дрозда-рябинника на территории подтаежной зоны Западной Сибири // Экология и биоценотические связи перелетных птиц Западной Сибири / Отв. ред. К.Т. Юрлов. Новосибирск: Наука. С. 127-137.

Нанкинов Д. 1970. О растянутости сроков размножения дрозда-рябинника в Ленинградской области // Вестник Ленинградского ун-та. №9. Биология. Вып. 2. С. 90-95.

Никифоров М.Е., Яминский Б.В., Шкляров Л.П. 1989. Птицы Белоруссии: Справочник-определитель гнезд и яиц. Минск: Вышэйшая школа. 479 с.

Нумеров А.Д., Приклонский С.Г., Иванчев В.П., Котюков Ю.В., Кашенцева Т.А., Маркин Ю.М., Постельных А.В. 1995. Кладки и размеры яиц птиц юго-востока Мещерской низменности / Ред. С.Г. Приклонский / Труды Окского государственного

биосферного заповедника. Вып. 18. М.: ЦНИЛ охотничьего хозяйства и заповедников. 168 с.

Паевский В.А. 1982. Глава 9. Размножение и демография зябликов Куршской косы по двадцатилетним данным // Популяционная экология зяблика / Ред. В.Р. Дольник / Труды Зоологического Ин-та АН СССР. Том 90. Л.: Наука. С. 165-190.

Попов В.А., Попов Ю.К., Приезжев Г.П., Кулаева Т.М., Воронов Н.П., Гаранин В.И., Назарова И.В., Изотова Т.Е., Красовская Л.А. 1954. Результаты изучения животного мира зоны затопления Куйбышевской ГЭС // Труды Казанского филиала Академии наук СССР. Серия биологических наук. №3. С. 7-217.

Прокофьева И.В. 2003. Описание случаев гибели гнезд, яиц и птенцов не в результате нападения врагов, а по другим причинам // Русский орнитологический журнал 12 (248): 1459-1465.

Промптов А.Н. 1960. Птицы в природе: Пособие для учителя. М.: Учпедгиз. 490 с.

Птушенко Е.С., Иноземцев А.А. 1968. Биология и хозяйственное значение птиц Московской области и сопредельных территорий. М.: Изд-во Московского ун-та. 461 с.

Рябицев В.К. 2014а. Птицы Сибири: Справочник-определитель в двух томах. Том 1. М.-Екатеринбург: Кабинетный ученый. 438 с.

Рябицев В.К. 2014б. Птицы Сибири: Справочник-определитель в двух томах. Том 2. М.-Екатеринбург: Кабинетный ученый. 452 с.

Сапетина И.М. 2009. Птицы Окского заповедника и сопредельных территорий (биология, численность, охрана). Том 2. Воробьиные птицы. М.: Товарищество научных изданий КМК. 172 с.

Скуодис В.К. 1960. Дрозды Литовской ССР // Тез. докл. 4-й Прибалтийской орнитологической конф. Рига: Изд-во Академии наук Латвийской ССР. С. 89-90.

Смирнов О.П., Тюрин В.М. 2007. Сроки и успешность размножения рябинника *Turdus pilaris* в Ленинградской области // Русский орнитологический журнал 16 (344): 178-185.

Строков В.В. 1968. Выбрасывание птенцов из гнезд взрослыми птицами // Зоологический журнал 47 (6): 951-952.

Талпош В.С. 1996. Рябинник в западных областях Украины // Беркут 5 (2): 152-157.

Федюшин А.В., Долбик М.С. 1967. Птицы Белоруссии. Минск: Наука и техника. 520 с.

Фетисов С.А. 1988. Характер поселения и продуктивность дрозда-рябинника в условиях Себежского поозерья // Тез. докл. XII Прибалтийской орнитол. конф. Вильнюс: Ин-т зоологии и паразитологии АН Литовской ССР. С. 229-230.

Фетисов С.А., Ильинский И.В., Головань В.И., Федоров В.А. 2002. Птицы Себежского Поозерья и национального парка «Себежский». Часть 2 / Ред. С.А. Фетисов / Труды Санкт-Петербургского Общества естествоиспытателей. Серия 6. Том 3. СПб: Изд-во С.-Петербургского ун-та. 128 с.

Чаплыгина А.Б., Кривицкий И.А. 1996. Рябинник в условиях трансформированных ландшафтов Харьковской области // Беркут 5 (2): 158-162.

Шамин М.С. 2015. Дрозд рябинник, все раньше и раньше // Московка 22: 64-66.

Шепель А.И., Матвеева Г.К. 2014. Птицы города Перми. Пермь: Книжный мир. 344 с.

Шилов И.А. 1968. Регуляция теплообмена у птиц (Эколого-физиологический очерк). М.: Изд-во Московского ун-та. 251 с.

Шкарин В.С., Родимцев А.С. 1978. Расположение гнезд и структура поселений рябинника // Гнездовая жизнь птиц / Отв. ред. А.М. Болотников. Пермь: Пермский гос. пед. ин-т. С. 91-96.

Andersson M., Wiklund C.G. 1978. Clumping versus spacing out: experiments on nest predation in Fieldfares (*Turdus pilaris*) // Animal Behaviour 26 (4): 1207-1212.

Arheimer O., Svensson S. 2008. Breeding performance of the Fieldfare *Turdus pilaris* in the subalpine birch zone in southern Lapland: a 20 year study // Ornis Svecica 18 (1): 17-44.

Boersma P.D., Rebstock G.A. 2014. Climate change increases reproductive failure in Magellanic Penguins // PLoS ONE 9 (1): e85602. doi: 10.1371/journal.pone.0085602.

Bordjan D., Tome D. 2014. Rain may have more influence than temperature on nest abandonment in the Great Tit *Parus major* // Ardea 102 (1): 79-86.

Both C., Bouwhuis S., Lessells C.M., Visser M.E. 2006. Climate change and population declines in a long-distance migratory bird // Nature 441 (7089): 81-83.

Dunn E.H. 1975. The timing of endothermy in the development of altricial birds // Condor 77 (3): 288-293.

Fischer S. 1994. Einfluss der Witterung auf den Bruterfolg des Drosselrohrsängers *Acrocephalus arundinaceus* am Berliner Müggelsee // Vogelwelt 115 (6): 287-292.

Francis R.A., Chadwick M.A. 2011. What makes a species synurbic? // Applied Geography 32 (2): 514-521.

Furrer R.K. 1979. Brutplatzverschiebungen bei der Wacholderdrossel *Turdus pilaris* nach Nestverlust // Journal für Ornithologie 120 (1): 86-93.

Furrer R.K. 1980. Seasonal changes in nest site selection of the Fieldfare *Turdus pilaris* // Ornis Scandinavica 11 (1): 60-64.

Haas V. 1985. Colonial and single breeding in fieldfares, *Turdus pilaris* L.: a comparison of nesting success in early and late broods // Behavioral Ecology and Sociobiology 16 (2): 119-124.

Haila Y. 1988. Calculating and miscalculating density: the role of habitat geometry // Ornis Scandinavica 19 (2): 88-92.

Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa. The Birds of the Western Palearctic. Volume 5. Tyrant Flycatchers to Thrushes / Ed.: S. Cramp. Oxford: Oxford University Press, 1988. 1063 p.

Håland A. 1984. Breeding ecology of alpine Fieldfares *Turdus pilaris* // Annales Zoologici Fennici 21 (3): 405-410.

Håland A. 1989. Nest spacing and antipredator behaviour of the Fieldfare *Turdus pilaris* in alpine habitats // Fauna norvegica. Ser. C. Cinclus 12 (1): 11-20.

Hogstad O. 1983. Is nest predation really selecting for colonial breeding among Fieldfares *Turdus pilaris*? // Ibis 125 (3): 366-369.

Hogstad O. 1985. Site fidelity and a case of second clutch in Fieldfare *Turdus pilaris* // Fauna norvegica. Ser. C. Cinclus 6: 114.

Hogstad O. 1993. Nest defence and physical condition in Fieldfare *Turdus pilaris* // Journal für Ornithologie 134 (1): 25-33.

Hogstad O. 1995. Do avian and mammalian nest predators select for different nest dispersion patterns of Fieldfares *Turdus pilaris*? A 15-year study // Ibis 137 (4): 484-489.

Hogstad O. 2004a. Nest defence strategies in the Fieldfare *Turdus pilaris*: the responses on an avian and a mammalian predator // Ardea 92 (1): 79-84.

Hogstad O. 2004b. Feeding frequencies and nest defence of Fieldfares in relation to body size, physical condition and sex of parents // Ornis Norvegica 27: 68-72.

Hogstad O., Selås V., Kobro S. 2003. Explaining annual fluctuations in breeding density of fieldfares *Turdus pilaris* – combined influences of factors operating during breeding, migration and wintering // Journal of Avian Biology 34 (4): 350-354.

Hohlt H. 1957. Studien an einer süddeutschen Population der Wacholderdrossel (*Turdus pilaris*) // Journal für Ornithologie 98 (1): 71-118.

Imanishi S. 2007. High mortality of Bull-Headed Shrike *Lanius bucephalus* nestlings during consecutive rainfall // Journal of the Yamashina Institute for Ornithology 39 (1): 35-39.

Kennedy R.J. 1970. Direct effects of rain on birds: a review // British Birds 63 (10): 401-414.

Kirkpatrick C., Conway C.J., Ali M.H. 2009. Sanitation of entire broods of dead nestlings may bias cause-specific nest failure rates // Ibis 151 (1): 207-211.

Lokoshchenko M.A., Vasilenko E.L. 2009. Change of air temperature in Moscow during last two and quarter centuries // Proceedings of the Seventh International Conference on Urban Climate (ICUC-7), 29 June - 3 July 2009, Yokohama, Japan. Paper index B8-5.

Luniak M. 2004. Synurbization – adaptation of animal wildlife to urban development // Proceedings of the 4th International Symposium on Urban Wildlife Conservation / Eds: W.W. Shaw, L.K. Harris, L. Vandruff. Tucson: University of Arizona. P. 50-55.

Lübcke W. 1975. Zur Ökologie und Brutbiologie der Wacholderdrossel (*Turdus pilaris*) // Journal für Ornithologie 116 (3): 281-296.

Martin T.E. 1988. Processes organizing open-nesting bird assemblages: competition or nest predation? // Evolutionary Ecology 2 (1): 37-50.

Martin T.E. 1992. Breeding productivity considerations: what are the appropriate habitat features for management? // Ecology and Conservation of Neotropical Migrant Land Birds / Eds: J.M. Hagan III, D.W. Johnston. Washington, DC: Smithsonian Institution Press. P. 455-473.

Martin T.E. 1993. Nest predation among vegetation layers and habitat types: revising the dogmas // American Naturalist 141 (6): 897-913.

Martin T.E., Geupel G.R. 1993. Nest-monitoring plots: methods for locating nests and monitoring success // Journal of Field Ornithology 64 (4): 507-519.

Mayfield H.F. 1975. Suggestions for calculating nest success // Wilson Bulletin 87 (4): 456-466.

Meilvang D., Moksnes A., Røskaft E. 1997. Nest predation, nesting characteristics and nest defence behaviour of Fieldfares and Redwings // Journal of Avian Biology 28 (4): 331-337.

Morozov N.S. 1993. Short-term fluctuations in a south-taiga bird assemblage: support for an "individualistic" view // Ornis Fennica 70 (3): 177-188.

Morozov N.S. 2009. A city as an object for synecological studies: a search for density compensation among birds breeding in urban woodland // Species and Communities in Extreme Environments / Eds.: S.I. Golovatch, O.L. Makarova, A.B. Babenko, L.D. Penev. Sofia-Moscow: Pensoft Publishers & KMK Scientific Press. P. 459-520.

Nice M.M. 1957. Nesting success in altricial birds // Auk 74 (3): 305-321.

Nilsson S.G. 1984. The evolution of nest-site selection among hole-nesting birds: the importance of nest predation and competition // Ornis Scandinavica 15 (3): 167-175.

Ricklefs R.E. 1969. An analysis of nesting mortality in birds // Smithsonian Contributions to Zoology 9: 1-48.

Slagsvold T. 1980. Egg predation in woodland in relation to the presence and density of breeding Fieldfares *Turdus pilaris* // Ornis Scandinavica 11 (2): 92-98.

Stewart R.M. 1972. Nestling mortality in swallows due to inclement weather // California Birds 3 (3): 69-70.

Tiainen J., Šťastný K., Bejcek V. 1997. *Turdus pilaris* Fieldfare // The EBCC Atlas of European Breeding Birds: Their Distribution and Abundance / Eds: E.J.M. Hagemeijer, M.J. Blair. London: T & A D Poyser. P. 546-547.

Tomiałojc L., Stawarczyk T. 2003. Awifauna Polski. Rozmieszczenie, Liczebność i Zmiany. Wrocław: PTPP "pro Natura". 870 s.

Wesołowski T., Tomiałojć L. 2005. Nest sites, nest depredation, and productivity of avian broods in a primeval temperate forest: do the generalisations hold? // Journal of Avian Biology 36 (5): 361-367.

Wesołowski T., Czeszczewik D., Rowiński P., Walankiewicz W. 2002. Nest soaking in natural holes – a serious cause of breeding failure? // Ornis Fennica 79 (3): 132-138.

Wiklund C.G. 1982. Fieldfare (*Turdus pilaris*) breeding success in relation to colony size, nest position and association with Merlins (*Falco columbarius*) // Behavioral Ecology and Sociobiology 11 (3): 165-172.

Wiklund C.G. 1984. Reproductive synchrony in the Fieldfare (*Turdus pilaris*) in relation to spring arrival, nest predation and nestling starvation // Behavioral Ecology and Sociobiology 15 (4): 311-316.

Wiklund C.G., Andersson M. 1980. Nest predation selects for colonial breeding in Fieldfares *Turdus pilaris* // Ibis 122 (3): 363-366.

Wiklund C.G., Andersson M. 1994. Natural selection of colony size in a passerine bird // Journal of Animal Ecology 63 (4): 765-774.

Zając T. 1995. Selection on laying date in the Blue Tit *Parus caeruleus* and the Great Tit *Parus major* caused by weather conditions // Acta Ornithologica 30 (2): 145-151.