

2016

Environmental and Climate Characteristics of the
Atmosphere in 2016 according to the
Measurements of the Meteorological Observatory
of Moscow State University

Moscow

MAKS Press 2017

ISBN 978-5-317-05711-4

2016

ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
АТМОСФЕРЫ в 2016 г. по ДАННЫМ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ МГУ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

МОСКВА

МАКС Пресс 2017

ISBN 978-5-317-05711-4

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 2016 г.
ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ МГУ имени М.В.ЛОМОНОСОВА**

Коллектив авторов:

Е.Ю. Жданова, М.А. Локощенко, А.Ю. Богданович, Е.В. Горбаренко,
И.В. Сошинская, О.А. Шиловцева, Е.И. Незваль, Н.Е. Чубарова,
Ю.О. Хлестова, И.Д. Еремина, Е.Э. Северова, О.А. Волкова, С.В. Полева,
А.Ю. Комаров, Ю.Г. Селиверстов, С.А. Сократов, П.Б. Гребенников,
С.Ю. Казарова, С.В. Купцов, Г.А. Бойко,
Т.В. Лаврова, Л.С. Ванина, К.В. Авилова

Под редакцией Е.И. Незваль, И.В. Сошинской

УДК 551.5
ББК 26.237
Э40

Коллектив авторов:

Е.Ю. Жданова, М.А. Локощенко, А.Ю. Богданович, Е.В. Горбаренко,
И.В. Сошинская, **О.А. Шиловцева**, Е.И. Незваль, Н.Е. Чубарова, Ю.О. Хлестова,
И.Д. Еремина, Е.Э. Северова, О.А. Волкова, С.В. Полева, А.Ю. Комаров,
Ю.Г. Селиверстов, С.А. Сократов, П.Б. Гребенников, С.Ю. Казарова, С.В. Купцов,
Г.А. Бойко, Т.В. Лаврова, Л.С. Ванина, К.В. Авилова

Под редакцией Е.И. Незваль, И.В. Сошинской

Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2016 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова /
Э40 Жданова Е.Ю. и др.; Под ред. Незваль Е.И., Сошинской И.В. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 245 с.
ISBN 978-5-317-05711-4

Приведены особенности различных характеристик атмосферы в 2016 году по данным метеорологической обсерватории МГУ. Рассмотрены метеорологический и радиационный режим атмосферы, проанализированы характеристики атмосферных аэрозольных частиц, 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.

ISBN 978-5-317-05711-4

УДК 551.5
ББК 26.237

Authors:

Ye.Yu. Zhdanova, M.A. Lokoshchenko, A.Yu. Bogdanovich, Ye.V. Gorbarenko,
I.V. Soshinskaya, **O.A. Shilovtseva**, Ye.I. Nezval', N.Ye. Chubarova, Yu.O. Khlesyova,
I.D. Eremina, Ye.E. Severova, O.A. Volkova, S.V. Polevova, A.Yu. Komarov,
Yu.G. Seliverstov, S.A. Sokratov, B.P. Grebennikov, S.Yu. Kazarova, S.V. Kuptsov,
G.A. Boiko, T.V. Lavrova, L.S. Vanina, K.V. Avilova

Edited by E.I. Nezval', I.V. Soshinskaya

Environmental and climate characteristics of the atmosphere in 2016 according to the measurements of the Meteorological Observatory of Moscow State University. – Moscow, MAKS Press, 2017. – 245 p.

This publication describes the main features of different atmospheric parameters variation in 2016 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 is reviewed. The forth part of the issue contains a brief overview of the life of wild birds in Moscow region.

Электронное издание

Минимальные системные требования:

PC не ниже класса Pentium I; 32 Mb RAM; свободное место на HDD
16 Mb; Windows 95/98; Adobe Arcobat Reader; дисковод CD-ROM; мышь.

В комплекте: 1 электронный оптический диск (CD-ROM), пластиковая коробка.

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.

© Коллектив авторов, 2017

В 2017 году Метеорологическая обсерватория МГУ понесла тяжелую утрату.

МО МГУ потеряла преданных делу, умных и чутких людей, посвятивших всю свою сознательную жизнь организации и проведению актинометрических наблюдений в стенах нашего университета.

8 апреля на 78 году ушла из жизни **Абакумова Галина Михайловна**.

1 мая после продолжительной болезни на 59 году жизни скончалась **Ольга Александровна Шиловцева**.

Галина Михайловна после окончания с отличием в 1962 г. Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова начала работать в Метеорологической обсерватории кафедры метеорологии и климатологии. В 1978 г. защитила кандидатскую диссертацию на тему: «Исследование влияния Москвы на прозрачность атмосферы и приход солнечной радиации». За 45 лет она прошла путь от старшего лаборанта до ведущего научного сотрудника. С 1989 года до ухода на пенсию в 2007 году Галина Михайловна возглавляла актинометрический отдел МО МГУ



Ольга Александровна пришла в Метеорологическую обсерваторию в 1980 г, сразу после окончания с отличием учебы на кафедре метеорологии и климатологии. Ее путь в обсерватории начался с оперативной работы в актинометрическом отделе. По ее инициативе в 1980 г. в обсерватории были начаты непрерывные измерения фотосинтетически активной радиации, продолжены наблюдения за естественной освещенностью земной поверхности. В 1993 году Ольга Александровна защитила кандидатскую диссертацию, в 2007 году возглавила актинометрический отдел, в 2014 взяла на себя ответственность за работу всей метеообсерватории – стала заведующей МО МГУ. Ее научные интересы охватывали широкий круг. В области спектральной актинометрии и естественной освещенности земной поверхности она была известна и уважаема в России и за рубежом, ее интересовали проблемы Арктики. Бесценным ее качеством было умение создать и поддерживать комфортную доброжелательную атмосферу в коллективе.

Весь 2016 год, несмотря на тяжелую болезнь, Ольга Александровна вникала во все работы обсерватории, под ее руководством был выполнен весь комплекс наблюдений в МО МГУ.

До последнего дня мы надеялись, что своим мужеством, жизнелюбием и оптимизмом Ольга Александровна победит тяжелую болезнь – к несчастью, наши надежды не оправдались. 2016 год стал последним рабочим годом в ее жизни. Справочник 2016 года мы посвящаем светлой памяти дорогих и любимых наших сотрудников

Галине Михайловне Абакумовой и Ольге Александровне Шиловцевой.

Оглавление

Об издании	7
Часть I. Метеорологические параметры атмосферы	9
1. Температура воздуха <i>Жданова Е.Ю.</i>	10
2. Промерзание и оттаивание почвы и грунта <i>Локощенко М.А.</i>	15
3. Влажность воздуха и атмосферные осадки <i>Жданова Е.Ю.</i>	33
4. Снежный покров <i>Локощенко М.А.</i>	41
5. Атмосферное давление и ветер в приземном слое <i>Жданова Е.Ю.</i>	53
6. Ветровой режим и температурная стратификация нижнего 800-метрового слоя воздуха <i>Локощенко М.А., Богданович А.Ю.</i>	59
7. Сравнительный анализ ручных метеорологических измерений и измерений автоматического метеорологического комплекса в 2015 году <i>Жданова Е.Ю.</i>	105
8. Особенности облачного покрова и продолжительности солнечного сияния <i>Горбаренко Е.В.</i>	110
Часть II. Радиационные параметры атмосферы	116
9. Характеристика прозрачности атмосферы и составляющих радиационного баланса <i>Горбаренко Е.В.</i>	117
10. Особенности режима фотосинтетически активной радиации <i>Сошинская И.В., Шиловцева О.А.</i>	127
11. Режим естественной освещенности земной поверхности <i>Сошинская И.В., Шиловцева О.А., Горбаренко Е.В.</i>	134
12. Особенности прихода УФ радиации 300-380 нм <i>Незваль Е.И.</i>	143
13. Биологически активная эритемная УФ радиация <i>Жданова Е.Ю., Чубарова Н.Е.</i>	156
Часть III. Аэрозольный и газовый состав атмосферы, химический состав атмосферных осадков	161
14. Основные характеристики аэрозоля по данным солнечно-небесного фотометра CIMEL сети AERONET <i>Хлестова Ю.О., Чубарова Н.Е.</i>	162
15. Химический состав атмосферных осадков в 2016 году <i>Еремина И.Д.</i>	175
16. Особенности аэропалинологического состава атмосферы в 2016 году <i>Северова Е.Э., Волкова О.А., Полева С.В.</i>	185
Часть IV. Прикладные аспекты метеорологических наблюдений	189
17. Изучение пространственно-временной неоднородности снежной толщи на площадке метеорологической обсерватории МГУ зимой 2016/2017 гг. <i>Комаров А. Ю., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Гребенников П.Б.</i>	190
18. Фенологические наблюдения за некоторыми видами деревьев и кустарников в дендрарии Ботанического сада МГУ <i>Казарова С.Ю., Купцов С.В., Бойко Г.А.</i>	203
19. Фенологические наблюдения в Ботаническом саду МГУ <i>Лаврова Т.В.</i>	205
20. Сезонная ритмика видов и форм рода <i>Malus Mill.</i> (яблоня) в вегетационный сезон 2016 года (семейство Rosaceae подсемейства Maloideae) <i>Ванина Л.С.</i>	211
21. Особенности годового цикла водоплавающих птиц в 2016 году на примере кряквы (<i>Anas platyrhynchos L.</i>) <i>Авилова К.В.</i>	213
Часть V. Ольга Александровна Шиловцева <i>Романенко Ф.А., Романенко А.Ф.</i>	227

Об издании

Перед Вами седьмой 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



2016 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 метеорологической 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. Воробьева, Т.Н. Гайкинвельдер, О.П. Дурнева, А.А. Устинов, старший наблюдатель-актинометрист Н.А. Бунина и наблюдатели-актинометристы Е.И. Розанова, Е.Г. Столярова, 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 госбюджетной темой АААА-А16-116032810086-4 (главы 1, 3, 5, 12), РФФИ № 15-05-03612 (главы 12, 13), № 16-05-00985 (глава 14), грантом Российского Научного Фонда (РНФ) № 16-17-10275 (глава 6), № 17-77-10132 (глава 13), № 14-50-00029 (глава 16).

Программа наблюдений МО МГУ

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

Часть I. Метеорологические параметры атмосферы



1. Температура воздуха

Жданова Е.Ю.

Непрерывные измерения основных метеорологических параметров осуществляются в Метеорологической Обсерватории МГУ регулярно каждые три часа согласно международным метеорологическим стандартам. С перечнем производимых наблюдений можно ознакомиться на сайте <http://momsu.ru/>.

Самым показательным, описывающим метеорологический режим, параметром является температура воздуха, измеряемая на высоте 2 метра от поверхности Земли. За современную климатическую норму принята средняя температура воздуха за период 1981-2010 гг. В настоящем обзоре аномалии температуры воздуха рассмотрены относительно современной климатической нормы.

2016 год стал самым теплым годом на Земле за последние 137 лет. Глобальная среднегодовая аномалия температуры воздуха составила $0,94^{\circ}\text{C}$. Стоит отметить, что пять самых теплых лет на Земле наблюдались, начиная с 2010 года – в 2010, 2013, 2014, 2015, 2016 годы (NOAA, Global Climate Report for Annual 2016). Зима, весна и лето 2016 года стали в Северном полушарии Земли самыми теплыми в истории, а осень уступила первенство только 2015 году (<http://www.meteoinfo.ru>).

Рассмотрим особенности температурного режима в Москве в 2016 году. В табл. 1.1 представлена среднемесячная температура воздуха в 2016 году и в среднем за период 1981-2010 гг. Аномалии температуры воздуха были положительными во все месяцы года, кроме января, сентября, октября и ноября. Наибольшая положительная аномалия температуры воздуха была зафиксирована в феврале ($+6,2^{\circ}\text{C}$), отрицательная – в январе ($-3,1^{\circ}\text{C}$).

В среднем за год температура воздуха составила $6,9^{\circ}\text{C}$, что выше нормы на 1°C . На рис. 1.1 показана среднегодовая температура воздуха и ее линейный тренд, который составляет $0,55^{\circ}\text{C}$ за 10 лет (период 1981-2016 гг.).

Таблица 1.1. Среднемесячная температура воздуха в 2016 году, средняя за период 1981-2010 гг. и аномалии температуры воздуха в 2016 году относительно нормы

Месяц	T (2016), °C	T (1981-2010), °C	T (2016) – T (1981-2010), °C
I	-9,6	-6,5	-3,1
II	-0,4	-6,6	6,2
III	0,8	-0,9	1,7
IV	8,6	7,0	1,6
V	15,4	13,5	1,9
VI	18,5	17,3	1,2
VII	21,1	19,5	1,6
VIII	19,9	17,3	2,6
IX	11,6	11,6	0,0
X	4,5	5,7	-1,2
XI	-2,6	-1,3	-1,3
XII	-4,5	-5,3	0,8

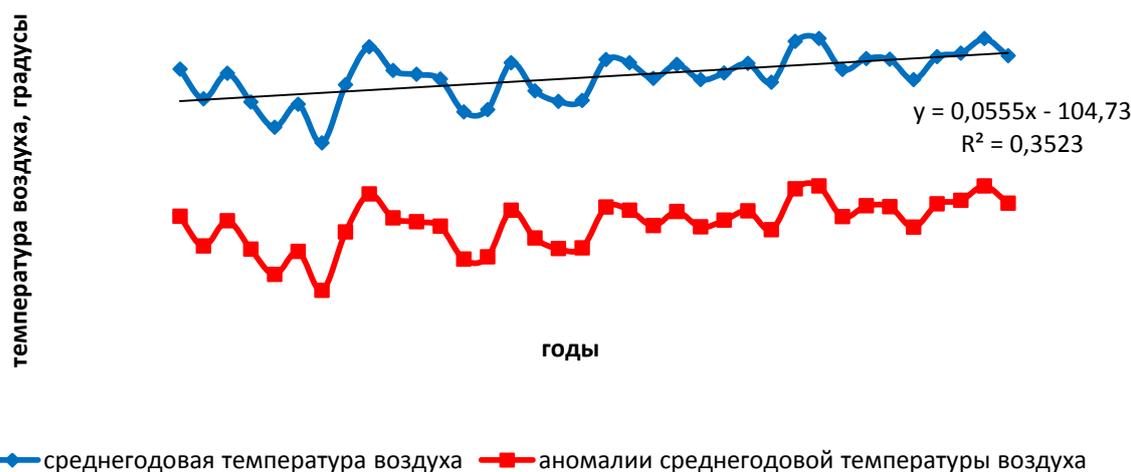


Рисунок 1.1. Среднегодовая температура воздуха и ее аномалии в Москве с 1981 года

Абсолютные экстремумы температуры воздуха за период 1981-2016 гг. представлены в табл. 1.2. В 2016 году абсолютные экстремумы температуры воздуха превзойдены не были. **Минимум** температуры воздуха в 2016 году был достигнут 5 января и составил $-21,1^{\circ}\text{C}$, что выше абсолютного минимума, который приходится на 1 января 2003 года, на 10°C . Минимум температуры воздуха в январе 2016 года был связан с воздействием обширного холодного циклона. **Максимум** температуры воздуха в 2016 году

составил 33,1°C и наблюдался на фоне антициклональной погоды 26 июня, он оказался ниже абсолютного максимума на 5°C (29 июля 2010 года).

Годовой ход среднесуточных значений температуры в 2016 году наряду со средними значениями показан на рис. 1.2. Экстремумы температуры воздуха за весь период наблюдений в Метеорологической Обсерватории МГУ можно найти в (Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2015 г., 2016).

Таблица 1.2. Экстремумы температуры воздуха по месяцам, °С, за период 1981-2016 гг.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
МИНИМУМ	-31,2 (08.01. 2003)	-28,1 (03.02. 1999)	-21,0 (02.03. 1987)	-12,7 (03.04. 1998)	-3,6 (05.05. 1999)	1,5 (11.06. 1982)	6,3 (06.07. 1992)	3,3 (28.08. 1994)	-4,2 (29.09. 1996)	-9,3 (28.10. 2003)	-22,7 (29.11. 1984)	-27,1 (16.12. 1997)
МАКСИМУМ	8,7 (11.01. 2007)	8,7 (27.02. 1989)	18,1 (30.03. 2007)	25,6 (23.04. 1995)	33,8 (28.05. 2007)	33,7 (14.06. 1998)	38,1 (29.07. 2010)	38,0 (02.08. 2010)	30,4 (01.09. 1992)	24,4 (06.10. 1999)	14,0 (10.11. 2010)	10,0 (6.12. 2008)

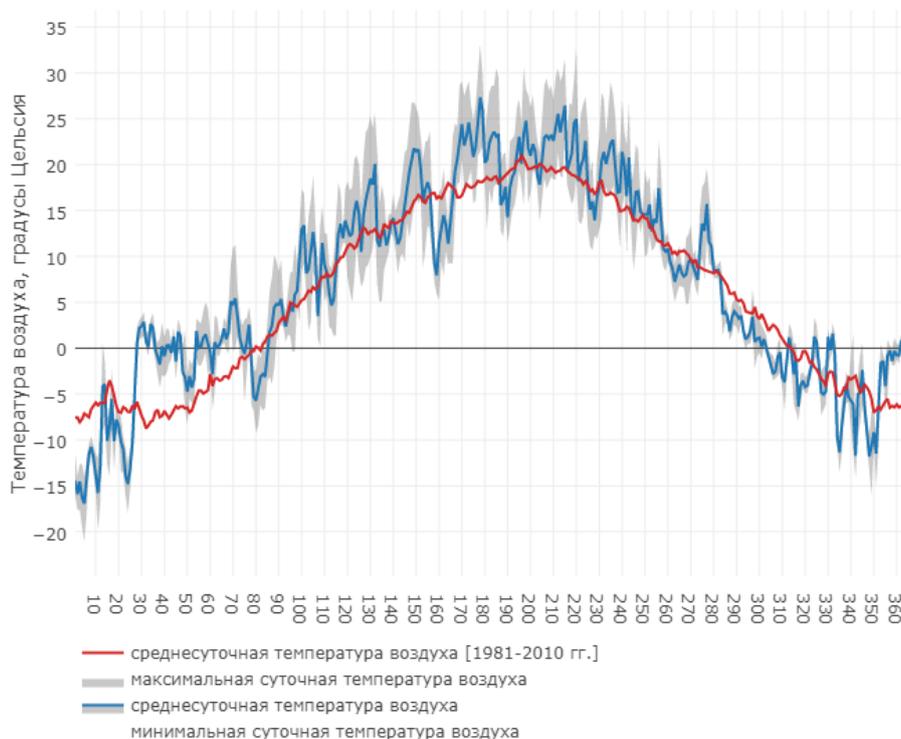


Рисунок 1.2. Среднесуточные значения температуры воздуха в 2016 году и за период 1981-2010 гг. и экстремальные суточные значения в 2016 году

Рассмотрим более подробно изменение температуры воздуха по месяцам (табл. 1.3). Январь 2016 года охарактеризовался значительной отрицательной аномалией температуры воздуха $-3,1^{\circ}\text{C}$, став шестым самым холодным годом за период 1981-2016 гг. Февраль, напротив, был аномально теплым, став вторым, наравне с февралем 2002 года, самым теплым февралем за рассматриваемый период, теплее было только в 1990 году. Величина аномалии температуры составила $+6,2^{\circ}\text{C}$, средняя температура февраля 2016 года была выше средней температуры марта в Москве. Март-июль охарактеризовались положительными аномалиями температуры свыше 1°C и были близки к первой десятке самых теплых лет. Август 2016 года был очень теплым, став третьим самым теплым августом за рассматриваемый период (1981-2016 гг.), аномалия температуры составила $+2,6^{\circ}\text{C}$. Средняя температура воздуха в сентябре была равна норме. Октябрь и ноябрь оказались ниже нормы на $-1,2$ и $-1,3^{\circ}\text{C}$, соответственно. А в декабре морозы отступили и средняя температура воздуха составила $-4,5^{\circ}\text{C}$, что на $0,8^{\circ}\text{C}$ выше нормы.

Таблица 1.3. Ранг среднемесячной температуры воздуха в 2016 году в ряду лет за 1981-2016 годы (36 лет)

месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ранг	31	2	10	8	11	12	9	3	22	9	25	19

* ранг 1 означает самый теплый месяц за рассматриваемый период

Число переходов температуры воздуха через ноль в 2016 году составило 115, что меньше, чем в предыдущем году и меньше, чем в среднем за период 1981-2010 гг., что, вероятно, связано с холодным январем. В зимние месяцы число дней с оттепелью составило 11 дней в декабре, 5 дней – в январе и 23 дня – в феврале.

Отопительный сезон (установление температуры воздуха ниже $+8^{\circ}\text{C}$ в течение 5 дней) в 2016 году из-за холодного октября начался рано, 9 октября, примерно как в прошлом 2015 году, а закончился раньше, 9 апреля в связи с положительной аномалией температуры воздуха.

В 2016 году лишь 4 дня в начале января наблюдалась сильно морозная погода (среднесуточная температура воздуха меньше -15°C), а в среднем за период 1981-2010 гг.

сильно морозных (Дмитриев, Бессонов, 1969) дней в году наблюдалось 9. Сильно жаркая погода (среднесуточная температура воздуха больше +20°C) стояла в 2016 году 58 дней, что почти в два раза дольше, чем в среднем за период 1981-2010 гг. (31 день).

В целом, календарная зима 2016 года была теплее климатической нормы на 1,3°C за счет сложения двух разнонаправленных аномалий – холодного января и аномально теплого февраля. Весна и лето были теплее на 1,7 и 1,8°C соответственно, а осень холоднее нормы на 0,8°C.

Литература

Дмитриев, А. А., Бессонов, Н. П. Климат Москвы. Особенности климата большого города. Ленинград, Гидрометеиздат, 1969, 315с.

Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2015 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова / под редакцией О.А.Шиловцевой – МАКС Пресс 2016 – С. 268.

NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2016, published online January 2017, retrieved on August 14, 2017 from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201613>.

Работа поддержана госбюджетной темой АААА-А16-116032810086-4

2. Промерзание и оттаивание почвы и грунта

Локощенко М.А.

2.1. Методические вопросы и особенности измерений в МО МГУ

Наблюдения за явлением сезонного промерзания и измерения глубин промерзания и оттаивания почвы и грунта производятся в Метеорологической обсерватории МГУ на протяжении всей её истории, начиная с 1954 года. Для этой цели здесь традиционно используются мерзлотомеры двух систем: как Ратомского (МР), так и Данилина (МД), хотя лишь последние стандартизованы и рекомендованы Росгидрометом (в прошлом – Госкомгидрометом СССР) (Наставление, 1985). Обсерватория МГУ – единственная метеорологическая станция в России и, вероятно, в бывшем СССР, где задействованы мерзлотомеры обеих систем. Помимо разных приборов, данный вид наблюдений осуществляется здесь одновременно на двух участках: под естественным покровом и на специальном участке под обнажённой поверхностью площадью 12×20 м – одном из двух в России и единственном в её европейской части (ещё один такой участок существует на станции ОГМС Иркутск). Опорными приборами в Метеорологической обсерватории МГУ традиционно считаются мерзлотомеры системы Ратомского (рис. 2.1). Они представляют собой полые металлические трубки, наполняемые влажным грунтом, тогда как мерзлотомеры Данилина – это резиновые (в старой версии прибора МД-50) или полихлорвиниловые трубки (в версии АМ-21), снабжённые узелковой нитью и заливаемые дистиллированной водой. И те, и другие мерзлотомеры размечены сантиметровыми делениями и устанавливаются в специальных оправах из эбонита или полиэтилена, погружённых в скважины. Стандартная глубина таких скважин для измерений глубины сезонного промерзания – 1,5 метра, однако на участке с обнажённой поверхностью, где промерзание более глубокое, используются специальные удлинённые мерзлотомеры с увеличенным диапазоном измерений.



Рисунок 2.1. Мерзлотомеры на обнажённом участке в Метеорологической обсерватории МГУ. Слева направо: мерзлотомеры Ратомского № 1 и № 2 в оправках; мерзлотомер Ратомского; мерзлотомер Данилина. Фотографии автора.

У каждого из обоих видов приборов имеются свои достоинства и ограничения. Так, отсчёты по мерзлотомерам Данилина (нахождение на ощупь границ столба замёрзшей дистиллированной воды) более просты и однозначны. Однако, строго говоря, этот прибор измеряет не глубину промерзания как таковую, а глубину нахождения в грунте нулевой изотермы – показатель близкий, но не тождественный промерзанию. Кроме того, показаниям мерзлотомеров Данилина, как отмечено автором ранее (Локощенко, 2013 - 2016), присуща заметная инерция. С другой стороны, мерзлотомеры Ратомского показывают наличие непосредственно промерзания как физического явления. Однако использование этих приборов связано с грязной и трудоёмкой работой по их подготовке перед наступлением холодного сезона. Кроме того, в производимых отсчётах по мерзлотомерам Ратомского зачастую имеется методическая неопределённость, поскольку за границу слоя с промерзанием наблюдатели могут принять подошву слоя грунта как в твёрдомёрзлом, так и в пластичномёрзлом состоянии. Пластичномёрзлый грунт обычно служит прослойкой между твёрдомёрзлым и талым грунтами, и с разной трактовкой наличия в нём промерзания связаны возможные расхождения в отсчётах. Действующий

стандарт рекомендует не включать эту прослойку в толщину слоя с промерзанием (ГОСТ 24847-81), однако сложившаяся многолетняя практика измерений предполагает, тем не менее, учёт пластичномёрзлого грунта – во всяком случае, при наличии в нём отдельных не растаявших кристаллов льда. Впрочем, прослойка эта довольно тонкая, мощностью всего несколько сантиметров, так что возможные расхождения в отчётах в любом случае невелики.

В разные годы общее число действовавших в Обсерватории мерзлотометров 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 мерзлотометров обеих систем увеличено до семи. Вплоть до 2003 года здесь ещё использовались все семь мерзлотометров: 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 расположен в 10 м восточнее обнажённой поверхности; новый – в 50 м к северо-востоку от старого. Начиная с 2008 года, наблюдения на старом участке были прекращены вследствие поломки обоих находившихся на нём приборов. Теперь они ведутся лишь на двух оставшихся участках с помощью пяти мерзлотометров: трёх – на участке под обнажённой поверхностью (двух МР и одного МД) и двух – на действующем участке под естественным покровом (МР и МД). Схема расположения всех пяти мерзлотометров на обоих участках вплоть до осени 2016 года, опубликованная ранее в (Локощенко, 2016), приведена на рисунке 2.2.

Под обнажённой поверхностью один из двух мерзлотометров Ратомского № 1 является основным и опорным, второй МР № 2, идентичный первому, – запасным. Под естественным покровом опорными традиционно считаются показания мерзлотометра Ратомского № 6.

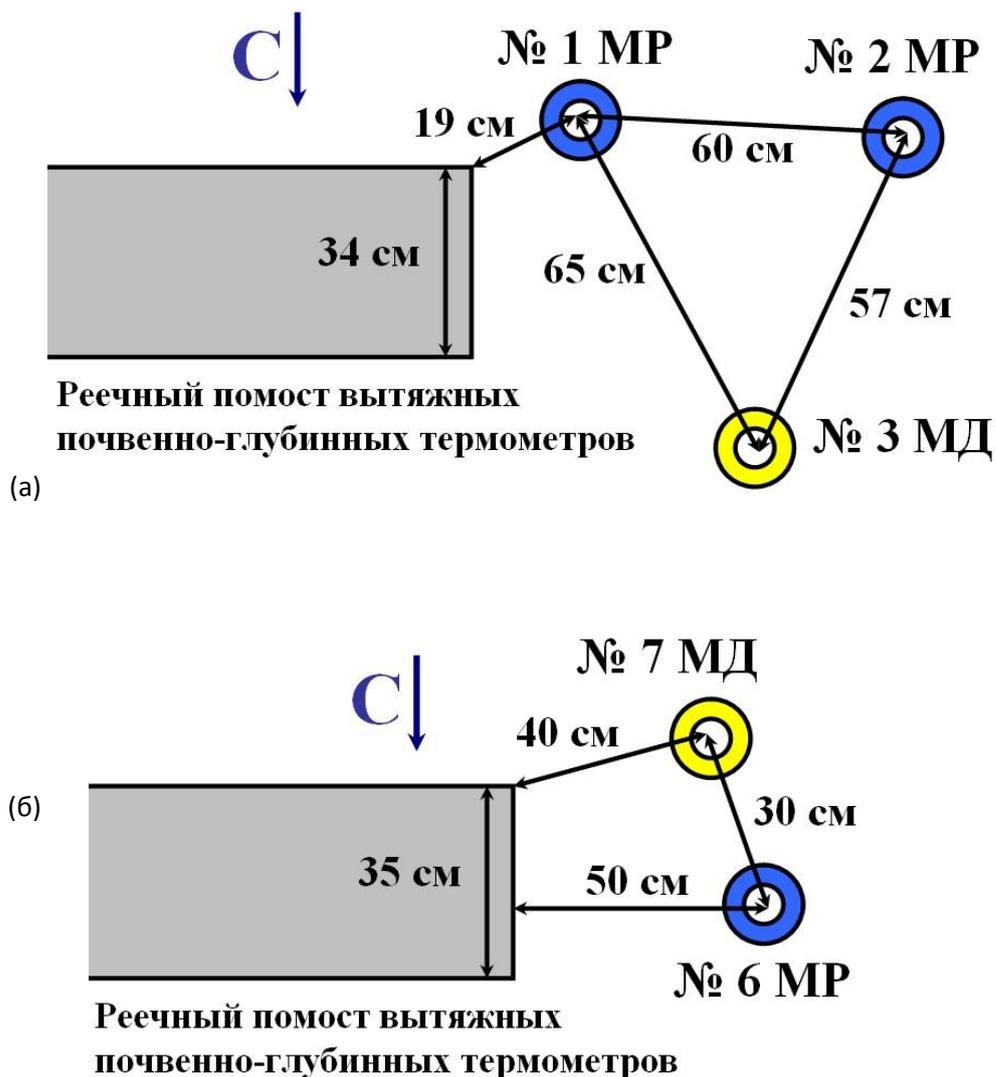


Рисунок 2.2. Схема расположения действующих мерзлотомеров в Метеорологической обсерватории МГУ: (а) участок под обнажённой поверхностью, (б) участок под естественным покровом

Измерения глубины промерзания, а также вышележащей глубины оттаивания, если оно есть, производятся по всем мерзлотомерам ежедневно в дневной (15 ч) срок наблюдений с точностью ± 1 см. Если в оттаявшем грунте поверх основного сезонного промерзания, находящегося на нижележащих глубинах, при возврате холодов возникает второй слой промерзания, а над ним при новой оттепели – второй слой оттаивания, и т.д., то измеряются последовательно все эти глубины (обычно – не более четырёх). Диапазон

измерений обоих мерзлотометров Данилина (№ 3 и № 7) на обоих участках стандартный и одинаковый: 150 см. Мерзлотометр Ратомского № 6 под естественным покровом имеет диапазон 142 см. Мерзлотометры Ратомского № 1 и № 2 удлинены дополнительными секциями во избежание потери отсчётов при аномально большой глубине промерзания; их диапазоны составляют соответственно 198 и 175 см. Заметим, что самая большая глубина промерзания была отмечена на участке под обнажённой поверхностью на заре наблюдений в Обсерватории МГУ в 1956 году: тогда она достигла 195 см (Локощенко, 2005).

Отметим, что в последние годы на участке под обнажённой поверхностью, как видно из таблицы 2.1, возросла разность средних значений глубины промерзания по данным обоих этих приборов № 1 и № 2. В этой таблице приведены результаты парных сравнений отсчётов глубины промерзания по разным приборам в среднем за все дни последних семи холодных сезонов, когда промерзание существовало. Заметим, что ожидать согласованности результатов, то есть равенства значения во втором столбце разности значений первого и третьего столбцов не следует. В данных каждого из мерзлотометров возможны пропуски, поэтому размер выборки дней одновременных измерений каждым двумя приборами во всех трёх парных сравнениях обычно разный.

Таблица 2.1. Средние разности значений глубины промерзания по данным отдельных мерзлотометров на участке под обнажённой поверхностью

	MP №1 – MP №2	MP №1 – МД №3	MP №2 – МД №3
2009–2010	–1,7	–13,6	–11,8
2010–2011	3,6	2,9	0
2011–2012	2,4	9,1	6,8
2012–2013	5,3	2,9	–2,8
2013–2014	9,4	6,5	–2,3
2014–2015	8,3	7,3	–1,2
2015–2016	9,5	6,5	3,5

Сами по себе различия в показаниях, если они не слишком велики (в пределах нескольких см), вполне естественны и ожидаемы. При сравнении мерзлотометров разных систем (Ратомского и Данилина) расхождения в отсчётах обычно отражают разную инерцию этих приборов, а также различия в физической природе промерзания и глубины залегания нулевой изотермы, поскольку почвенные воды солёные и замерзают при температуре немного ниже 0°C. Однако отсчёты могут не совпадать и по данным приборов

одного и того же вида. Причины этого – возможные неровности земной поверхности, различия в зазоре между штангой и эбонитовой оправой, разные теплоизоляционные свойства отдельных мерзлотометров (более или менее плотные войлочные кольца вокруг штанг и т.п.). Очевидно, что абсолютной идентичности приборов добиться невозможно. Однако в стационарных условиях значение разности в показаниях должно быть устойчивым во времени. Изменение этой разности может быть следствием смещения места нуля либо одного из приборов, либо обоих, если оно разнонаправленное или же происходит в одном направлении, но с разной скоростью. Подобное смещение может стать результатом либо постепенного выпучивания мерзлотометров из грунта под действием самого промерзания, либо изменения уровня поверхности вблизи прибора – понижения его вследствие эрозии, вымывания, вытаптывания или, напротив, повышения при насыпи грунта. Самой же частой и вероятной причиной изменений места нуля служит обрыв штанги, когда она падает в скважину. Мастер по приборам, извлекая при этом штангу, обычно подпиливает её конец и переставляет набалдашник, что приводит к изменению места нуля. Таким образом, мерзлотометр с укороченной штангой постепенно поднимается вверх, так что его место нуля внутри оправы оказывается приподнятым над поверхностью. Так или иначе, необходим регулярный контроль места нуля, его поверка и, при необходимости, – переустановка мерзлотометра: либо его заглубление путём дополнительного бурения скважины, либо, напротив, подъём путём засыпания в скважину грунта.

Подобная поверка была проведена автором 25 июля 2016 г. – вскоре после окончания холодного сезона 2015-2016 гг. Результаты поверки (осреднение нескольких отсчётов в разных точках вокруг оправы) приведены в таблице 2.2. Как видим, место нуля четырёх из пяти приборов за несколько лет, прошедших после предыдущей поверки, оказалось смещено в пределах ± 15 см. Лишь мерзлотометр Данилина № 3 под оголённой поверхностью сохранил почти точное соответствие своего нулевого значения уровню земли. Следует заметить, что оправка МР № 2 в конце холодного сезона была разбита. Условная поверка этого прибора проведена путём складывания отдельных осколков разрушенной оправы, так что полученное значение ($-15,5$ см) может быть недостоверным. Добавим, что перед наступлением следующего холодного сезона 2016-2017 гг. была проведена большая работа по замене сломанных оправ мерзлотометров №№ 1 и 2 новыми,

их переустановке и приведению места нуля каждого из приборов точно к уровню поверхности.

Таблица 2.2. Результаты поверки места нуля мерзлотометров Метеорологической обсерватории МГУ 25/VII 2016 г.

Под обнажённой поверхностью, см			Под естественным покровом, см	
№ 1	№ 2	№ 3	№ 6	№ 7
+14,0	-15,5*	+0,5	-12,5	-3,5

*Значение может быть неточным. Знак «плюс» означает, что место нуля приподнято; знак «минус» – что оно утоплено в грунт.

При анализе данных о промерзании в холодном сезоне 2015-2016 гг. были использованы как исходные результаты измерений, так и исправленные с учётом проведённой поверки. Так, разности значений между отдельными приборами рассчитаны и приведены в таблице 2.1 по исходным первичным данным. Затем ко всем показаниям мерзлотометров №№ 1, 6 и 7 были введены поправки на место нуля. Все значения глубин на опорном первом мерзлотометре под обнажённой поверхностью были уменьшены на 14 см, а на опорном шестом и дополнительном седьмом под естественным покровом – напротив, увеличены соответственно на 12 и 4 см. К исходным данным второго и третьего приборов поправка не вводилась: для второго она недостаточно надёжна, а для третьего не требуется вовсе. Разумеется, сместились и даты некоторых событий, связанных с сезонным промерзанием: если по данным МР № 1 исходный отсчёт глубины промерзания был менее 14 см, в итоговую выборку исправленных значений такой результат не вошёл: считалось, что промерзание в этом случае существовало не в грунте, а лишь в надземной части оправы. Таким образом, например, был исключён отсчёт глубины 3 см, полученный на опорном приборе 20 декабря – соответственно, уменьшилось и число дней с промерзанием. Все приведённые ниже результаты получены на основе анализа исправленных значений.

Заметим также, что наблюдения за промерзанием под обнажённой поверхностью обоими приборами МР проводились в этом сезоне с вынужденными перерывами. Причинами их обычно служат либо поломки мерзлотометров (чаще всего – обрыв штанги и её падение в скважину), либо невозможность взятия отсчёта вследствие примерзания набалдашника штанги к защитной трубке (оправе) при сильных морозах. К счастью, в наблюдениях по опорному прибору МР № 1 произошёл лишь один перерыв из-за обрыва

его штанги в период с 13 по 18 января. Опорные данные о глубине промерзания в эти дни были восстановлены с учётом её отсчётов по запасному мерзлотомеру МР № 2, находящемуся в 60 см от опорного прибора, и средней разности в показаниях между этими приборами до и после пропуска. В данных МР № 2, в свою очередь, имелся пропуск в период с 8 по 10 января; начиная же с 4 февраля и до конца сезона данных по нему нет вовсе, поскольку надземная часть оправы этого прибора разрушилась, и оперативно заменить её оказалось невозможно.

2.2. Промерзание под обнажённой поверхностью

В целом температура воздуха в холодном сезоне 2015-2016 гг. была значительно выше обычного во все месяцы, кроме только января 2016 г., декабрь же 2015 года стал даже аномально тёплым. Вследствие этого сезонное промерзание оказалось в Москве недолгим, неустойчивым и неглубоким.

Первый заморозок на поверхности почвы был отмечен 7 октября (фактически – поздним вечером 6 октября после 21 ч). Спустя лишь несколько часов, ночью 7 октября, температура воздуха T на высоте 2 м также впервые опустилась до отрицательных значений. Впрочем, этот первый утренник выдался слабым и недолгим: уже после полудня температура и поверхности, и воздуха стала положительной. В последующий месяц T в ночные часы нередко опускалась ниже нуля, однако днём всякий раз вновь становилась положительной. Лишь 16 ноября при наступлении очередного похолодания мороз впервые продлился полные сутки: отрицательными оказались даже значения наибольшей температуры T_{\max} и воздуха, и поверхности. В этот день в исходных данных о промерзании впервые приведён первичный отсчёт его глубины (10 см) по данным мерзлотометров № 1 и № 6 – впрочем, отсчёт этот был признан недостоверным, и зачёркнут при проверке. Уже через день началась новая оттепель, и лишь в последние дни ноября настали сильные морозы: наименьшая температура воздуха T_{\min} опустилась 27/XI до $-7,2^{\circ}\text{C}$, а поверхности до $-9,1^{\circ}\text{C}$. На следующий день под оголённой поверхностью впервые были получены достоверные отсчёты глубины промерзания: 6 см по данным опорного МР № 1 (в исходных данных – 20 см); 2 см по данным запасного МР № 2 и 3 см по данным дополнительного МД № 3 (рис. 2.3). Таким образом, день 28 ноября следует считать датой

начала промерзания под оголённой поверхностью. Заметим, что столь большой первый исходный отсчёт по данным МР № 1 – 20 см – косвенно подтверждает приподнятое над поверхностью положение места нуля этого прибора. На рисунке 2.3 показаны результаты измерений по всем трём приборам, полученные на участке под обнажённой поверхностью. Для большей наглядности к ним добавлены также условные нулевые значения накануне начала каждого из эпизодов промерзания и начала каждого из эпизодов оттаивания, а также в первый день после исчезновения промерзания, если оно произошло не на глубинах, и в первый день после исчезновения оттаивания, если оно не привело к исчезновению промерзания.

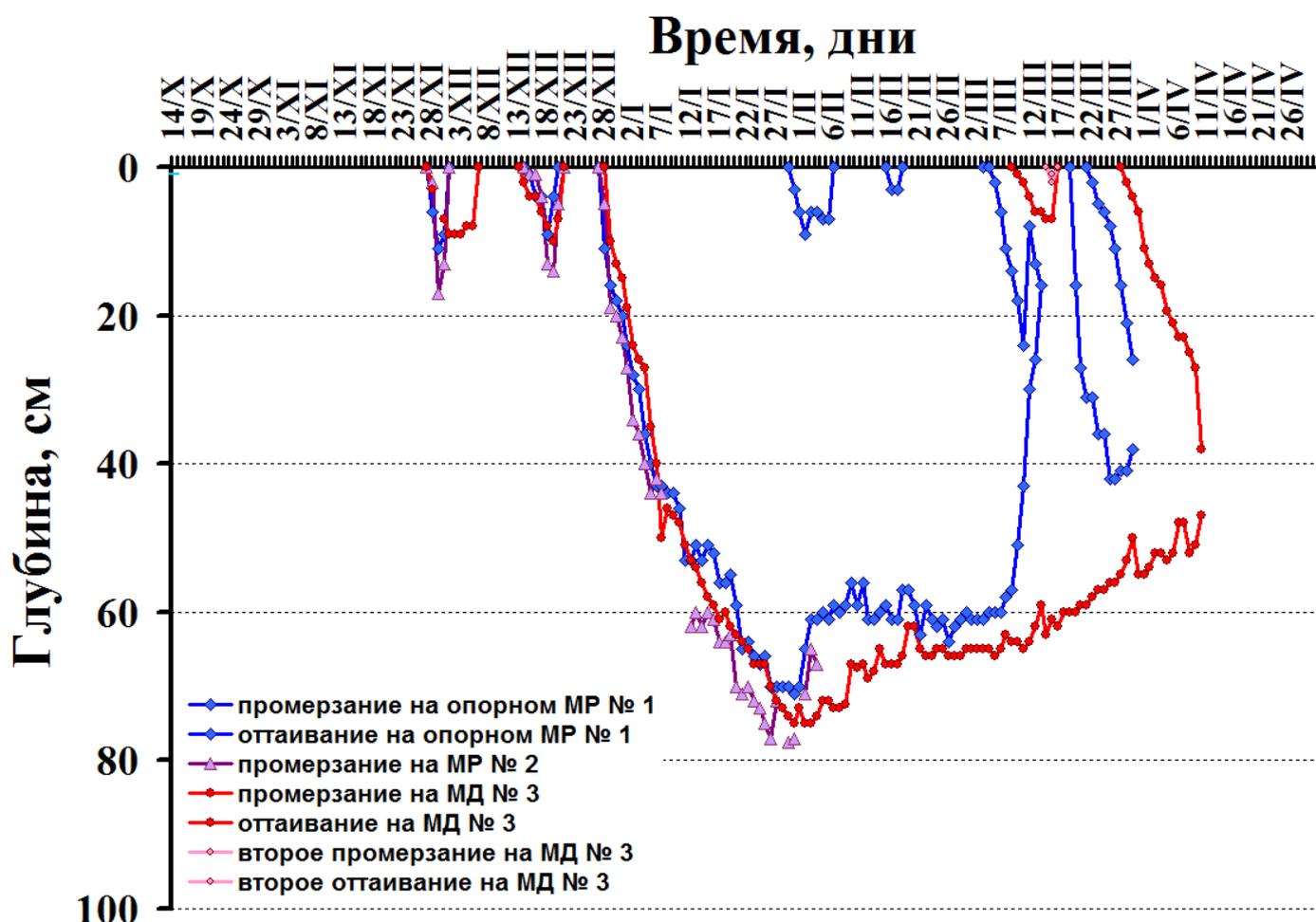


Рисунок 2.3. Ход глубин промерзания и оттаивания грунта в холодном сезоне 2015-2016 гг. на участке под обнажённой поверхностью. Москва, МО МГУ

Первое в сезоне промерзание существовало три дня. Первого декабря оно исчезло по данным обоих приборов Ратомского, и лишь по мерзлотомеру Данилина № 3 глубина промерзания прослеживалась ещё пять дней, вплоть до 5/XII. Наибольшие её значения составили 11 см (с учётом поправки) 29 ноября по данным опорного прибора МР № 1 и 9 см с 1 по 3 декабря по данным МД № 3. В последний день наблюдений за промерзанием под оголённой поверхностью по всем трём приборам, 30 ноября, оно было впервые отмечено также и на участке под естественным покровом.

Во второй раз промерзание образовалось 14 декабря по данным МД № 3 (глубина – 2 см) и на следующий день 15 декабря по данным двух приборов Ратомского (глубина на обоих этих приборах с учётом поправки на место нуля в отчётах по МР № 1 составила 1 см). На этот раз промерзание отмечалось по опорным данным МР № 1 пять дней, по данным МР № 2 – шесть, а по наблюдениям на МД № 3 – семь дней подряд. Впрочем, похолодание во второй декаде декабря выдалось несильным и недолгим, наименьшая температура T_{\min} поверхности и воздуха составила соответственно лишь $-9,9$ и $-6,6^{\circ}\text{C}$, так что промерзание и на этот раз было неглубоким: наибольшая его глубина оказалась равной 9 см 18/XII на опорном МР № 1 и 10 см 19/XII на дополнительном МД № 3.

Пришедшая в Москву в конце второй декады декабря аномально тёплая тропическая воздушная масса привела к стремительному сходу снежного покрова (как показано автором ниже, в разделе 5) и к быстрому исчезновению промерзания. Уже 21 декабря оно не было отмечено ни по одному из трёх приборов. Заметим, что этот день стал вторым в ряду самых тёплых декабрьских дней в Москве за последние, по меньшей мере, 137 лет: наибольшая температура воздуха достигла 21 декабря $+9,6^{\circ}\text{C}$.

Лишь 28 декабря, с приходом долгожданных морозов, промерзание под оголённой поверхностью возникает в третий раз и оказывается, наконец, устойчивым. В этот день глубина промерзания впервые после недельного перерыва была отмечена по данным обоих мерзлотометров Ратомского; на опорном приборе она составила с учётом поправки 11 см. Днём позже, 29 декабря, промерзание глубиной 10 см появилось и в столбе дистиллированной воды на мерзлотомере Данилина. Затем глубина промерзания начала стремительно расти, что неудивительно с учётом холодного января (в середине первой декады этого месяца T_{\min} воздуха опустилась до $-21,1^{\circ}\text{C}$, а поверхности до $-25,7^{\circ}\text{C}$). В

условиях столь сильных морозов глубина промерзания по опорным данным уже к пятому числу достигла 40 см, а 26-го января – 70 см.

Однако в тот же день началось потепление, приведшее спустя два дня к сильной и продолжительной оттепели, продлившейся в значениях среднесуточной температуры с 28 января до 4 февраля, а в значениях T_{\max} – вплоть до 19 февраля. Заметим, что T_{\max} достигла в это время очень высоких для середины зимы значений: +3,9 и +3,8°С соответственно 31 января и 4 февраля. В этих условиях рост глубины промерзания, разумеется, замедлился и вскоре прекратился: наибольшее в сезоне значение 71 см по опорному прибору МР № 1 (исходный отсчёт без поправки – 85 см) было отмечено 30 января. Запаздывание отклика в ходе этой глубины по сравнению с погодными изменениями в приземном слое воздуха составляет, таким образом, несколько дней. Это запаздывание вполне естественно с учётом инерции распространения температурных изменений в толще грунта, описанных классическим вторым законом Фурье. Будучи сформулирован для изменений температуры грунта с глубиной, закон этот вполне применим и для описания динамики глубины сезонного промерзания – во всяком случае, качественно.

По запасному прибору МР № 2 наибольшие в сезоне отсчёты глубины промерзания (77,5 и 77 см по исходным данным) были получены соответственно 29 и 30 января. По дополнительному мерзлотомеру МД № 3 наибольшая глубина промерзания – точнее, глубина нахождения нулевой изотермы – составила в этом сезоне 75 см и была отмечена трижды: 30 января, а также 1 и 2 февраля. Таким образом, средней датой этого события по данным МД можно считать 1 февраля.

Помимо прекращения роста глубины промерзания и начала её уменьшения, в это же время необычно рано началось оттаивание грунта: первый отсчёт глубины оттаивания по опорным данным МР № 1 составил с учётом поправки 3 см уже 30 января. Первое в сезоне оттаивание продлилось неделю, вплоть до 5 февраля, и закончилось с наступлением небольшого похолодания. Однако вскоре, 16 и 17 февраля, оттаивание образовалось вторично, просуществовав два дня.

Уменьшение глубины промерзания тем временем замедлилось с ослаблением оттепели уже 2 февраля, когда она сократилась до 61 см. Затем в продолжение более месяца, вплоть до 8 марта, наблюдалась стабилизация её значений: глубина промерзания

по опорным данным колебалась в узких пределах (от 56 до 64 см) без направленных изменений; в среднем она составляла 60 см. Очевидной причиной такого постоянства явилась близкая к нулю либо слабоотрицательная температура воздуха, сохранявшаяся в течение всего этого времени. В среднем за период со 2-го февраля до 8-го марта T составила в МО МГУ $-0,2^{\circ}\text{C}$; в отдельные дни среднесуточная T менялась в пределах от $-4,8$ до $+2,6^{\circ}\text{C}$. Видимо, небольшое нисходящее охлаждение в целом уравнивалось в это время притоком тепла из глубин. По данным мерзлотомера Данилина № 3 период стабилизации глубины промерзания по сравнению с опорными данными сдвинут во времени вперёд вследствие большей инерции этого прибора: здесь приблизительно постоянные значения (от 62 до 69, в среднем -65 см) наблюдались с 9 февраля по 12 марта.

Начиная с 8 марта, температура воздуха резко повысилась, и уже 10 и 11 марта значения T_{\max} достигли соответственно $+11,0$ и $+11,2^{\circ}\text{C}$. Вследствие сильного потепления глубина промерзания под обнажённой поверхностью стала быстро уменьшаться: с 57 см 8 марта до 30 см 11 марта и до 16 см 13 марта. В начале марта здесь образовалось устойчивое оттаивание, третье по счёту. В исходных данных несколько отсчётов глубины оттаивания были получены ещё в конце февраля: 6 см 23-го, 25-го, 27-го числа и 7 см 28-го февраля, однако все эти значения меньше поправки на место нуля, так что, скорее всего, оттаивание тогда происходило лишь в надземной части оправы. Наконец, после однодневного перерыва 29 февраля, оттаивание вновь было отмечено в начале марта: глубина его в исходных данных по опорному прибору № 1 составила 1 см 1/III, 7 см 2/III и 14 см третьего и четвёртого марта. Таким образом, с учётом поправки первые нулевые отсчёты этой глубины наблюдались 3-го и 4-го числа, так что третье марта можно считать датой образования устойчивого оттаивания. Устойчивое оттаивание означает, что результатом его явилось полное исчезновение устойчивого (главного в сезоне) промерзания, то есть соединение обеих глубин промерзания и оттаивания. Это произошло 13 марта, когда отсчёты обеих глубин (16 см) по опорным данным совпали. Совпадение глубин означает предельно тонкий слой грунта с промерзанием толщиной менее 1 см. Заметим, что ход глубины оттаивания в марте 2016 г. был не совсем обычным: неожиданное уменьшение её значений 11 марта с 24 до 8 см трудно объяснить чем-то иным, кроме как ошибкой в наблюдениях. Итак, день 13 марта знаменует собой дату окончания устойчивого промерзания.

Правда, устойчивое промерзание оказалось не последним в этом сезоне. Очередное похолодание в конце второй декады марта привело к понижению T вплоть до $-9,2^{\circ}\text{C}$. Результатом этого явилось новое промерзание грунта, впервые отмеченное глубиной 16 см 19 марта. Спустя неделю, 25-го и 26-го марта, его глубина увеличилась до 42 см. Однако днём 22 марта T вновь стала положительной и, как следствие, уже в этот день появилось оттаивание глубиной 2 см. В последующую неделю глубина оттаивания быстро и устойчиво росла вследствие новой оттепели, и 29 марта были получены последние в этом сезоне отсчёты глубин промерзания и оттаивания: соответственно 38 и 26 см. На следующий день промерзания под оголённой поверхностью по опорным данным уже не оказалось, так что датой исчезновения последнего в сезоне промерзания следует считать этот день: 30 марта.

Заметим также, что в исходных данных наблюдений по опорному прибору № 1 за 30 и 31 марта приведены довольно странные отсчёты глубин промерзания и оттаивания: соответственно 12 и 5 см (одинаковые за оба эти дня). В силу погодных условий (устойчиво положительных значений температуры) второго слоя с промерзанием образоваться в это время не могло. Видимо, здесь мы также имеем дело с ошибкой в наблюдениях, и эти отсчёты исключены из анализа.

По данным прибора МД № 3 первое оттаивание появилось 9 марта, но через шесть дней исчезло, не приведя к окончанию устойчивого промерзания. Очевидно, данный эпизод оттаивания соответствует третьему по счёту оттаиванию по опорным данным, смещённому во времени на несколько дней вперёд вследствие инерции в показаниях мерзлотомера Данилина. Интересной особенностью служит одновременное наблюдение по этому мерзлотомеру 15 марта сразу четырёх глубин: глубины основного устойчивого промерзания 61 см, глубины основного оттаивания 7 см, глубины второго промерзания 2 см и глубины второго оттаивания 1 см. Действительно, на фоне общей оттепели вечером 14 марта произошёл заморозок, продлившийся почти до полудня следующего дня, причём температура поверхности утром 15 марта понизилась до $-14,5^{\circ}\text{C}$, а воздуха: до $-5,9^{\circ}\text{C}$. Неудивительно, что в эти часы вблизи поверхности образовался второй слой промерзания поверх основного. В то же время, в условиях ясного неба и открытого солнечного диска T и поверхности, и воздуха стала к 15 ч положительной, что привело к образованию второго слоя оттаивания.

Наконец, 28 марта оттаивание появляется по данным МД во второй и в последний раз. Глубина его растёт ото дня ко дню устойчиво и монотонно. Наконец, 10 апреля значения глубин промерзания и оттаивания по данным МД № 3 составили соответственно 47 и 38 см. Эти отсчёты оказались последними в сезоне, на следующий день льда в трубке с водой уже не оказалось. Таким образом, датой окончания устойчивого и последнего по данным мерзлотомера Данилина промерзания стал день 11 апреля.

Заметим, что по опорным данным мерзлотомера Ратомского потепление в середине марта привело к полному исчезновению промерзания и разделению этого явления на два отдельных эпизода – до и после оттепели. В то же время по данным стандартного в Гидрометеорологической службе мерзлотомера Данилина устойчивое промерзание не прерывалось, первое оттаивание в эти дни оказалось временным и сошло на нет.

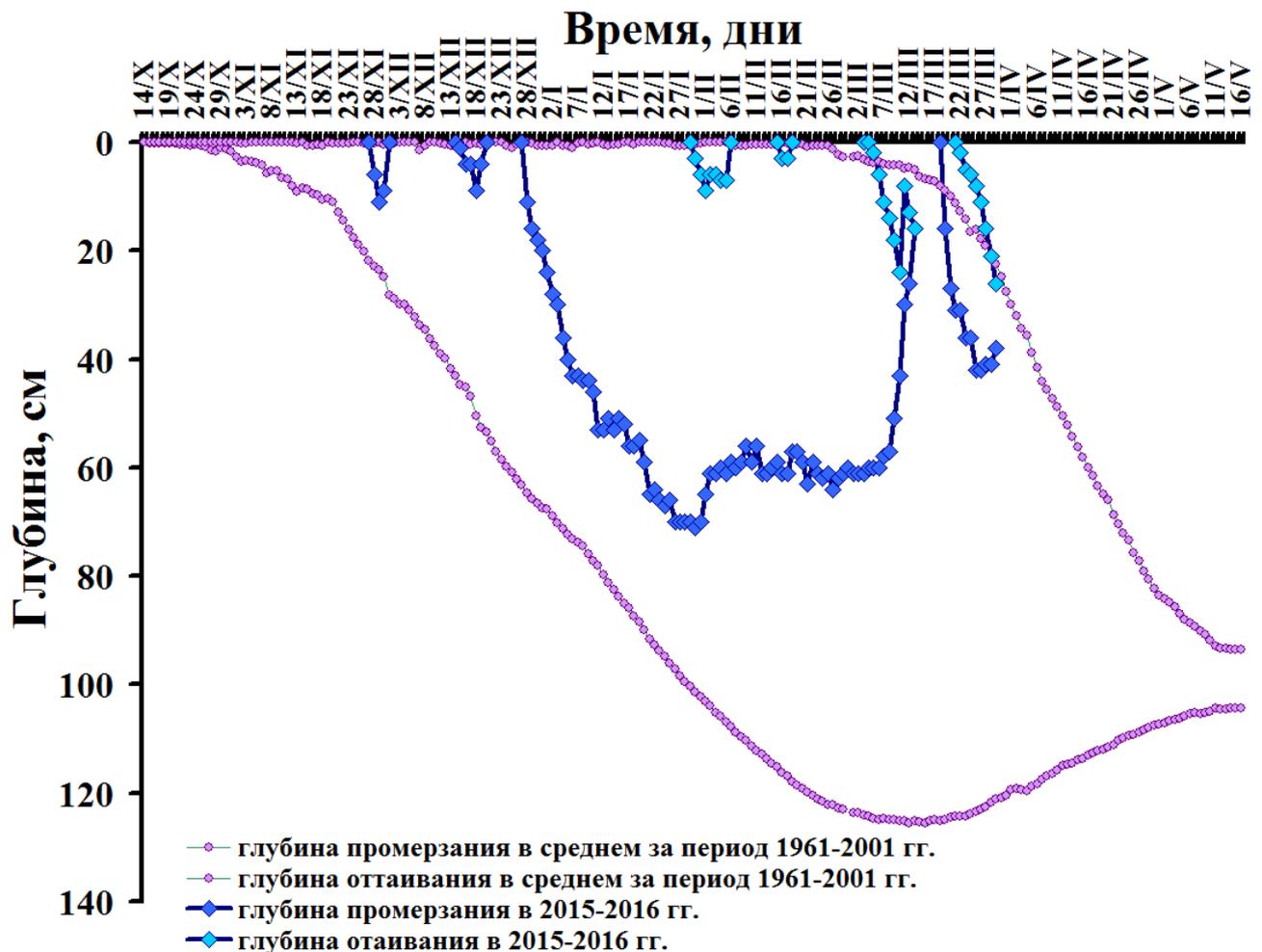


Рисунок 2.4. Глубины промерзания и оттаивания грунта в 2015–2016 гг. в сравнении со средними многолетними (за период 1961–2001 гг.) значениями по данным опорного мерзлотомера Ратомского № 1 под обнажённой поверхностью. Москва, МО МГУ

На рисунке 2.4 опорные данные о глубинах промерзания и оттаивания на участке под обнажённой поверхностью сопоставлены для наглядного сравнения со среднемноголетними оценками этих глубин в среднем за 41 год. Как видим, промерзание в сезоне 2015-2016 гг., действительно, оказалось слабым и недолгим. Образовалось оно позже обычного, и во все дни сезона глубина его всегда была существенно меньше её средних многолетних значений. Кроме того, в этом сезоне очень рано, уже в конце января, впервые появилось оттаивание.

Всего в течение холодного сезона промерзание под обнажённой поверхностью существовало по данным опорного мерзлотомера Ратомского 96 дней, а по данным мерзлотомера Данилина – 118 дней.

2.3. Промерзание под естественным покровом

Под естественным покровом промерзание обычно неустойчивое и неглубокое, существует с перерывами и недолго. Помимо температурного режима, на него влияет также высота снежного покрова, когда он есть. Кроме того, до образования и после разрушения снежного покрова нужно также учитывать теплоизолирующую роль плотного травостоя и дернины. В силу данных причин промерзание под естественным покровом возникает, как правило, позже и исчезает раньше, нежели под оголённой поверхностью, которая лишена травостоя и регулярно очищается от снега.

Как уже отмечено выше, промерзание под естественным покровом в холодном сезоне 2015-2016 гг. впервые было отмечено по дополнительному мерзлотомеру Данилина 30 ноября. Глубина его составила здесь 7 см (исходный отсчёт без поправки: 3 см). Данный отсчёт оказался единственным на этом участке вплоть до последних дней года. Таким образом, датой начала промерзания под естественным покровом явилось 30 ноября, хотя нельзя исключить и более раннее его начало ввиду заглобления на этом участке места нуля обоих приборов.

Все значения глубин промерзания и оттаивания под естественным покровом приведены на рисунке 2.5. Здесь, в отличие от рис. 2.3, условные нулевые значения не показаны из-за заглобления обоих мерзлотомеров.

Как видим, устойчивое промерзание под естественным покровом стало вторым промерзанием в сезоне и первым по опорным данным. Оно было впервые отмечено здесь одновременно обоими приборами 29 декабря – на один день позже, чем под обнажённой поверхностью. По опорным данным МР № 6 глубина с учётом поправки составила в этот день 15 см, а по данным дополнительного МД № 7 – 8 см.

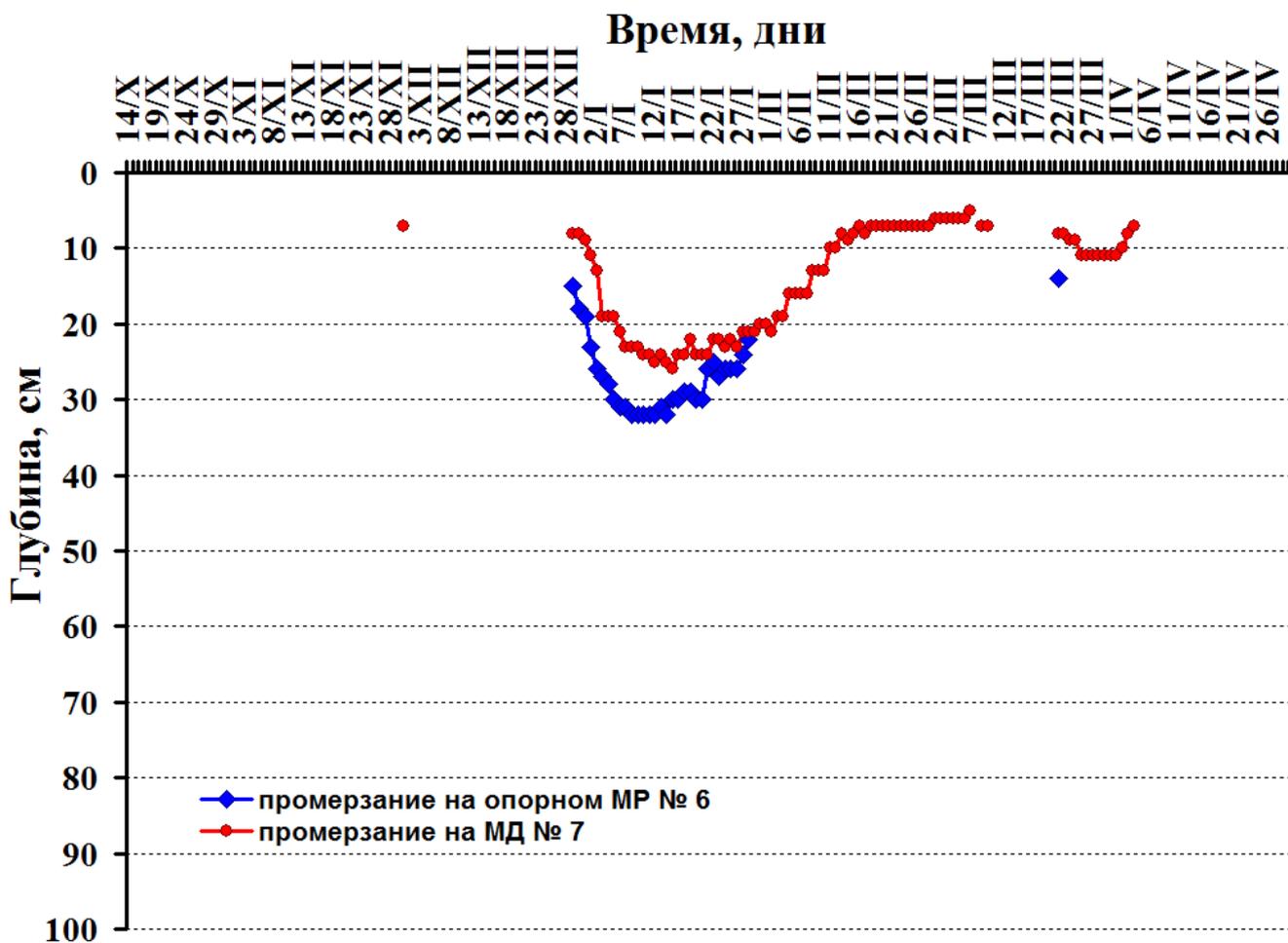


Рисунок 2.5. Ход глубин промерзания и оттаивания грунта в 2015-2016 гг. на участке под естественным покровом. Москва, МО МГУ

Наибольшая в сезоне глубина промерзания по опорным данным достигла 32 см (исходный отсчёт – 20 см) в течение шести дней: с 8 по 12 и 14 января. Таким образом, средней датой наблюдения наибольшей глубины можно считать день 11 января. По данным МД № 7 наибольшая глубина составила 26 см (исходный отсчёт – 22 см) и была отмечена немногим позднее вследствие инерции замерзания столба воды: 15 января. Заметим, что существенно более раннее по сравнению с обнаженной поверхностью

наступление даты наибольшей глубины промерзания под естественным покровом, очевидно, связано с устойчивым ростом высоты снежного покрова в течение января, о чём ещё пойдёт речь в разделе 5. Последний отсчёт глубины устойчивого сезонного промерзания по данным МР № 6 был получен 28 января и составил 22 см. По данным же мерзлотомера Данилина устойчивое промерзание наблюдалось здесь вплоть до 6 марта (последний отсчёт – 5 см). Следовательно, датой окончания устойчивого промерзания является 29 января по опорным данным и 7 марта по дополнительным данным.

После окончания устойчивого промерзания по опорным данным глубина промерзания была отмечена под естественным покровом только один раз: 21 марта (14 см). По данным же МД № 7 наблюдалось ещё два эпизода с промерзанием: 8-9 марта, а также с 23 марта по 3 апреля. Следовательно, датой окончания последнего в сезоне промерзания по опорным данным является 22 марта, а по данным МД – 4 апреля. Всего в течение сезона на участке под естественным покровом было отмечено 32 дня с промерзанием по данным мерзлотомера Ратомского и 86 дней по данным мерзлотомера Данилина. Заметим, что приведённые оценки числа дней могут быть немного занижены из-за заглибления приборов в грунте. Оттаивания здесь ни по одному из приборов не наблюдалось. В среднем за все дни одновременных наблюдений промерзания обоими приборами разность показаний МР № 6 и МД № 7 составляет 7 см, однако данная оценка может быть не вполне надёжна ввиду смещений места нуля и введения поправок.

Выводы

Приведённые выше сведения о промерзании кратко обобщены в таблице 2.3:

Таблица 2.3. Основные показатели промерзания грунта в МГУ в 2015–2016 гг.

	Обнажённый участок		Участок под естественным покровом	
	Опорные данные (МР)	Дополнительные данные (МД)	Опорные данные (МР)	Дополнительные данные (МД)
Дата начала промерзания	28 / XI	28 / XI	29 / XII	30 / XI
Дата начала устойчивого промерзания	28 / XII	29 / XII	29 / XII	29 / XII
Дата достижения наибольшей глубины	30 / I	1 / II	11 / I	15 / I
Наибольшая глубина, см	71	75	32	26
Дата начала оттаивания	30 / I	9 / III	Нет	Нет
Дата начала устойчивого оттаивания	3 / III	28 / III	Нет	Нет
Дата исчезновения устойчивого промерзания	13 / III	11 / IV	29 / I	7 / III
Дата окончательного исчезновения промерзания	30 / III	11 / IV	22 / III	4 / IV

К основным выводам можно отнести следующие:

- Промерзание в холодном сезоне 2015-2016 гг. в целом оказалось сравнительно недолгим и неглубоким вследствие погодных условий.
- Наибольшая глубина промерзания под естественным покровом отмечается раньше, нежели под обнажённой поверхностью, вследствие теплоизолирующего действия снежного покрова и роста его высоты в течение зимы. Под обнажённой поверхностью сезонное промерзание обычно существует значительно дольше, чем под естественным покровом.
- Устойчиво слабоотрицательная температура воздуха может приводить к длительному постоянству глубины сезонного промерзания.
- Мерзлотомерам системы Данилина присуща большая инерция показаний по сравнению с мерзлотомерами системы Ратомского.
- В отдельных случаях два слоя с мёрзлым и два слоя с оттаявшим грунтом могут отмечаться одновременно один поверх другого.

Литература

ГОСТ 24847–81. Грунты. Методы определения глубины сезонного промерзания. М., Государственный комитет СССР по делам строительства.

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

Локощенко М.А. Промерзание и оттаивание грунта (раздел 3 части I, стр.26-35). 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.

Локощенко М.А. Промерзание и оттаивание грунта» (раздел 3 части I, стр.28-35). 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.

Локощенко М.А. Промерзание и оттаивание почвы и грунта (раздел 3 части I, стр.30-38). 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.

Локощенко М.А. Промерзание и оттаивание почвы и грунта (раздел 4 части I, стр.28-38). В сб.: Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2015 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В.Ломоносова. Под редакцией Шиловцевой О.А.– М.: МАКС Пресс, 2016.–268 с. ISBN: 978-5-317-05424-3.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Л., Гидрометеиздат, 1985, вып.3, ч.1, 300 стр.

3. Влажность воздуха и атмосферные осадки

Жданова Е.Ю.

Измерения характеристик влажности воздуха в Метеорологической Обсерватории МГУ осуществляется с помощью стационарного психрометра и волосяного гигрометра, а также непрерывная регистрация относительной влажности производится гигрографом (<http://momsu.ru/>). Влажность воздуха характеризуется количеством водяного пара, содержащимся в атмосфере, и степенью насыщенности воздуха водяным паром.

Месячные средние значения парциального давления водяного пара в 2016 году и за период 1981-2010 гг. представлены в табл. 3.1. Максимум среднемесячных значений парциального давления водяного пара приходится на самый теплый месяц – июль. Среднегодовое значение парциального давления водяного пара в 2016 году составило 8,3 гПа, что больше на 0,4 гПа среднегодового значения за период 1981-2010 гг. Наибольшие положительные аномалии парциального давления водяного пара наблюдались в июне-июле (+1,9 гПа), что связано как с положительными аномалиями температуры воздуха, так и с положительными аномалиями осадков. Стоит отметить положительную аномалию парциального давления водяного пара в феврале, что связано с наблюдавшейся высокой для февраля температурой воздуха (рис. 3.1). Экстремумы характеристик влажности воздуха за весь период наблюдений в Метеорологической Обсерватории МГУ можно найти в (Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2015 г., 2016).

Таблица 3.1. Парциальное давление водяного пара (e, гПа,) в 2016 г. и за период 1981-2010 гг. d – разница между парциальным давлением в 2016 году и климатическими значениями

Мес,	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2016	2,6	4,6	4,3	6,8	10,0	12,9	16,9	15,8	10,6	7,2	4,4	4,0
Max e (дата)	7,1 (28/I/ 2016)	6,6 (16/II/ 2016)	7,4 (9/III/ 2016)	13,1 (27/IV/ 2016)	18,1 (27/V/ 2016)	21,3 (22/VI/ 2016)	23,0 (3/VII/ 2016)	23,7 (22/VIII/ 2016)	16,6 (12/IX/ 2016)	15,7 (3/X/ 2016)	6,7 (19/XI/ 2016)	6,2 (27/XII/ 2016)
Min e (дата)	1,0 (5/I/ 2016)	2,7 (7/II/ 2016)	1,7 (27/III/ 2016)	2,7 (5/IV/ 2016)	3,9 (14/V/ 2016)	5,4 (8/VI/ 2016)	9,8 (5/VII/ 2016)	8,3 (29/VIII/ 2016)	6,3 (29/IX/ 2016)	2,7 (26/X/ 2016)	1,8 (30/XI/ 2016)	1,7 (14/XII/ 2016)
1981- 2010	3,5	3,3	4,2	6,2	9,2	12,8	15,0	13,9	10,5	7,5	5,0	3,8
d	-0,9	1,3	0,1	0,6	0,8	0,1	1,9	1,9	0,1	-0,3	-0,6	0,2
Min e (дата)	0,4 (18/I/ 2006)	0,5 (3/II/ 1999)	0,7 (13/III/ 1981)	1,1 (9/IV/ 1997)	2,0 (6/V/ 1986)	4,4 (10/VI/ 2000)	5,8 (5/VII/ 1992)	6,0 (27/VIII/ 1983)	2,6 (29/IX/ 1996)	1,3 (23/X/ 1994)	0,7 (30/XI/ 1998)	0,6 (15/XII/ 1997)
Max e (дата)	9,9 (11/I/ 2007)	8,4 (22/II/ 1990)	11,6 (25/III/ 2008)	14,3 (27/IV/ 1995)	24,1 (22/V/ 2007)	25,3 (10/VI/ 1999)	30,8 (17/VII/ 2001)	25,3 (7/VIII/ 2007)	20,6 (9/IX/ 2008)	16,9 (7/X/ 2003)	13,1 (11/XI/ 2010)	10,0 (15/XII/ 2006)

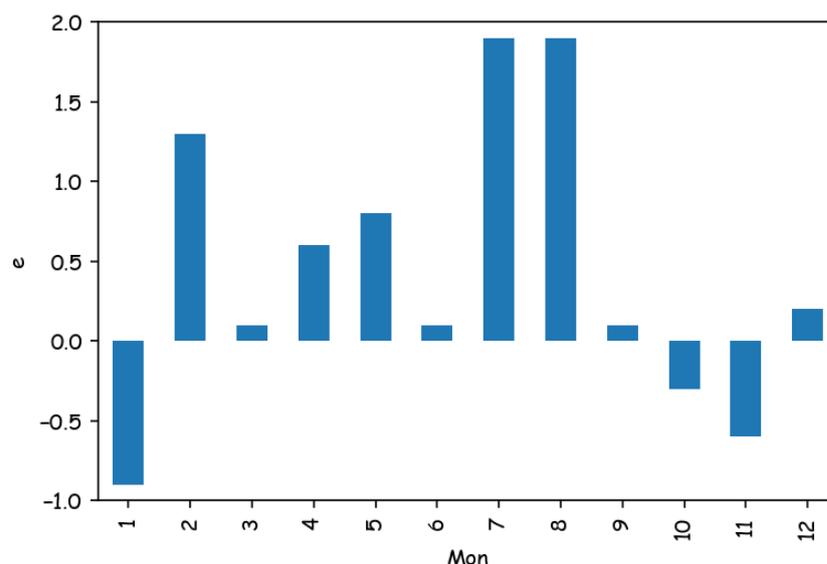


Рисунок 3.1. Отклонения парциального давления водяного пара от нормы в 2016 году (гПа)

Годовой ход среднесуточных значений парциального давления водяного пара представлен на рис. 3.2. В среднем максимум парциального давления вслед за температурой воздуха приходится на середину июля. В 2016 году максимальное зафиксированное 22 августа парциальное давление водяного пара составило 23,7 гПа.

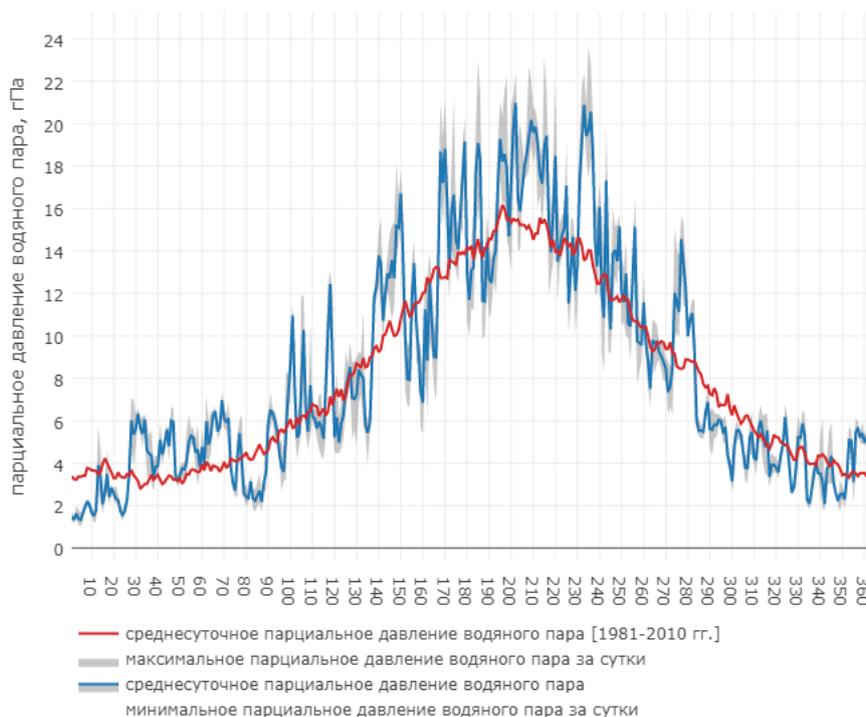


Рисунок 3.2. Среднесуточные значения парциального давления водяного пара в 2016 году и за период 1981-2010 гг. и экстремальные значения за сутки в 2016 году

Относительная влажность отражает степень насыщения воздуха водяным паром. В московских условиях относительная влажность достигает наибольших значений в зимние месяцы. В 2016 году средняя месячная относительная влажность была наибольшей в декабре (85%). В теплый период года более сухим в 2016 году по сравнению с климатическим значением был июнь.

Таблица 3.2. Средние месячные значения относительной влажности, измеренной в 12 часов по московскому времени, в 2016 году и за период 1981-2010 гг.

Мес,	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2016	78	74	59	55	49	51	59	57	72	77	83	85
1981-2010	82	76	65	54	49	56	57	60	67	74	81	82

Аномалии месячных значений относительной влажности (df) в 2016 году показаны на рис. 3.3. Воздух в период года с января по август в среднем был менее насыщен водяным паром по сравнению с климатическими значениями, в период с сентября по декабрь – более насыщен.

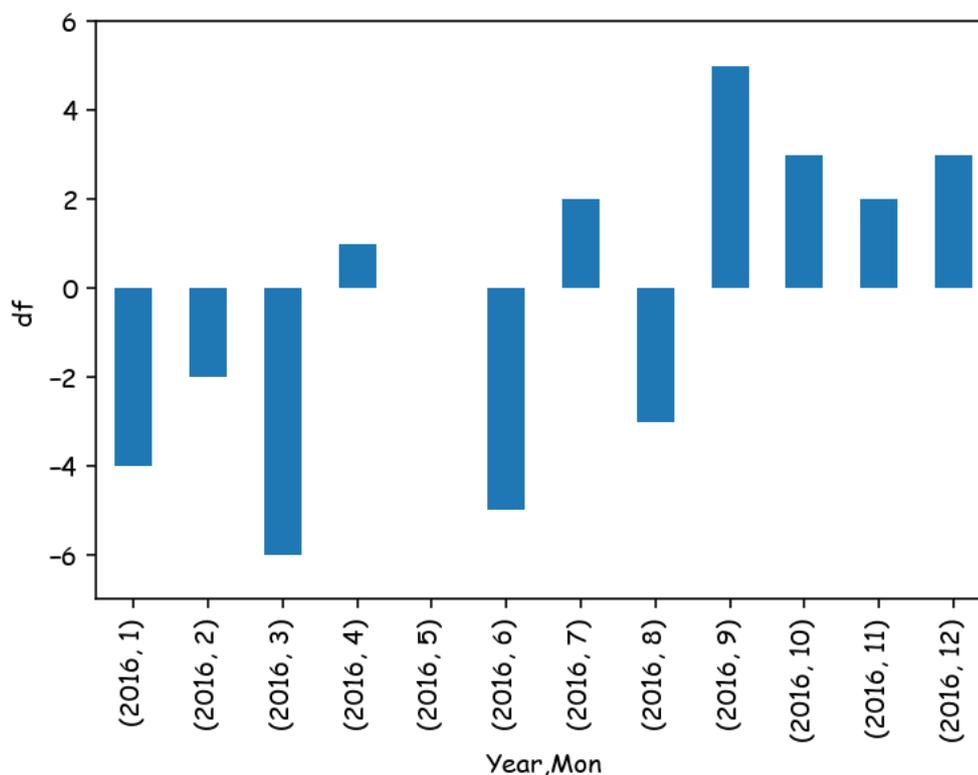


Рисунок 3.3. Аномалии относительной влажности, измеренной в 12 часов, в 2016 году относительно средних значений

Годовой ход среднесуточной относительной влажности представлен на рис. 3.4. Минимум относительной влажности в среднем приходится на конец апреля, а максимум - на зимние месяцы.

Относительная влажность меньше 30% (некомфортные для человека условия) отмечалась в 2016 году 22 дня, в следующие периоды: 26-29 марта, 5-6, 12-13, 24, 29-30 апреля, 1-3, 7-11, 14 мая, 1-2 июня. Минимальная относительная влажность наблюдалась 9 мая и составила 16%. Дневная (6-18 часов московского времени) относительная влажность больше 80% (некомфортные для человека условия) наблюдалась в 2016 году значительно чаще – 264 дня, больше таких дней было отмечено в холодный период года.

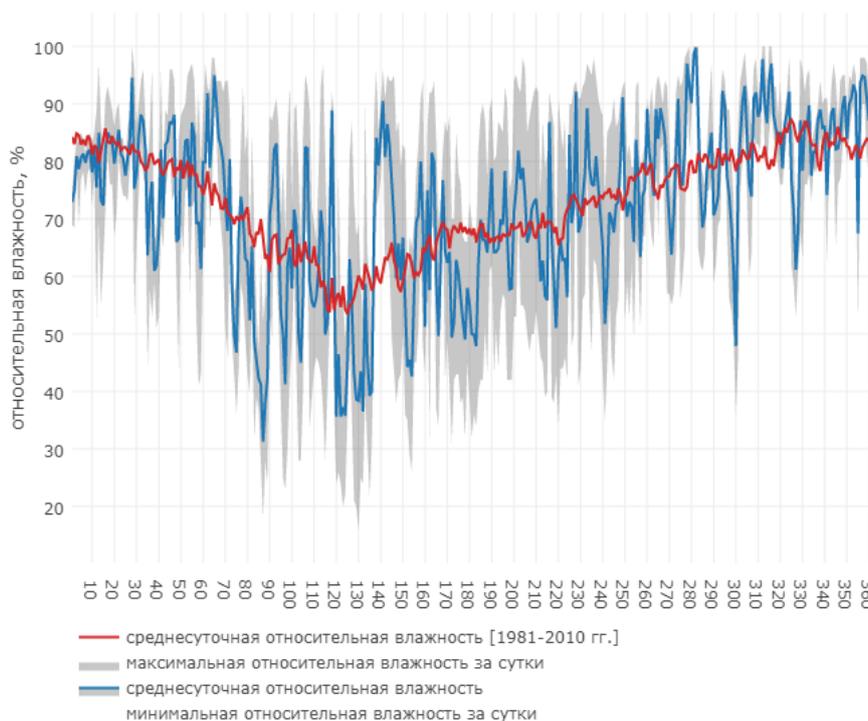


Рисунок 3.4. Среднесуточные значения относительной влажности в 2016 году и за период 1981-2010 гг. и экстремальные суточные значения за 2016 г.

Отклонения от нормы дефицита насыщения представлены на рис. 3.5, из которого следует, что больше средних значений дефицит насыщения воздуха водяным паром наблюдался в мае, июне и августе, а недостаток насыщения воздуха водяным паром наблюдался в сентябре.

Количество выпадающих осадков зависит, в первую очередь, от характера атмосферной циркуляции, а также от влагосодержания воздуха, степени его насыщения водяным паром, интенсивности испарения, наличия ядер конденсации.

В 2016 году по данным измерений Метеорологической Обсерватории МГУ в Москве выпало 939,5 мм осадков, что на 31,5% больше среднегодового количества осадков за период 1981-2010 годы. Аномалии количества осадков по месяцам показаны на рис. 3.6.

Месяцем, в котором норма осадков была превышена на 144%, стал август. Положительные аномалии осадков свыше 40% наблюдались в январе, феврале, марте; свыше 70% – в июле и ноябре. В октябре осадков выпало на 41% меньше среднего месячного значения. В 2016 году 202 дня (55% дней года) были с осадками.

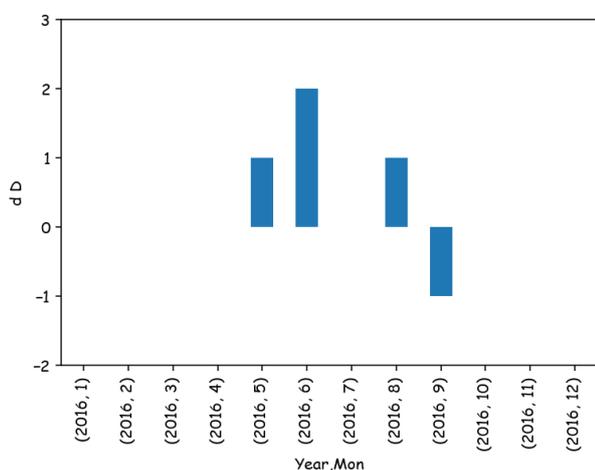


Рисунок 3.5. Отклонения дефицита насыщения воздуха водяным паром от нормы в 2016 году

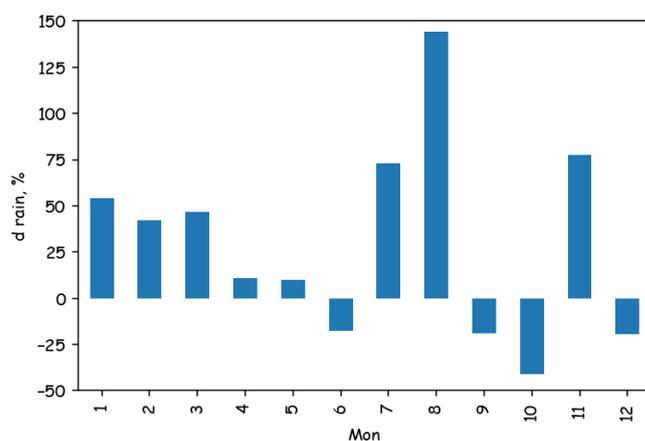


Рисунок 3.6. Аномалии количества осадков в 2016 году относительно современной нормы, в процентах

На рис. 3.7 представлены суточные суммы осадков, которые косвенно характеризуют интенсивность осадков. Максимальное количество осадков, обусловленное расположением центра быстро окклюдирующего циклона над Москвой и составившее 108,5 мм, выпало 15 августа, что превысило месячную современную климатическую норму осадков, которая для августа составляет 81 мм. Количество осадков, выпавших 15 августа, стало рекордным – абсолютный суточный максимум.

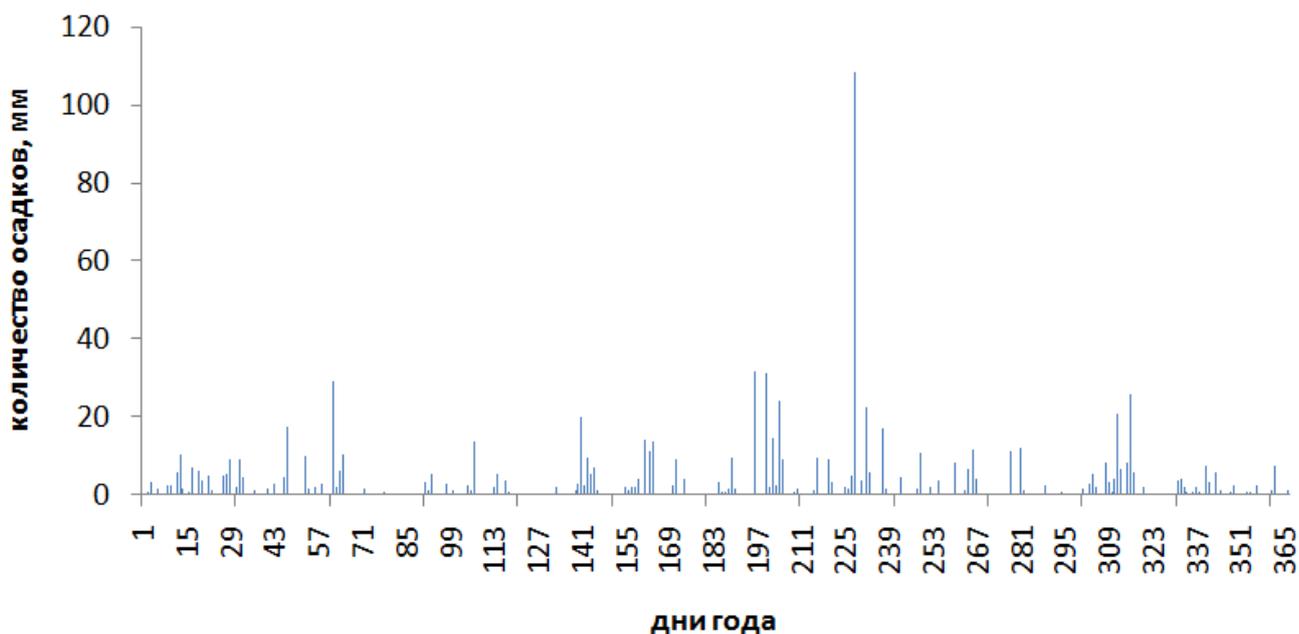


Рисунок 3.7. Суточное количество осадков в 2016 году

Отметим, что осадки 15 августа на территории Москвы выпадали неравномерно, так на станции ВДНХ выпало 88 мм, что на 20 мм меньше, чем количество осадков, зафиксированное в Метеорологической Обсерватории МГУ. Причиной столь большого количества выпавших осадков было возникновение циклона на малоподвижном меридионально протянутом фронтальном разделе (рис. 3.8 и рис. 3.9).

В холодный период года рекордным днем по суточному количеству осадков стало 11 ноября. В этот день в связи с прохождением южного циклона осадки выпадали в Москве в виде дождя и снега, суточная сумма осадков составила 25,9 мм.

В табл. 3.3 представлена повторяемость суточных сумм осадков в 2016 году, сгруппированных по градациям. Наибольшую повторяемость в 2016 году имели слабые осадки с количеством до 3 мм в сутки, вторичный максимум осадков приходится на градацию 5-10 мм.

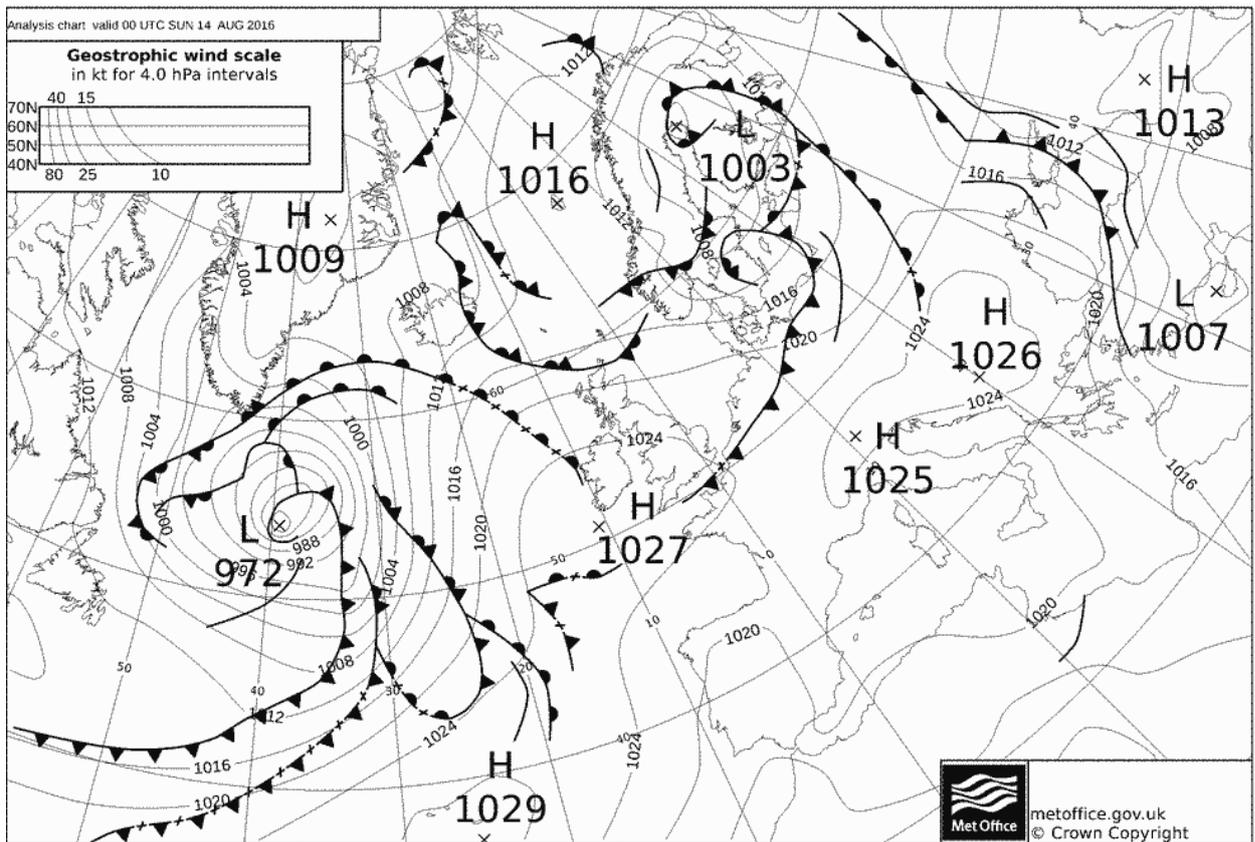


Рисунок 3.8. Приземная синоптическая карта 14 августа 2016 года, 0 UTC

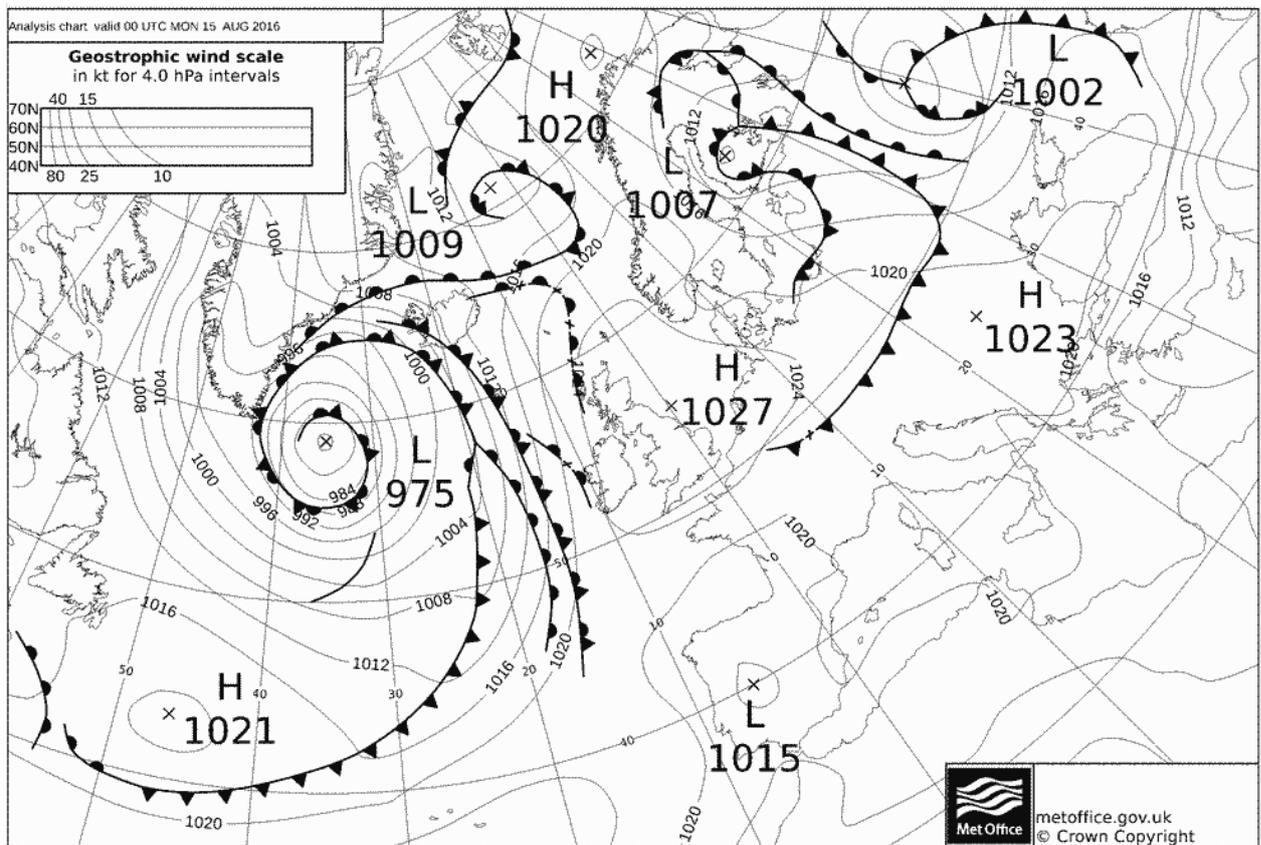


Рисунок 3.9. Приземная синоптическая карта 15 августа 2016 года, 0 UTC

Таблица 3.3. Повторяемость суточных сумм осадков в 2016 году в зависимости от их количества.

Количество осадков, мм	<1	1-3	3-5	5-10	10-15	15-32
Повторяемость	48%	23%	8%	12%	5%	4%

Таким образом, 2016 год был более дождливым по сравнению с текущей климатической нормой: сумма осадков оказалась выше на 31,5% с учетом рекордного количества осадков, выпавших 15 августа, и на 16% без учета осадков выпавших 15 августа.

Работа поддержана госбюджетной темой АААА-А16-116032810086-4.

Литература

Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2015 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова / под редакцией О.А.Шиловцевой – МАКС Пресс 2016 – С. 268.

4. Снежный покров

Локощенко М.А.

4.1. Наблюдения за снежным покровом в МО МГУ

Наблюдения за снежным покровом в Метеорологической обсерватории МГУ, в соответствии с Наставлениями гидрометеорологическим станциям и постам, как в прошлом Госкомгидромета СССР, так и ныне Росгидромета, всегда проводились и проводятся с использованием четырёх стандартных снегомерных реек М-103. Три из них, установленные в линейном порядке, являются основными, а четвёртая рейка – дополнительной. Последняя находится рядом с речным помостом вытяжных почвенно-глубинных термометров ТПВ-50 на участке под естественным покровом и даёт сведения о высоте снежного покрова вблизи этих термометров. В зависимости от показаний данной рейки, измерения температуры почвы на глубинах 20 и 40 см производятся зимой либо раз в сутки (при высоте снежного покрова не менее 15 см в начале холодного сезона и не менее 5 см при его сходе весной), либо каждые три часа. Все рейки устанавливаются на площадке в начале осени, перед наступлением холодного сезона, и убираются в июне. Среднее значение высоты снежного покрова рассчитывается по показаниям трёх основных реек. В МГУ традиционно используется линейная схема их установки, а не треугольная, но менять её впредь нежелательно для сохранения однородности рядов многолетних данных.

Наблюдения за снежным покровом включают в себя определение степени покрытия, измерение его высоты, а также её прироста. Отсчёты высоты по всем рейкам производятся ежедневно в утренний срок измерений 9 ч; случайная ошибка не превышает ± 1 см и является ненаправленной. Впрочем, нельзя исключить небольшое систематическое занижение высоты снежного покрова при недостаточно низком наклоне наблюдателя во время отсчёта. Прирост высоты снежного покрова является нестандартным показателем, не предусмотренным нормативными документами Росгидромета. Он измеряется здесь начиная с 2009 г. обычной линейкой дважды в сутки – утром и вечером – после окончания каждого снегопада с использованием любой плоской поверхности, находящейся на открытом месте: например, круга ледоскопа. Точность измерений прироста высоты меньше, чем самой высоты. Кроме того, возможна потеря отсчёта при сдувании слоя выпавшего

снега с поверхности ледоскопа – особенно если ветер сильный, а снег сухой. Тем не менее, данный показатель важен и представляет отдельный интерес, поскольку отражает максимально возможную в данном сезоне гипотетическую высоту снежного покрова при условии отсутствия оттепелей, а также его гравитационного и ветрового уплотнения.

В силу чрезвычайной простоты наблюдений за снежным покровом они весьма надёжны, и накопленные ряды данных за всё время существования Обсерватории можно считать однородными. Подробнее о методике этих измерений и о её результатах в прежние годы в МГУ читатель может узнать в работе (Локощенко, 2005) и в соответствующих разделах выпущенных ранее ежегодных сборников трудов Обсерватории (Локощенко, 2013-2016 и др.)

4.2. Календарные показатели и высота снежного покрова в МО МГУ в 2015-2016 гг.

Снежный покров в холодном сезоне 2015-2016 гг. оказался недолгим и в целом невысоким. Вследствие аномальной «жары» в декабре 2015 г. окончательно он установился очень поздно – лишь за несколько дней до Нового года. Сошёл же устойчивый снежный покров уже к концу марта, после чего снег ни разу больше не залегал (устойчивый покров оказался последним в сезоне). Вдобавок к этому, высота снежного покрова в течение всего сезона была как правило меньше её обычных среднемноголетних значений. Лишь холодный и снежный январь был отмечен быстрым её ростом. Однако затем частые и продолжительные оттепели в феврале и марте привели к интенсивному таянию снега и раннему его сходу. Заметим, что и февраль, и март оказались не только на редкость тёплыми (их среднемесячная температура превысила традиционную климатическую норму 1961–1990 гг. соответственно на 7,4 и 3,0°C), но и очень влажными месяцами, отмеченными большим количеством осадков (оно также превысило климатическую норму на 65 и 57% соответственно в феврале и марте). Однако в условиях устойчиво положительной температуры воздуха T (лишь четыре дня в феврале и шесть дней в марте T не поднималась выше 0°C) обильные осадки снежному покрову ничуть не помогли: они выпадали в основном жидкие или смешанные, и даже редкий сухой снег быстро таял, так что высота снежного покрова не достигла больших значений.

Впервые в этом холодном сезоне твёрдые осадки выпали в виде мокрого ливневого снега днём 7 октября (с 12:55 до 13:35 и с 18:15 до 19:55) по московскому зимнему времени. В условиях положительной температуры и воздуха, и поверхности, а также в силу малости выпавших осадков (всего 1,3 мм) снежный покров в тот день не образовался. К появлению первого в сезоне снежного покрова привёл уже второй снегопад 8 и 9 октября, начавшийся всего день спустя. Наличие снега в кодировке состояния поверхности почвы («3», то есть снег, равномерно покрывающий всю поверхность) было впервые отмечено ночью 9 октября в 03 ч. В промежутке времени с 21 до 03 ч мокрый ливневый снег шёл дважды. Однако с учётом того, что температура поверхности стала слабоотрицательной ($-0,1^{\circ}\text{C}$) лишь к трём часам ночи, можно считать, что снежный покров установился уже после полуночи, так что 9 октября следует принять за дату первого его образования. В этот же день утром были получены первые отчёты его высоты – впрочем, небольшие: лишь 2 см по всем трём основным рейкам и 1 см – по дополнительной (рис. 4.1). Заметим, что на этом рисунке, для пущей наглядности, в дополнение ко всем средним отсчётам высоты, приведены также её условные нулевые значения в начале и в конце каждого случая образования снежного покрова. К середине следующего дня, вследствие начавшегося потепления, этот первый покров сошёл, и в срок 15 ч 10 октября в состоянии поверхности почвы отмечено уже полное его отсутствие.

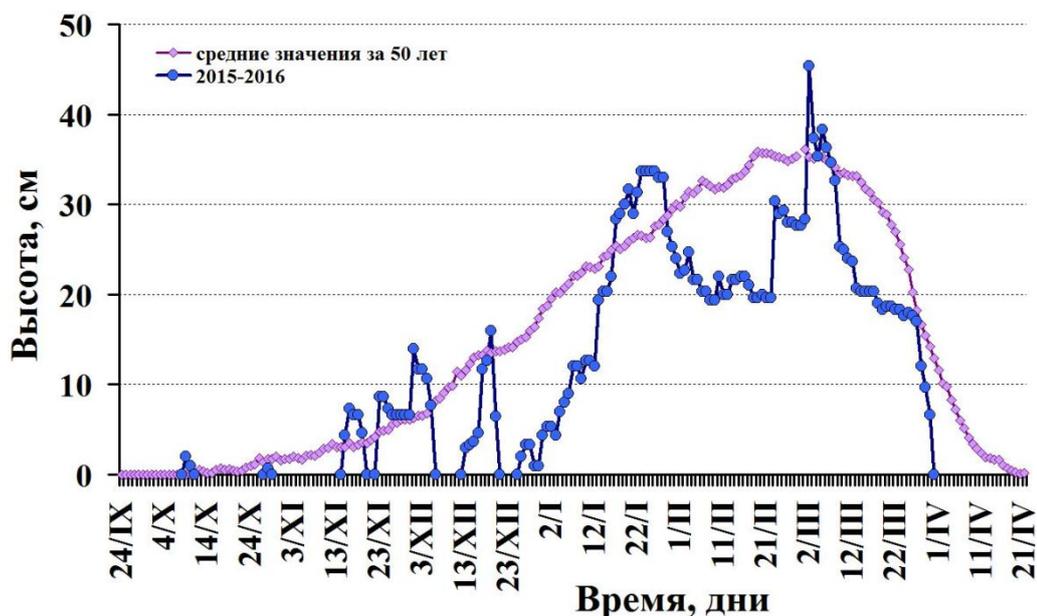


Рисунок 4.1. Ход средней высоты снежного покрова в холодном сезоне 2015-2016 гг. в сравнении со средними многолетними значениями (за период с 1954 по 2003 гг.). Москва, МГУ

Во второй раз снежный покров ненадолго образовался 28 октября после нового снегопада. Поскольку снег был слабым, то и снежный покров оказался крайне тонким (с высотой всего 1 см по данным трёх из четырёх реек и нулевым отсчётом на второй) и просуществовал лишь несколько часов.

Третий по счёту снежный покров возник ночью 15 ноября и продержался уже пять дней; на этот раз его высота в среднем по трём рейкам составила на следующий день 7 см, а на одной из реек достигла 9 см. Впрочем, начавшаяся 19 ноября оттепель привела к его быстрому сходу, так что уже к 03 ч ночи на следующий день почва вновь стала полностью открытой.

Четвёртый в сезоне снежный покров образовался вечером 22 ноября вследствие выпадения обильных твёрдых осадков (мокрого ливневого снега), связанных с прохождением холодного атмосферного фронта. Первое на этот раз проявление снежного покрова в кодировке состояния поверхности отмечено в 03 ч 23 ноября, и первые отчёты его высоты сделаны утром в тот день. Однако, с учётом значительного количества осадков (2,9 мм в 21 ч 22/XI, а также 5,8 мм в 06 ч 23/XI, большая часть которых выпала до 24 ч) и близкой к нулю температуры поверхности, очевидно, что установился этот снежный покров ещё до полуночи – накануне вечером. Сошёл же он с наступлением очень сильной оттепели двумя неделями позднее, 6 декабря (утром в этот день снег вблизи всех реек уже отсутствовал, но ещё было отмечено 2 балла покрытия в окрестностях станции). Заметим кстати, что на следующий день 7 декабря максимальная температура воздуха приблизилась к рекордно высоким для декабря значениям, достигнув $+7,1^{\circ}\text{C}$.

Пятый по счёту снежный покров установился при выпадении ливневого снега вечером 12 декабря, но даже на этот раз он не стал устойчивым. Достигнув 19 декабря довольно большой высоты (16 см в среднем и вплоть до 18 см по одной из реек), он, тем не менее, стремительно сошёл уже на следующий день – 20 декабря – в результате новой сильнейшей оттепели. Следует отметить, что декабрь 2015 года оказался аномально «жарким» месяцем, что подробно рассмотрено автором в (Локощенко «Аномальная жара в декабре 2015», 2016). Среднемесячная температура T_{cp} этого месяца ($+0,4^{\circ}\text{C}$) на целых $6,6^{\circ}\text{C}$ превысила традиционную климатическую норму 1961–1990 гг. для декабря. За всю историю инструментальных измерений в Москве, начиная с 1779 г., лишь один раз декабрь был ещё более тёплым: в 2006 году, когда T_{cp} составила $+1,3^{\circ}\text{C}$. Что касается

максимальной температуры, то в самый «жаркий» день этого месяца – 21 декабря – она достигла $+9,6^{\circ}\text{C}$ при среднесуточной температуре $+8,7^{\circ}\text{C}$. Столь необычная для декабря погода была связана с сильной адвекцией свежепришедшей и необычно тёплой тропической воздушной массы, заполнявшей тёплый сектор обширного и глубокого циклона с центром над Кольским полуостровом, в котором 21 декабря находилась Москва. Полное отсутствие снежного покрова в этот день наглядно видно на сделанной автором фотографии (рис. 4.2). Заметим, что за период с 1879 г., для которого известны все срочные данные, в Москве в декабре температура воздуха только один раз была ещё выше: 6-го декабря 2008 года она достигла в МГУ $+10,0^{\circ}\text{C}$. Неудивительно, что в столь необычных условиях аномальной зимней «жары» в течение этого месяца снежный покров дважды (6-го и 20-го декабря) полностью сошёл, и целых 11 дней, то есть более трети всего календарного времени декабря (с 7-го по 12-е и с 21-го по 25-е декабря), его в Москве не было. Отметим также, что среднесуточная температура $T_{\text{ср}}$ в декабре 2015 г. только 12 дней была отрицательной.

Лишь шестой по счёту в этом сезоне снежный покров оказался, наконец, устойчивым. Он образовался около полуночи 26 декабря в результате выпадения мокрого обложного, а затем и мокрого ливневого снега, и впервые был отмечен на поверхности в срок 03 ч 26/XII. Снег шёл в промежутке времени с 21:15 25 декабря до 1:40 26 декабря; вплоть до 21:30 – вместе с обложным дождём, так что определить точную календарную дату установления снежного покрова (до полуночи или после) затруднительно. Заметим, что вплоть до конца декабря снежный покров был предельно тонким – так, 30/XII отсчёты по всем четырём рейкам составили всего 1 см. Тем не менее, с самого начала и до конца марта он оставался сплошным, т.е. степень его покрытия составляла всегда 10 баллов, так что дата исчезновения последних проталин совпадает в этом сезоне с датой образования устойчивого снежного покрова: 26 декабря.

Лишь обильные снегопады в январе, особенно 12-13 и ночью 16-17 января (составившие к 9 ч, т.е. к утренним отсчётам высоты, по количеству осадков 14,7 и 7,4 мм соответственно 13/I и 17/I) привели к быстрому росту высоты снежного покрова и её превышению по сравнению с обычными для этого времени величинами (рис. 4.1). Как видим, 17 января высота достигла уже 28,3 см и стала больше среднемноголетнего значения. В период с 23 по 28 января произошла стабилизация значений высоты: все эти

шесть дней они оставались почти неизменными (33–34 см) в условиях морозной (вплоть до -18°C) антициклональной погоды.



Рисунок 4.2. Площадка Метеорологической обсерватории МГУ 21 декабря 2015 года

Лишь обильные снегопады в январе, особенно 12-13 и ночью 16-17 января (составившие к 9 ч, т.е. к утренним отсчётам высоты, по количеству осадков 14,7 и 7,4 мм соответственно 13/1 и 17/1) привели к быстрому росту высоты снежного покрова и её превышению по сравнению с обычными для этого времени величинами (рис. 4.1). Как видим, 17 января высота достигла уже 28,3 см и стала больше среднеголетнего значения. В период с 23 по 28 января произошла стабилизация значений высоты: все эти шесть дней они оставались почти неизменными (33–34 см) в условиях морозной (вплоть до -18°C) антициклональной погоды. Начавшаяся затем в конце месяца оттепель привела к постепенному уменьшению высоты снежного покрова. Эта оттепель оказалась на редкость долгой и продлилась в значениях максимальной температуры целых двадцать два дня – с

28 января до 18 февраля. Как следствие, 29 января высота (27 см) стала меньше обычной для этого дня, а 6 февраля сократилась уже до 20 см и в последующие полмесяца, вплоть до 22 февраля, оставалась близкой к этому значению (в отдельные дни – от 19 до 22 см). Обильный снегопад вечером в тот день привёл к росту высоты снежного покрова сразу на 10 см: к утру 23 февраля она составила 30,3 см. Начавшаяся вслед за тем новая оттепель привела к небольшому сокращению значений (до 27,7 см) к концу месяца. Наконец, исключительно обильный мокрый ливневый снег, выпавший ночью и утром 2 марта и составивший по количеству осадков 27,9 мм, привёл к резкому росту высоты снежного покрова до 45,3 см, т.е. на целых 17 см (!) всего за сутки. Данное значение оказалось рекордно высоким в этом холодном сезоне. По двум из четырёх реек утром 2 марта высота достигла даже 47 см. Однако начавшаяся в тот же день оттепель привела к быстрому таянию выпавшего снега. Уже на следующий день, 3 марта, высота снежного покрова сократилась до 37,3 см.

Как уже отмечено, март 2016 года оказался в целом очень тёплым месяцем. Устойчивые положительные значения температуры воздуха определили быстрый сход снежного покрова. Уменьшение его высоты происходило почти монотонно, лишь в редких случаях (например, 5 марта) ненадолго прерываясь недолгим её ростом после снегопадов. Правда, довольно странными и труднообъяснимыми выглядят результаты наблюдений в продолжение трёх исключительно жарких для начала весны дней 9, 10 и 11 марта, когда при значениях максимальной температуры соответственно +9,2, +11,0 и +11,2°C и при полном отсутствии осадков высота снежного покрова уменьшилась всего на 1 см: с 25 см 9 и 10 марта лишь до 24 см 11 и 12 марта. Даже при наличии плотного наста на его поверхности данный факт выглядит удивительным.

Начавшееся 18 марта похолодание замедлило сход снежного покрова, и последующие девять дней его высота оставалась стабильной: 18 ± 1 см. К окончанию этого времени, 27 числа, она почти сравнялась со среднемноголетним значением (17 и 18 см соответственно в 2016 г. и в среднем за полвека). Первые проталины отмечены в кодировке состояния поверхности (значение «2» в кодировке «по снегу») утром 29 марта. Поскольку в 03 ч, согласно этой кодировке, снежный покров ещё оставался сплошным, и в промежутке времени между 03 и 09 ч температура воздуха T была положительной (от +1,5 до +6,0°C), то очевидно, что проталины появились уже 29 марта. Заметим, однако, что в

книжке КМ-1 степень покрытия снежным покровом указана как 10 баллов «с просветами» (число 10 обведено одним из наблюдателей в квадрат по аналогии с количеством облаков) ещё 26-го, а также 27-го марта. С учётом отрицательной в ночные часы 26/III температуры поверхности и близкой к нулю температуры воздуха Т очевидно, что появиться проталины должны были накануне: 25 марта. Однако достоверность этого наблюдения сомнительна с учётом ещё довольно большой в тот день высоты снежного покрова – 18 см, а также значения «3» в кодировке состояния поверхности, означающего снежный покров на всей поверхности. Заметим в этой связи, что, в отличие от просветов в облаках, наличие небольших по площади проталин, составляющих менее половины балла (т.е. менее 1/20 доли поверхности) никак не отражается в кодировке степени покрытия снега, хотя его остатки, составляя даже менее 0,05 поверхности, напротив, кодируются условным нулевым значением. Косвенно появление небольших проталин можно распознать по состоянию поверхности, когда при 10-балльной степени покрытия, оно кодируется значениями 2 либо 6, а также по значению 9 (снежный покров с проталинами) в кодировке залегания снежного покрова. Однако ни 26, ни 27 марта этих значений в кодировке состояния поверхности нет; характер же залегания снега в МГУ в последние годы не определяется.

В последние дни марта Т резко возросла, и снежный покров окончательно сошёл. Если утром 30 числа его высота составляла ещё 7 см, то на следующий день снега не было уже вблизи ни одной из четырёх рек; степень же покрытия в окрестностях станции сократилась до 4 баллов. Последующие четыре дня, вплоть до 4 апреля, эта степень, согласно наблюдениям, неизменно составляла 2 балла (четыре значения подряд), что крайне сомнительно с учётом очень тёплой погоды. Возможно, наблюдатели принимали за остатки реального снежного покрова медленно таявшие снежные насыпи на обочинах близлежащих дорог, что неверно. Лишь утром 5 апреля, наконец, никаких сведений о снежном покрове в наблюдениях больше нет. Поскольку ночью в тот день Т была близкой к нулю и даже слабоотрицательной, то очевидно, что датой окончательного схода устойчивого снежного покрова следует считать 4 апреля. Однако вполне возможно, что на самом деле этот сход произошёл двумя-тремя днями ранее.

Особенностью весны 2016 г. явилось то, что устойчивый снежный покров стал последним покровом в этом холодном сезоне: после его схода снег на поверхности уже не наблюдался ни разу. Последними в сезоне твёрдыми осадками был мокрый ливневый снег,

выпавший днём 16 апреля. Таким образом, устойчивый снежный покров был отмечен в наблюдениях Метеорологической обсерватории МГУ в течение 96 дней. Вообще же снежный покров, включая первые пять его эпизодов, существовал здесь 122 дня (по данным двух из четырёх реек – 121 день). Накопленная высота – показатель, предложенный автором в (Лукощенко, 2005) – составила за весь сезон 2232 см. Заметим, что, по данным о средней высоте снежного покрова в МГУ за 51 год – с 1954 по 2004 гг., этот показатель составляет 3161 см. Таким образом, в холодном сезоне 2015–2016 гг. накопленная высота оказалась меньше обычного на целых 30 %.

Сравнение показаний отдельных снегомерных реек на рис. 4.3 показывает сравнительную близость отсчётов. Средняя за весь сезон разность значений на отдельных рейках по выборке из 121 дня полного набора четырёх отсчётов высоты составляет ± 3 см; предельное значение разности в отдельные дни составило -8 см (разность отсчётов на 1-й и 2-й реек 25 февраля). Устойчивый знак разностей показаний между отдельными рейками (например, обычно бóльшие отсчёты по второй рейке по сравнению с первой), скорее всего, связаны с не вполне ровной поверхностью метеорологической площадки, а также с неровной поверхностью самого снежного покрова. Впрочем, статистическая связь значений на разных рейках очень тесная и близка к линейной, коэффициент корреляции при парном сравнении данных о высоте снежного покрова разных реек за все дни его существования составляет 0,98.

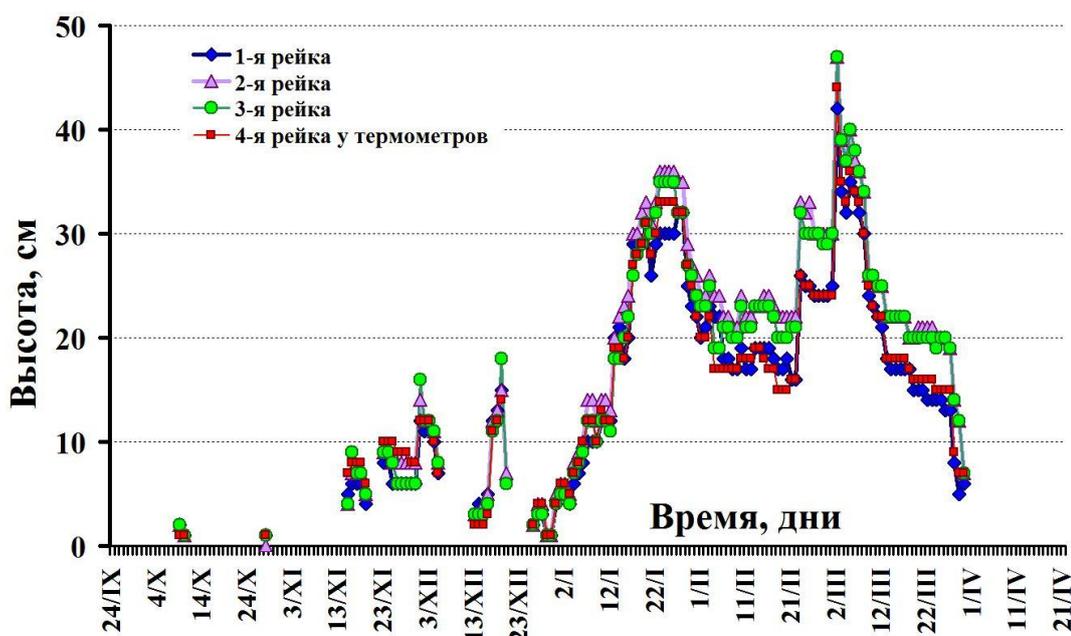


Рисунок 4.3. Ход средней высоты снежного покрова в холодном сезоне 2015-2016 гг. по данным отдельных снегомерных реек. Москва, МГУ

Данные о снежном покрове и о твёрдых осадках в сезоне 2015-2016 гг. обобщены в таблице 4.1. Как видим, дата первого выпадения твёрдых осадков почти совпадает со среднемноголетней. Первый снежный покров образовался почти на две недели раньше обычного, зато устойчивый установился более чем на месяц позднее средней даты этого события. Сравнительно поздно в этом сезоне снежный покров достиг своей наибольшей высоты. Появление же первых проталин и сход снежного покрова оказались близкими к обычному времени, однако последнее образование снежного покрова и последнее выпадение твёрдых осадков оказались сравнительно ранними.

Таблица 4.1. Календарные даты динамики снежного покрова в Москве (МГУ) в 2015-2016 гг. и в сравнении со средними значениями за период 1954–2003 гг.

	Средняя дата за 50 лет	Дата в 2015-2016 гг.
Первое выпадение твёрдых осадков	8 / X	7 / X
Появление первого снежного покрова	22 / X	9 / X
Образование устойчивого снежного покрова	21 / XI	26 / XII
Исчезновение последних проталин	6 / XII	26 / XII
Достижение наибольшей высоты	22 / II	2 / III
Появление первых проталин	25 / III	29 / III
Сход устойчивого снежного покрова	8 / IV	4 / IV
Последнее залегание снежного покрова	17 / IV	4 / IV
Последнее выпадение твёрдых осадков	28 / IV	16 / IV

4.3. Прирост снежного покрова в МГУ в 2015-2016 гг.

На рисунке 4.4 приведены суммарные за каждый день значения накопленного прироста высоты снежного покрова в холодном сезоне 2015–2016 гг. Помимо этого, для сравнения с ними автором впервые рассчитаны и представлены средние значения этого показателя за предыдущие шесть сезонов, начиная с сезона 2009–2010 гг., когда прирост начали измерять. До сих пор о его средних многолетних значениях речь не шла ввиду крайней малости выборки данных, теперь же впервые сделана попытка их рассмотреть. Как видим, шесть лет – срок, вполне достаточный для предварительной оценки, поскольку ход значений ото дня ко дню в целом ровный, так что отдельные резкие скачки при обильных снегопадах в разные годы уже сглажены осреднением.

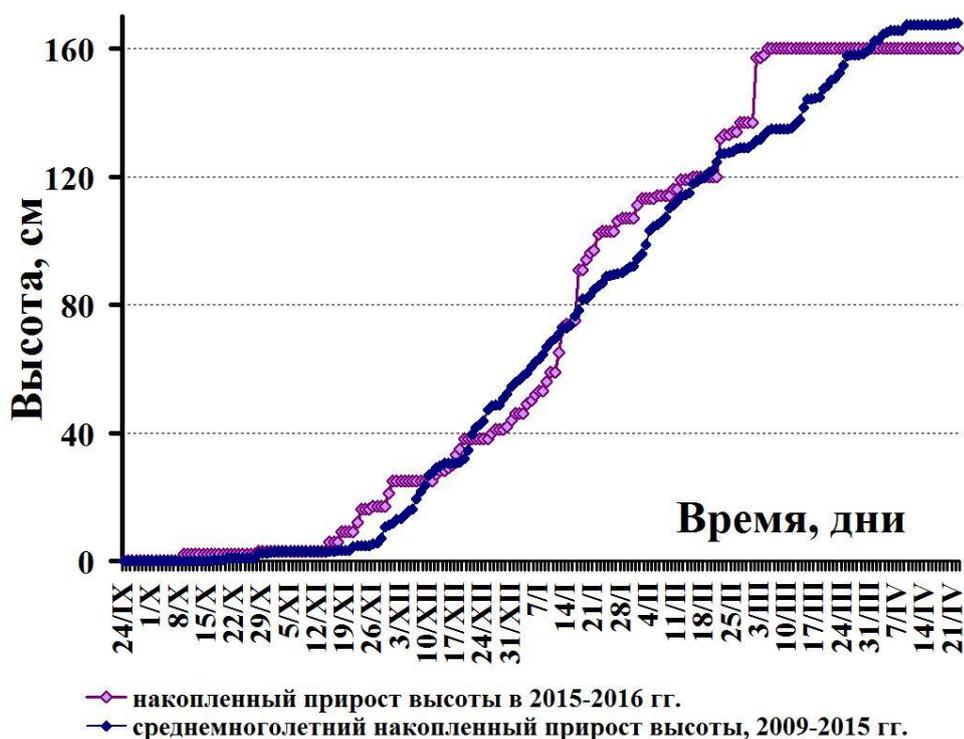


Рисунок 4.4. Ход накопленного прироста высоты снежного покрова в холодном сезоне 2015–2016 гг. и в среднем за 6 предыдущих лет. Москва, МГУ

Следует заметить, что, в дополнение ко всем реальным отсчётам прироста в сезоне 2015-2016 гг., автором также добавлено условное значение 2 см, очевидно пропущенное при установлении устойчивого снежного покрова ночью 26 декабря. Значение это совпадает с высотой снежного покрова по данным всех четырёх рек утром в тот день – предположено, что сама высота при образовании снежного покрова была равна её приросту. Как видим, значения прироста в последнем сезоне в целом очень близки к средним значениям за предыдущие шесть лет. Ничего удивительного в этом, разумеется, нет, поскольку прошедшая зима при сравнительно малой высоте снежного покрова, тем не менее, была отнюдь не малоснежной. Все три зимних месяца были отмечены большим количеством осадков, но выпавший снег быстро таял при частых оттепелях. Поэтому накопленный прирост как гипотетически возможная наибольшая высота снежного покрова отражает частые и обильные снегопады.

Как видно на рис. 4.4, накопленный прирост в продолжение всего сезона составил 160 см, тогда как среднее многолетнее значение этого показателя лишь немногим больше: 168 см. Наибольшим за все годы измерений накопленный прирост оказался в сезоне 2012-2013 гг. (265 см), наименьшим – в сезоне 2013-2014 (106 см). Наибольший разовый отсчёт

прироста в последнем сезоне составил 20 см утром 2 марта, в день наблюдения наибольшей высоты снежного покрова.

Выводы

Итак, снежный покров в холодном сезоне 2015-2016 гг. образовывался шесть раз, и лишь шестой по счёту покров оказался устойчивым и последним в сезоне. Установился он очень поздно, в конце декабря 2015 года, вследствие аномально «жаркой» в этом месяце погоды. Высота снежного покрова была отмечена сравнительно небольшими значениями вследствие частых оттепелей в феврале и марте. Лишь один раз, 2 марта, она превысила 40 см, достигнув значения 45,3 см, и ещё 16 раз составила 30 см или более. После схода устойчивого снежного покрова в начале апреля снег больше ни разу не отмечался на поверхности земли. Вместе с тем накопленный за весь сезон прирост высоты снежного покрова (160 см) оказался близким к обычному значению вследствие обильных осадков в продолжение всей зимы.

Литература

Локощенко М.А. Снежный покров и его современные изменения в Москве. М., Метеорология и гидрология, 2005, том 30, № 6, стр.71-82.

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.

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.

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.

Локощенко М.А. Снежный покров (раздел 6 части I, стр.45-54). В сб.: Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2015 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В.Ломоносова. Под редакцией Шиловцевой О.А. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 268 с. ISBN: 978-5-317-05424-3.

Локощенко М.А. Аномальная жара в декабре 2015 года (раздел 2 части I, стр.17-20). В сб.: Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2015 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В.Ломоносова. Под редакцией Шиловцевой О.А. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 268 с. ISBN: 978-5-317-05424-3.

5. Атмосферное давление и ветер в приземном слое

Жданова Е.Ю.

Особенностью годового хода атмосферного давления являются большие междусуточные амплитуды в холодный период года по сравнению с теплым периодом (рис. 5.1). Для годового хода давления характерен минимум летом и максимумы в октябре и феврале. В среднем за период 1981-2010 гг. амплитуда годового хода давления на уровне моря по данным срочных наблюдений в Метеорологической Обсерватории МГУ составляет 5,8 гПа. Минимальное атмосферное давление на уровне моря, зафиксированное по данным срочным наблюдений в 2016 году, составило 981,5 гПа (13 января), максимальное – 1049,8 гПа (24 октября). Таким образом, амплитуда годового хода давления в 2016 году составила 68,3 гПа. В табл. 5.1. представлены среднемесячные значения давления на уровне моря за 2016 год и за период 1981-2010 гг., а также наблюдавшиеся в 2016 г. и за период 1981-2015 гг. экстремумы давления.

Таблица 5.1 Среднемесячное давление P на уровне моря в 2016 году и за период 1981-2010 гг. и экстремальные значения давления в 2016 г. и за период 1981-2015 гг.

Мес,	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2016												
P , гПа	1014,6	1014,8	1015,3	1011,4	1015,0	1013,9	1011,1	1016,2	1014,1	1028,4	1017,6	1014,5
Min P (дата)	981,5 (13)	985,4 (22)	991,5 (18)	998,2 (14)	1001,5 (20)	1002,3 (12)	1001,6 (19)	1001,8 (15)	1003,2 (22)	1002,5 (30)	988,4 (27)	992,7 (6)
Max P (дата)	1041,9 (2)	1037,0 (18)	1031,8 (1)	1024,9 (30)	1025,8 (1)	1025,8 (21)	1021,3 (17)	1023,3 (22)	1024,6 (27)	1049,8 (24)	1039,9 (22)	1033,1 (20)
1981-2010												
P , гПа	1015,6	1017,6	1016,8	1015,9	1015,2	1011,9	1012,2	1013,3	1015,6	1017,5	1017,7	1016,6
Min P (год/дата)	968,4 (2007/ 20)	966,9 (1999/ 5)	973,2 (2008/ 2)	977,7 (1997/ 12)	986,9 (1995/ 10)	982,1 (1984/ 9)	982,1 (1998/ 4)	985,4 (2004/ 14)	986,4 (2006/ 6)	977,9 (2003/ 7)	973,0 (2008/ 23)	968,1 (1981/ 15)
Max P (год/дата)	1058,3 (2008/ 3)	1054,3 (1984/ 14)	1057,9 (1995/ 13)	1040,0 (1996/ 8)	1037,7 (1993/ 7)	1029,9 (2007/ 3)	1029,1 (2002/ 29)	1032,3 (1996/ 29)	1038,3 (2001/ 19)	1051,8 (1987/ 28)	1055,5 (1993/ 22)	1057,6 (1997/ 16)

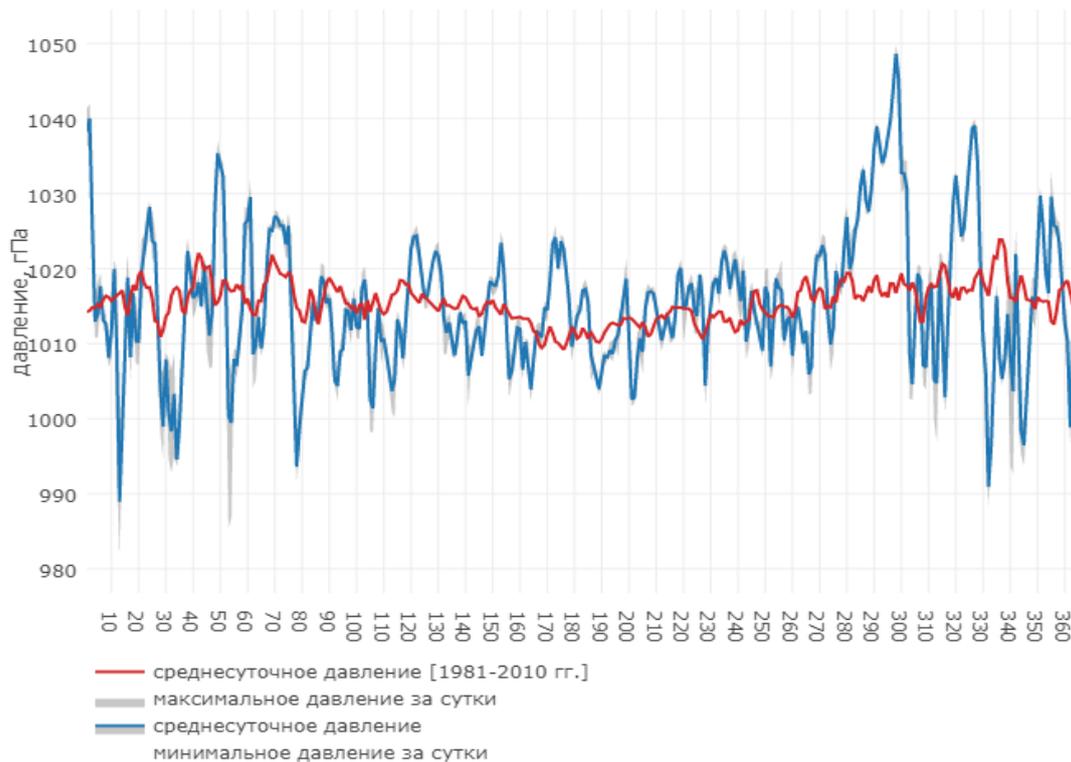


Рисунок 5.1. Суточный ход давления на уровне моря в 2016 году

Последовательный существенный рост атмосферного давления наблюдался с 2 октября до 24 октября, когда был отмечен максимум давления в 2016 году (рис. 5.1).

Максимальная отрицательная аномалия давления в среднемесячных значениях (-4,5 гПа) были отмечена в апреле, положительная (10,9 гПа) в октябре 2016 года (рис. 5.2).

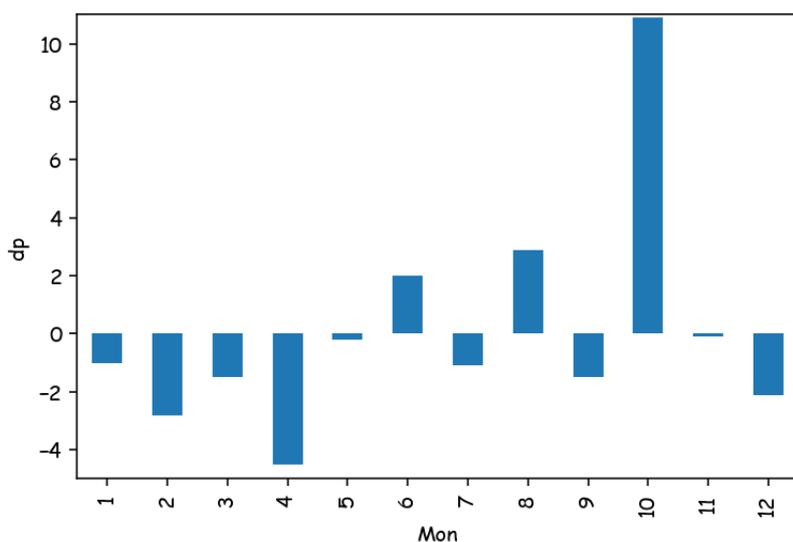


Рисунок 5.2. Аномалии среднемесячного давления на уровне моря (гПа) в 2016 году

Атмосферное давление является одним из важнейших факторов, определяющих перенос воздушных масс. Особенности измерений скорости и направления ветра подробно описаны в (Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2015 г.).

Средняя за год скорость ветра в 2016 году по данным срочных наблюдений составила 1,8 м/с, что меньше средней скорости за период 1981-2010 (2.4 м/с) на 25%. В 2016 году по сравнению со средним многолетним значением увеличилось количество штилевых сроков: оно составило 8% от всех наблюдений (в среднем за 1981-2010 гг. – 3%). Максимальная скорость ветра в 2016 году в срок наблюдений составила 11 м/с (за период 1981-2010 – 12 м/с), а максимальный порыв между сроками был зафиксирован равным 18 м/с и был отмечен ночью 14 июля на фоне прохождения активной фронтальной волны. Выпавшее количество осадков 14 июля составило 31,7 мм. В результате дождя, шквалистого ветра, наблюдавшихся в Москве и Московской области ночью с 13 на 14 июля, семнадцать человек пострадали и один погиб в Подмосковье. Было повалено более 300 деревьев, которые падали на электропровода и припаркованные автомобили, были подтоплены участки дорог и обесточены два населенных пункта (<http://svpressa.ru/accidents/photo/152529/>). За период 1981-2010 гг. максимальный порыв ветра, зарегистрированный в Метеорологической Обсерватории МГУ, составил 28 м/с (25 июня 1984).

В целом за год в 2016 году преобладали слабые ветры (до 4 м/с) западного, юго-западного и южного направлений, наибольшая повторяемость отмечалась у юго-западного ветра (рис. 5.3).

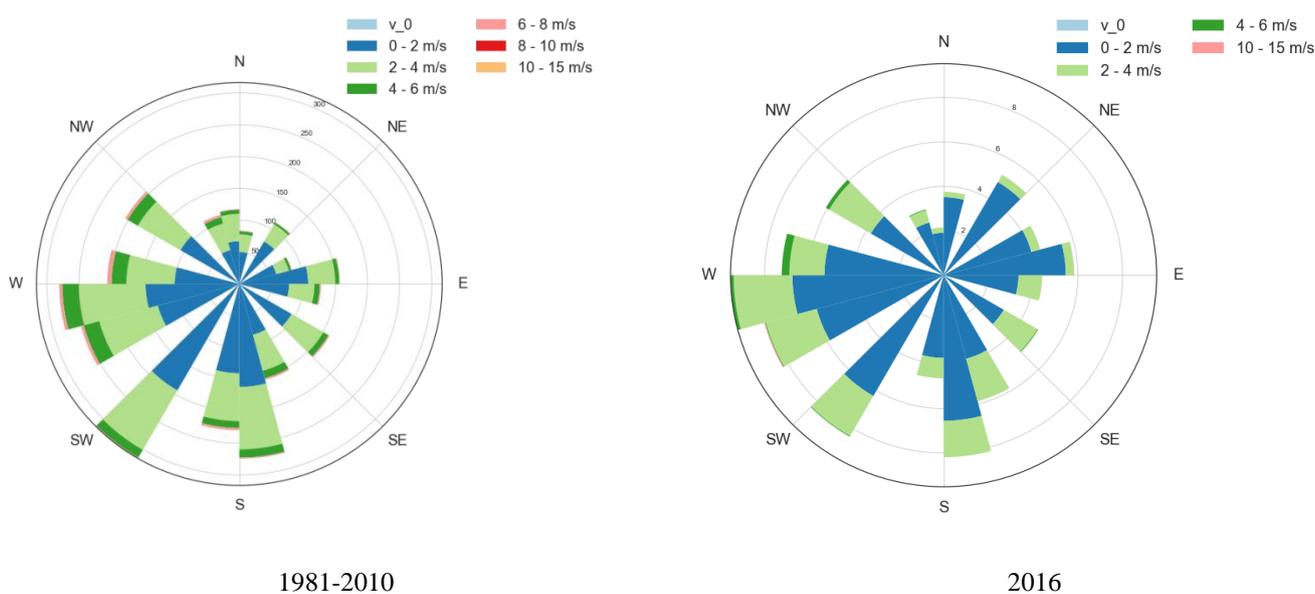
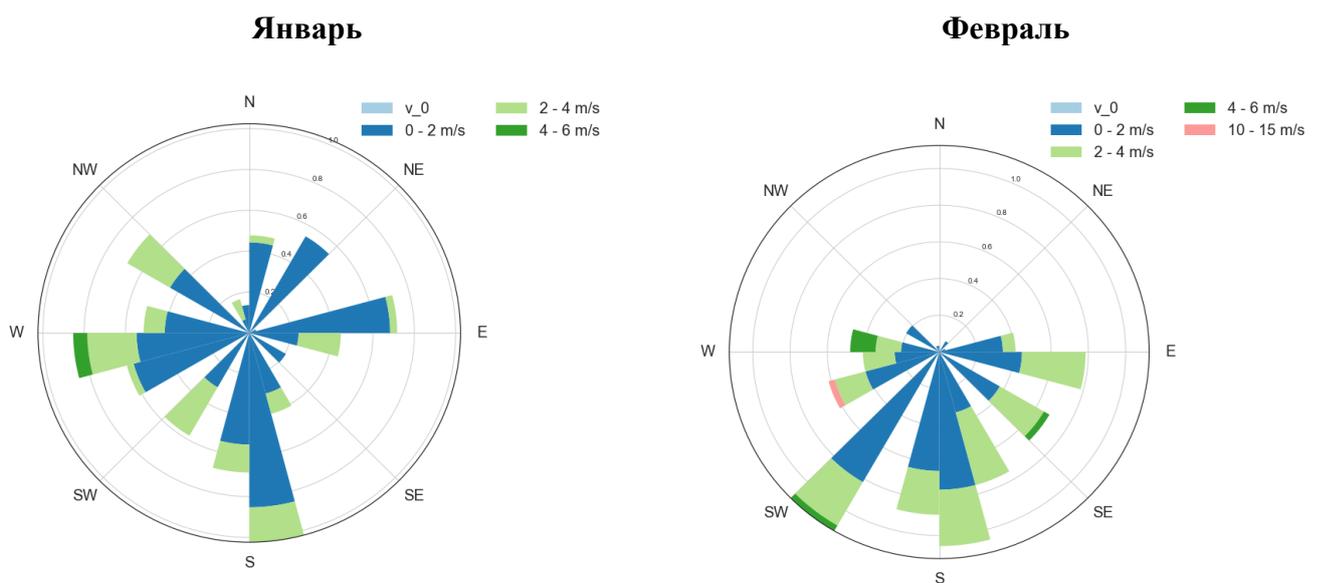


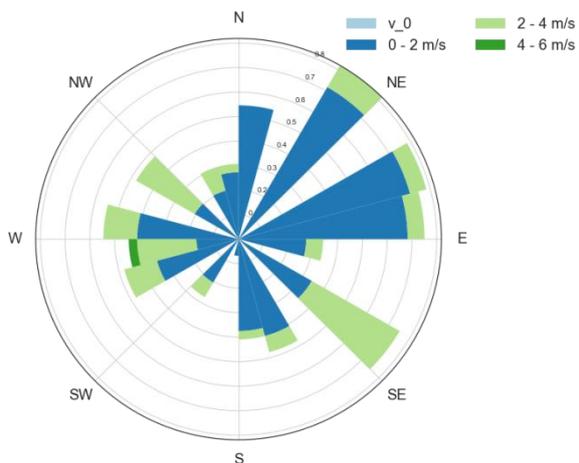
Рисунок 5.3. Роза ветров в 2016 году и за период 1980-2016 гг.

Рассмотрим распределения ветра в 2016 году по месяцам (рис. 5.4). В связи с особенностями общей циркуляции атмосферы в зимний период года в Московском регионе преобладают ветры западных и юго-западных направлений. Так и в 2016 году в декабре преобладали юго-западный ветер, сопровождавшийся оттепелями, и западный ветер; в январе ветер был преимущественно южных направлений, а также наблюдался более сильный ветер западного направления; в феврале, самом теплом зимнем месяце в 2016 году, преобладал ветер южных направлений. В марте преобладали северо-восточные, восточные ветра и более сильные юго-восточные ветра. В апреле, месяце, когда происходит перестройка атмосферной циркуляции, больше наблюдались слабые восточные ветра и более сильные западные. В мае доминировал слабый северо-восточный ветер. В летний период наблюдались преимущественно западный, юго-западный, южный ветра. Осенью, в сентябре, наблюдался северо-западный ветер, а в октябре – переменных направлений. В ноябре - декабре наблюдались, характерные для холодного сезона, западный, юго-западный ветра.

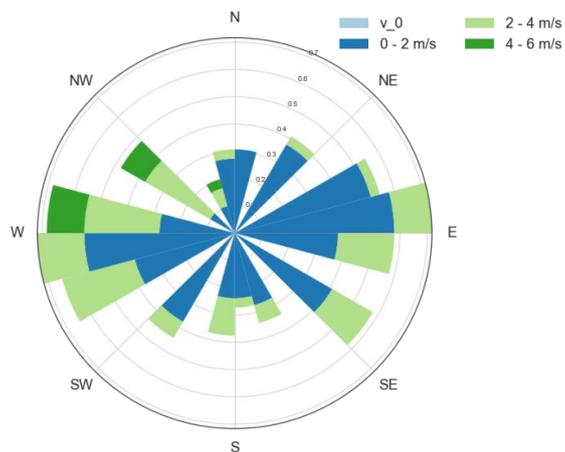
Таким образом, значительная положительная аномалия атмосферного давления (+11 гПа) наблюдавшаяся в октябре 2016 года, также привела к снижению скорости ветра, что совпадает с тенденциями изменений скорости ветра на территории России.



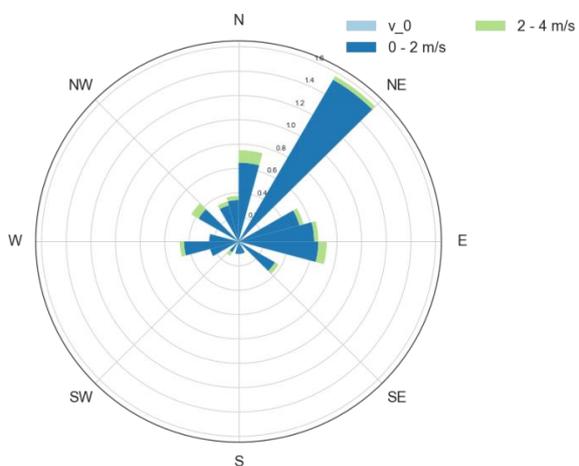
Март



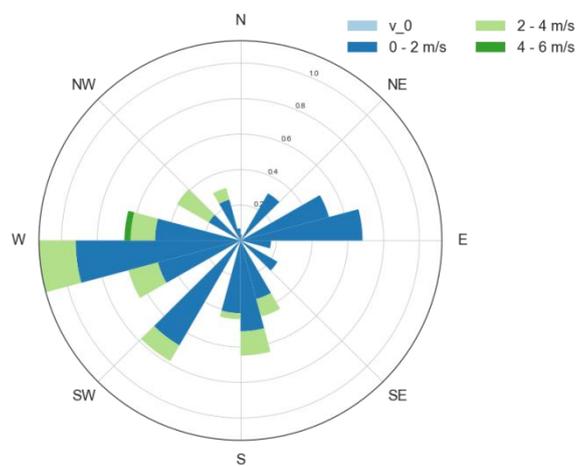
Апрель



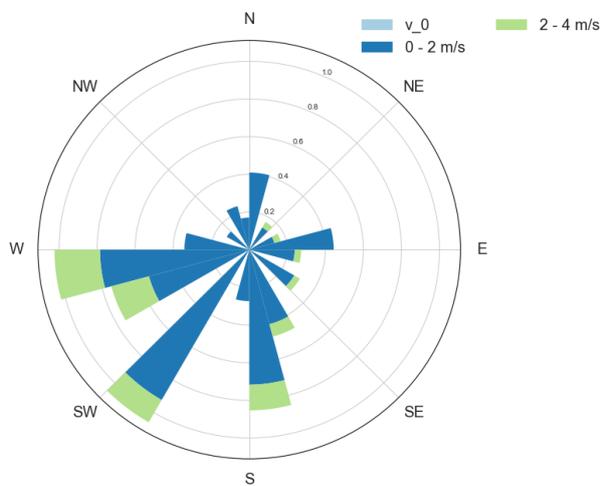
Май



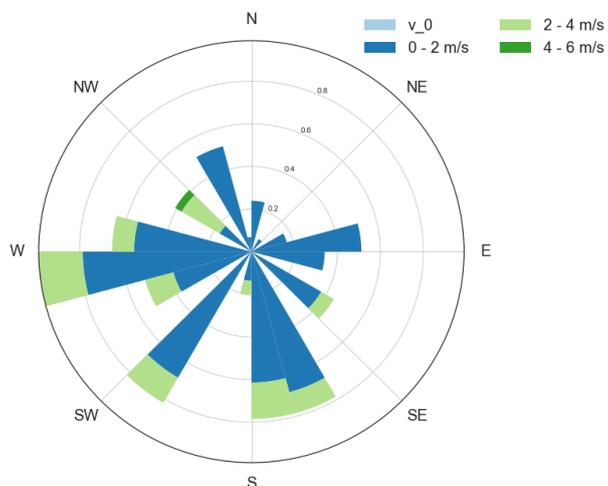
Июнь



Июль



Август



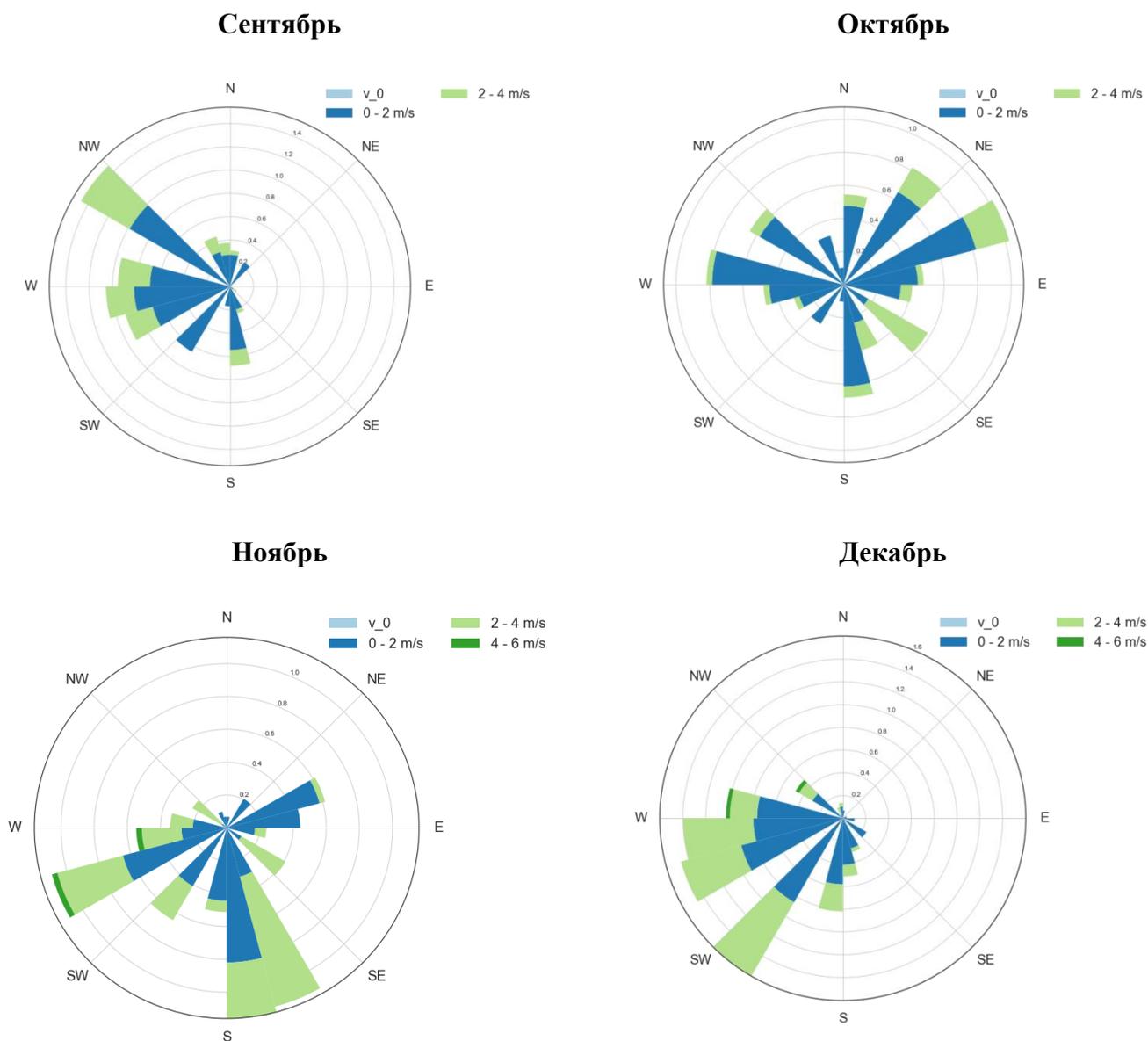


Рисунок 5.4. Роза ветров для каждого месяца 2016 года

Работа поддержана госбюджетной темой АААА-А16-116032810086-4.

Литература

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2010 год. М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Москва, 2017, 70с.

Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2015 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова / под редакцией О.А.Шиловцевой – МАКС Пресс 2016 – С. 268.

6. Ветровой режим и температурная стратификация нижнего 800-метрового слоя воздуха

Локощенко М.А., Богданович А.Ю.

6.1. Краткие сведения об акустическом зондировании атмосферы в МГУ в 2016 году

Акустическое зондирование атмосферы осуществляется в Метеорологической обсерватории МГУ двумя акустическим локаторами (содарами): с 1988 года – одноканальным вертикальным содаром «ЭХО-1» производства ГДР, а с 2004 года – также и трёхканальным доплеровским содаром «MODOS» производства Германии (рис. 6.1). Именно в МО МГУ акустическое зондирование впервые в России и в бывшем СССР начало проводиться регулярно и круглосуточно. Благодаря этому здесь накоплены уникальные многолетние ряды данных о температурной стратификации и ветровом режиме нижней атмосферы. Высотный диапазон зондирования содаром «ЭХО-1» составляет от 25 до 800 м; содаром «MODOS» – от 40 до 500 м. Пространственное (вертикальное) разрешение данных обоих локаторов равно соответственно 12,5 и 20 м. Разрешение во времени данных содара «ЭХО-1» о стратификации составляет 10 с (период повтора отдельных импульсов); данных содара «MODOS» о ветре – 10 мин. Поскольку расчёт скорости V и направления ветра на основе доплеровского смещения частоты требует накопления данных и их осреднения во времени, достоверные измерения мгновенных порывов ветра этим методом невозможны. Доступны лишь средние значения за 10 мин или за более долгое время. Рабочая частота зондирования содаром «ЭХО-1» составляет 1666,7 Гц, содаром «MODOS» – 2000 Гц.

Помимо научного значения данных обоих содаров в МО МГУ, они используются также в оперативном мониторинге состояния воздушного бассейна столицы, то есть в отслеживании условий накопления и рассеивания в приземном слое воздуха вредных атмосферных примесей. Для этой цели содарные данные оперативно передаются по

сетевым соединениям в отдел мониторинга атмосферы Центрального УГМС, а также в экологическую службу Московского нефтеперерабатывающего завода в Капотне.



Рисунок 6.1. Содары в Метеорологической обсерватории МГУ

В течение 2016 года удалось продолжить почти непрерывное зондирование атмосферы обоими локаторами. Периодически, правда, на отдельных каналах доплеровского содара «MODOS» выходят из строя микросхемы – маломощные усилители эхо-сигнала марки LT1028CN8#PBF, что ведёт к резкому усилению общего шума и ухудшению качества содарных данных. Однако в Обсерватории за счёт средств проекта РФФИ был создан некоторый запас этих радиодеталей, и при необходимости производится их оперативная замена. Единственной серьёзной поломкой в 2016 году явился выход из строя (сгорание) 13 августа блока питания содара «MODOS», установленного во время ремонта содара его фирмой-производителем в Гамбурге в апреле 2011 г. Ещё перед этим, начиная с 21 июля, в данных содара начали проявляться сильные помехи. При замене сгоревшего блока питания сотрудником ГАИШ МГУ А.М.

Мотылёвым выяснилось, что он был произведён в КНР ещё в 1999 году – таким образом, в 2011 году этот блок питания был отнюдь не новым. Заметим, что с его установкой в апреле 2011 года в данных содара «MODOS» появились сильные помехи в виде ложных штилей в верхней части высотного диапазона. Эти помехи резко осложнили обработку и анализ содарных данных, поскольку требовали чрезвычайно трудоёмкого критического контроля с их исключением (автоматизировать подобный контроль оказалось сложно). На наши многочисленные жалобы и вопросы по поводу резко ухудшившегося качества данных фирма-производитель перестала отвечать и, по сути, прервала общение. Лишь с установкой тов. А.М. Мотылёвым 20 августа 2016 г. нового блока питания и завершением в конце августа его тестирования, зондирование содаром «MODOS» возобновилось с хорошим качеством данных. Добавим также, что за прошедший с той поры год штилеподобные помехи совершенно исчезли в данных этого содара, работающего теперь с новым блоком питания. Таким образом, самый долгий перерыв в зондировании содаром «MODOS» в 2016 году составил неделю с вечера 13-го до вечера 20-го августа; полностью потерянными для зондирования за это время оказались шесть дней – с 14 по 19 августа (см. табл. 6.1).

Таблица 6.1. Продолжительность измерений содаром «MODOS» в 2016 г. (дни)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Всего:
31 (26)	29 (27)	31 (27)	30 (28)	31 (31)	28 (23)	31 (24)	25 (13)	30 (19)	31 (24)	30 (26)	31 (30)	358 (298)

Первые числа означают число дней в течение каждого месяца, охваченных акустическим зондированием полностью или частично; вторые числа в скобках – число дней только с непрерывным или почти непрерывным зондированием, когда перерывы длились менее 1 ч.

Как видно, доплеровский содар не работал в 2016 году только восемь дней, а с более или менее значительными перерывами в зондировании были отмечены ещё 60 дней. Помимо упомянутой выше недели в середине июля, ещё только два полных дня за весь год, 09 и 26 июня, зондирования не было вовсе вследствие самопроизвольных остановок содарной аппаратуры (сбоев датчика времени в комнатном электронном блоке). В первом случае М.А.Локощенко находился в дальней командировке (участвовал в международном

симпозиуме по акустическому зондированию атмосферы), а во втором его не было в Москве (день был выходной). Во всех остальных случаях подобных остановок содарную аппаратуру всегда удавалось быстро перезапустить – иногда уже через пару минут после очередного сбоя. Как показывает практика, остановки в зондировании обычно происходят при комнатной температуре воздуха выше +25 °С. Для уменьшения вероятности подобных сбоев в комнате № 9 Обсерватории, в которой находится электронный блок содара «MODOS», зимой часто практикуется периодическое выключение отопления, а летом при сильной жаре – включение кондиционера в режиме охлаждения. Дополнительными причинами коротких перерывов в зондировании служила очистка зимой антенн от снега после обильных снегопадов (на время очистки содар, естественно, выключался), а также сильные ливни, когда из-за мощного шума не было достоверных данных.

Что касается «старого» вертикального содара «ЭХО-1», то он в течение всего года работал стабильно. Причиной большинства перерывов в зондировании – довольно частых, но обычно коротких – служило внезапное прекращение излучения импульсов громкоговорителем антенны, при котором, естественно, не могло быть и записи эхо-сигнала. В среднем подобные перерывы длятся от 5 до 30 мин, в редких случаях – дольше 1 ч, после чего излучение спонтанно возобновляется. Заметим, что громкоговоритель содара «ЭХО-1», как и сам этот содар, очень старый, поскольку произведён ещё в Чехословацкой Социалистической Республике. Причины таких остановок остаются до конца неясными. Очевидно лишь, что в холодное время года, особенно при сильных морозах, они происходят значительно чаще. Помимо перерывов в излучении, причинами отсутствия записи данных являлись также сбои в электропитании сети, после которых, даже коротких (порядка одной секунды), запись прерывалась и требовалась перезагрузка компьютера. Так, компьютер содара «ЭХО-1» «зависал» после выключения питания 07 и 08 марта, с 12 до 14 июля, с 17 до 21 августа, а также с 30 ноября до 01 декабря 2016 года. Добавим, что позднее, 23 января 2017 г., в состав аппаратуры этого содара в комнате № 2 Обсерватории был добавлен источник бесперебойного питания марки APC, призванный исключить в будущем подобные пропуски в записи данных.

Ещё одной причиной остановки записи на несколько часов 05 февраля явилось переполнение памяти жёсткого диска этого компьютера, выпущенного в 1997 г., после

чего часть файлов на нём были удалены (копии их хранятся на специальном накопителе памяти), и запись содарных данных успешно возобновилась.

Таблица 6.2. Продолжительность измерений содаром «ЭХО-1» в 2016 г. (дни)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Всего:
31 (9)	29 (17)	31 (26)	30 (18)	31 (18)	30 (24)	30 (28)	27 (21)	30 (21)	31 (28)	30 (27)	31 (23)	361 (260)

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.

Как видно из таблицы 6.2, в 2016 году содар «ЭХО-1» не работал лишь пять полных суток (13 июля и с 17 по 20 августа), причём непрерывным или почти непрерывным зондированием оказались отмечены 260 из 366 дней. Добавим также, что данные этого содара в 2016 г., как и в предыдущие два года (Локощенко, Ахиярова, 2015; Локощенко, 2016), были ограничены только записью эхо-сигнала. Доплеровская приставка к содару «ЭХО-1», к сожалению, не работает с 2009 года, и починить её до сих пор не удалось.

6.2. Скорость ветра

Всего общее число измерений скорости и направления ветра за весь 2016 год во всём диапазоне зондирования – на всех высотах и в среднем за каждые 10 мин – составило после осуществления критического контроля с исключением очевидно недостоверных значений 466451. Среднемесячные значения скорости ветра $V_{\text{ср}}$ по данным содара «MODOS» в слоях воздуха от 40 до 200 и от 40 до 100 м за каждый месяц 2016 года приведены в таблице 6.3, а также, в графическом виде, – на рис. 6.2 и 6.3 (красные квадраты). Многолетний ход значений среднегодовой скорости ветра, начиная с 2006 года, показан на рис. 6.4.

Как видим, скорость ветра в среднем за весь 2016 год была вполне обычной. Неожиданно малой она оказалась весной и в начале лета – с марта по июнь, и, напротив, очень большой – в ноябре, декабре и июле. Как видно на рис. 6.3, средние значения для этих семи месяцев вышли за пределы доверительных интервалов средних многолетних

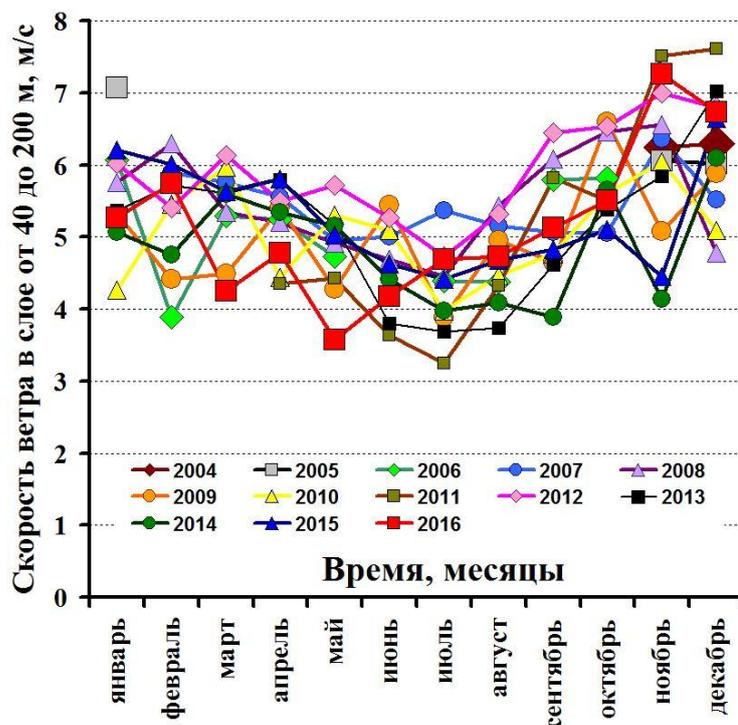
значений, построенных с доверительной вероятностью 0,95. Особенно сильными отклонениями от средних оценок в сторону меньших значений скорости оказались отмечены март и май, а в сторону больших значений – ноябрь. Среднемесячная скорость ветра V в марте и мае (соответственно 4,2 и 3,6 м/с) оказалась рекордно низкой для этих месяцев: столь малых значений в эти месяцы до сих пор никогда не наблюдалось. Очевидной причиной этого служило частое нахождение Москвы в антициклонах и в малоградиентном барическом поле. В ноябре же среднемесячное значение V (7,3 м/с) оказалось, напротив, близким к рекордно высокому: в слое 40–200 м в этом месяце скорость только один раз в 2011 г. была ещё немного выше, а в слое 40–100 м стала самой большой за все годы зондирования (рис. 6.2). Однако очень тихая весна и ветреное предзимье приблизительно уравнивали друг друга, так что в целом за год средняя скорость ветра оказалась совершенно обычной: 5,2 м/с.

Как правило, наибольшие значения V в нижнем 200-метровом слое воздуха наблюдаются зимой, а наименьшие – в середине лета (Локощенко, 2014). В 2016 году, как видим, годовой ход был не совсем обычным: минимум среднемесячных значений V оказался смещён на весенние месяцы, а максимум – на конец осени.

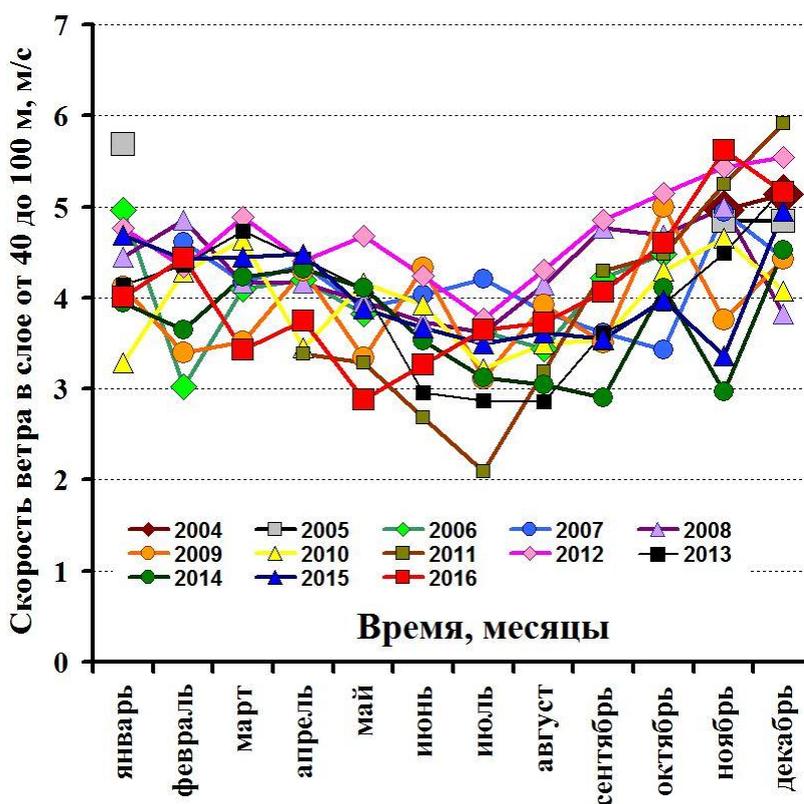
Таблица 6.3. Среднемесячная скорость ветра $V_{\text{ср.}}$ в слое воздуха от 40 до 200 м и наибольшая в отдельные месяцы скорость ветра V_{max} в слое от 40 до 500 м в 2016 г., м/с

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
$V_{\text{ср.}}$	5,3	5,7	4,2	4,8	3,6	4,2	4,7	4,7	5,1	5,5	7,3	6,7	5,2
V_{max}	21,3	23,8	17,9	21,4	16,4	26,0	26,0	23,5	22,2	21,8	23,8	26,4	26,4

Как видно на рис.6.4, среднегодовые значения скорости ветра в нижней атмосфере над Москвой не испытывают заметных изменений за последнее десятилетие. Для обоих высотных промежутков линейные тренды слабоотрицательные, однако, фактически, близки к нулевым: оба отрицательных коэффициента линейной регрессии составляют по модулю менее 0,01 м/(с · год), так что тенденция к уменьшению V со временем, очевидно, статистически незначимая.



а) в слое воздуха от 40 до 200 м



б) в слое воздуха от 40 до 100 м

Рисунок 6.2. Годовой ход среднемесячных значений скорости ветра по данным содара «MODOS» в 2016 году и в другие годы. Верх – в слое воздуха от 40 до 200 м; низ – в слое воздуха от 40 до 100 м.

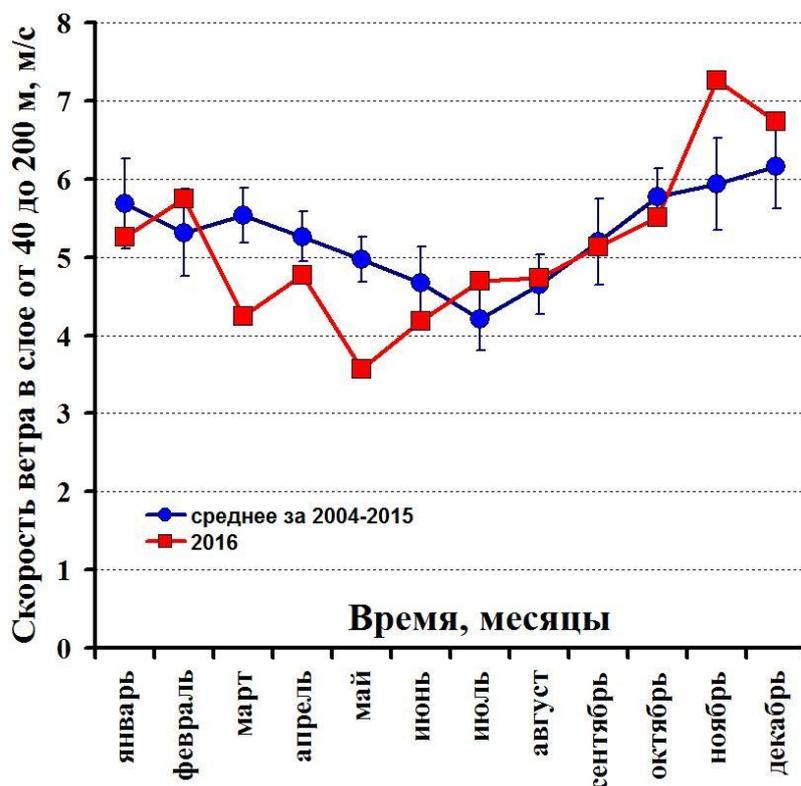


Рисунок 6.3. Годовой ход среднемесячных значений скорости ветра в слое воздуха от 40 до 200 м в 2016 году и в среднем за все предыдущие годы (2004–2015 гг.) по данным содара «MODOS». Доверительные интервалы построены с уровнем значимости 5 %

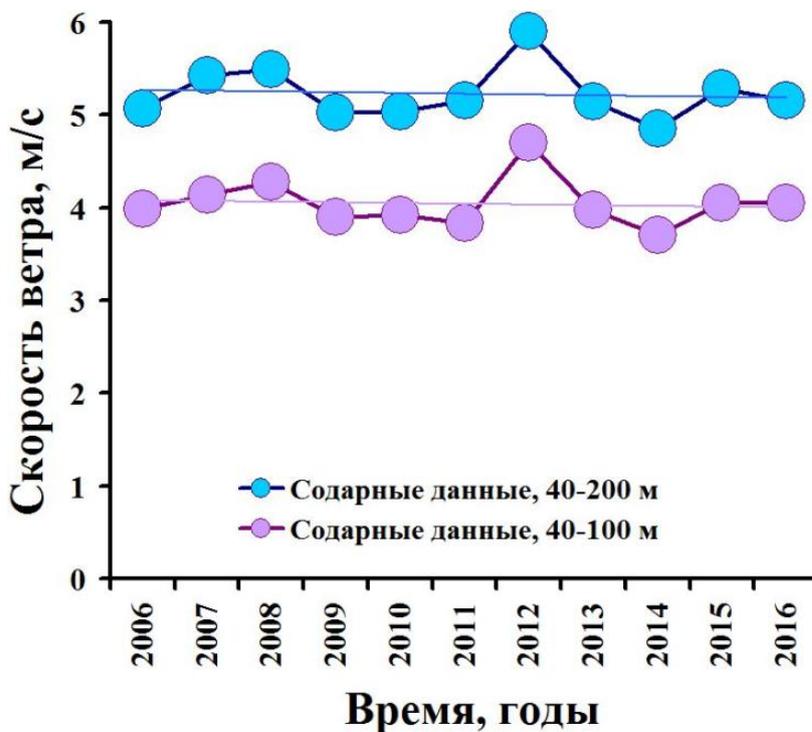


Рисунок 6.4. Многолетние изменения скорости ветра по данным содара «MODOS» в МГУ в слоях воздуха от 40 до 100 и от 40 до 200 м

В продолжение всего 2016 года во всём диапазоне зондирования вплоть до 500 м ни разу не отмечался аномально сильный ветер со скоростью более 30 м/с. Столь большие значения скорости отмечаются по содарным данным крайне редко – в среднем, один раз в год (Локощенко, 2014). Наибольшее в 2016 году значение V в среднем за 10 мин составило лишь 26,4 м/с (см. табл. 6.3 и рис. 6.5). Оно было отмечено 20 декабря в 23:30 на высоте 460 м. В эти часы в нижней тропосфере над Москвой господствовал устойчивый западно-юго-западный ветер в зоне интенсивных градиентных потоков между антициклоном над Восточной Украиной и циклоном с центром над Республикой Коми. Заметим, что в исходных (не сглаженных) данных о скорости ветра значение в это время и на этой высоте составило 26,9 м/с, а на высоте 480 м – даже 31,4 м/с. Однако автоматический контроль результатов доплеровских измерений (осуществляемый программой с учётом отношения сигнала к шуму, формы спектра эхо-сигнала и пр.) исключил значение на 480 м как недостаточно надёжное. Второе в ряду достоверных наибольших значений за год – 26,3 м/с – было отмечено всего через 50 минут: в 00:20 21/XII на высоте 500 м.

Гистограмма скорости ветра в слое от 40 до 500 м над Москвой в целом за весь 2016 год (рис. 6.6), как и в другие годы года (Локощенко, Ахиярова, 2015; Локощенко, 2016) отмечена одной модой и заметной положительной асимметрией. Модальный интервал V , как и обычно, составляет от 3 до 4 м/с; в эти пределы вошли 55578 значений (автоматический расчёт и функции распределения скорости на рис. 6.6, и розы ветров на рис. 6.7 осуществлён программным обеспечением содара по сокращённой выборке из 395266 наиболее достоверных значений). Таким образом, повторяемость V в этом модальном интервале составила 14,1%. Немного меньше значений оказалось в соседних градациях: 53104 и 50166 (т.е. 13,4 и 12,7%) соответственно в диапазонах от 2 до 3 и от 4 до 5 м/с. Сравнительно редко отмечаются штили или очень слабый ветер со скоростью менее 1 м/с: таких случаев оказалось всего 11423 – главным образом, конечно, в приземном слое воздуха. С увеличением V более 4 м/с число значений закономерно убывает, образуя протяжённое правое крыло распределения.

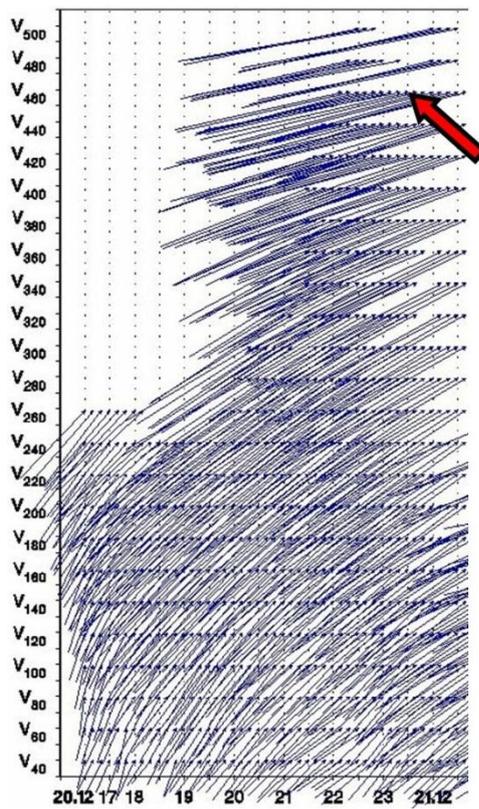


Рисунок 6.5. Сильный ветер на высотах 20 и 21 декабря 2016 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ. Рекордно высокое значение скорости за год (26,4 м/с) показано красной стрелкой

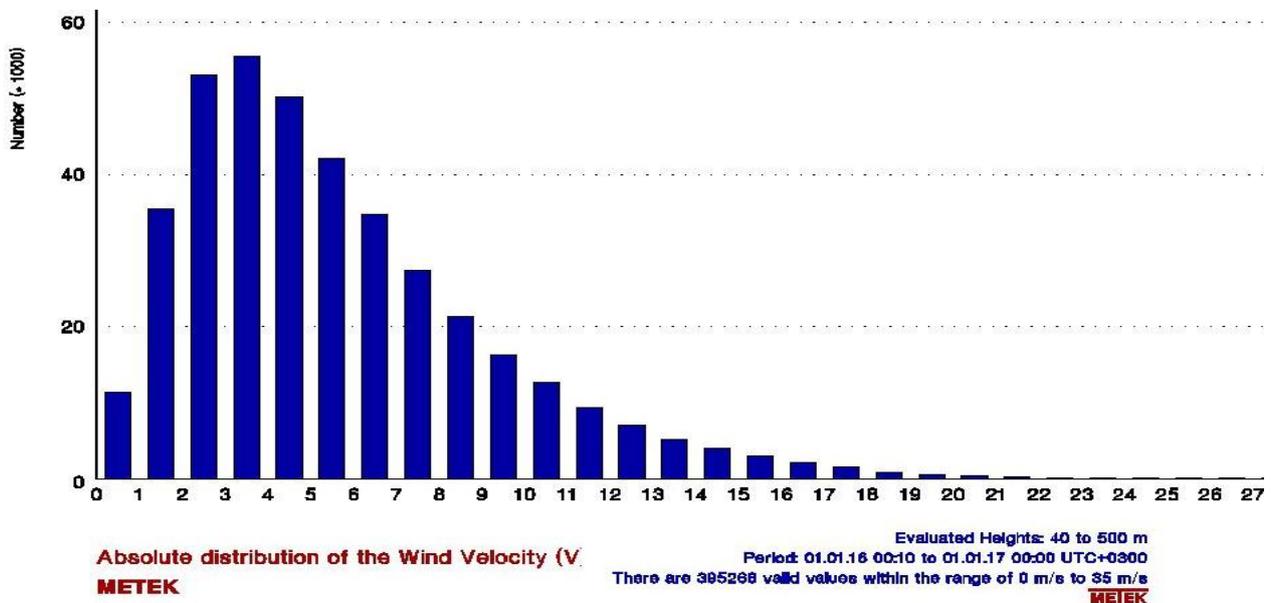


Рисунок 6.6. Распределение значений скорости ветра по содарным данным в МГУ в слое воздуха от 40 до 500 м за 2016 год

6.3. Направление ветра

На рисунке 6.7 приведена сводная роза ветров за 2016 год, а на следующем рисунке 6.8, для сравнения, – сводная роза ветров за все 12 лет зондирования содаром «MODOS» в МО МГУ. Как видим, в целом за год роза ветров близка к средним многолетним значениям. Как и всегда прежде при осреднении за год или более длительное время, самым частым направлением ветра в слое воздуха до 500 м над Москвой является западно-юго-западное (Локощенко, 2015). Заметим, что антенная система содара «MODOS» была изначально ориентирована по стрелке компаса, так что в данные о направлении следует вводить поправку (приблизительно $+10^\circ$ с учётом восточного, т.е. положительного магнитного склонения Москвы). Главным отличием розы ветров за 2016 год от среднемноголетней явилось расширение диапазона наиболее часто отмеченной скорости ветра в сторону меньших её значений. Если обычно преобладают скорости от 5 до 10 м/с (рис. 6.8), то в 2016 году чаще всего наблюдались значения в более широком диапазоне в границах от 0 до 10 м/с (чёрный и синий цвет в цветовой шкале повторяемостей). Наибольшей повторяемостью оказался отмечен промежуток от 240 до 250° (с учётом магнитного склонения – от 250 до 260°) при скорости от 0 до 5 м/с: 8667 значений. Ветер такой силы чаще всего наблюдался в секторе от 220 до 280° , тогда как с более высокой скоростью от 5 до 10 м/с – в более узком секторе от 240 до 260° (обе оценки приведены с учётом магнитного склонения). В этих пределах в каждом интервале с шагом 10° размер выборки составил около 8000 или более значений. Таким образом, при $V < 5$ м/с в среднем преобладает западно-юго-западное направление ветра, тогда как при $5 \leq V < 10$ м/с в преобладающем направлении усиливается западная составляющая, и оно оказывается промежуточным между западным и западно-юго-западным. С учётом закономерного роста скорости с высотой это изменение отражает вполне обычный и ожидаемый правый поворот в направлении ветра с высотой. Модальный интервал в направлении ветра при скорости от 5 до 10 м/с находится в границах от 240 до 250° (с учётом магнитного склонения): 8256 значений.

Дополнительные отличия розы ветров в 2016 году от многолетних закономерностей несущественны и проявляются, например, в дополнительной юго-восточной моде при скорости более 15 м/с – впрочем, слабо выраженной. Реже всего над Москвой, как и в другие годы, отмечались ветры северных и восточных румбов.

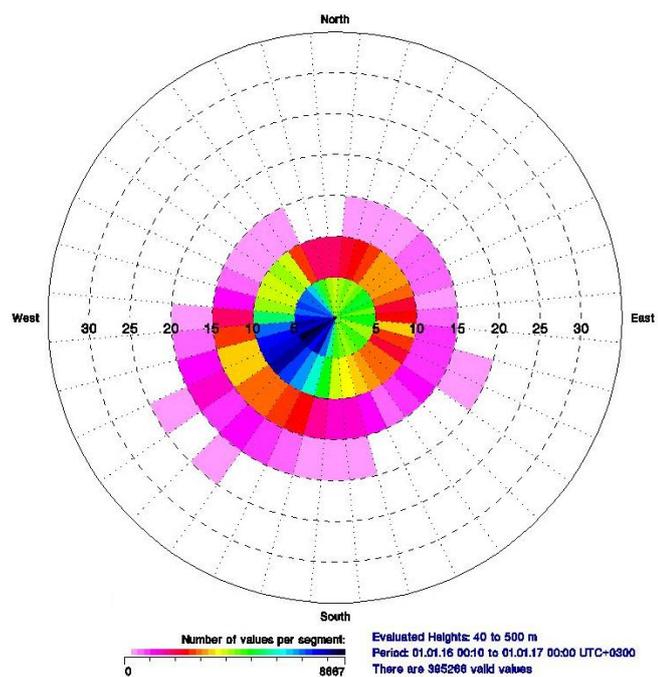


Рисунок 6.7. Роза ветров по данным содара «MODOS» в МГУ в слое воздуха от 40 до 500 м за 2016 год без учёта магнитного склонения

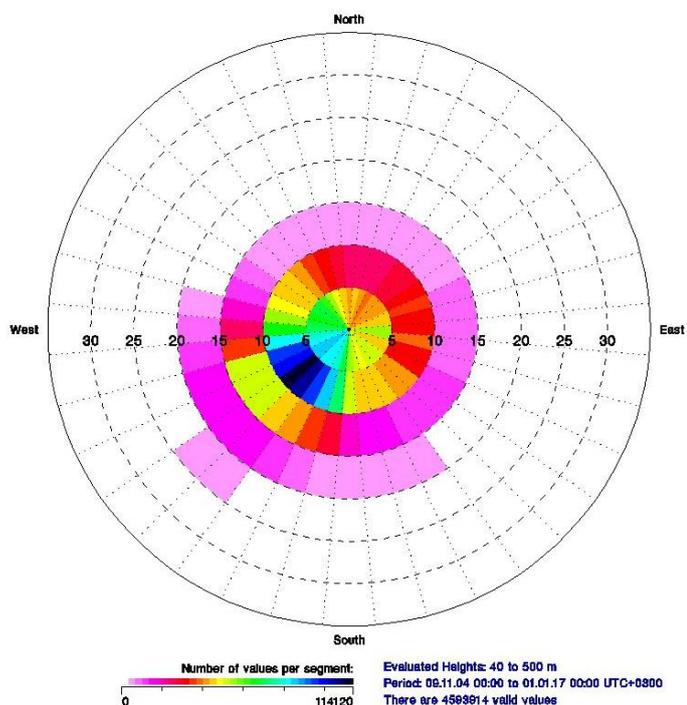


Рисунок 6.8. Сводная роза ветров по данным содара «MODOS» в МГУ в слое воздуха от 40 до 500 м за период 2004–2016 гг. без учёта магнитного склонения

6.4. Температурная стратификация атмосферного пограничного слоя по содарным данным

Определение типа температурной стратификации нижней атмосферы на основе анализа содарной записи (высотно-временной развёртки эхо-сигнала) является старейшим видом использования содарных данных, известным со времён изобретения первых недоплеровских содаров в США и Австралии. Подобный анализ при наличии некоторого опыта и квалификации исследователя отличается высокой точностью и подробностью. Однако его, как и распознавание рентгеновских снимков в медицине, трудно автоматизировать. Визуальный же анализ содарных записей чрезвычайно трудоёмок, что ограничивает его внедрение в практику оперативного экологического мониторинга.

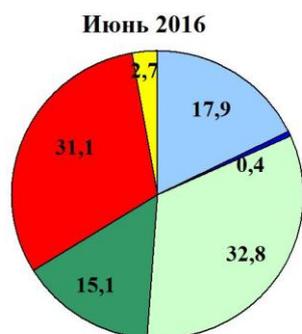
Исследовать температурную стратификацию в МО МГУ можно лишь по данным содара «ЭХО-1», позволяющим подробно проследить изменения в турбулентных структурах на записи эхо-сигнала от импульса к импульсу, т.е. через каждые 10 сек. Методика такого анализа и его многолетние результаты приведены в (Локощенко, 2007). Кодировка содарной записи осуществляется отдельно за каждый час и включает в себя определение типа стратификации, а также измерения (в среднем за час) высот границ задерживающих слоёв инверсий и турбулентных структур, связанных с прохождением отдельных конвективных термиком. Заметим, что созданная в МО МГУ многолетняя база содарных данных о стратификации ограничена 2003 годом, после чего подобный анализ долгое время не проводился. В 2016 г., впервые за много лет, он был продолжен. Авторами обработаны все содарные данные за три летних месяца, составившие 87 календарных дней. Число часов обработанных содарных записей составило 714 в июне, 700 в июле, 626 в августе и 2040 в целом за весь летний сезон. Результаты анализа в части повторяемостей разных типов стратификации приведены на рис. 6.9 - 6.12.

Как видим, повторяемость приземных инверсий в среднем за все три месяца лета 2016 года составила 20,9% (18,3% в июне, 19,8% в июле и 24,6 % в августе). Неустойчивая

стратификация, определяющаяся по наличию на записи чётко выраженных конвективных структур в термической турбулентности, составила в среднем 30,3 % (33,8% в июне и 28,6% как в июле, так и в августе). Слабоустойчивая (в промежутке между адиабатическим и изотермическим градиентами температуры) или безразличная стратификация наблюдались летом 2016 года в 48,8% случаев (47,9% в июне, 51,6% в июле и 46,8% в августе). Общая повторяемость любых приподнятых инверсий, отмеченных поверх каждого из трёх типов стратификации в приземном слое воздуха, составила в среднем за три летних месяца 16,0% (18,2% в июне, 15,5% в июле и 13,9% в августе). Данные о стратификации важны для оценки условий накопления и рассеивания атмосферных примесей в нижней атмосфере. Они могут быть использованы, например, для уточнения метеорологического потенциала загрязнения и для ряда иных задач. Заметим, что полученные нами повторяемости неустойчивой стратификации и приподнятых инверсий довольно близки к средним многолетним оценкам за период с 1988 по 2003 гг., приведённым в (Локощенко, 2007), тогда как повторяемость приземных инверсий оказалась заметно меньше, а слабоустойчивой стратификации – больше, чем в прежние годы. Пока неясно, в какой мере полученная оценка отражает случайности погодных условий лета 2016 года и насколько она показательна для других лет. Важной и насущной задачей в этой связи является анализ многолетних изменений температурной стратификации нижней тропосферы с привлечением данных контактных измерений.

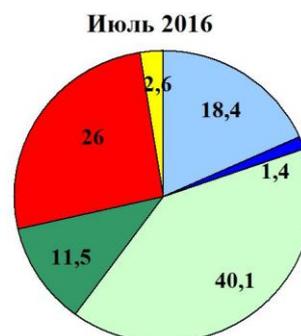
Помимо общей повторяемости разных типов стратификации в отдельные месяцы и в целом за лето, на рисунке 6.13 приведён также средний суточный ход их повторяемостей по сводным данным за всё лето 2016 года.

Общие закономерности этого хода хорошо известны: поздним вечером и ночью преобладают приземные инверсии, утром (с 6 до 8 ч) их повторяемость быстро уменьшается, и приземные инверсии сменяются сперва переходной слабоустойчивой стратификацией, а вскоре, по мере прогрева поверхности, – неустойчивой стратификацией, которая абсолютно преобладает в продолжение всего дня.



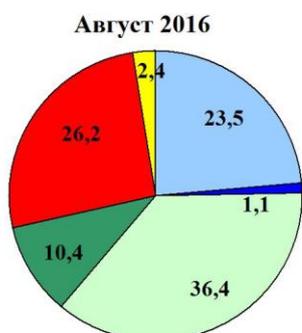
- одиночные приземные инверсии
- приземные и приподнятые инверсии
- безразличная или слабоустойчивая стратификация
- приподнятые инверсии над слоем с безразл. или слабоуст. стратификацией
- неустойчивая стратификация
- приподнятые инверсии над слоем с неустойчивой стратификацией

Рисунок 6.9. Повторяемости типов стратификации нижнего 800-метрового слоя воздуха по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ в июне 2016 г. (%)



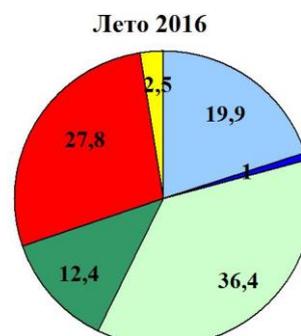
- одиночные приземные инверсии
- приземные и приподнятые инверсии
- безразличная или слабоустойчивая стратификация
- приподнятые инверсии над слоем с безразл. или слабоуст. стратификацией
- неустойчивая стратификация
- приподнятые инверсии над слоем с неустойчивой стратификацией

Рисунок 6.10. Повторяемости типов стратификации нижнего 800-метрового слоя воздуха по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ в июле 2016 г. (%)



- одиночные приземные инверсии
- приземные и приподнятые инверсии
- безразличная или слабоустойчивая стратификация
- приподнятые инверсии над слоем с безразл. или слабоуст. стратификацией
- неустойчивая стратификация
- приподнятые инверсии над слоем с неустойчивой стратификацией

Рисунок 6.11. Повторяемости типов стратификации нижнего 800-метрового слоя воздуха по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ в августе 2016 г. (%)



- одиночные приземные инверсии
- приземные и приподнятые инверсии
- безразличная или слабоустойчивая стратификация
- приподнятые инверсии над слоем с безразл. или слабоуст. стратификацией
- неустойчивая стратификация
- приподнятые инверсии над слоем с неустойчивой стратификацией

Рисунок 6.12. Повторяемости типов стратификации нижнего 800-метрового слоя воздуха по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ летом 2016 г. (%)

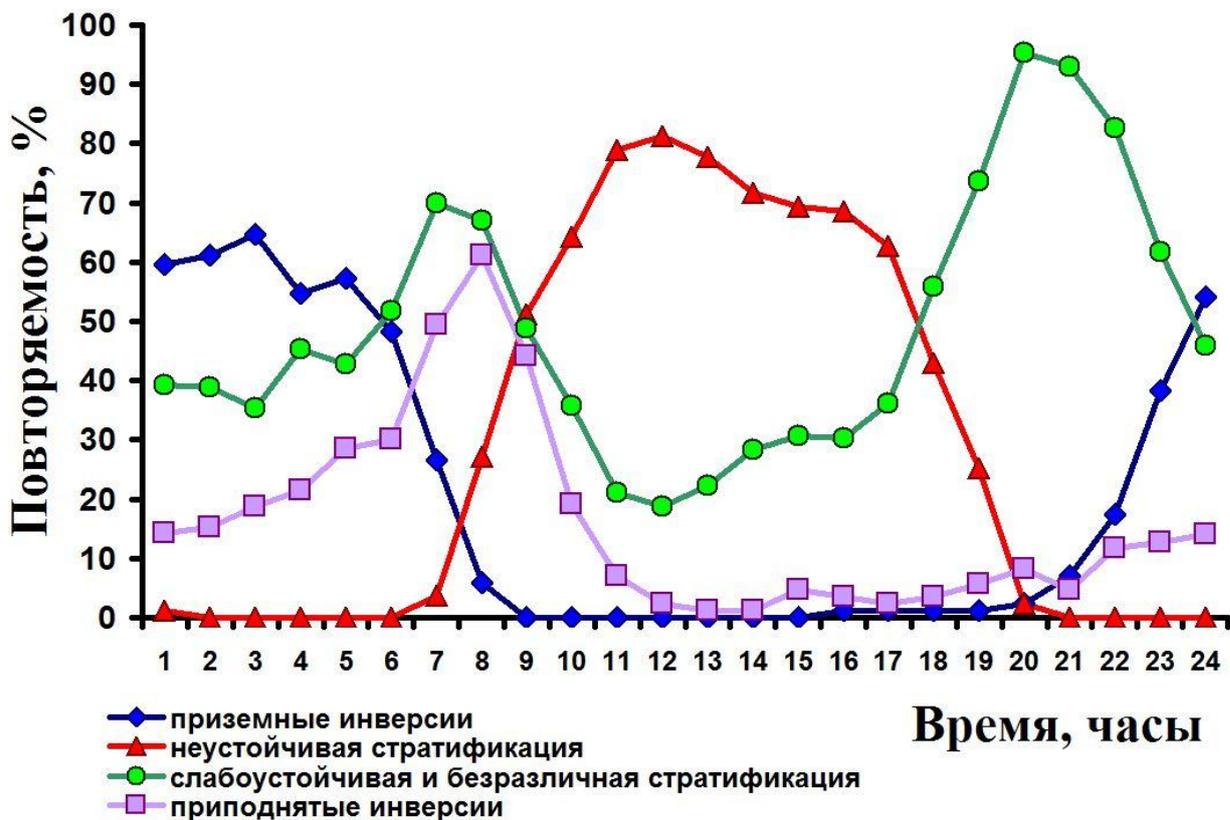


Рисунок 6.13. Суточный ход повторяемостей типов стратификации в нижнем 800-метровом слое воздуха по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ летом 2016 г. (%)

Утренний максимум повторяемости приподнятых инверсий отражает обычный отрыв от поверхности ночных приземных инверсий перед их разрушением на высотах. В околополуденные часы повторяемость неустойчивой стратификации, связанной с развитием термической конвекции, достигает 80%. После 17 ч, неустойчивая стратификация закономерно идёт на убыль, и затем, в вечерние часы, чаще всего отмечается безразличная или слабоустойчивая стратификация (до 93-95% в 20 и 21 ч). Наконец, к ночи обычно образуется новая приземная инверсия, повторяемость которой наибольшая с 24 ч до 5 ч следующих суток (от 60 до 70%). Отмеченные закономерности суточного хода температурной стратификации в целом близки к многолетним данным, приведённым в (Локощенко, 2007), за исключением повторяемости приземных инверсий в ночные часы, которая в прежние годы была существенно больше.

6.5. Примеры изменений ветрового режима и температурной стратификации атмосферного пограничного слоя по содарным данным

Завершая данный раздел, рассмотрим напоследок наиболее интересные примеры кратковременных изменений 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 ранее были опубликованы в (Локощенко, 2006), к данным о профилях ветра – в работах (Локощенко и др., 2016; Локощенко, Ахиярова, 2015; Локощенко, 2016). Анализ отдельных случаев, отражающих те или иные погодные явления и синоптические процессы, представляет отдельный интерес. Каждый новый год непрерывного акустического зондирования привносит с собой новые примеры, существенно дополняющие известные по прежним публикациям проявления метеорологических условий в изменениях структуры нижней тропосферы.

6.5.1. Однородный поток

На рисунке 6.14 в приведённых данных содара «MODOS» наглядно виден однородный поток с почти постоянным северо-восточным направлением во всём диапазоне зондирования вплоть до 440 м. Среднее значение направления за представленный на рисунке период с 0 до 13 ч составило с учётом склонения 64° ; в среднем по всему профилю в отдельные 10-минутные промежутки оно менялось в узких пределах от 44° до 74° . При этом правый поворот ветра с высотой практически отсутствовал. Направление на всех высотах было приблизительно одинаковым, а его среднеквадратическое отклонение вдоль профиля в среднем за эти 13 ч составило лишь 7° . Подобные случаи почти постоянного направления обычно сопровождаются сильным ветром и связаны с нахождением места зондирования в однородной воздушной массе на периферии антициклонов с вертикальной осью или, во всяком случае, с небольшим наклоном этой оси. Действительно, в рассмотренные часы Москва находилась на южной периферии обширного антициклона с центром над Архангельской областью, вдали от фронтальных разделов.

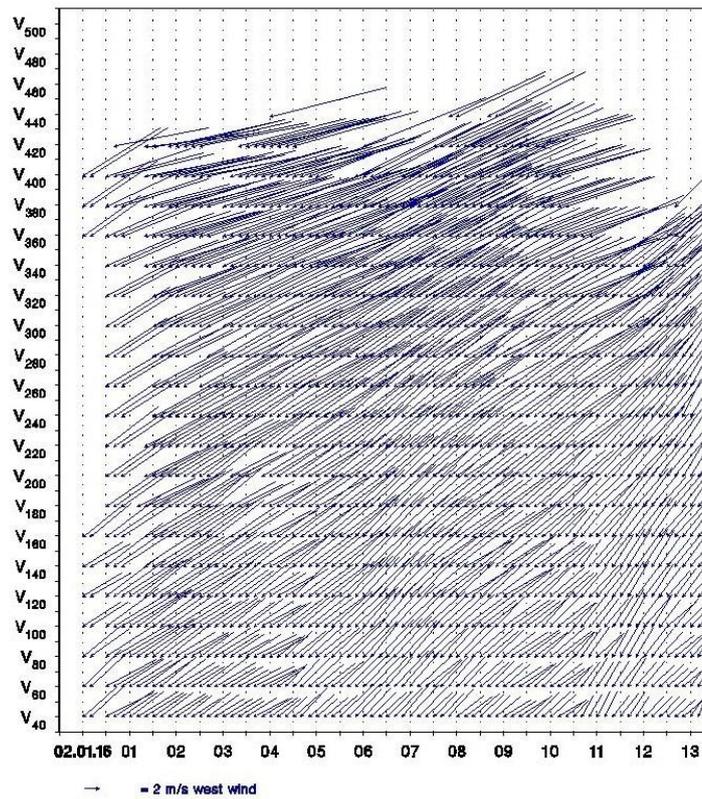


Рисунок 6.14. Однородный поток в слое до 440 м 02 января 2016 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ

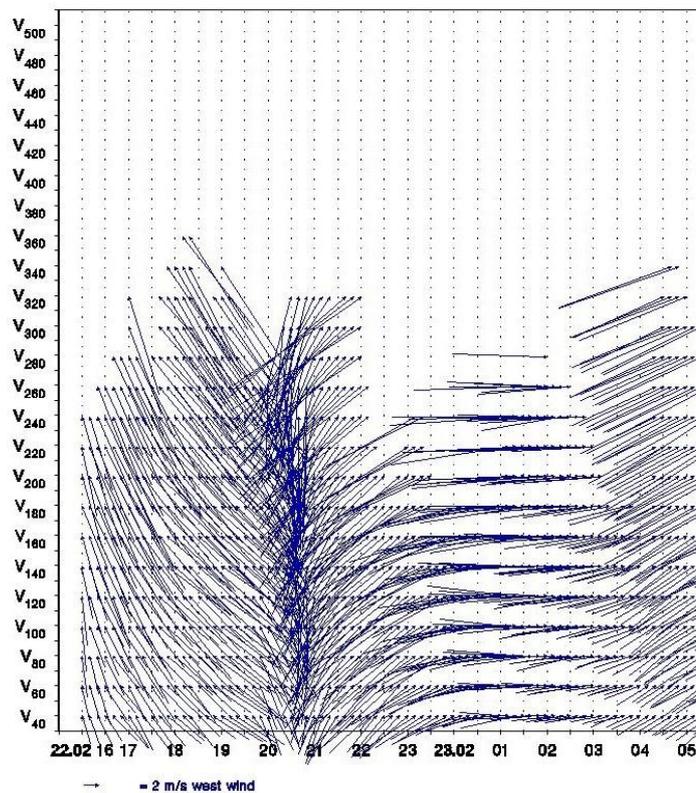


Рисунок 6.15. Правый поворот ветра во времени при прохождении фронта окклюзии 22 февраля 2017 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ

6.5.2. Правый поворот во времени

Быстрые изменение направления ветра во времени обычно связаны с синоптическими процессами – прежде всего, с прохождением либо фронтов, либо осей гребней или ложбин. Так, на рисунке 6.15 виден резкий правый поворот ветра, произошедший вечером 22 февраля 2016 года во всём диапазоне зондирования. В промежуток времени с 19:00 до 19:30 среднее на всех высотах направление было неизменным: 144° (все значения здесь и далее приведены с учётом магнитного склонения). После 19:30 (рис. 6.16) начался быстрый правый поворот ветра во времени, продолжавшийся два с половиной часа. Лишь к 22 ч направление вновь стало почти постоянным: с 22:00 до 22:50 оно составляло от 237 до 239° .

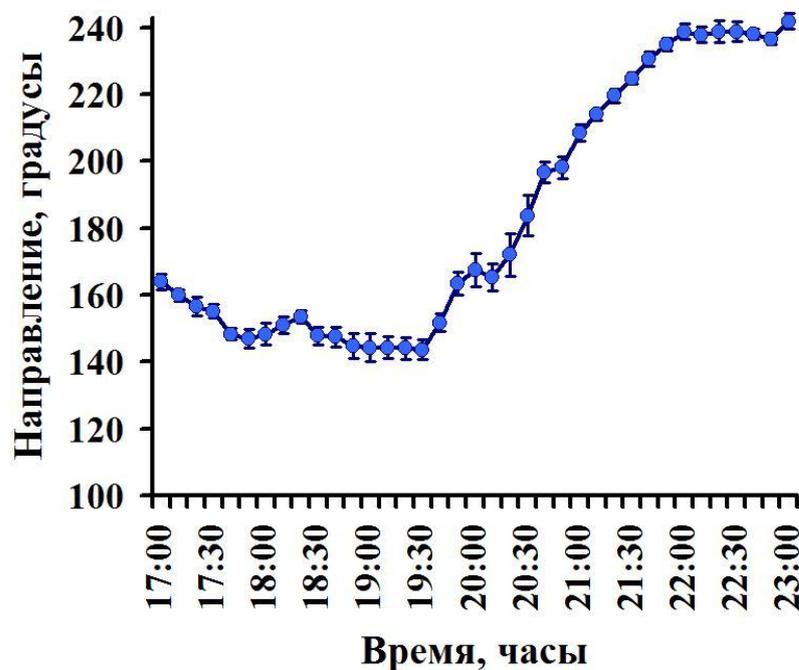


Рисунок 6.16. Среднее направление ветра во всём диапазоне зондирования при прохождении фронта окклюзии 22 февраля 2017 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ. Доверительные интервалы приведены с уровнем значимости 5% по выборкам данных о направлении на отдельных высотах

Таким образом, поворот ветра достиг около 94° и продолжался приблизительно 150 мин, т.е. происходил со средней скоростью $0,6^\circ$ в минуту. Подобные изменения в направлении вполне типичны для зон атмосферных фронтов средних широт, всегда сопровождающихся именно правым поворотом ветра во времени (Локощенко и др., 2016). Действительно, вечером 22 февраля над Москвой прошёл фронт окклюзии в системе циклона с центром над Карелией – предположительно, по типу тёплого фронта. Это

подтверждается и резким изменением барической тенденции (быстрое падение атмосферного давления после 21 ч почти сразу сменилось его ростом, что характерно для фронтов окклюзии), и обильными осадками (как обложными, так и ливневыми) с 15:50 22/ХІІ до 01:45 23/ХІІ, и заметным повышением температуры воздуха после прохождения фронта.

Пример ещё более быстрого правого поворота при прохождении фронта приведён на рис. 6.17. В среднем за время с 14 до 16 ч среднее направление на всех высотах с имеющимися содарными данными о ветре (в слое до 280 м) составляло 311° , а с 16:20 до 18ч – 396° (в 16:10 из-за сильного шума при обильных осадках надёжных содарных данных не оказалось). Как показывает дневная карта приземного анализа за этот день, Москва в это время находилась в зоне холодного фронта в системе циклона с центром над Северным Казахстаном. По данным стационарного барографа в МО МГУ, этот холодный фронт прошёл над Москвой как раз в 16 ч (именно в это время начался устойчивый рост атмосферного давления). Прохождение его сопровождалось ливневым дождём и фронтальной облачностью. В ближайшей временной окрестности этого момента (с 15:40 до 16:00) направление ветра по содарным данным составляло 324° , а в 16:20 оказалось равным уже 386° и в последующие полчаса менялось в узких пределах от 381 до 387° . Таким образом, правый (по часовой стрелке) поворот ветра достиг при прохождении фронта 62° за 20 минут, а его скорость составила в среднем $3,1^\circ$ в минуту.

Отметим, что прохождение фронта нередко проявляется не только в правом повороте ветра во времени, но и в его заметном усилении. Так, 09 апреля (рис. 6.18) вечером и в начале ночи Москва находилась в зоне стационарного атмосферного фронта в условиях седловины. В это время, с 19:30 до 20:30, произошёл отчётливый правый поворот с южного на южно-юго-западный ветер. Среднее по всему профилю значение направления в промежуток времени с 18:00 до 20:00 составляло 186° , а с 20:30 до 24:00 – 215° . Интересно заметить, что, как видно на рисунке, поворот происходил последовательно сверху вниз. На высоте 300 м западная составляющая в направлении ветра проявилась в 19:30, тогда как на высоте 40 м – только в 20:40. Чуть ниже мы увидим ещё примеры подобного смещения поворотов во времени. Сама по себе величина поворота была сравнительно небольшой, но примечательно одновременное усиление ветра, что наглядно видно по удлинению на рисунке 6.18 отдельных векторов. Средняя по всему профилю скорость в среднем за то же время (с 18:00 до 20:00) составляла лишь 3,6 м/с, тогда как в среднем с 20:30 до 24:00 достигла уже 11,6 м/с.

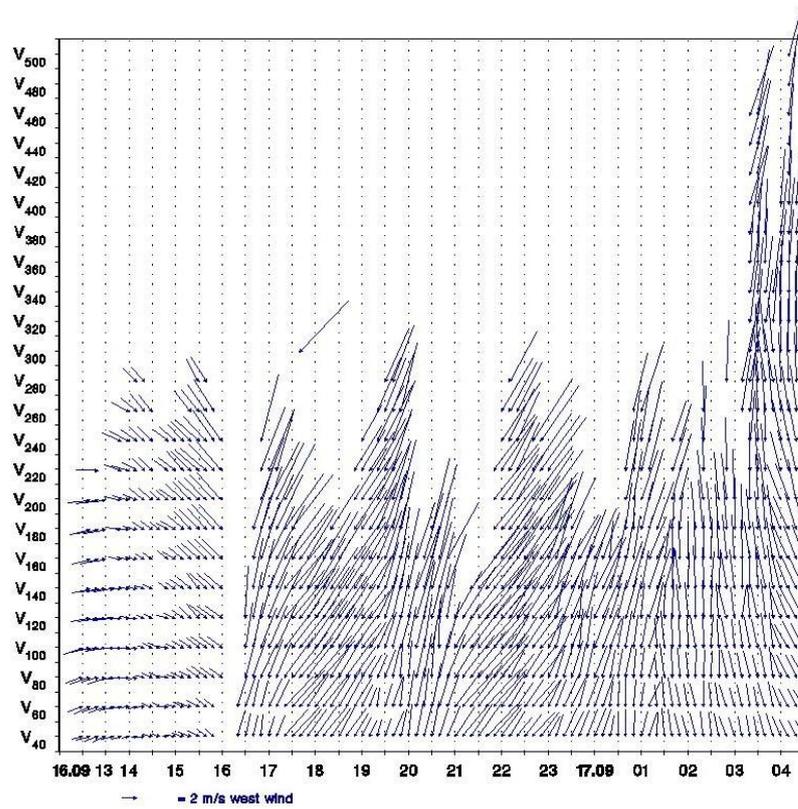


Рисунок 6.17. Резкий поворот ветра во времени 16 сентября 2016 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ

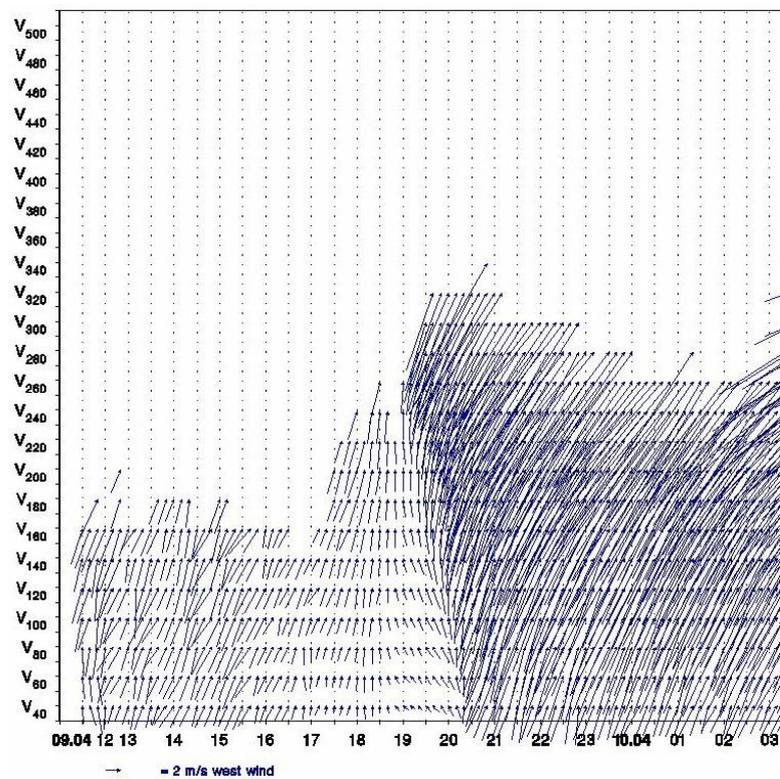


Рисунок 6.18. Резкий поворот ветра во времени и его усиление 09 апреля 2016 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ

Особого внимания заслуживает динамика ветрового режима в ночь с 13 на 14 июля 2016 г. (рис. 6.19), когда в Московском регионе отмечались необычно сильная гроза, опасный ливень и резкое усиление ветра, приведшие к многочисленным разрушениям. В некоторых районах шёл крупный град. По сообщениям средств массовой информации, в Москве и Московской области той ночью были повалены около 300 (по другим данным – свыше тысячи) деревьев, повреждены 22 (по данным другого источника – более ста) автомобилей, затоплены дороги. В результате падения деревьев и ударов молний пострадали 9 человек в Москве и 17 человек в Подмоскowie, а один человек в Подмоскowie погиб. Москва в эти часы находилась в зоне волны на холодном фронте в районе оси ложбины вблизи седловины – вероятно, в условиях активного циклогенеза.

По стационарным данным МО МГУ, с 22:55 Московского времени 13/VII до 00:03 14/VII была отмечена гроза, причём с 22:55 до 23:45 она была сильной. Гроза сопровождалась ливневым дождём, который был очень сильным с 23:08 до 23:25, с 23:38 до 23:43 и с 23:52 до 23:54. Всего за час с небольшим (дождь, как и гроза, закончился в 00:03) выпало 31,7 мм осадков, что является чрезвычайно большим значением даже для середины лета. Падение атмосферного давления сменилось после 03 ч его устойчивым ростом – видимо, связанным с прохождением фронта.

Как видно на рисунке 6.19, чётко выраженный правый поворот ветра, типичный при прохождении фронтов, происходил на разных высотах приблизительно с двух часов до половины четвёртого ночи. В приземном слое воздуха в слое от 40 до 100 м среднее значение направления ветра с 2 до 3 ч составило 163° , а с 3 до 4 ч – 206° ; таким образом, величина поворота на этих высотах достигла около 43° . Примечательно смещение этого поворота во времени по направлению сверху вниз: он начался в верхней части диапазона и позже всего произошёл вблизи поверхности. Последовательное наступление поворота ветра на разных высотах наглядно прослеживается в виде наклонной линии сгущения отдельных векторов ветра в координатах «время–высота».

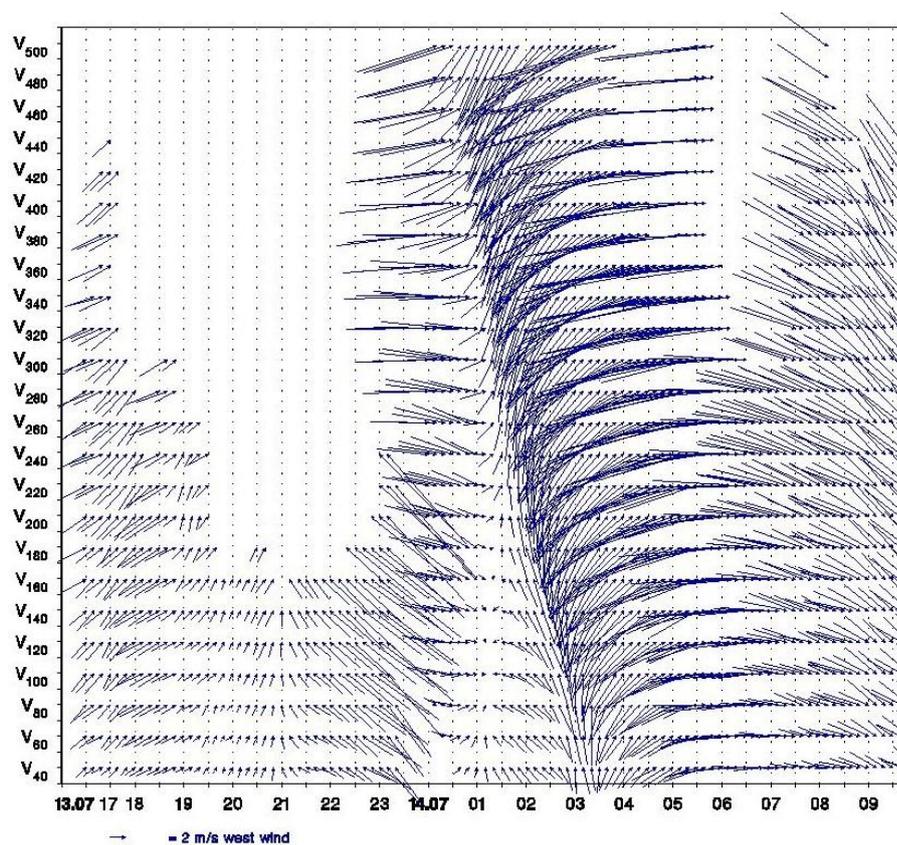


Рисунок 6.19. Резкий правый поворот ветра во времени, шквал и опасная гроза 13 и 14 июля 2016 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ

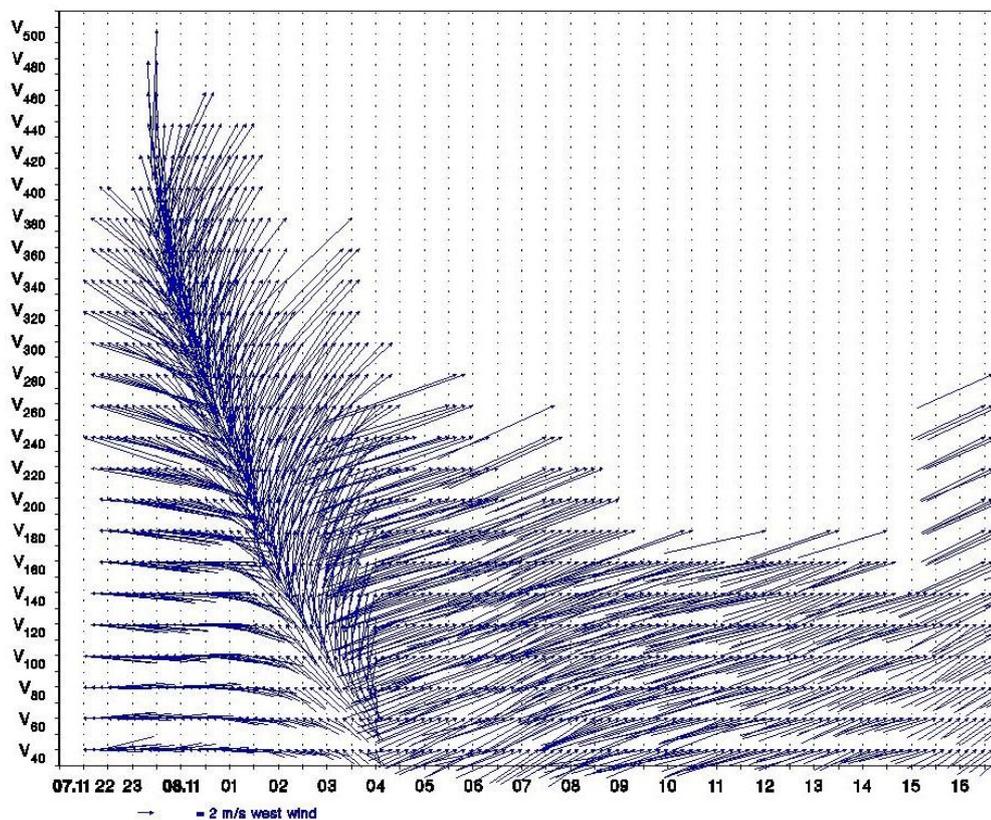


Рисунок 6.20. Правый поворот ветра во времени при прохождении атмосферного фронта 07-08 ноября 2016 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ

Похожая ситуация была также отмечена 07-08 ноября (рис. 6.20). Довольно сильный правый поворот с юго-восточного на юго-западный ветер, так же как и 14 июля, происходил последовательно сверху вниз. Западная составляющая в направлении на высоте 440 м впервые появилась в 23:50 7/XI, тогда как на нижнем уровне измерений 40 м – лишь в 04:10 8/XI. Таким образом, поворот на разных высотах происходил в продолжение более 4 часов. Среднее направление в нижнем слое воздуха от 40 до 100 м за время с 1 до 3 ч составляло 124° , а с 4 до 6 ч – 257° , то есть поворот по часовой стрелке достиг 133° . Москва в эти часы находилась в центре глубокого циклона, в зоне фронта вблизи точки окклюзии. С близостью к центру циклона связано отсутствие отчётливо выраженного тёплого сектора: на стационарной барограмме ход давления демонстрирует лишь один минимум в 04 ч и воспоследовавший за ним быстрый рост атмосферного давления – на 2-3 гПа за каждые следующие 3 ч. Нисходящее во времени направление наклона линии поворота (сгущения отдельных векторов ветра) на рис. 6.20 может отражать прохождение фронтальной поверхности тёплого атмосферного фронта. Действительно, в эти часы по стационарным данным МО МГУ отмечался обложной дождь, а затем – морось. В пользу тёплого фронта говорит также его сравнительно широкая зона. Как видно на рисунке, поворот ветра происходил не только в разное время на разных высотах, но и довольно медленно и постепенно на каждой из высот. Как следствие, среднеквадратическое отклонение одновременных значений направления на разных высотах было необычно велико: около 40° в среднем с 1 до 3 ч.

Ещё одним проявлением поворота в разное время на разных высотах служит необычно большая этой ночью величина сдвига ветра по направлению с высотой. Вплоть до 03:40 правый поворот с высотой в среднем за каждые 10 минут составлял около 100° или более: так, в 01:30 он достиг даже 121° (на верхнем уровне 440 м, на котором ещё есть данные о ветре, направление составляло 224° , тогда как на 40 м – лишь 103°). Как известно, средняя многолетняя величина поворота по часовой стрелке с высотой в Москве близка по содарным данным к 20° (Локощенко, 2015). Усиление этого сдвига ветра по направлению часто бывает связано с прохождением над местом зондирования фронтальной поверхности.

Пример очень резкого поворота ветра во времени приведён также на рис. 6.21. Как видим, днём 20 мая направление изменилось с восточно-северо-восточного (в среднем с 14:10 до 14:50 – от 83 до 88°, в среднем 85°) на южно-юго-западное (с 15:00 до 16:00 – от 205 до 211°, в среднем – 208°). Величина поворота, таким образом, составила 123°. Заметим, что при определении этой величины естественно рассмотреть не слишком короткие промежутки времени (от получаса или дольше) с почти постоянным направлением до и после поворота. Наиболее быстрый поворот произошёл с 14:50 до 15:10: за эти 20 минут направление в среднем по всему профилю изменилось с 85 до 205°, так что скорость поворота составила 6° в минуту. В эти часы Москва находилась вблизи центра циклона, и именно в 15 ч над столицей прошёл фронт окклюзии; это подтверждается и синоптической картой, и резко выраженным минимумом в ходе атмосферного давления на станционной барограмме. Как и девятого апреля, поворот ветра сопровождался его заметным усилением.

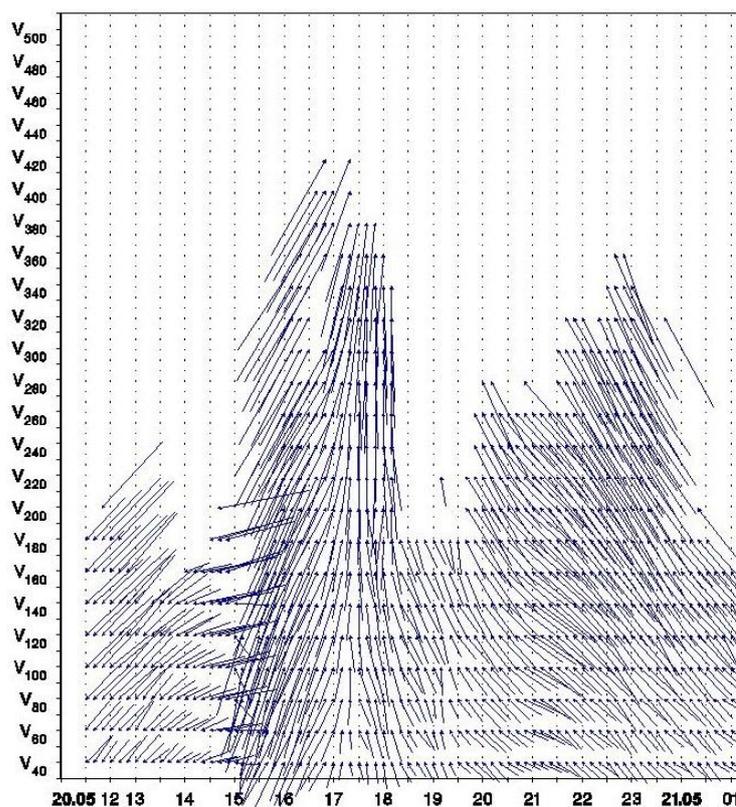


Рисунок 6.21. Резкий правый поворот во времени и усиление ветра 20 мая 2016 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ

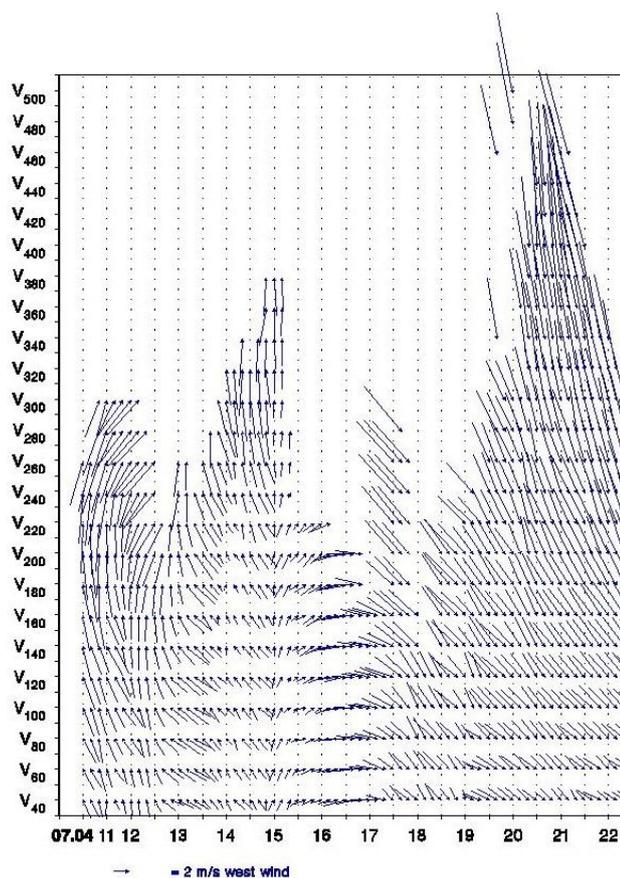


Рисунок 6.22. Резкий поворот ветра во времени 07 апреля 2016 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ

Другой пример резкого изменения направления со временем приведён на рисунке 6.22. Как видим, днём 07 апреля 2016 года в промежутке времени между 15 и 18 часами направление изменилось по часовой стрелке почти на противоположное. Если в 14:40 среднее направление ветра на всех высотах с имеющимися данными (в слое от 40 до 340 м) составляло 163° , то к 18:10 в слое от 40 до 120 м оно достигло уже 339° . Таким образом, величина правого поворота ветра во времени составила 176° за три с половиной часа со средней скоростью поворота $0,8^\circ$ в минуту. Особенно быстро поворот происходил с 14:50 до 15:40: за это время направление изменилось от 169 до 252° , т.е. скорость поворота составила в среднем $1,7^\circ$ в минуту. Как правило, столь сильные повороты ветра при сравнительно малых значениях скорости отмечаются при прохождении над местом зондирования центров барических образований, осей гребней или ложбин, а также седловин. Заметим, что ход давления на стационарной барограмме в МО МГУ днём 07 апреля был весьма ровным. Как показывает карта приземного анализа за 12 (15) ч, Москва находилась в малоградиентном барическом поле, и эти часы были отмечены

прохождением над столицей оси мелкой ложбины и, возможно, вторичного циклона в системе основного циклона с центром над Скандинавией.

6.5.3. Левый поворот во времени

Поворот ветра во времени против часовой стрелки (левый) обычно связан с прохождением над местом наблюдений с запада на восток северной периферии антициклона или оси атмосферного гребня, протяжённого в меридиональном направлении с выпуклыми изобарами к северу (в сторону уменьшения давления). Точно так же левый поворот может отмечаться и при прохождении с запада на восток северной периферии циклона или оси ложбины – также с выпуклыми изобарами в направлении на север (в сторону роста давления). Помимо этого, левый поворот возможен и при прохождении с востока на запад южной периферии антициклона или циклона, а также оси гребня или оси ложбины с изобарами, вогнутыми по направлению к северу, однако подобные случаи редки (Локощенко и др., 2016).

Яркий пример левого поворота во времени показан на рис. 6.23. Как видно, около полудня 07 декабря северо-западный ветер сменился западно-юго-западным во всём диапазоне зондирования. Поворот происходил медленно и постепенно – приблизительно с 9 до 15 ч. Среднее по всему диапазону направление в среднем с 5 до 9 ч составляло 326° , а в среднем с 15 до 18 ч уменьшилось до 255° . Заметим, что среднее стандартное отклонение значений направления вдоль всего профиля составило лишь 6 и 9° соответственно с 5 до 9 и с 15 до 18 ч. Таким образом, направление ветра до и после поворота было устойчивым как по высоте, так и во времени, так что сам по себе поворот является статистически достоверным. Величина его составила около 70° . В это время Москва находилась в районе оси гребня на северо-восточной периферии антициклона с центром над Балканским полуостровом. Прохождение этой оси в 13 ч отражено в виде максимума атмосферного давления на стационарной барограмме.

Ещё один пример левого поворота приведён на рис. 6.24. Как видим, 02 октября направление ветра изменилось почти на противоположное: с северо-западного ночью на юго-восточное в послеполуденные часы.

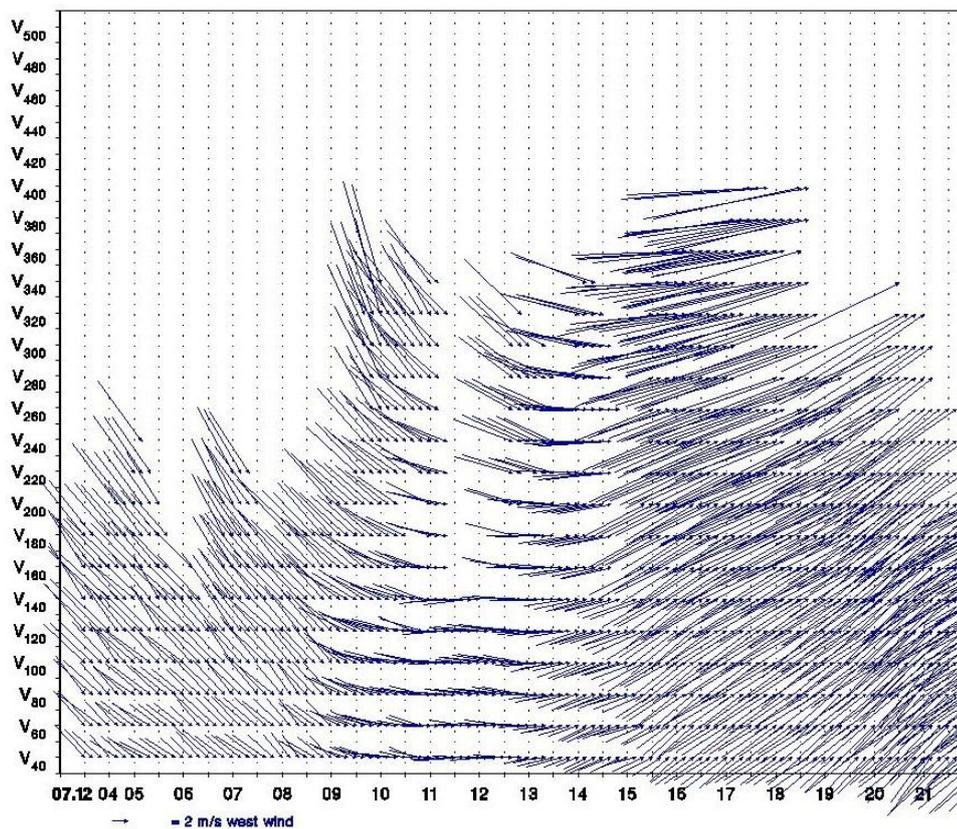


Рисунок 6.23. Левый поворот ветра во времени 07 декабря 2016 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ

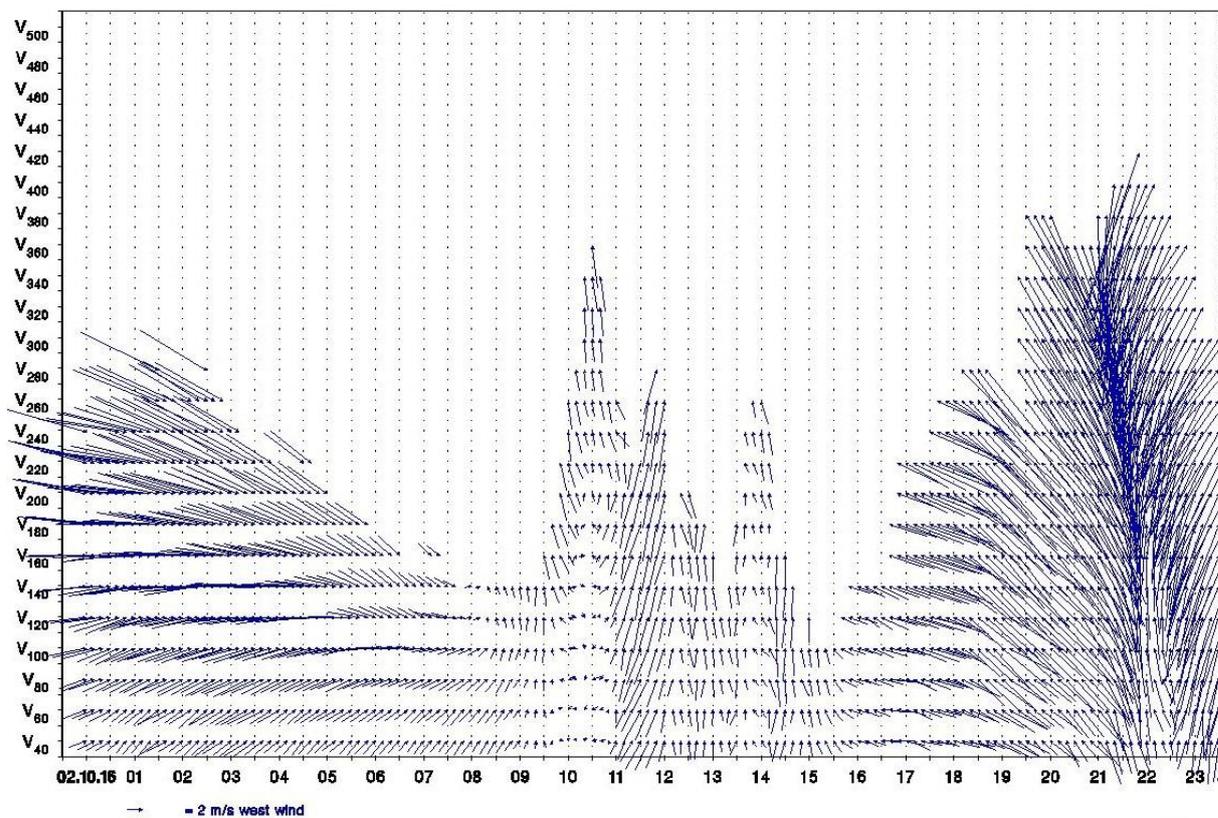


Рисунок 6.24. Левый и правый повороты ветра во времени 02 октября 2016 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ

В этот день Москва также находилась вблизи оси гребня в системе антициклона с центром над Средней Азией. Изменение направления ветра, очевидно, было связано с прохождением этой оси с запада на восток (по данным барографа в МО МГУ – в 13-14 ч). Если среднее на всех высотах с данными о ветре направление в 7:20 составляло 275° , то к 16:00 оно уменьшилось до 115° . Таки образом, величина левого поворота, так же как и правого, может быть весьма значительной (в данном случае – 160°), однако происходит левый поворот обычно заметно медленнее. Примечательно, что поздним вечером в тот же день был отмечен и правый поворот, вероятно, связанный с прохождением размытого атмосферного фронта в системе циклона над Северным морем – впрочем, слабо проявившегося в станционных наблюдениях.

6.5.4. Множественные повороты во времени

Рассмотрим примеры более сложных изменений в направлении ветра. Интересная динамика этого показателя представлена на рис. 6.25-6.27. Как видим, в продолжение дня 19 июля произошло целых 12 последовательных разнонаправленных поворотов в направлении ветра. Так, в 01:00 в среднем во всём диапазоне зондирования оно составляло 129° ; в 01:50 – 113° ; в 03:20 – 175° ; в 04:00 и в 05:30 – соответственно, 113° и 103° ; в 09:40 – 205° ; в 10:50 и 13:10 – соответственно, 158 и 154° ; в 14:30 – 207° ; в 15:30 – 172° ; в 17:40 – 200° ; в 18:10 – 121° ; в 19:30 – 180° ; в 21:00 – 108° ; в 21:10 – 287° (!); в 21:40 и 24:00 – соответственно, 320 и 389° (последнее значение рассчитано с учётом цикличности в изменениях этого показателя при правом повороте). Ход среднего по всему профилю направления ветра в этот день приведён на рис. 6.26. Таким образом, в промежутке между 01:00 и 01:50 происходил левый поворот, с 01:50 до 03:20 – правый, с 03:20 до 05:30 – снова левый, особенно быстрый до 04:00; с 05:30 до 09:40 – снова правый, с 09:40 до 10:50 – снова левый, с 10:50 до 13:10 направление оставалось стабильным; с 13:10 до 14:30 – снова правый; с 14:30 до 15:30 – снова левый; с 15:30 до 17:40 – снова правый; с 17:40 до 18:10 – снова левый; с 18:10 до 19:30 – снова правый; с 19:30 до 21:00 – снова левый. Затем, с 21:00 до 21:10, всего за 10 минут, направление ветра резко изменилось на прямо противоположное.

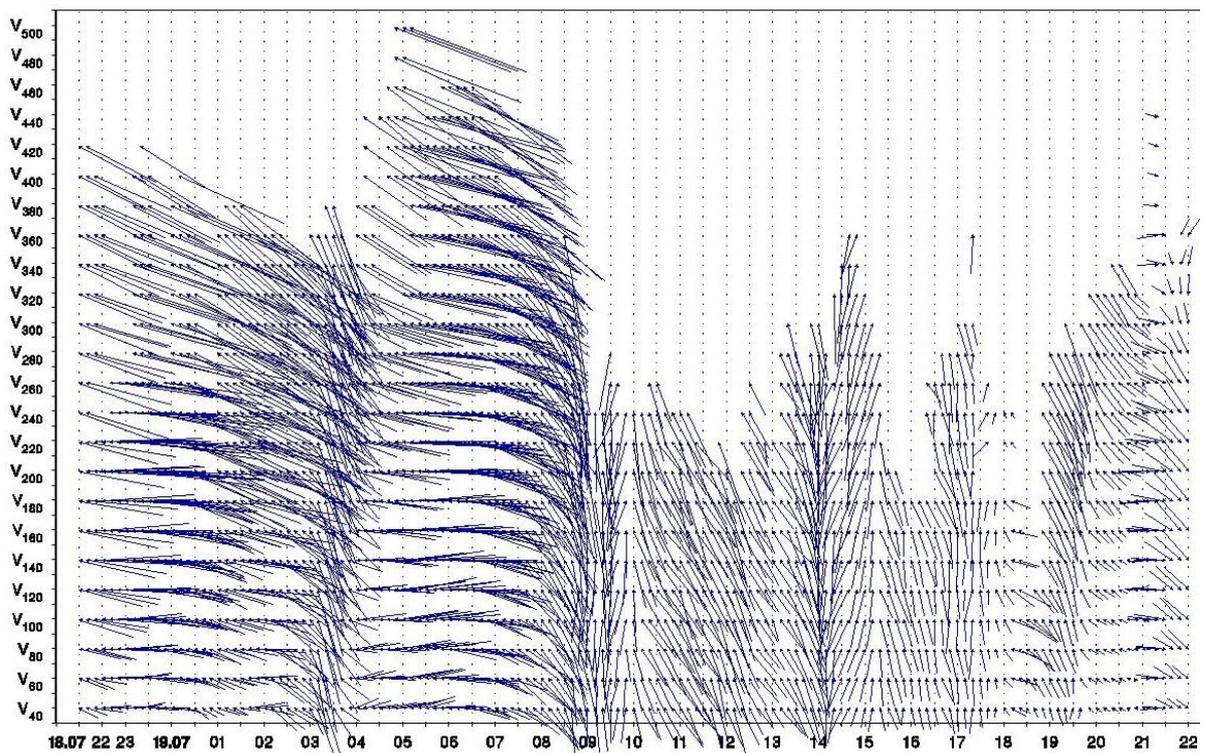


Рисунок 6.25. Множественные повороты ветра во времени 18 и 19 июля 2016 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ

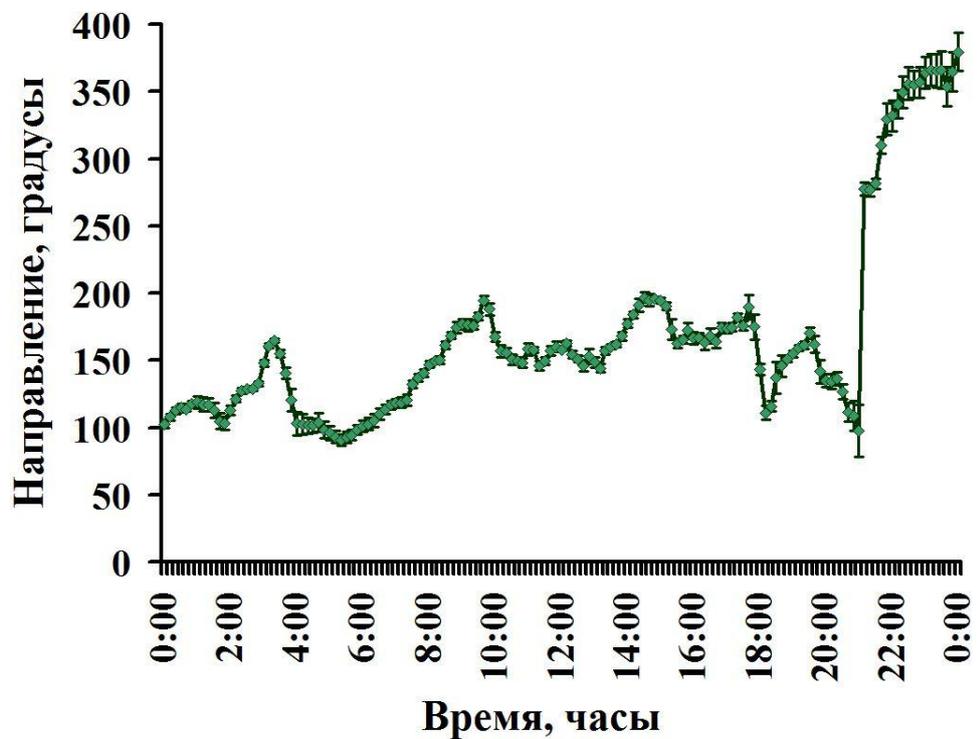


Рисунок 6.26. Среднее направление ветра во всём диапазоне зондирования 19 июля 2017 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ. Доверительные интервалы приведены с уровнем значимости 5 % по выборкам данных о направлении на отдельных высотах

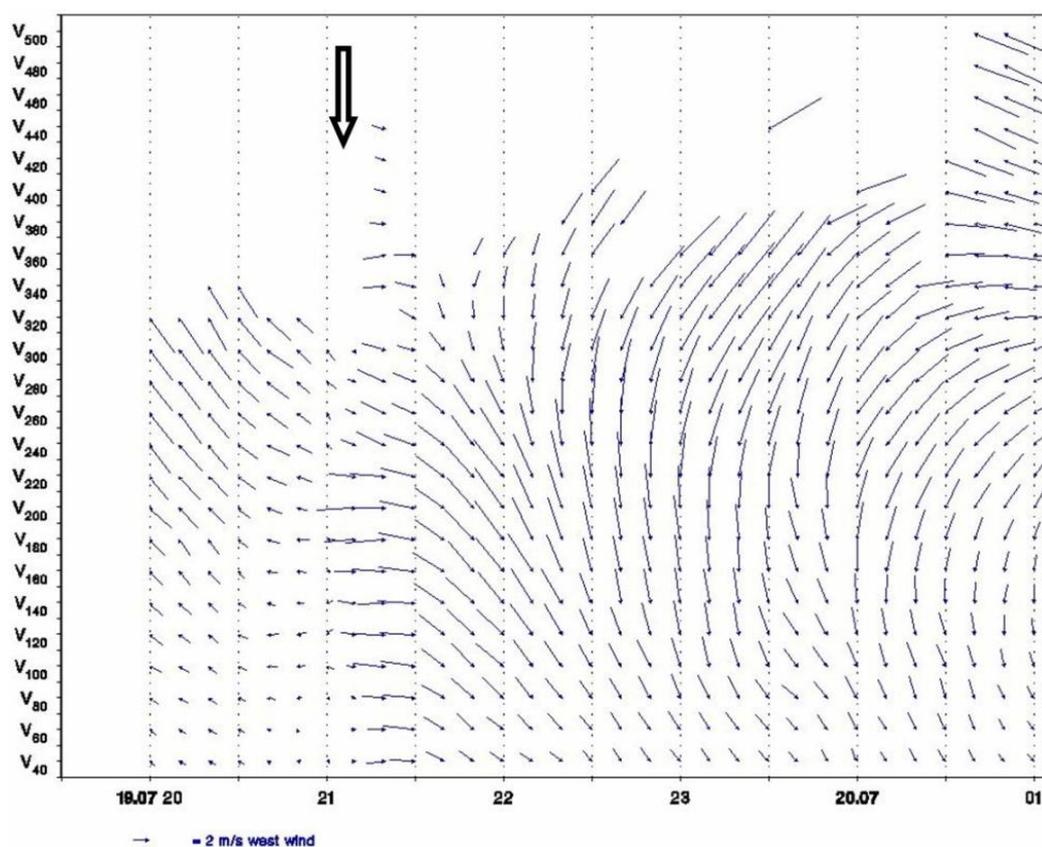


Рисунок 6.27. Чрезвычайно резкий поворот на 180° за 10 минут вечером 19 июля 2016 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ. Время поворота показано стрелкой

Более подробная развёртка содарных данных с их «раздвижкой» во времени только для вечерних часов приведена для пущей наглядности на рис. 6.27. Направление поворота в данном случае неясно: в случае правого поворота его величина составила 179° , в случае левого – 181° . Если до девяти часов вечера поворот был левым (в 20:50 среднее по всему профилю направление составляло 119°), то после 21:10 направление его изменилось на правое (по часовой стрелке) – так, в 21:30 оно оказалось равным 291° . Правым поворотом оказались отмечены и последние часы этих суток (рис.6.25 и 6.27). Как видно на рис. 6.26, все отмеченные повороты достоверны с доверительной вероятностью 0,95.

Подобные множественные повороты в направлении ветра характерны для неустойчивого малоградиентного барического поля в условиях осей гребней или ложбин или седловин. Как показывают карты приземного анализа, Москва ночью и днём 19 июля 2016 г. находилась вблизи оси ложбины, в середине дня – в зоне размытого холодного фронта. Возможно, с прохождением этого фронта был связан один из правых поворотов –

вероятнее всего, произошедший около 14 ч. Что касается исключительно резкого поворота на целых 180° с 21:00 до 21:10, то причиной его могло стать прохождение над местом зондирования центра вторичного циклона или отрога небольших размеров. Вполне естественно, что подобные резкие изменения в направлении ветра сопровождаются малыми значениями его скорости вблизи центров барических образований.

Сходные примеры переменного направления ветра и множественных разнонаправленных поворотов приведены на рисунках 6.28 и 6.29 по данным зондирования 20 апреля и 04 июня 2016 года. Они дают общее представление о сложной динамике ветрового режима в отдельных случаях. Имеющиеся станционные наблюдения позволяют выявить причины лишь отдельных изменений в направлении (скажем, правого поворота и одновременного усиления ветра, произошедших около 15 ч 04 июня и, очевидно, связанных с прохождением в это время холодного фронта). Подробно же проследить и объяснить все изменения скорости и направления ветра в их полной последовательности можно лишь на основе крупномасштабных кольцевых карт приземного анализа за каждые 3 ч, которых в распоряжении авторов нет.

6.5.5. Правый поворот с высотой

Мы уже отмечали выше общее ослабление правого поворота с высотой в условиях однородного потока и, напротив, его усиление в зоне фронта. Ещё один пример необычно сильного поворота с высотой приведён на рис. 6.30. Как видно, ночью 19 июня, с 3 до 5 ч, юго-западный ветер в приземном слое воздуха на нижнем уровне измерений 40 м сопровождался северо-западными, а с 6 до 7 ч – даже северными потоками в верхней части диапазона зондирования (в слое воздуха до 500 м). В среднем за отдельные 10-минутные промежутки времени общий поворот в это время несколько раз превысил значение 100° : он достиг 102° в 05:50 и в 06:10 и 103° в 07:00 (в последнем случае на высоте 40 м было отмечено направление 252° , а на 300 м – 355°). Как и ночью 08 ноября, Москва в это время находилась в зоне атмосферного фронта – в системе циклона центром над Финляндией.

Приведённые примеры дают читателю довольно полное представление о многообразии возможных изменений направления и скорости ветра в атмосферном пограничном слое, связанных с синоптическими процессами и метеорологическими явлениями.

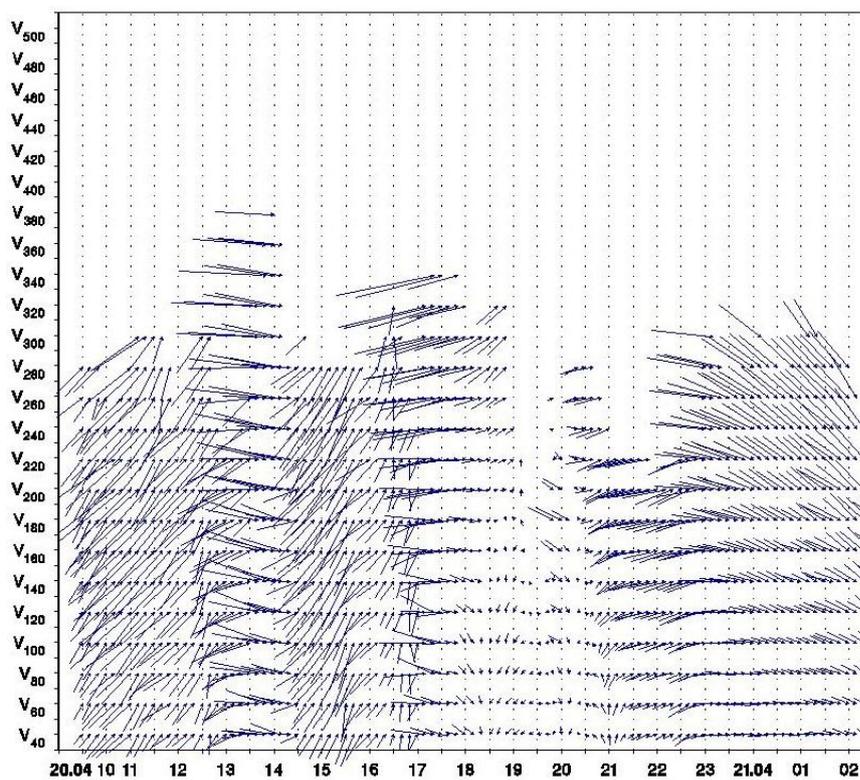


Рисунок 6.28. Множественные повороты ветра во времени 20 и 21 апреля 2016 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ

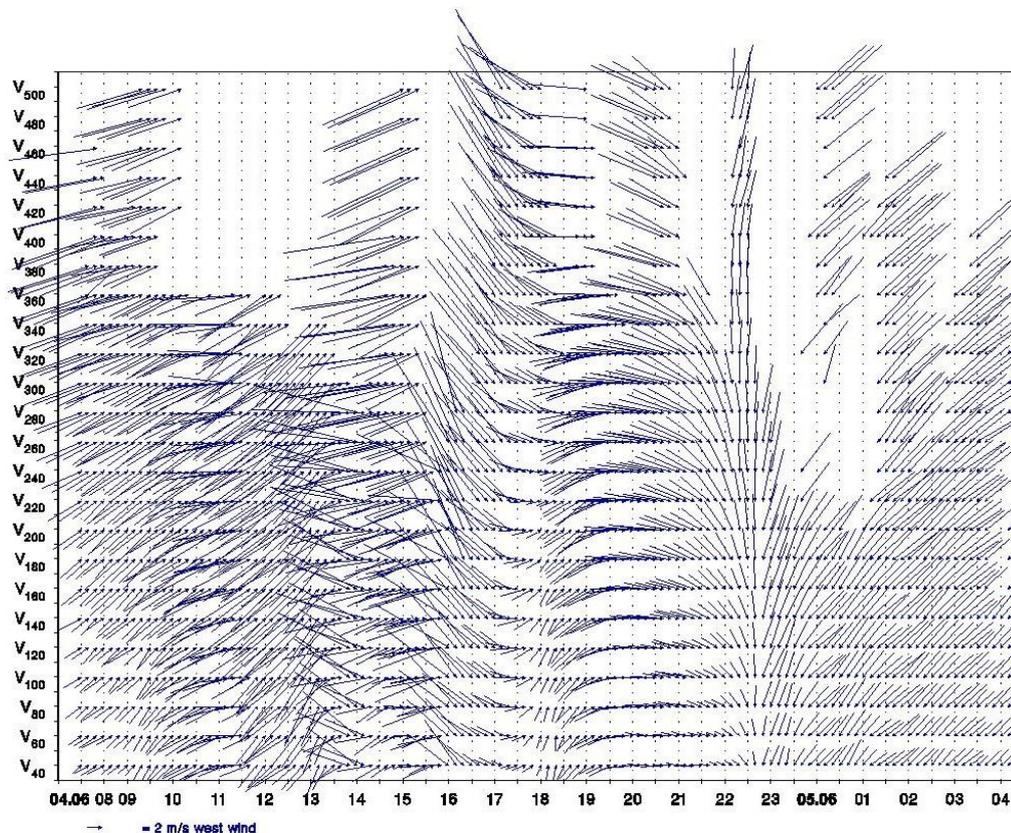


Рисунок 6.29. Множественные повороты ветра во времени 04 и 05 июня 2016 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ

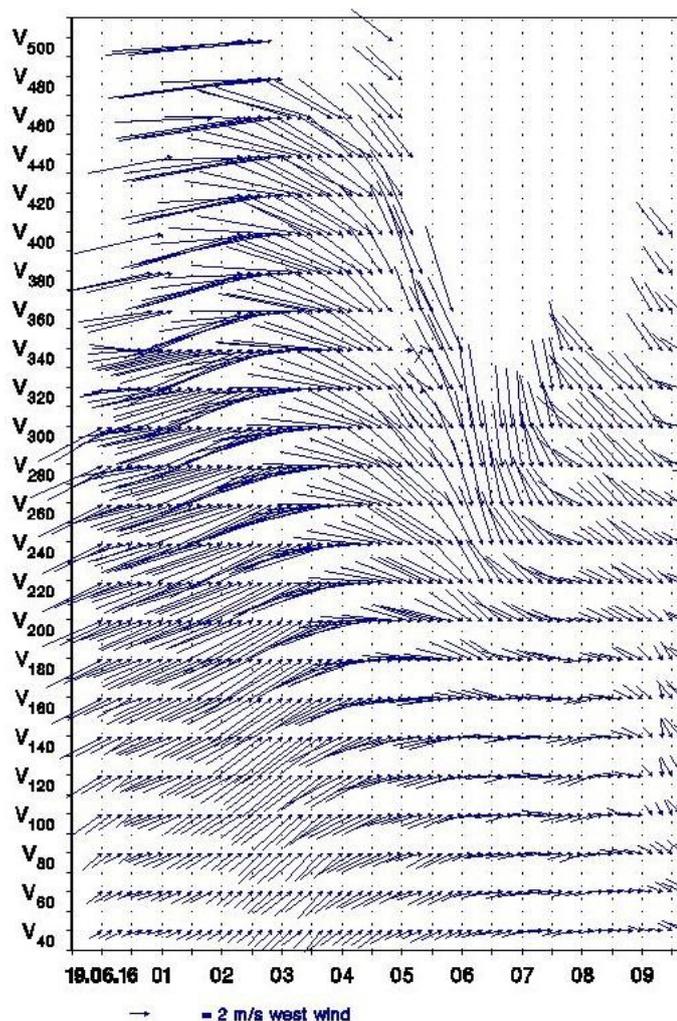


Рисунок 6.30. Сильный сдвиг ветра с высотой 19 июня 2016 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ

6.5.6. Неустойчивая стратификация

Рассмотрим теперь интересные примеры температурной стратификации по данным содара «ЭХО-1» в 2016 году. Примечательный случай очень высоких конвективных структур на содарной записи был отмечен 31 июля и приведён на рис. 6.31. В целом такие структуры являются показателем, связанным с верхним пределом распространения конвективных термиков в условиях неустойчивой стратификации. Наибольшая высота конвективных структур («перьев») в этот день составила около 540 м в 14:51 и 525 м в 10:11. Рекордно же большая высота отдельного термика за всю историю акустического зондирования в МО МГУ составила 610 м и была отмечена 20 июня 1999 года.

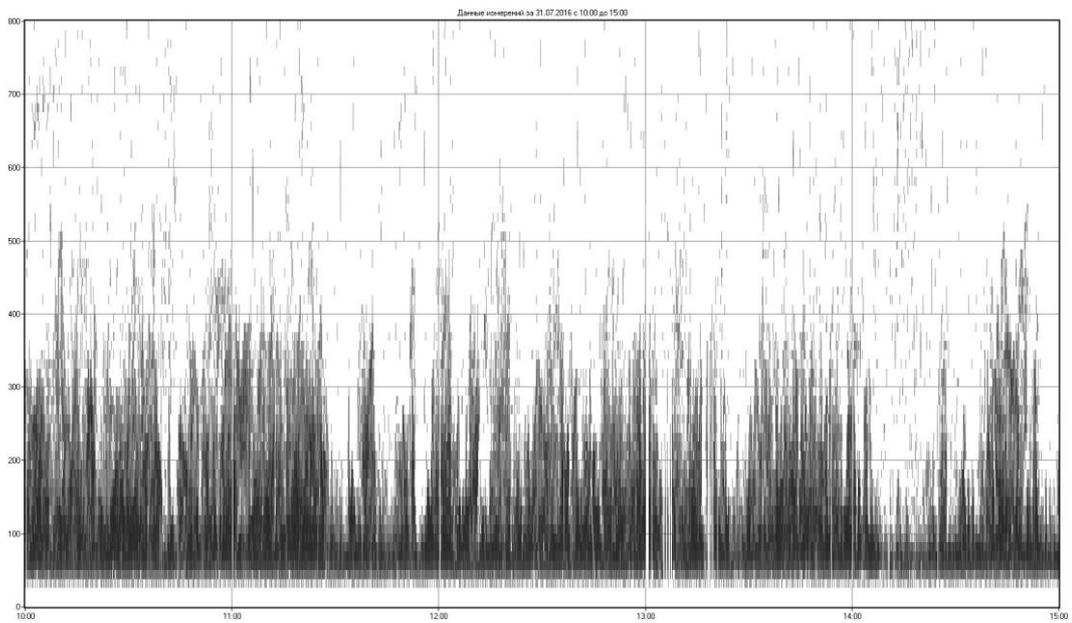


Рисунок 6.31. Неустойчивая стратификация и высокие конвективные термики 31 июля 2016 г. по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ

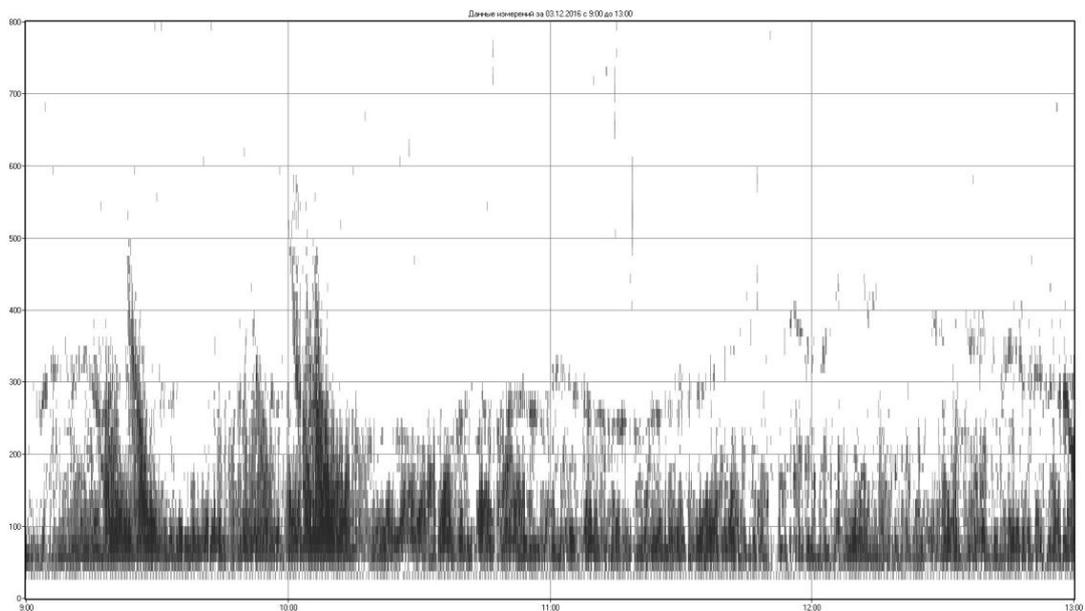


Рисунок 6.32. Неустойчивая стратификация 03 декабря 2016 г. по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ

На рисунке 6.32 представлен довольно редкий случай развития неустойчивой стратификации в начале зимы. На записи хорошо различимы конвективные структуры (термики), особенно высокие и чётко выраженные в начале приведённого промежутка

времени. После 10:20 их высота под слоем приподнятой инверсии стала меньше, тем не менее, они отчётливо видны. Сверхадиабатические значения вертикального градиента температуры зимой чаще всего образуются в условиях интенсивной холодной адвекции, т.е. при быстрых вхождении холодных воздушных масс. Однако в данном случае Москва находилась в малоградиентном барическом поле и заметных адвективных изменений температуры не было.

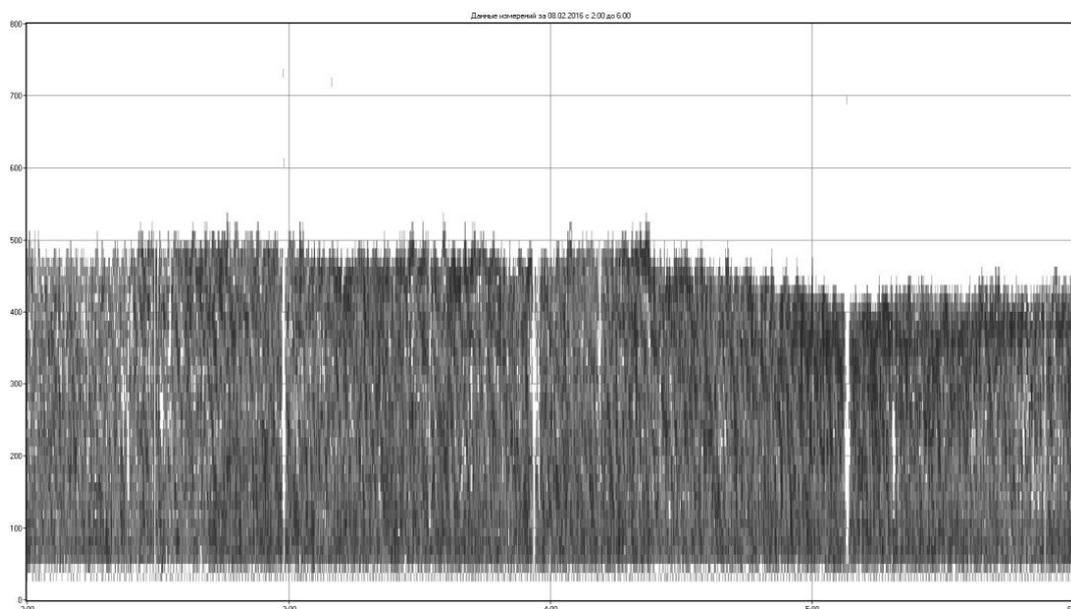


Рисунок 6.33. Мощная приземная инверсия 08 февраля 2016 г. по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ

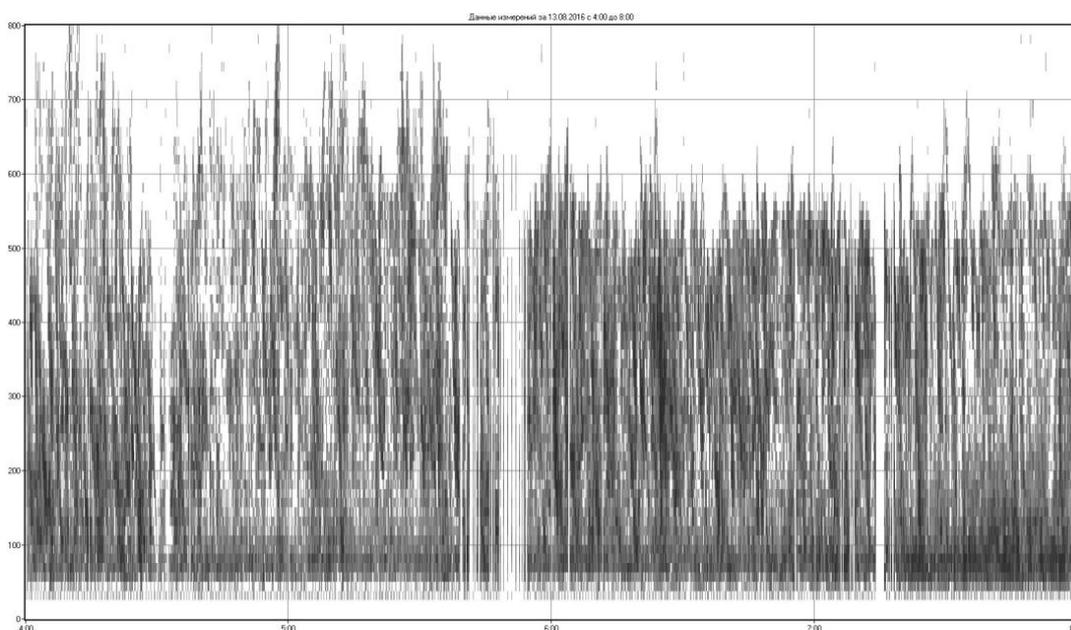


Рисунок 6.34. Рекордно высокая вершина приземной инверсии 13 августа 2016 г. по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ

6.5.7. Приземные инверсии

На рисунках 6.33 и 6.34 приведены примеры необычайно мощных приземных инверсий, наблюдавшихся 08 февраля и 13 августа соответственно. Так, в феврале в отдельные моменты времени мощность приземной инверсии доходила до 520-530 м (в 0:25-0:55 незадолго до приведённого фрагмента, в 2:40-2:55 и в 4:20-4:25). На втором примере (рис. 6.34) вершина инверсии с 4:10 до 4:12 и в 4:57 оказалась рекордно высокой и даже приблизилась к верхней границе диапазона зондирования – 800 м. Важно отметить, что мощность турбулентной структуры приземных инверсий по содарным данным можно считать высотой слоя динамического вертикального перемешивания. Этот показатель особенно важен в задачах экологического мониторинга.

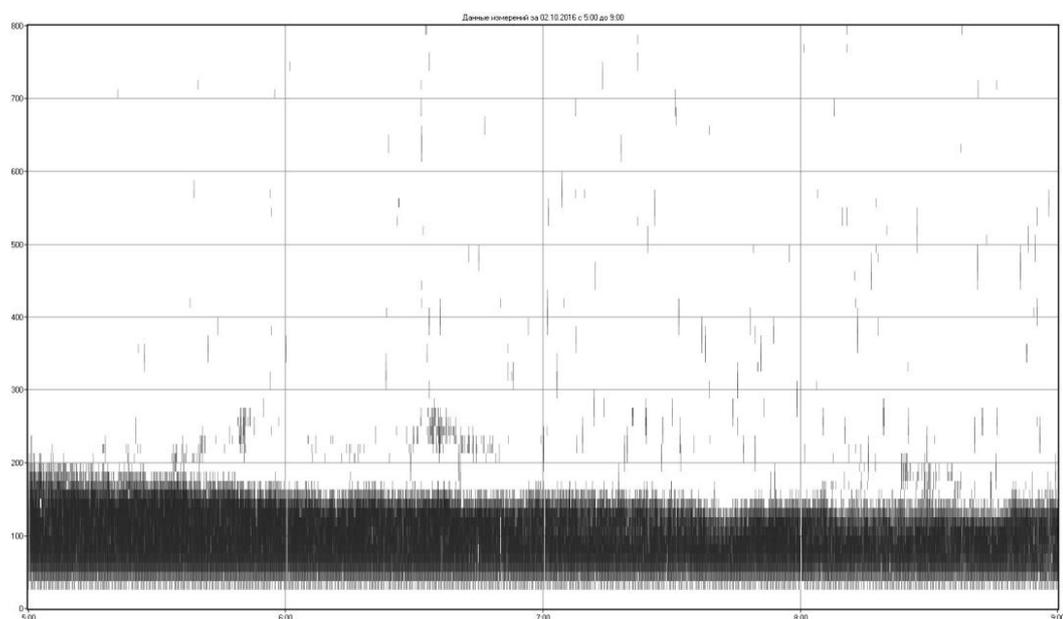


Рисунок 6.35. Интенсивная приземная инверсия 02 октября 2016 г. по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ

На рисунке 6.35 приведён также пример очень сильной приземной инверсии. Как известно, интенсивность эхо-сигнала косвенно связана с интенсивностью инверсии и величиной сдвига ветра. В течение всего промежутка времени, приведённого на рисунке – с 5 до 9 ч – приёмником содара регистрировался очень сильный эхо-сигнал, о чем говорит ярко-чёрный цвет турбулентной структуры приземной инверсии с верхней границей от 150 до 200 м. Особенно интенсивные приземные инверсии образуются ночью или ранним

утром при ясной и тихой погоде. Интенсивность инверсии обычно возрастает в условиях тёплой адвекции. Как уже отмечено выше, Москва в эту ночь находилась вблизи оси гребня в системе обширного антициклона с центром над Туркменией и Узбекистаном. Неудивительно, конечно, что в этих условиях в начале ночи наблюдалась совершенно ясная погода, а после 3 ч – облака в основном лишь верхнего яруса. Скорость ветра также была небольшой: лишь 1 м/с на высоте 15 м по стационарным данным прибора М-63М и от 2 до 3 м/с на высоте 40 м по данным содара «MODOS».

6.5.8. Приподнятые инверсии

На рис. 6.36 представлен редкий пример сложной многослойной структуры устойчиво стратифицированного пограничного слоя атмосферы, наблюдавшейся ночью 21 февраля. В отдельные моменты времени на содарной записи прослеживается существование нескольких приподнятых инверсий, разделённых промежутками с отсутствием эхо-сигнала – так, с 5:22 до 6:15 сразу три слоя приподнятых инверсий отмечались одновременно один поверх другого. При этом два верхних слоя с вершинами на высотах 650 и 460 м возникли почти одновременно (в 5:22) и на протяжении всего времени своего существования синхронно изменялись по высоте вплоть до момента их полного разрушения.

На рис. 6.37 показан пример редкой долгоживущей приподнятой инверсии оседания, которая образуется, в основном, на периферии антициклонов. В общей сложности эта инверсия просуществовала 52 часа 20 минут: с 10 ч 21 декабря до 14 ч 20 мин 23 декабря. В отдельные моменты она поднималась выше верхней границы («потолка») диапазона зондирования, однако по преобладанию структуры на содарной записи во времени очевидно, что всё это время прослеживался один и тот же слой. На протяжении всего времени своего существования высота основания (нижней границы) этой инверсии менялась в пределах от 200 до 800 м. Интересной дополнительной особенностью приведённого на рис. 6.37 примера служит отрыв от приземной структуры эхо-сигнала и быстрый подъём второго слоя приподнятой инверсии, слившегося с основной инверсией в 3 ч 23 мин.

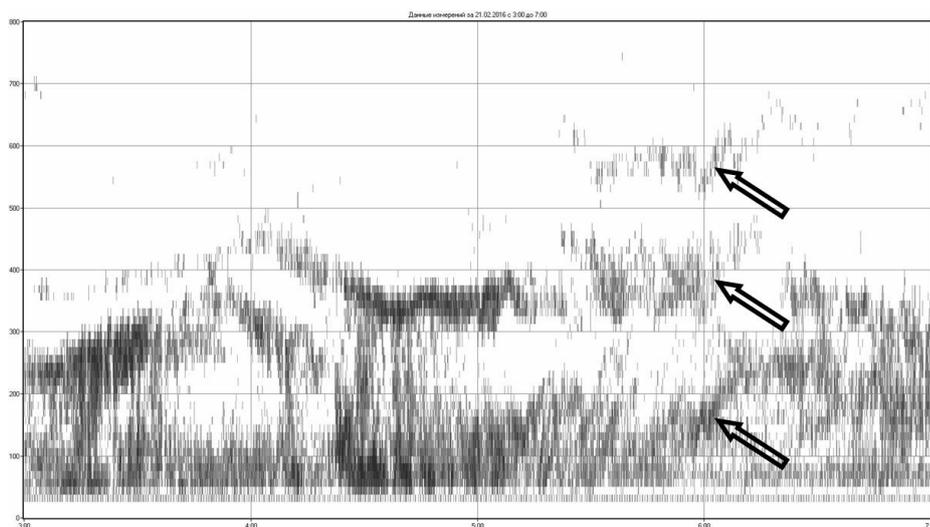


Рисунок 6.36. Сложная многослойная структура устойчиво стратифицированного атмосферного пограничного слоя (три приподнятые инверсии) 21 февраля 2016 г. по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ. Слои инверсий показаны стрелками.

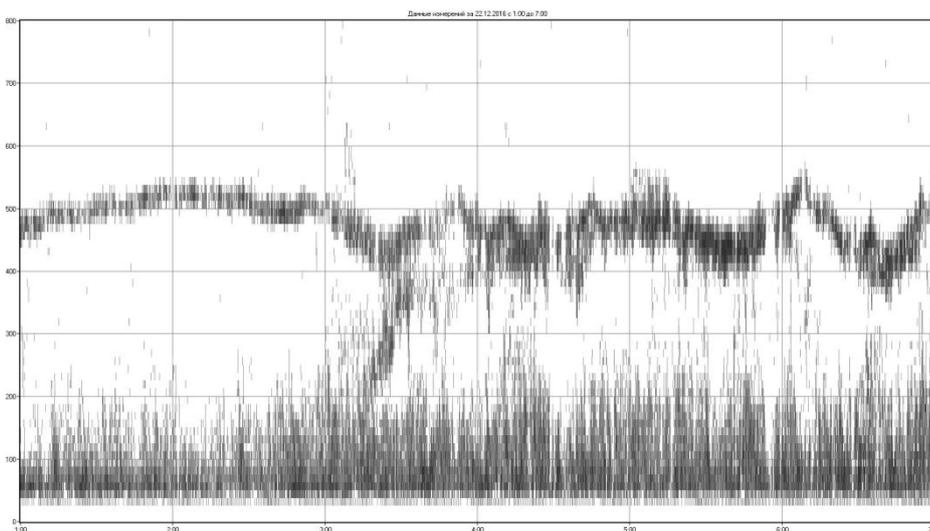


Рисунок 6.37. Долгоживущая приподнятая инверсия оседания 22 декабря 2016 г. по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ

Отметим, что днём 22 декабря Москва находилась на северной периферии обширной многоцентровой области высокого давления, простиравшейся над югом всей центральной и восточной Европы и, одновременно, на южной периферии циклона с центром над Норвежским морем. Накануне ночью, как уже сказано выше (см. рис. 6.5), в этой зоне

градиентных потоков содаром «MODOS» было отмечено наибольшее за весь год значение скорости ветра.

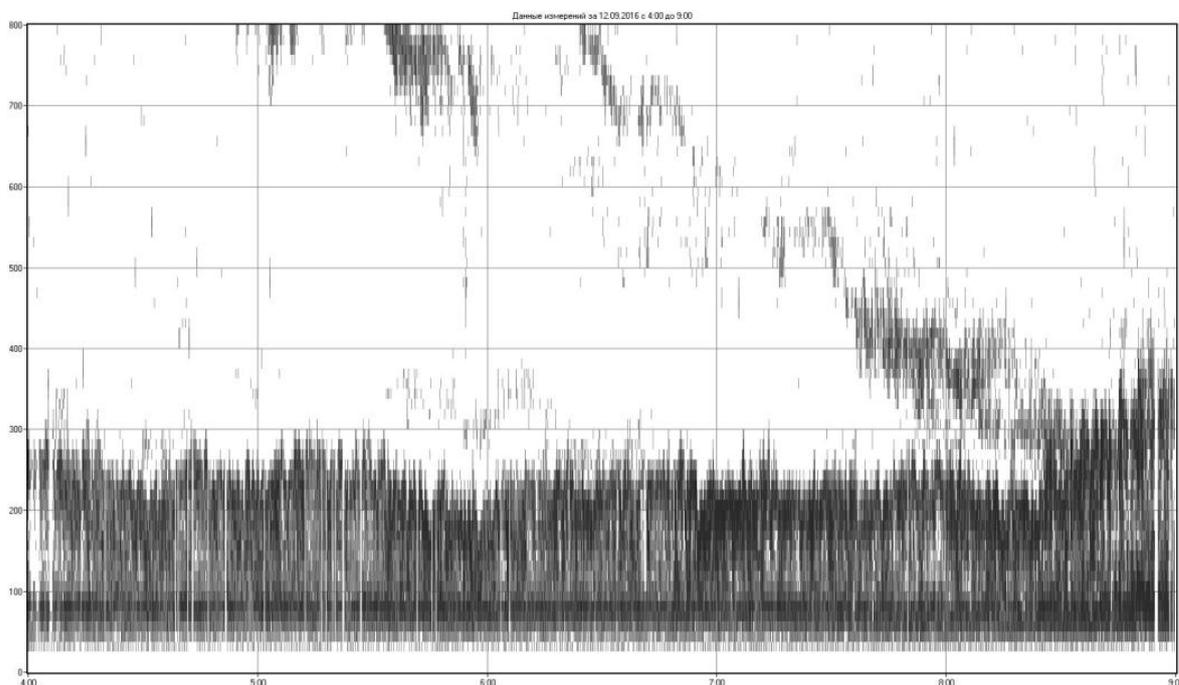


Рисунок 6.38. Приподнятая инверсия оседания, образовавшаяся в свободной атмосфере 12 сентября 2016 г. по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ

В некоторых случаях приподнятые инверсии оседания образуются на высотах, регистрируемых содаром «ЭХО-1» (ниже 800 м), однако, порой они возникают в вышележащих слоях в свободной атмосфере и проявляются в содарных данных при их опускании ниже «потолка» зондирования. Яркий пример такого события приведён на рисунке 6.38. Как видим, приподнятая инверсия – очевидно, оседания – появилась на записи в 4:54. Таким образом, в данном случае мы не можем оценить полное время её существования. Порой приподнятые инверсии оседания в определенный момент сливаются с уже существующей приземной или нижележащей приподнятой инверсией. Так произошло и в данном случае на рис. 6.38: здесь в 8:25 при слиянии двух отдельных слоёв инверсий образовалась единая объединённая инверсия. Отметим также очень быстрое опускание слоя верхней приподнятой инверсии: на целых 500 м всего за три с небольшим часа.

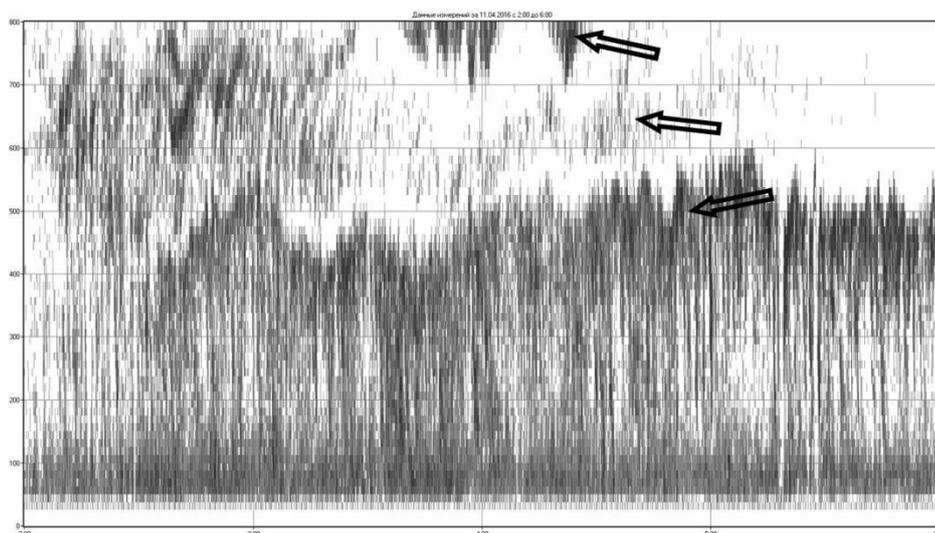


Рисунок 6.39. Три приподнятые инверсии 11 апреля 2016 г. по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ. Слои инверсий показаны стрелками.

Ещё один пример трёх приподнятых инверсий, отмеченных одновременно, приведён на рис. 6.39. Как видим, верхний из слоёв здесь также существует вблизи «потолка» зондирования и временами полностью оказывается вне этого диапазона, в вышележащих слоях свободной атмосферы. Считается, что существование слоёв инверсий, особенно в крупных городах, может приводить к опасному накоплению вредных атмосферных примесей, что пагубно влияет на здоровье людей, животных и растений. Как приземные, так и приподнятые инверсии являются задерживающими слоями, затрудняющими рассеивание загрязняющих веществ.

6.5.9. Динамическое перемешивание и разрушение инверсий

На рис. 6.40 и 6.41 представлены интересные примеры резкого усиления динамического перемешивания при выпадении ливневых осадков. Оно проявляется на содарной записи в полном отсутствии эхо-сигнала. Заметим также, что ливневый дождь оба эти раза сопровождался грозой. Как видно на рис. 6.40, 7-го июля внезапное исчезновение эхо-сигнала на записи и его последующее появление наблюдались дважды – с 18:05 до 18:26 и с 20:06 до 20:32, а 20-го июля – четыре раза: с 14:47 до 14:53, с 15:00 до 15:11, с 16:10 до 16:13 и с 16:15 до 16:17. Исчезновение эхо-сигнала (белый цвет записи при работающей аппаратуре) объясняется сильным динамическим перемешиванием,

приводящим к установлению безразличной стратификации, то есть адиабатическому распределению температуры воздуха с высотой. Как правило, так происходит при выпадении обильных ливневых осадков в тёплое или переходное время года.

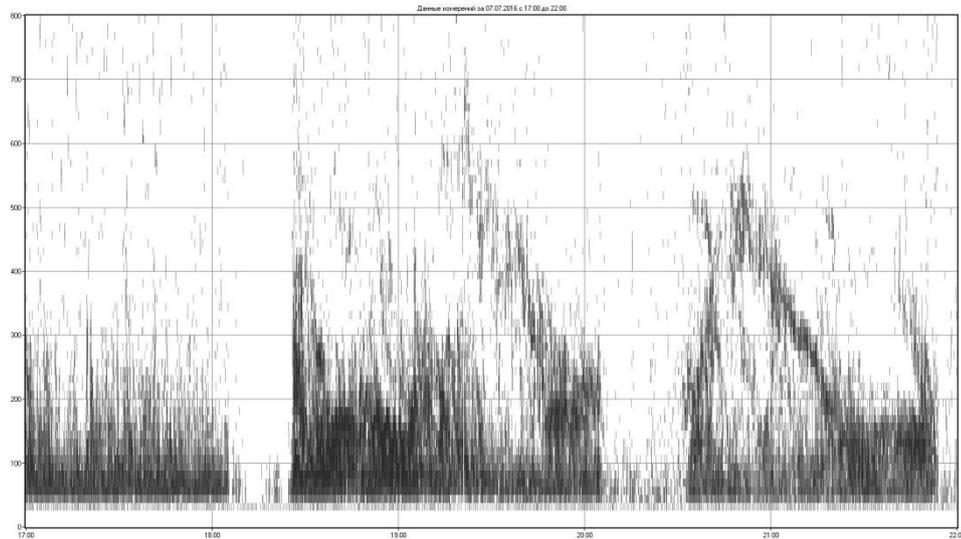


Рисунок 6.40. Примеры динамического перемешивания при выпадении осадков 07 июля 2016 г. по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ

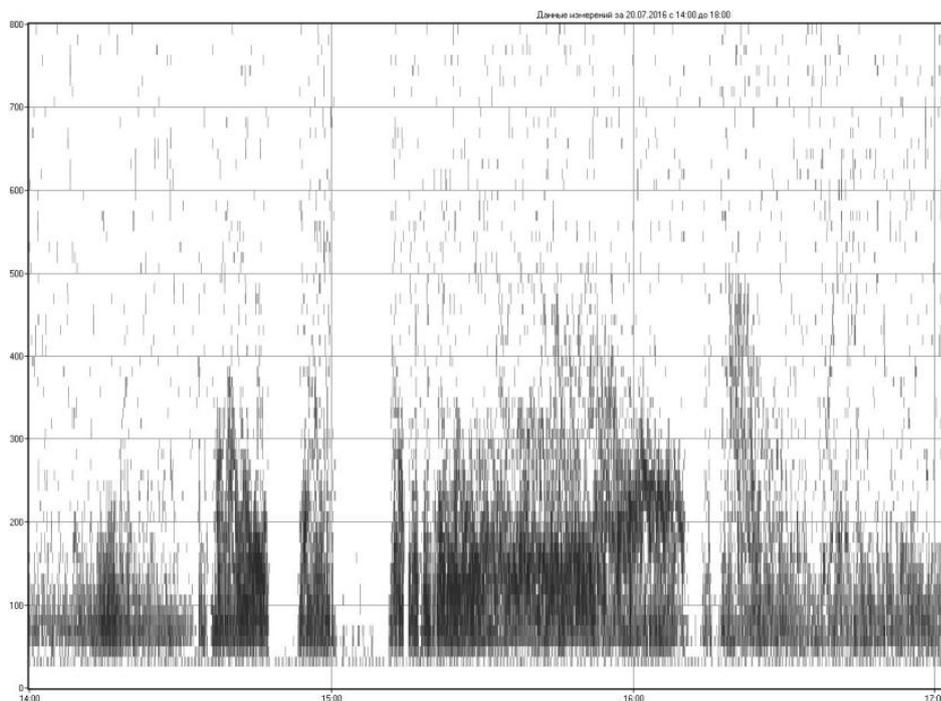


Рисунок 6.41. Примеры динамического перемешивания при выпадении осадков 20 июля 2016 г. по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ

Действительно, согласно стационарным данным МО МГУ, умеренный (фактически – сильный) ливневый дождь шёл 7-го июля в промежутках времени с 18:02 до 18:25 и с 20:08 до 20:40 (слабый ливень во втором случае начался тремя минутами раньше, в 20:05). Днём 20-го июля сильный ливневый дождь с наибольшей степенью интенсивности был даже отмечен в стационарных наблюдениях с 14:45 до 15:15 и с 16:10 до 16:20. Как видим, границы во времени выпадения умеренных и сильных ливней совпадают с промежутками исчезновения эхо-сигнала с точностью до нескольких минут. Заметим также, что визуальному определению наблюдателем времени начала и конца выпадения осадков, а также оценке их интенсивности явления присущ неизбежный элемент субъективности. С другой стороны, проявление динамического перемешивания в содарных данных сопряжено с некоторой инерцией во времени: разрушение турбулентных структур может происходить с небольшим запаздыванием по отношению к моменту начала сильного ливня. Не считая кратковременного ослабления ливней 20-го июля с 14:53 до 15:00 и с 16:13 до 16:15, мы в обоих этих случаях фактически имеем дело с четырьмя отдельными эпизодами умеренных или сильных ливней. Как видим, в трёх случаях из четырёх ливень начался за 2-3 минуты до исчезновения эхо-сигнала, а ещё один раз эти моменты совершенно совпали.

Заметим также, что после выпадения обильных ливней даже в середине летнего дня может образоваться приземная инверсия испарения, что и произошло 20-го июля в промежутке между двумя ливнями. Как видим, на рис. 6.41 в период с 15:11 до 16:10 на содарной записи прослеживается явная турбулентная структура инверсии – сперва приземной, затем приподнятой.

6.5.10. Дополнительные особенности турбулентных структур

Заслуживают внимания и отдельные случаи, связанные с быстрыми изменениями высот турбулентных структур слоёв инверсий, резким усилением эхо-сигнала и волновыми процессами. Подобные примеры приведены на рисунках 6.42 и 6.43. Сильно возмущённая структура инверсии на рис. 6.42 и скачкообразные изменения высот её границ, вероятно, связаны с прохождением волн различной природы.

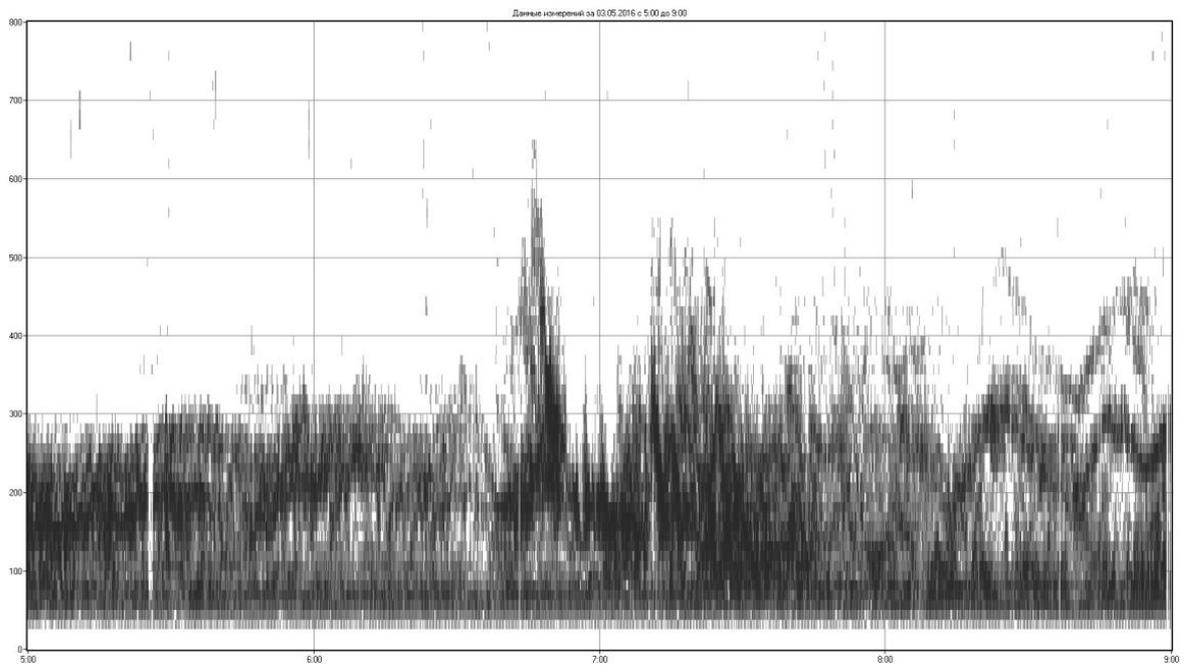


Рисунок 6.42. Возмущённая турбулентная структура слоя инверсии 03 мая 2016 г. по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ

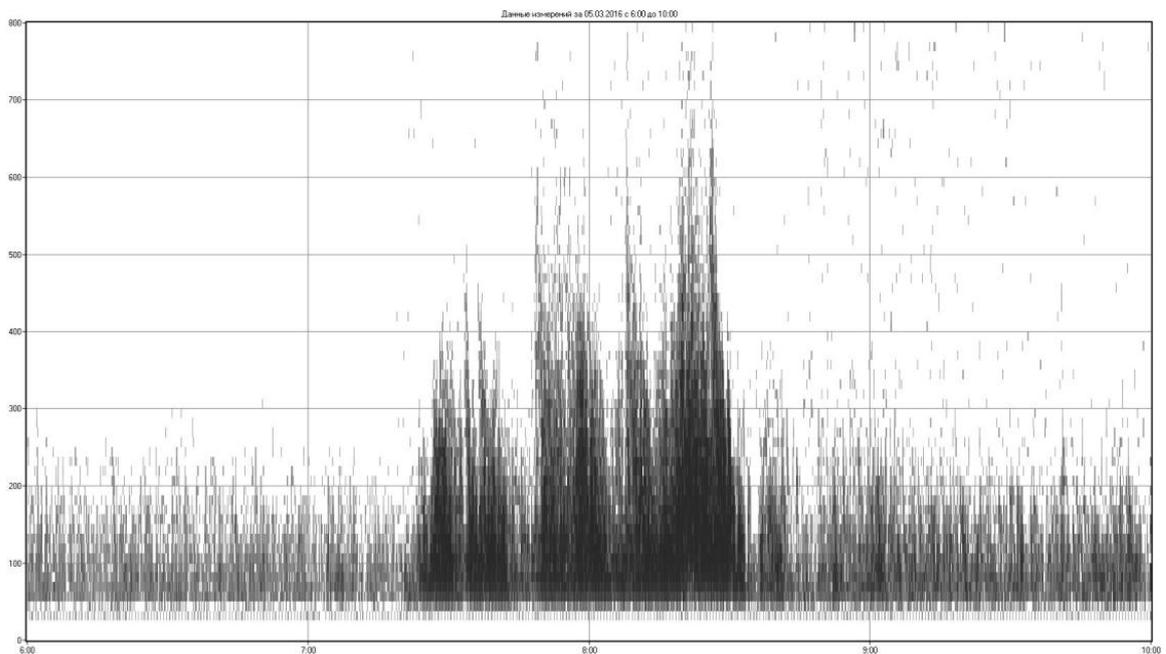


Рисунок 6.43. Резкий всплеск эхо-сигнала 05 марта 2016 г. по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ

Резкое усиление эхо-сигнала на рис. 6.43 в период с 7:23 до 8:33 утром 5-го марта и образование структур, подобных конвективным термикам, не находит своего объяснения в свете обычных закономерностей суточного хода стратификации. Заметим, что

коэффициент усиления приёмника содара «ЭХО-1» отличается высокой стабильностью, и его скачкообразные изменения крайне маловероятны. Скорее всего, причиной подобного всплеска эхо-сигнала служит прохождение над местом зондирования фронтальной поверхности. Действительно, в эти часы Москву проходил тёплый фронт в системе циклона с центром южнее столицы. Прохождение фронта подтверждается и стационарными наблюдениями: наличием сплошного покрова облаков Ns и обложным дождём. Скорее всего, в структуре мелкомасштабной термической турбулентности на содарной записи мы видим нижнюю часть поверхности раздела двух воздушных масс, температурный контраст которых и привёл к резкому усилению эхо-сигнала.

Наконец, на рис. 6.44 приведены наиболее типичные примеры прохождения гравитационных волн в слое приземной инверсии. Они проявляются в характерной периодичности турбулентной структуры, связанной с волновыми процессами, и в последовательном опускании отдельных порций более сильного эхо-сигнала. Более подробно прохождение волн в устойчиво стратифицированном пограничном слое по содарным данным обсуждается, например, в (Локощенко, 2006).

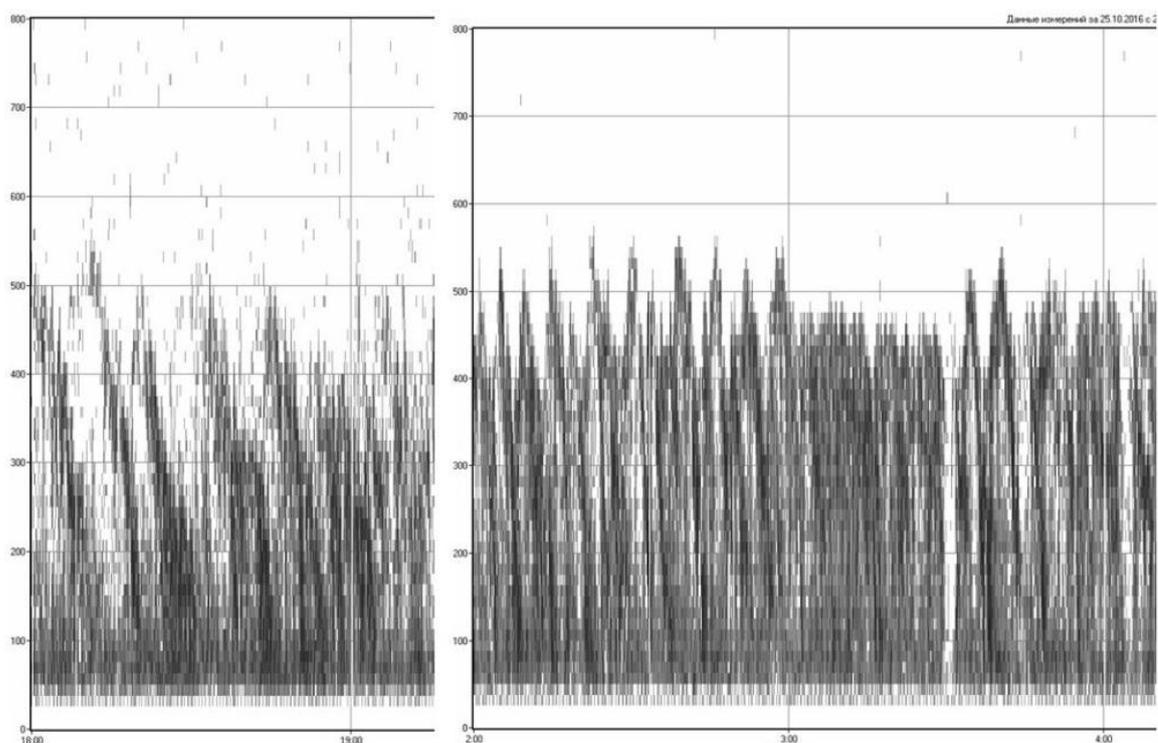


Рисунок 6.44. Прохождение гравитационных волн в слоях приземных инверсий 30 сентября (слева) и 25 октября (справа) по данным содара «ЭХО-1» в МО МГУ

Основные выводы:

Среднегодовая скорость ветра в нижнем 200-метровом слое воздуха в 2016 году оказалась близкой к обычным значениям (5,2 м/с), поскольку необычно тихие весна и начало лета (месяцы с марта по июнь), а также очень ветреное предзимье (ноябрь и декабрь) приблизительно уравнивали друг друга в среднем за год.

Приземные инверсии в летние месяцы 2016 года отмечались реже обычного.

Поворот ветра во времени может достигать в отдельных случаях 180° за 10 минут.

В зонах атмосферных фронтов правый поворот ветра с высотой может превышать значение 100°.

Приподнятые инверсии оседания могут отмечаться в нижнем 800-метровом слое воздуха несколько дней подряд.

Авторы благодарят Ю.И. Юсупова за любезно предоставленные синоптические карты. Работа выполнена при частичной поддержке РФФ, проект № 16-17-10275.

Литература

Локощенко М.А. Динамика термической турбулентности в нижней атмосфере Москвы по данным содарного зондирования. Метеорология и гидрология, 2006, № 2, стр.35-46.

Локощенко М.А. Температурная стратификация нижней атмосферы в Москве. Метеорология и гидрология, 2007, № 1, стр.53-64.

Локощенко М.А. О ветровом режиме нижней атмосферы над Москвой по данным многолетнего акустического зондирования. Метеорология и гидрология, 2014, № 4, стр.19-31.

Локощенко М.А. Направление ветра в Москве. Метеорология и гидрология, 2015, № 10, стр.5-15.

Локощенко М.А., Алексеева Л.И., Ахиярова К.И. О связях ветрового режима нижней атмосферы с синоптическими условиями и погодными явлениями. Метеорология и гидрология, 2016, № 7, стр.15-28.

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.

Локощенко М.А. Ветровой режим и температурная стратификация в нижнем 800-метровом слое воздуха. В сб.: Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2015 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В.Ломоносова, раздел 9 части I, стр.69-94. Под редакцией Шиловцевой О.А. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 268 с.

7. Сравнительный анализ ручных метеорологических измерений и измерений автоматического метеорологического комплекса в 2015 году

Жданова Е.Ю.

С 2010 года в МО МГУ работает автоматический метеорологический комплекс (АМК) Vaisala MAWS-301. Метеорологический комплекс регистрирует основные метеорологические параметры с разрешением 1 минута. В состав измеряемых комплексом параметров входят температура воздуха, температура поверхности, относительная влажность воздуха, давление, скорость и направление ветра, количество осадков. Датчики скорости (WAA151) и направления ветра (WAV151) являются оптоэлектронными с быстрым срабатыванием и высокой чувствительностью. Для измерения температуры воздуха и относительной влажности используется датчик HMP45D, который состоит из емкостного тонкопленочного полимерного датчика HUMICAP180 для измерения влажности и резистивного платинового датчика Pt 100 IEC751, 1/3 Класса В для измерения температуры. Для измерения давления служит кремниевый, емкостный датчик РТМ16А. Датчик осадков RG13 состоит из корпуса и воронки из алюминиевого сплава и имеет механизм слива осадков (http://www.raimet.ru/imgs/db/catalog2_files/file_167.pdf).

Для сравнения автоматических измерений с ручными были выбраны данные за 2015 год. Для проведения сравнений со срочными восьмичасовыми наблюдениями данные автоматических измерений были усреднены за 15-минутные промежутки в следующие интервалы времени: 2:45-3:00, 5:45-6:00, 8:45-9:00, 11:45-12:00, 14:45-15:00, 17:45-18:00, 20:45-21:00, 23:45-00:00.

Для части автоматически измеряемых параметров были рассчитаны базовые статистики и относительные частоты разности между автоматическими и ручными измерениями.

В среднем за год автоматические измерения температуры отличаются от ручных на 0.1 градуса. Межквартильный размах и стандартное отклонение разностей температуры возрастают в теплый период года. Минимум разности температур в рассматриваемый год составил 1.2 градуса, а максимум – 1.7 градуса (табл. 7.1). Большая часть отклонений автоматических измерений температуры от ручных лежит в интервале [-0.5,0.5], причем

для первой половины рассматриваемого года больше повторяемость положительных разностей $(0,0.5]$, а для второй половины года — отрицательных $(-0.5,0]$ (табл.7.2).

Таблица 7.1. Основные статистики разности измерений температуры воздуха автоматическим комплексом и ручными наблюдениями ($T_{\text{АМК}}-T_{\text{будка}}$).

месяц	mean	sd	IQR	0%	25%	50%	75%	100%	N
1	0.1	0.09	0.1	-0.1	0.1	0.2	0.2	0.5	94.00
2	0.1	0.16	0.1	-0.6	0.1	0.1	0.2	1.0	199.00
3	0.2	0.20	0.2	-0.7	0.1	0.2	0.3	1.5	176.00
4	0.2	0.22	0.2	-0.6	0.1	0.2	0.3	1.3	183.00
5	0.2	0.30	0.3	-0.9	0.0	0.2	0.3	1.7	208.00
6	0.2	0.25	0.3	-0.7	0.0	0.2	0.3	0.8	176.00
7	0.0	0.34	0.3	-1.2	-0.1	0.0	0.2	1.3	184.00
8	0.0	0.29	0.3	-0.8	-0.1	0.0	0.1	1.0	183.00
9	-0.1	0.21	0.2	-0.9	-0.2	-0.1	0.1	0.7	183.00
10	-0.1	0.19	0.2	-0.8	-0.2	-0.1	0.0	1.0	183.00
11	-0.1	0.11	0.1	-0.6	-0.2	-0.2	-0.1	0.3	144.00
12	-0.1	0.12	0.1	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	0.6	184.00
год	0.1	0.26	0.3	-1.2	-0.1	0.1	0.2	1.7	2097.0

*mean-среднее, sd – стандартное отклонение, IQR – межквартильный размах, N – количество наблюдений

Таблица 7.2. Относительные частоты разности измерений температуры воздуха автоматической комплексом и ручными наблюдениями для каждого месяца и года в целом ($T_{\text{АМК}}-T_{\text{будка}}$).

Градации разностей	$(-1.5,-1]$	$(-1,-0.5]$	$(-0.5,0]$	$(0,0.5]$	$(0.5,1]$	$(1,1.5]$
год	0.00	0.02	0.42	0.52	0.04	0.00
1	0.00	0.00	0.09	0.90	0.01	0.00
2	0.00	0.01	0.09	0.89	0.02	0.00
3	0.00	0.01	0.09	0.85	0.06	0.01
4	0.00	0.02	0.11	0.82	0.04	0.01
5	0.00	0.02	0.20	0.65	0.12	0.00
6	0.00	0.01	0.19	0.72	0.08	0.00
7	0.01	0.03	0.48	0.39	0.08	0.02
8	0.00	0.06	0.51	0.37	0.05	0.00
9	0.00	0.02	0.65	0.31	0.02	0.00
10	0.00	0.02	0.79	0.17	0.01	0.00
11	0.00	0.01	0.92	0.07	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.89	0.11	0.01	0.00

Сравнение разностей давления, измеренного на уровне станции, приведено в табл.7.3. В среднем измерения давления автоматическим комплексом являются заниженными на 0.3 гПа, максимальная отрицательная разность -2.7 гПа, максимальная

положительная разность – 3.6 гПа (табл. 7.3). Характерна большая повторяемость отрицательных разностей измеренных давлений в диапазоне (-1,0) (табл. 7.4).

Таблица 7.3. Основные статистики разности измерений давления автоматическим комплексом и ручными наблюдениями ($P_{AMK}-P$).

месяц	mean	sd	IQR	0%	25%	50%	75%	100%	n
1	-0.5	0.4	0.4	-1.7	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	118
2	-0.3	0.5	0.5	-2.3	-0.5	-0.3	0.0	0.4	215
3	-0.4	0.4	0.5	-1.7	-0.6	-0.4	-0.1	0.4	207
4	-0.4	0.5	0.6	-1.3	-0.7	-0.3	-0.1	3.6	199
5	-0.4	0.5	0.6	-2.2	-0.7	-0.3	-0.1	0.8	215
6	-0.3	0.4	0.4	-1.9	-0.4	-0.2	0.0	0.6	183
7	-0.2	0.4	0.5	-1.3	-0.5	-0.2	0.0	1.6	215
8	-0.2	0.4	0.5	-1.3	-0.4	-0.1	0.1	0.4	167
9	-0.2	0.4	0.5	-2.0	-0.4	-0.1	0.1	0.5	223
10	-0.3	0.4	0.5	-1.3	-0.5	-0.2	0.0	0.8	223
11	-0.3	0.4	0.5	-1.2	-0.5	-0.3	0.0	0.7	207
12	-0.3	0.4	0.6	-1.9	-0.6	-0.2	0.0	0.5	200
год	-0.3	0.4	0.5	-2.3	-0.5	-0.2	0.0	3.6	2372

*mean – среднее, sd – стандартное отклонение, IQR – межквартильный размах, N – количество наблюдений

Таблица 7.4. Относительные частоты разности измерений давления автоматической комплексом и ручными наблюдениями для каждого месяца и года в целом ($P_{AMK}-P$).

Градации разностей	(-2.5,-2]	(-2,-1.5]	(-1.5,-1]	(-1,-0.5]	(-0.5,0]	(0,0.5]	(0.5,1]	(3.5,4]
год	0.00	0.01	0.08	0.21	0.53	0.17	0.00	0.00
1	0.00	0.01	0.13	0.33	0.47	0.06	0.00	0.00
2	0.01	0.01	0.08	0.18	0.55	0.16	0.00	0.00
3	0.00	0.01	0.09	0.34	0.43	0.13	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.11	0.28	0.53	0.07	0.01	0.01
5	0.02	0.02	0.09	0.19	0.55	0.12	0.00	0.00
6	0.00	0.01	0.08	0.11	0.64	0.15	0.01	0.00
7	0.00	0.00	0.05	0.20	0.57	0.17	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.08	0.14	0.52	0.26	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.04	0.12	0.54	0.29	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.08	0.21	0.52	0.17	0.01	0.00
11	0.00	0.00	0.08	0.25	0.47	0.19	0.01	0.00
12	0.00	0.01	0.12	0.21	0.49	0.18	0.00	0.00

Разность измерений относительной влажности составила в среднем за год -0.6%, однако в отдельные месяцы разность была как положительной, так и отрицательной.

(табл.7.5) Большая часть повторяемостей разностей находится в диапазоне -10 - +10% (табл. 7.6).

Таблица 7.5. Основные статистики разности измерений относительной влажности автоматическим комплексом и ручными наблюдениями ($f_{\text{АМК}}-f_{\text{будка}}$).

месяц	mean	sd	IQR	0%	25%	50%	75%	100%	N
1	-0.9	5.03	7.0	-10.5	-4.0	-2.0	3.0	9.0	118.00
2	-0.2	4.51	5.8	-14.9	-3.0	-0.2	2.8	14.0	223.00
3	-1.4	4.50	5.8	-14.0	-4.2	-1.8	1.7	14.5	239.00
4	-2.6	3.86	4.6	-17.3	-4.7	-2.5	-0.2	8.0	207.00
5	-3.6	4.54	6.4	-14.0	-6.7	-4.3	-0.3	7.3	223.00
6	-4.1	3.26	3.5	-15.6	-6.0	-4.3	-2.5	5.0	223.00
7	-2.3	4.44	3.5	-13.6	-4.5	-3.0	-1.0	12.4	231.00
8	-3.2	3.41	3.1	-13.9	-5.0	-3.4	-1.9	11.7	207.00
9	0.8	5.59	9.3	-12.4	-3.3	-1.3	6.0	24.5	207.00
10	0.5	4.04	3.9	-12.5	-1.9	0.0	2.0	14.5	231.00
11	5.6	4.77	8.9	-4.0	1.0	6.3	9.9	15.4	215.00
12	4.3	5.42	8.0	-9.1	1.0	3.7	9.0	15.0	216.00
год	-0.6	5.3	6.27	-17.27	-4.07	-1.6	2.2	24.47	2540

*mean – среднее, sd – стандартное отклонение, IQR – межквартильный размах, N – количество наблюдений

Таблица 7.6. Относительные частоты разности измерений относительной влажности автоматической комплексом и ручными наблюдениями для каждого месяца и года в целом ($f_{\text{АМК}}-f_{\text{будка}}$).

Градации разностей	(-15,-10]	(-10,-5]	(-5,0]	(0,5]	(5,10]	(10,15]
год	0.02	0.16	0.44	0.22	0.12	0.04
1	0.02	0.18	0.41	0.24	0.16	0.00
2	0.03	0.11	0.42	0.33	0.11	0.00
3	0.04	0.16	0.46	0.27	0.07	0.01
4	0.03	0.20	0.54	0.20	0.02	0.00
5	0.06	0.36	0.34	0.21	0.02	0.00
6	0.03	0.36	0.49	0.11	0.00	0.00
7	0.03	0.18	0.59	0.12	0.07	0.01
8	0.03	0.23	0.66	0.03	0.04	0.00
9	0.01	0.08	0.49	0.11	0.27	0.03
10	0.01	0.04	0.49	0.34	0.09	0.03
11	0.00	0.00	0.18	0.29	0.34	0.18
12	0.00	0.06	0.15	0.37	0.27	0.15

Измерения скорости ветра автоматической комплексом и анеморумбометром совпадают в среднем со стандартным отклонением 0.4 м/с (табл. 7.7).

Таблица 7.7. Основные статистики разности измерений скорости ветра автоматическим комплексом и анеморумбометром (v_{AMK-V}).

месяц	mean	sd	IQR	0%	25%	50%	75%	100%	N
1	-0.1	0.44	0.6	-1.2	-0.4	0.0	0.2	1.0	126.00
2	0.0	0.48	0.6	-1.9	-0.3	0.0	0.3	1.6	223.00
3	-0.1	0.48	0.6	-1.7	-0.4	-0.1	0.2	1.1	239.00
4	-0.1	0.52	0.6	-3.6	-0.4	-0.1	0.3	1.2	215.00
5	-0.1	0.41	0.5	-1.2	-0.3	-0.1	0.2	1.1	239.00
6	0.0	0.44	0.6	-1.3	-0.3	0.0	0.3	1.3	223.00
7	0.0	0.43	0.6	-1.2	-0.3	0.0	0.3	1.3	239.00
8	0.0	0.42	0.5	-1.1	-0.3	0.0	0.3	1.8	215.00
9	0.0	0.38	0.4	-1.6	-0.2	0.0	0.3	1.1	231.00
10	-0.1	0.40	0.5	-1.2	-0.3	0.0	0.2	1.1	239.00
11	-0.1	0.46	0.6	-2.0	-0.3	0.0	0.2	1.6	215.00
12	0.0	0.44	0.6	-1.1	-0.3	0.0	0.2	1.8	224.00
год	-0.0	0.4	0.56	-3.56	-0.32	-0.02	0.24	1.81	2628

*mean – среднее, sd – стандартное отклонение, IQR – межквартильный размах, N – количество наблюдений

Таблица 7.8. Основные статистики разности измерений скорости ветра автоматическим комплексом и анеморумбометром (v_{AMK-V}).

	(-2,-1]	(-1,-0.5]	(-0.5,0]	(0,0.5]	(0.5,1]	(1,2]
год	0.02	0.12	0.40	0.36	0.08	0.01
1	0.03	0.13	0.40	0.35	0.09	0.00
2	0.01	0.15	0.36	0.34	0.13	0.01
3	0.05	0.15	0.42	0.29	0.08	0.01
4	0.04	0.12	0.38	0.37	0.07	0.01
5	0.02	0.13	0.44	0.34	0.07	0.00
6	0.02	0.14	0.35	0.39	0.09	0.01
7	0.02	0.13	0.36	0.39	0.10	0.01
8	0.01	0.10	0.42	0.36	0.10	0.00
9	0.01	0.08	0.42	0.39	0.09	0.00
10	0.01	0.11	0.43	0.39	0.06	0.00
11	0.04	0.12	0.42	0.33	0.07	0.01
12	0.01	0.12	0.43	0.34	0.08	0.01

Таким образом, в 2016 году получено, что измерения АМК в среднем отличаются от ручных измерений температуры воздуха на 0.1 градуса со стандартным отклонением 0.3 градуса, давления – на 0.3 гПа со стандартным отклонением 0.4 гПа, относительной влажности воздуха – 0.6% со стандартным отклонением 5.3%, скорости ветра совпадают в среднем со стандартным отклонением 0.4 м/с. Сопоставления таких параметров, как количество осадков и температура поверхности почвы, нуждаются в дополнительных исследованиях.

Работа поддержана госбюджетной темой АААА-А16-116032810086-4.

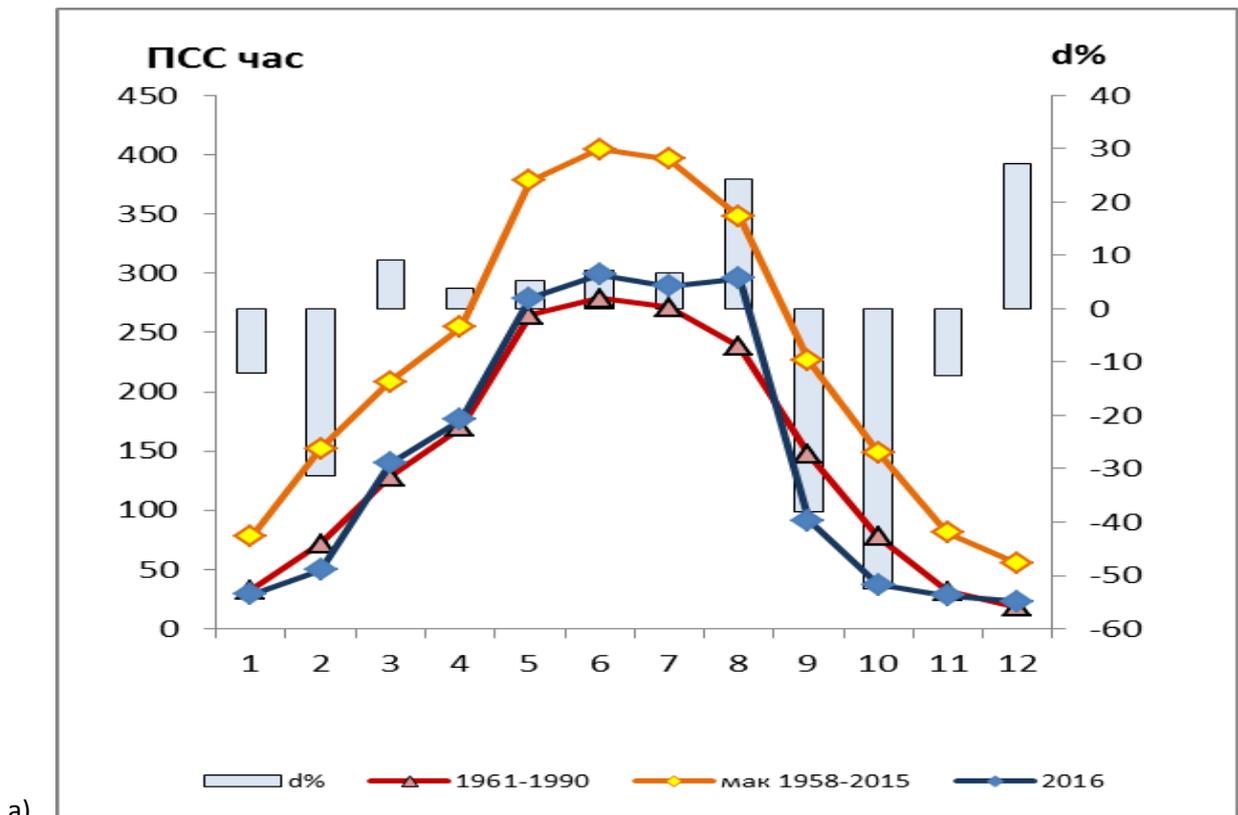
8. Особенности облачного покрова и продолжительности солнечного сияния

Горбаренко Е.В.

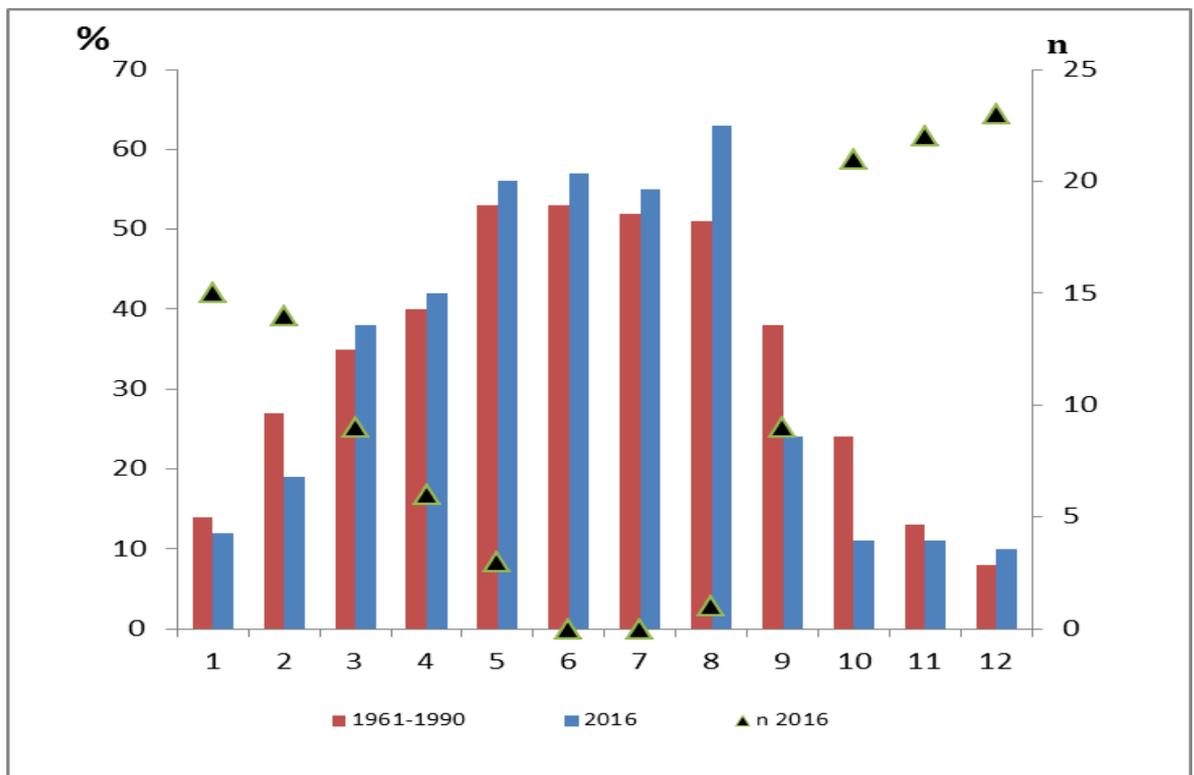
Информация о продолжительности солнечного сияния получена на основе записей гелиографа универсальной модели Кэмпбелла – Стокса. Анализ режима облачности представлен по ежечасным наблюдениям актинометрического отдела, проводимых в светлое время суток, а так же по наземным (круглосуточным) визуальным наблюдениям в основные метеорологические сроки.

Сравнительный анализ изменения метеорологических и радиационных параметров в 2016 году произведен относительно текущего (1981-2010 гг.) и исторического (1961-1990 гг.) базовых периодов. Данные сравнения приведены в таблицах, на рисунках представлены средние за исторический период.

Продолжительность солнечного сияния (ПСС) в 2016 году практически совпала с текущей нормой, и незначительно превысила историческую, что составило 39 % от возможного ПСС (табл. 8.1). На 14 дней было больше пасмурных дней в году по сравнению с нормами, всего было отмечено 123 дней в году без Солнца. В годовом ходе ПСС наибольшие значения приходятся на летние месяцы, весь теплый период с марта по август значения ПСС превысили обе нормы (рис. 8.1). Максимальное значение ПСС пришлось на июнь, месяц с наибольшим световым днем. В августе значение ПСС близко к июньскому максимуму. Оно превысило обе нормы на 24%, это составило 63% от возможного ПСС, это самое большое значение ПСС в процентах от возможной величины в годовом ходе. Значительная положительная аномалия ПСС в августе связана с малооблачной погодой; балл общей и нижней облачности в августе наименьший в году. Годовой минимум ПСС в соответствии с астрономическими факторами в декабре, но в 2016 году декабрьское значение ПСС существенно превысило нормы. Значительно ниже норм февральские, сентябрьские и октябрьские значения ПСС. Наличием двух максимумов в годовом ходе атмосферного давления: главного, наблюдающегося в феврале и вторичного – наступающего в октябре обычно приводит к относительному увеличению дней с ясной, сухой погодой – соответственно «февральские окна» и «бабье лето». В 2016 году москвичи так и не дождались «бабьего лета», в сентябре и октябре число дней без Солнца практически в 2 раза больше норм.



a)
b)



б)

Рисунок 8.1. Годовой ход продолжительности солнечного сияния: (а) продолжительность солнечного сияния в часах; (б) % от возможного и число дней без Солнца (n)

Таблица 8.1. Продолжительность солнечного сияния и облачность

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
ПСС, час.													
2016	29	49,4	139,8	176,6	278,8	298,8	289,2	295,8	91,1	37	28	22,9	1736
1961-1990	33	72	128	170	265	279	271	238	147	78	32	18	1731
d%	-12	-31	9	4	5	7	7	24	-38	-53	-13	27	0
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%	11,1	-19,8	0,5	0,1	2,5	9,8	4,6	24,1	-37,7	-52,6	-8,4	17,3	0,0
Мин 1958-2015	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
макс 1958-2015	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													
2016	12	19	38	42	56	57	55	63	24	11	11	10	39
1961-1990	14	27	35	40	53	53	52	51	38	24	13	8	38
Δ%	-2	-8	3	2	3	4	3	12	-14	-13	-2	2	1
1981-2010	11	22	39	43	55	52	55	51	39	24	12	9	39
Δ%	1	-3	-1	-1	1	5	0	12	-15	-13	-1	1	0
число дней без Солнца													
2016	15	14	9	6	3	0	0	1	9	21	22	23	123
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 за светлую часть суток													
общ. обл. 2016	9,3	8,8	8,1	8,2	7,4	8,3	7,9	7,3	9,3	9,4	9,3	9,3	8,6
общ. обл. 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	0,9	0,9	0,1	0,4	0,2	1,0	0,7	0,2	1,3	0,7	0,2	0,2	0,6
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%	0,7	0,7	0,1	0,3	0,1	1,0	0,6	0,2	1,2	0,8	0,3	0,3	0,3
мин 1965-2015	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
макс 1965-2015	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 за светлую часть суток													
ниж. обл. 2016	6,3	7,7	5,5	5,3	4,9	4,8	4,5	4,2	7,9	8,2	8,1	8,3	6,3
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	-0,2	2,0	0,0	0,0	0,4	-0,2	-0,5	-0,7	2,0	1,2	0,1	0,6	0,5
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	-0,6	1,7	0,0	-0,1	0,2	-0,2	-0,6	-0,8	1,9	1,2	0,1	0,5	0,4
мин 1965-2015	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

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
год	1973	1969	1969	2014	1967	1972	1996, 2010	1974	1974	1987	1967	2002	1967
макс 1965-2015	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
балл облачности за 8 метеорологических сроков													
общ. обл. 2016	9,3	8,8	8,1	8	7,1	8,2	7,6	6,9	9,2	9,4	9,2	9,6	8,5
ниж. обл. 2016	7,1	7,5	5,3	5,2	4,6	4,4	4,3	4,1	7,7	8,5	8,4	8,9	6,3

Месячные суммы ПСС не перекрыли экстремумы предыдущих лет. Суточные суммы ПСС для 153 дней в году превысили средние многолетние значения (рис. 8.2). Для 11 дней в 2016 г. году превышены максимальные значения за весь период наблюдений.

Внутригодовая изменчивость значений продолжительности солнечного сияния обусловлена астрономическими факторами, определяющими длину дня. Отклонения от теоретического распределения ПСС вызвано особенностями режима облачности.

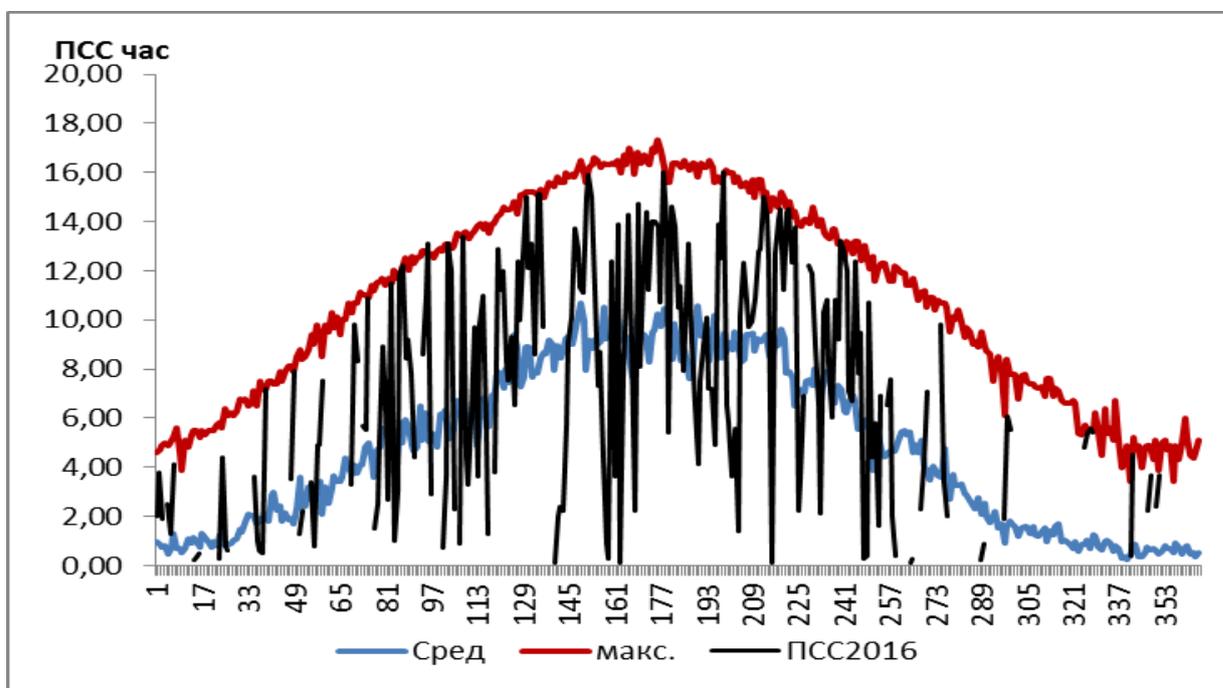


Рисунок 8.2. Годовой ход суточных значений ПСС за все дни года: за 2016 г. и за период 1955-2015 гг.

Среднее годовое значение общей и нижней облачности выше норм (см. табл. 8.1, рис. 8.3). В годовом ходе балла и общей, и нижней облачности минимальное значение приходится на август месяц. Балл общей облачности во все месяцы года выше норм. Нижняя облачность ниже норм только в январе и в летние месяцы.

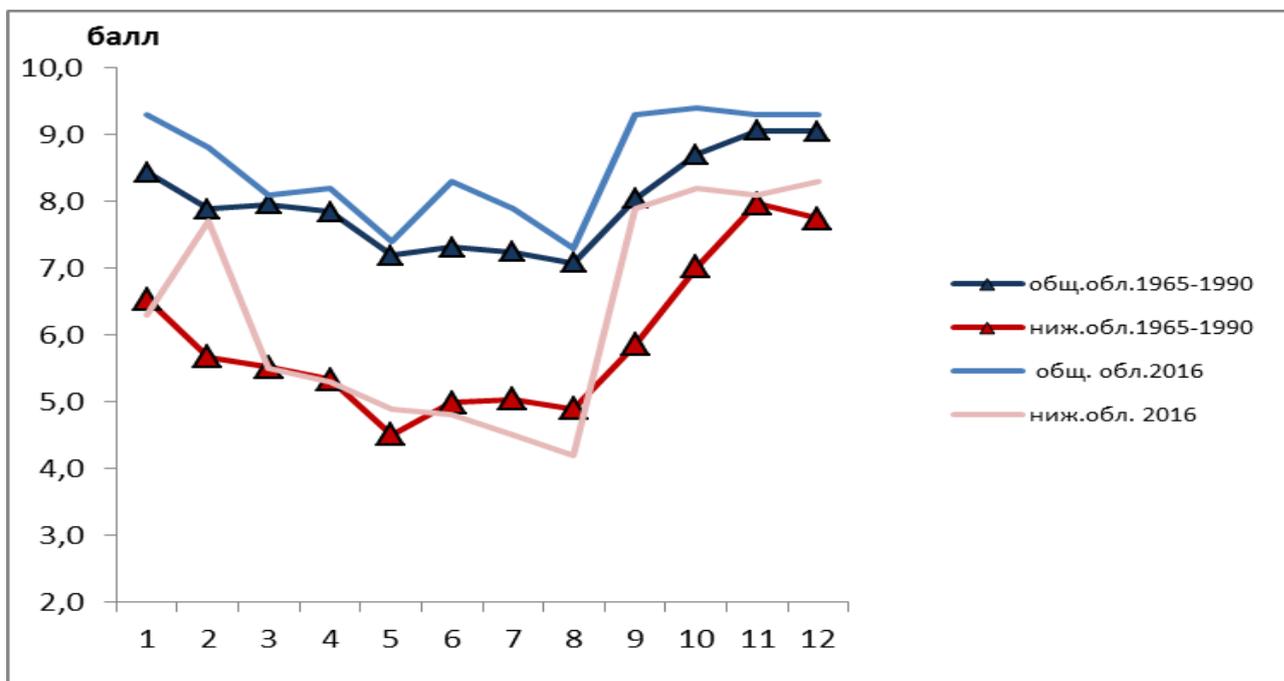


Рисунок 8.3. Годовой ход балла облачности в сравнении с нормой (полученного за светлое время суток)

Среднемесячные значения балла как нижней, так и общей облачности, полученные осреднением за светлое время суток и по метеорологическим срокам, согласуются и отличаются между собой в диапазонах, допустимым для визуальных наблюдений. Расхождения среднегодовых значений балла, полученные за счет разного осреднения, и для нижней облачности, и для общей облачности составляют всего 0,1 балла.

Несмотря на увеличения количества общей и нижней облачности, тенденция роста ПСС сохранилась (рис. 8.4).

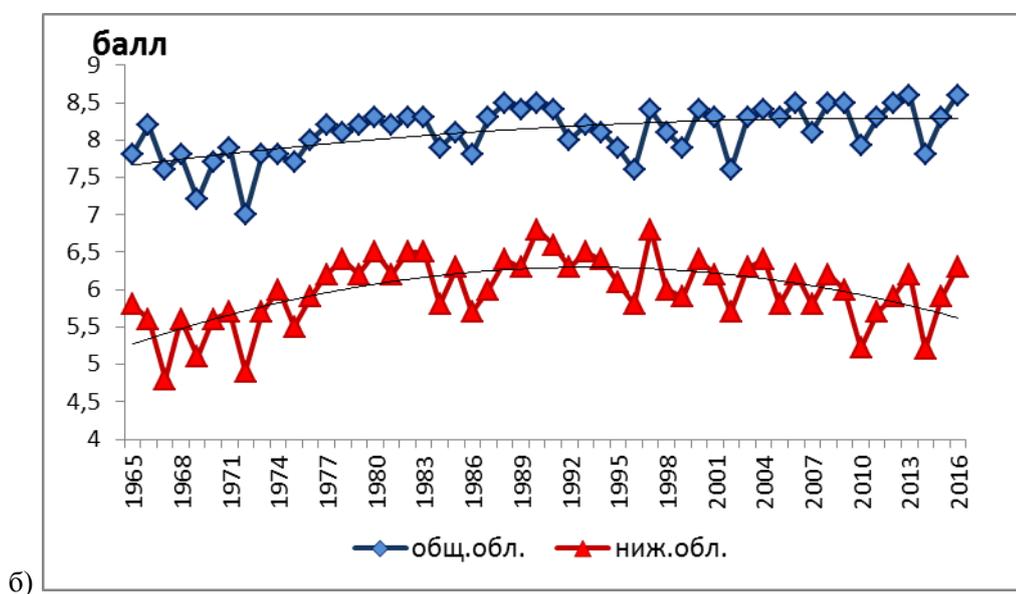
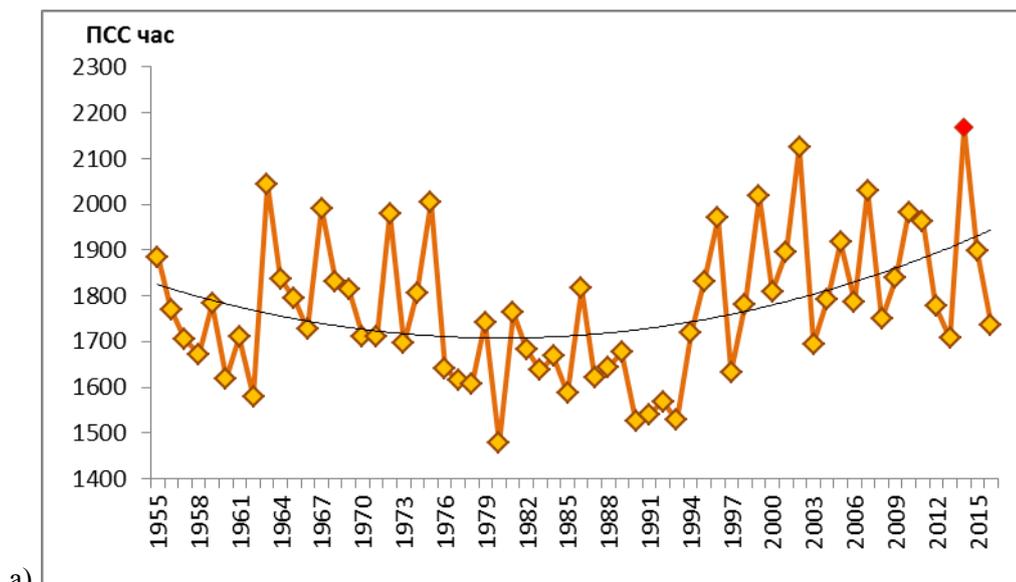


Рисунок 8.4. Многолетние изменения: (а) ПСС, (б) балл общей и нижней облачности за светлое время суток

Часть II. Радиационные параметры атмосферы



9. Характеристика прозрачности атмосферы и составляющих радиационного баланса

Горбаренко Е.В.

Наблюдения за составляющими радиационного баланса подстилающей поверхности и их обработка в Метеорологической обсерватории МГУ производятся строго по наставлениям гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям (РД 52.04.562-96; Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 5, часть I; Росгидромет, М. 1997). В мае 2016 года был заменен балансомер, стоящий на записи, на балансомер №3150.

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

Прозрачность атмосферы в Москве в 2016 была высокой, средние годовые значения коэффициента прозрачности атмосферы и АОТ550 практически повторили рекордные значения 2015 года (табл. 9.1). На протяжении всего года, за исключением июля, значения АОТ550 в два-три раза ниже норм. Максимальное значение в годовом ходе – в июле (рис. 9.1). Существенное превышение норм в этом месяце вызвано влиянием дымной мглы от лесных пожаров накрывшей Западную Сибирь, Урал, часть европейской территории России, дым дошел и до Москвы. Это влияние начало проявляться в Москве со второй половины месяца, 25 и 26 июля значения АОТ550 достигли 0,58 и 0,53 соответственно. Но дымовой аэрозоль быстро вымывался из атмосферы. Июль 2016 года был дождливым, выпало 137 мм осадков, при норме для этого месяца 91 мм.

Уже в августе АОТ550 приблизилось к минимальному значению, а сентябрьское значение повторило минимум за весь период наблюдения. Продолжилась тенденция увеличения прозрачности атмосферы в Москве. На протяжении последних 23 лет средние годовые значения АОТ550 ниже текущей и исторической норм (рис. 9.2).

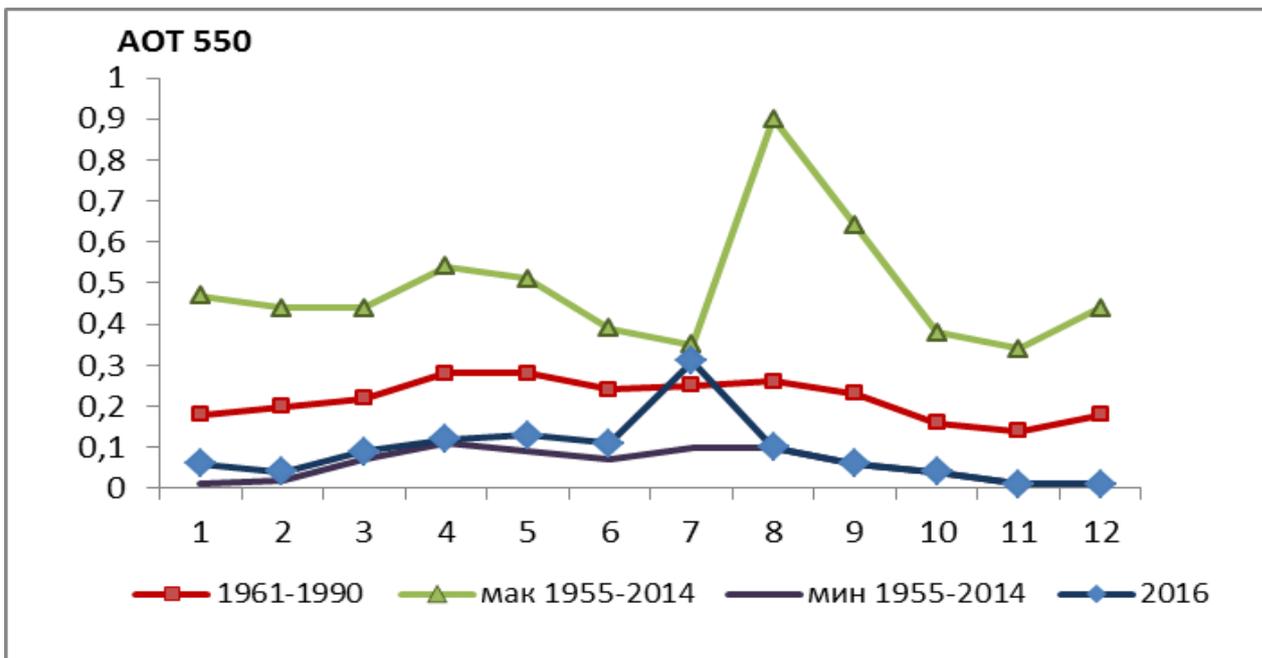


Рисунок 9.1. Годовой ход аэрозольной оптической толщины на длине волны 550 нм

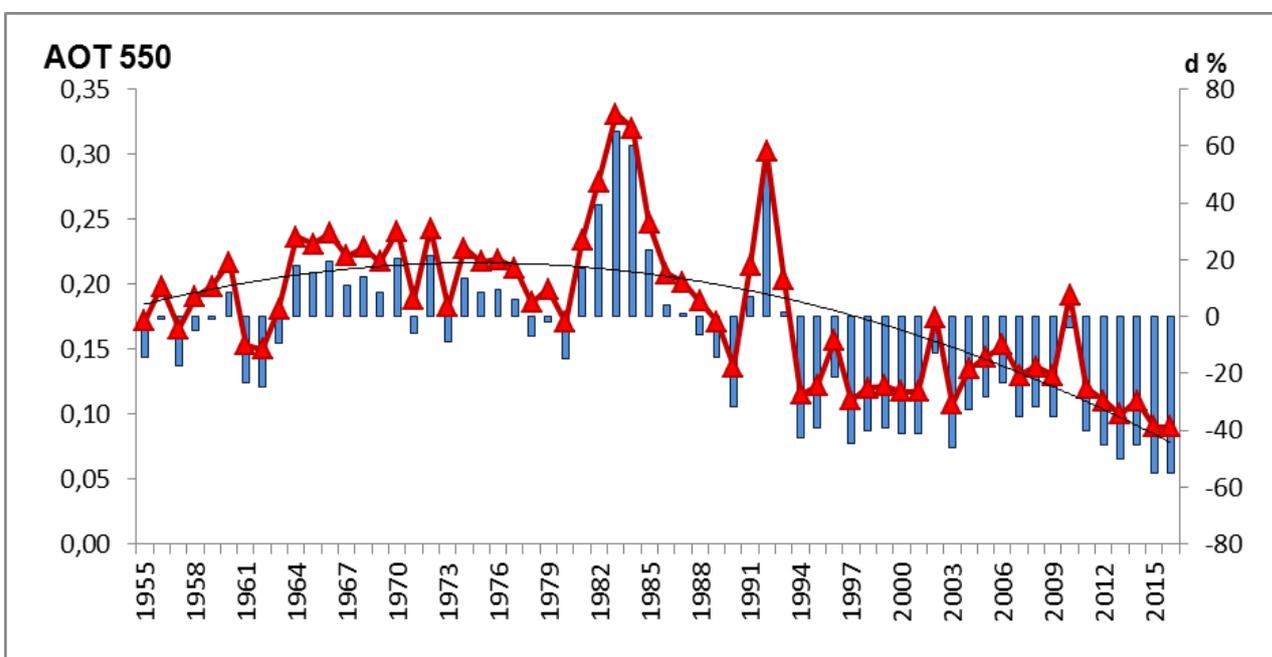


Рисунок 9.2. Многолетняя изменчивость аэрозольной оптической толщины на длине волны 550 нм

Таблица 9.1. Характеристики прозрачности атмосферы

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Коэффициент прозрачности атмосферы													
2016	0,78	0,809	0,788	0,767	0,75	0,756	0,658	0,764	0,781	0,808	0,82	0,807	0,774
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	0,726
d%	3	8	8	11	9	8	-6	10	9	7	7	5	7
АОТ 550													
2016	0,06	0,04	0,09	0,12	0,13	0,11	0,31	0,1	0,06	0,04	0,01	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%	-67	-80	-59	-57	-54	-54	24	-62	-74	-75	-93	-94	-63
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%	-42	-71	-51	-53	-41	-45	47	-58	-70	-71	-91	-86	-49
мин 1955-2015	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
макс 1955-2015	0,01	0,02	0,07	0,09	0,09	0,07	0,1	0,08	0,06	0,03	0,01	0,01	0,09
год	2009	1989	1997	2012	1997	2004, 1994	1980	2015	2003	2013	2003	>3	2015

Примечание: $d\% = (Y_{2016} - Y_{норма}) / Y_{норма} * 100\%$; красным цветом выделены значения соответствующие максимальным значениям за весь период наблюдений

Таблица 9.2. Составляющие радиационного баланса

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Месячные суммы суммарная радиация Q (МДж/м ²)													
2016	62	104	274	373	556	624	594	534	225	97	49	37	3529
1961-1990	64	136	277	390	578	612	582	480	293	147	61	40	3660
d%	-3	-24	-1	-4	-4	2	2	11	-23	-34	-20	-8	-4
1981-2010	55	125	280	396	587	595	598	472	288	145	57	37	3636
d%	12	-17	-2	-6	-5	5	-1	13	-22	-33	-13	0	-3
мин 1958-2015	42	75	197	272	400	458	482	336	194	86	34	22	3346
год	1989	1990	1979	1986	1980	2003	1993	1960	1990	1970, 1986	2003	1960	1990
макс 1958-2015	83	186	371	490	719	769	742	568	371	192	94	61	4065
год	1973, 2010	1969	1996	2014	2002	1968	2010	2015	1974	1987	1967	2002	1963
Доля рассеянной радиации в суммарной D/Q (%)													
2016	84	69	54	45	43	46	52	40	67	72	80	84	52
1961-1990	81	69	62	58	51	51	53	54	59	58	79	88	57
Δ%	3	0	-8	-13	-8	-5	-1	-14	8	14	1	-4	-5
1981-2010	84	74	59	57	50	52	51	53	60	68	81	87	48
Отраженная радиация Rk (МДж/м ²)													
2016	42	63	128	70	120	132	129	119	45	21	29	24	922
1961-1990	40	87	131	68	117	126	117	96	58	32	24	22	918
d%	5	-27	-2	3	2	5	10	24	-23	-34	22	10	0
1981-2010	33	76	127	70	117	116	114	88	54	29	21	19	865
d%	27	-18	1	0	3	13	13	35	-17	-26	39	26	7
мин	22	30	51	37	73	90	92	67	31	14	8	5	682

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
1958-2015													
год	1971	2002	2003	1986	1980	2003	2007	2006	1990	1970	1996	2008	2008
макс 1958-2015	53	133	233	158	155	178	151	135	80	54	44	33	1239
год	1967	1969	1963	1963	1967	1967	1994	2015	1963	1976	1988	1977	1963
Альбедо*, %													
2016	69	61	47	19	22	21	22	22	23	22	59	64	26
1961-1990	63	64	46	17	20	21	20	20	20	21	39	56	25
Δ	6	-3	1	2	2	1	2	2	3	1	20	8	1
1981-2010	60	61	45	18	20	20	19	19	19	20	37	52	24
мин 1958-2015	50	36	19	12	16	18	14	15	15	13	18	23	19
год	1971	2002	2002	1979	1970	> 3 лет	2002	2002	2002	2008	1996	2008	2002
макс 1958-2015	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)													
2016	-23	-7	43	171	284	317	301	263	88	17	-15	-9	1430
1961-1990	-34	-26	30	159	267	299	284	212	99	19	-20	-31	1258
d%	32	73	43	8	6	6	6	24	-11	-11	25	71	14
1981-2010	-21	-16	35	165	278	297	303	215	105	24	-15	-23	1347
d%	-11	56	24	4	2	7	-1	23	-16	-30	0	61	6
мин 1958-2015	-65	-72	-34	115	201	224	237	140	61	-5	-38	-56	1117
год	1972, 1973	1969	1970	1983	1980	2003	1993	1960	1990	1976	1975	1962	1980
макс 1958-2015	4	11	103	218	354	373	374	289	148	48	4	-4	1690
год	2006	2002	2014	2014	2002	1999	2010	2015	2014	2015	2009	2000	2014

Примечание: * – альбедо рассчитано по месячным суммам

Основным геофизическим фактором, регулирующим приход солнечной радиации, является облачность. Увеличение общей облачности и облачности нижнего яруса в 2016 году привело к снижению прихода суммарной интегральной радиации, среднее годовое значение ниже и исторической, и текущей нормы на 4% и 3% соответственно. Существенное уменьшение суммарной радиации относительно норм отмечено в феврале и с сентября по ноябрь, превышение норм – в летние месяцы, наибольшее в году – в августе. Максимальное месячное значение, в соответствии с возможным приходом, определяемым астрономическими факторами, наблюдалось в июне (табл. 9.2, рис. 9.3а). В зимние и осенние месяцы основной вклад в суммарный поток вносила рассеянная радиация, с апреля по июнь роль прямой радиации увеличилась, в августе ее вклад достиг 60% (см. табл. 9.2, рис. 9.3б). Соотношение D/Q в целом за 2016 год составило 52%, что ниже исторической нормы.

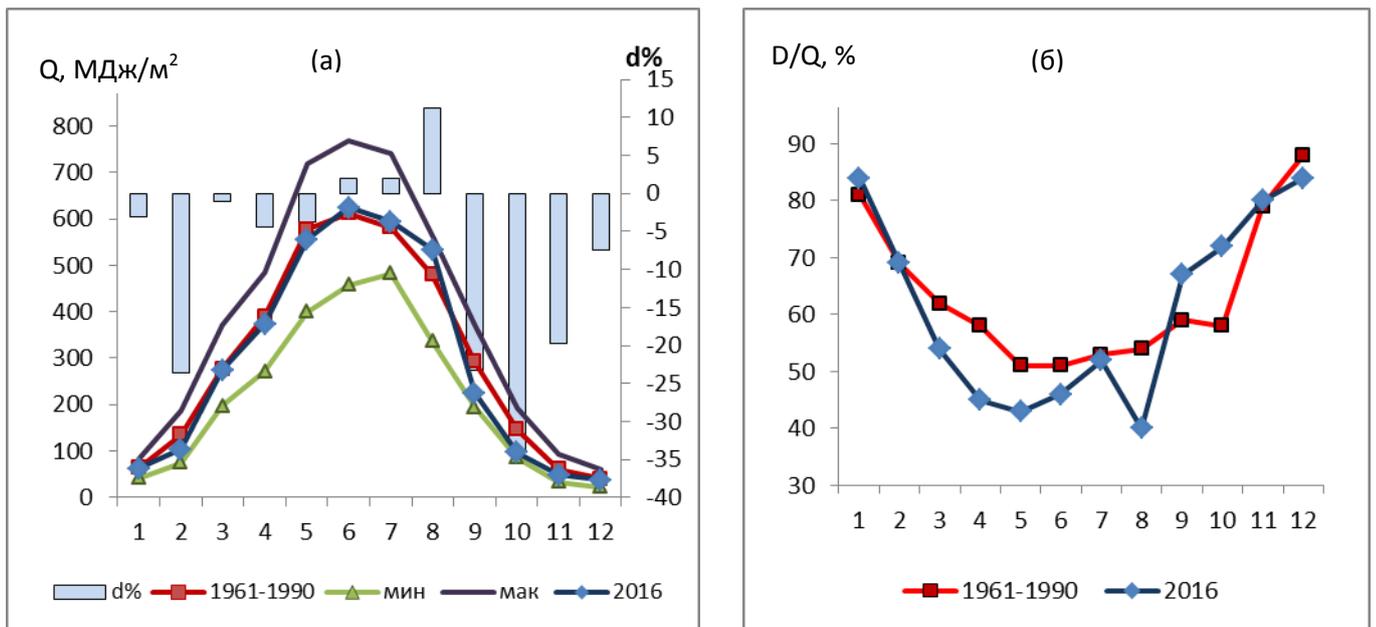


Рисунок 9.3. Годовой ход: (а) суммарной радиации Q , (б) отношения D/Q

Средние суточные значения суммарной радиации (ΣQ_c) в январе, июне и августе превысили средние многолетние значения, но в течение всего года не опускались ниже минимальных и не поднимались выше максимальных значений (табл. 9.3). Для 158 дней в году суточные суммы суммарной радиации выше средних, а для 7 дней года отмечен абсолютный максимум. Для 8 дней 2016 г. суточные суммы меньше минимальных суточных сумм интегральной радиации в эти дни за весь период наблюдений (рис. 9.4).

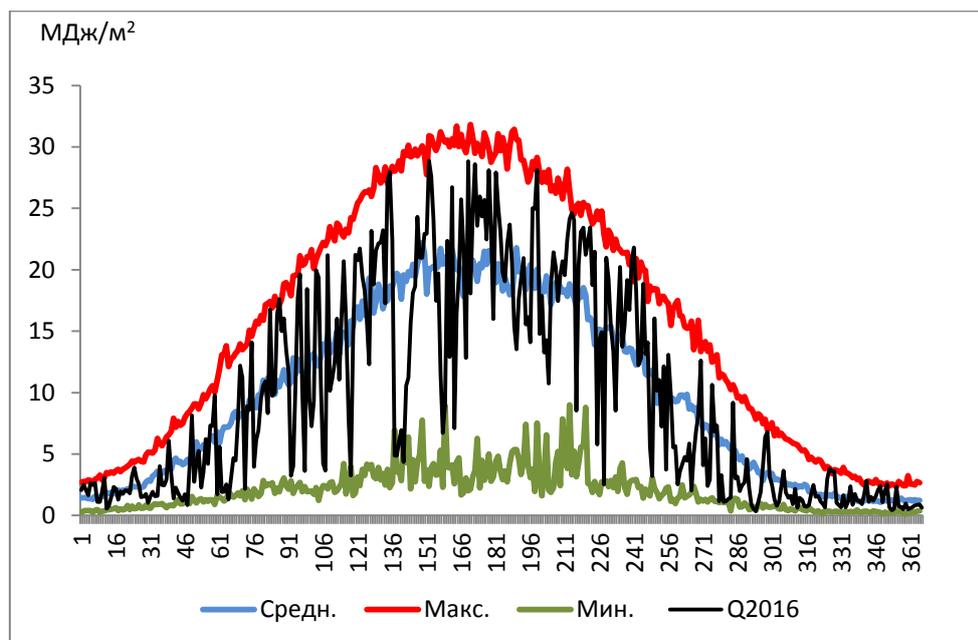


Рисунок 9.4. Суточные суммы суммарной радиации за каждый день 2016 г. и за период 1958-2015 гг.

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

Период (годы)	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1. Средняя суточная сумма												
1958-2015	1,95	4,57	9,07	13,38	18,64	20,31	19,24	15,33	9,65	4,64	1,95	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
2016	1,98	3,58	8,82	12,46	17,93	20,82	19,16	17,22	7,49	3,12	1,65	1,22
σ^*	0,75	2,35	4,91	6,16	7,04	6,60	4,05	5,60	4,52	2,65	1,00	0,68
2. Максимальная суточная сумма												
1958-2015	5,3	10,57	18,95	24,77	30,14	31,82	31,44	26,41	20,62	13,89	6,69	3,29
Год	2014	1975	2001	1988	1996	1977	1973	1980	1994	1967	1975	2002
2016	3,92	9,77	17,59	21,22	28,89	28,84	28,12	24,62	18,86	10,64	3,80	2,83
3. Минимальная суточная сумма												
1958-2015	0,23	0,63	1,19	1,23	2,17	1,68	1,62	1,69	0,98	0,38	0,1	0,12
Год	1995	2002	1989	1970	1974	1993	1973	2004	1981	1983	1987	1960,1989
2016	0,55	0,83	1,31	3,24	4,35	6,72	10,75	2,53	2,04	0,35	0,62	0,42

Примечание: * σ – стандартное отклонение

Изменчивость отраженной радиации R_k связана как с приходом суммарной радиации, так и с состоянием подстилающей поверхности, прежде всего с ее отражающими свойствами. В 2016 году снежный покров установился в ноябре (значение альбедо на 20% превысило нормы) и характеризовался устойчивостью и высокими отражательными свойствами все зимние месяцы. На радость москвичам декабрь был по-настоящему зимним и снежным, что в предыдущие несколько лет не наблюдалось. Значение декабрьского альбедо вернулось к зимнему и превысило историческую норму на 8%, а текущую на 23% (табл. 9.2, рис. 9.5б).

Снег лежал и весь март. Всего 155 дней со снежным покровом и только для 74 дней были зафиксированы оттепели. В теплый период значения альбедо практически во все месяцы соответствовали норме. Годовой ход отраженной радиации типичен для климата Москвы. Наибольшие значения R_k отмечены в летние месяцы, с максимальным значением в июне, мартовский максимум всего лишь на 4 МДж/м² меньше июньского. В марте увеличивается приход солнечной радиации и лежит снежный покров, что определяет второй максимум в годовом ходе R_k (табл. 9.2, рис. 9.5а). В среднем за год отраженная радиация практически равна исторической норме и на 7% выше текущей.

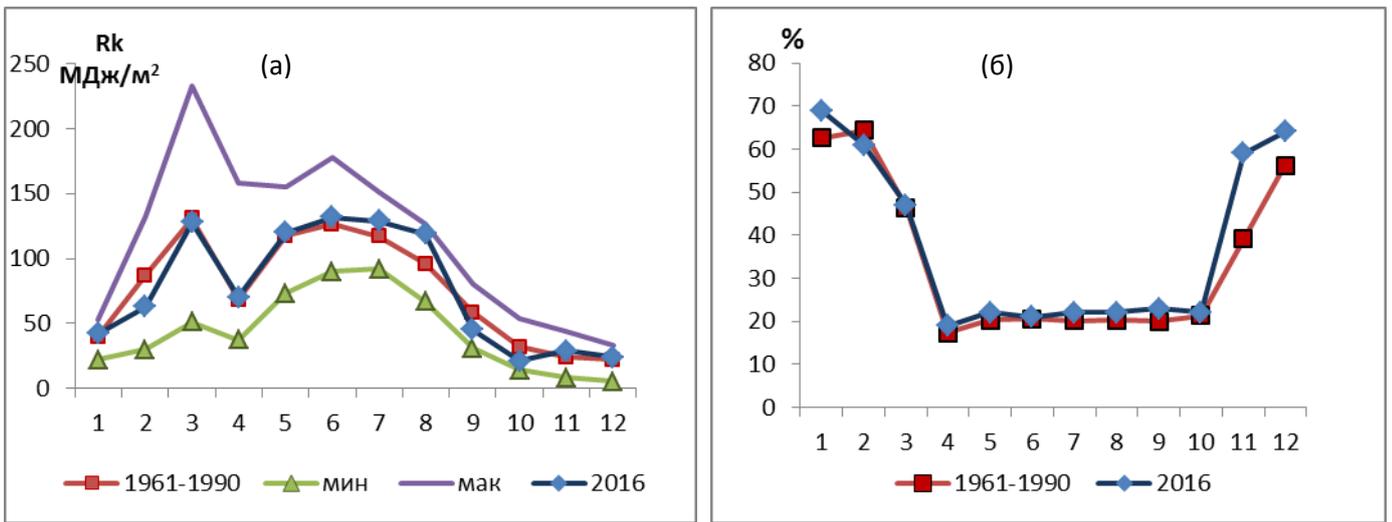
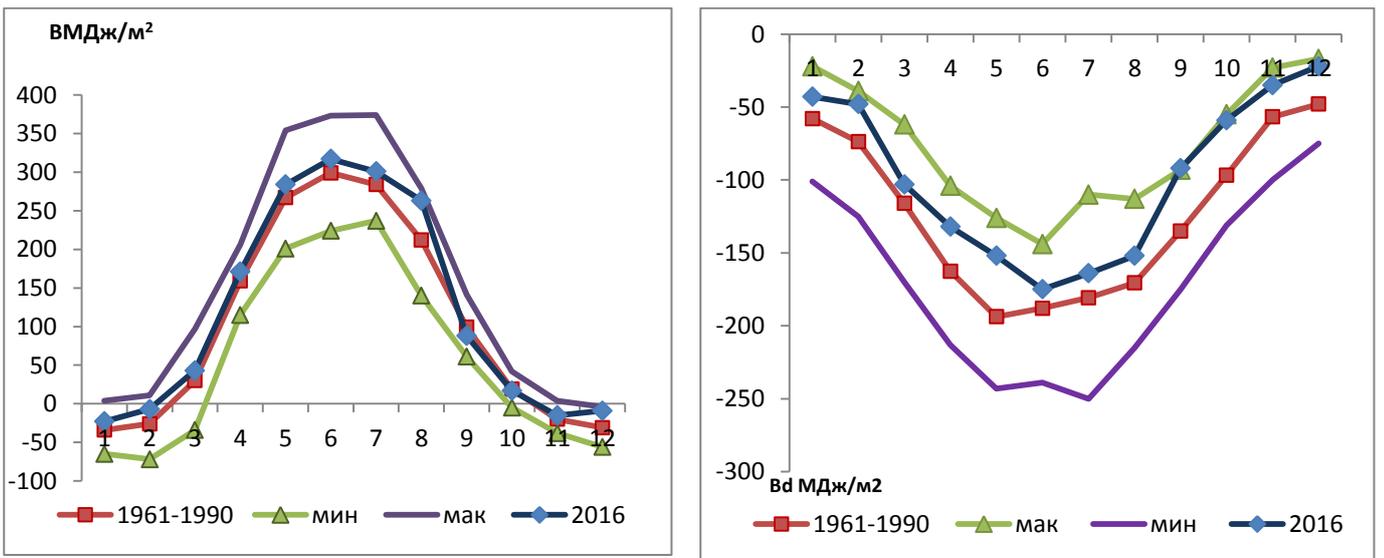


Рисунок 9.5. Годовой ход: (а) отраженной радиации, (б) альbedo подстилающей поверхности

Годовое значение радиационного баланса (B) в 2016 году составило 1430 МДж/м^2 . Значительную часть года земная поверхность больше получала тепла, чем отдавала. Было отмечено 89 дней с отрицательной суточной суммой B . В течение всего года, за исключением сентября и октября, месячные суммы радиационного баланса выше исторической и текущей норм. В январе и июле месячные значения B выше исторической нормы, но ниже текущей (табл. 9.4, рис. 9.6 а).



(а)

(б)

Рисунок 9.6. Годовой ход: (а) общего радиационного баланса, (б) длинноволнового баланса

Тенденция роста радиационного баланса сохранилась (на 14% больше исторической и на 6% больше текущей норм), но по сравнению с 2014 и 2015 годами, годовое значение B уменьшилось более чем на 100 МДж/м² (рис. 9.7).

Для 240 дней в году суточные суммы B превысили средние многолетние значения за это же число. Для 6-и дней значения суточных сумм B превысили максимальные значения для этих дней (рис. 9.8).

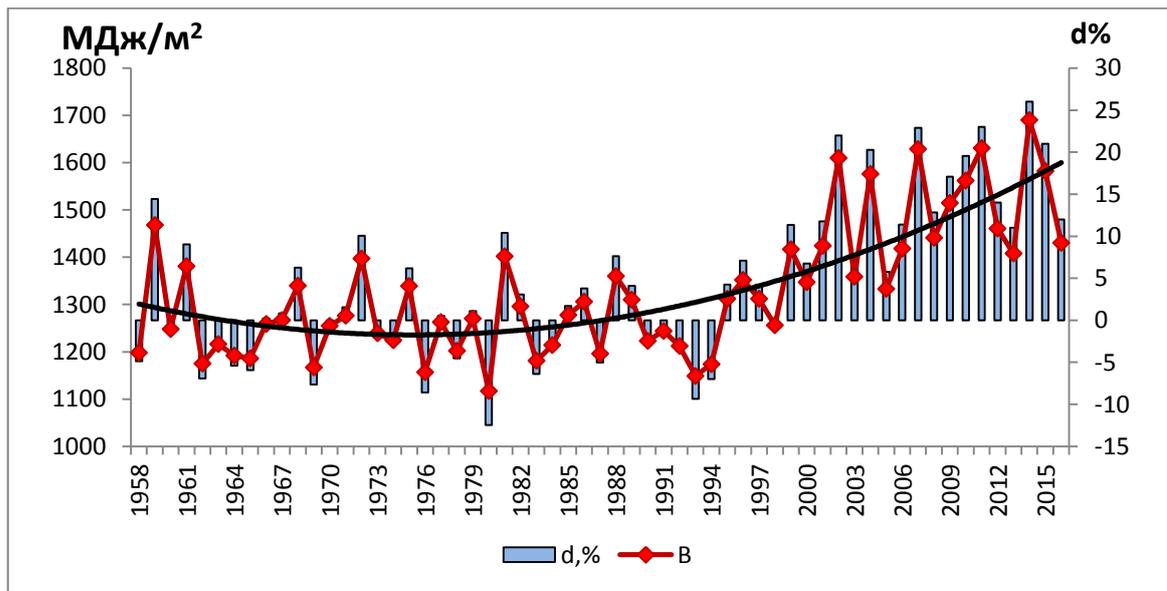


Рисунок 9.7. Многолетние изменения радиационного баланса B и отклонения годовых значений от нормы

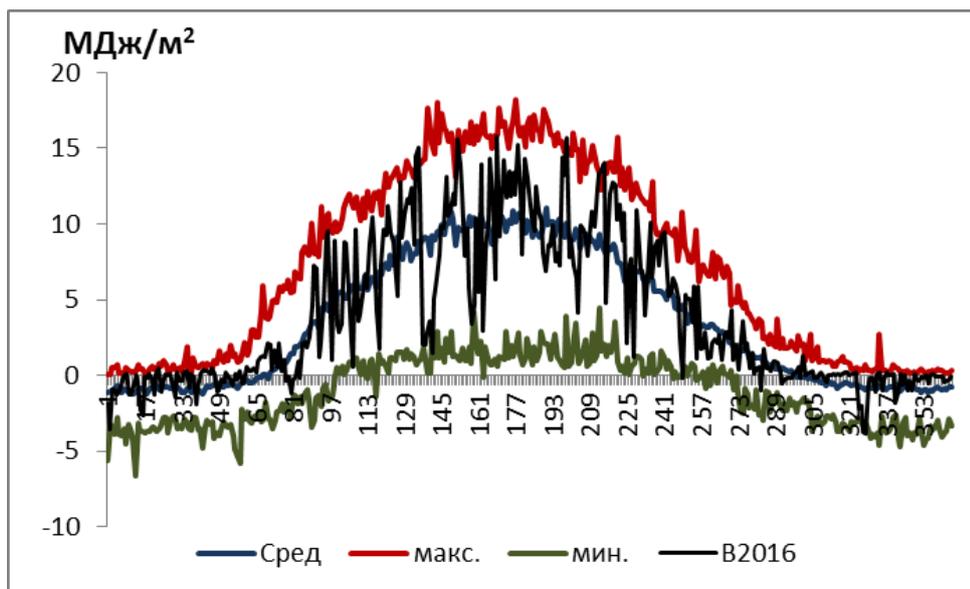


Рисунок 9.8. Суточные суммы общего радиационного баланса за каждый день 2016 г. года и за период 1958-2015 гг.

Увеличение значений общего радиационного баланса в 2016 году происходило, в основном, за счет роста месячных сумм длинноволнового баланса. Для всех месяцев года значения превышают нормы, а годовое значение B_0 на 21% выше исторической и на 17% выше текущей норм (рис. 9.6 а). В то же время поглощенная радиация (коротковолновый баланс) в целом за год и за 8 месяцев года ниже норм (табл. 9.4).

Таблица 9.4. 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 B_k (МДж/м ²)													
2016	20	41	146	303	436	492	465	415	180	76	20	13	2607
1961-1990	24	48	147	321	461	487	465	383	234	115	37	17	2738
d%	-16	-15	0	-6	-5	1	0	8	-23	-34	-45	-25	-5
1981-2010	22	49	153	326	471	479	484	383	234	117	36	18	2771
d%	-10	-16	-5	-7	-7	3	-4	8	-23	-35	-44	-27	-6
мин 1958-2015	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
макс 1958-2015	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 B_d (МДж/м ²)													
2016	-43	-48	-103	-132	-152	-175	-164	-152	-92	-59	-35	-22	-1177
1961-1990	-58	-74	-116	-163	-194	-188	-181	-171	-135	-97	-57	-48	-1482
d%	26	35	11	19	22	7	9	11	32	39	38	54	21
1981-2010	-43	-64	-117	-160	-191	-180	-180	-168	-129	-91	-51	-41	-1415
d%	0	25	12	18	20	3	9	9	29	35	31	47	17
мин 1958-2015	-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
макс 1958-2015	-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

Таблица 9.5. Годовые значения характеристик прозрачности атмосферы и составляющих радиационного баланса

	Q	S _{гop}	D	D/Q	R _к	A _к ,%	AOT550	B
2016	3529	1710	1819	52	922	26	0,09	1430
1961-1990	3660	1584	2073	57	918	25	0,24	1258
d%	-4	8	-12	-9	0	4	-63	14
1981-2010	3636	1619	2016	52	865	24	0	1347
d%	-3	6	-10	1	7	8	-50	6

Выводы

В целом за 2016 год относительно текущей и исторической норм отмечены следующие тенденции (табл. 9.5):

- увеличение прозрачности атмосферы
- увеличение прямой солнечной радиации
- уменьшение рассеянной радиации
- уменьшение суммарной интегральной радиации
- увеличение общего радиационного баланса и его длинноволновой части
- уменьшение поглощенной радиации.

Литература

Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В. Прозрачность атмосферы в Москве за последние 50 лет и её изменения на территории России. – М.: Издательство ЛКИ, 2008, 192 с.

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

10. Особенности режима фотосинтетически активной радиации

Сошинская И.В., Шиловецова О.А.

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 измерения 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 2016 г. продолжалась непрерывная регистрация суммарной ФАР с дискретностью 1 минута по прибору LI-190SL № 46141.

Наблюдения 2016 г. сравнивались со средними величинами ФАР за период 1999-2013 гг. (далее – нормы).

Годовая сумма ФАР (Q_f) в 2016 г. была меньше многолетней на 10% и составила 1484 МДж/м². Суммарная интегральная радиация и продолжительность солнечного сияния также оказались меньше средних значений на 4 и 7% соответственно. 2016 год занимает предпоследнее место по приходу суммарной ФАР в ряду 1999-2016 гг., больше лишь на 3% (49 МДж/м²) наблюдавшегося минимума в 2008 году и на 15% (320 МДж/м²) меньше наблюдавшегося максимума 2014 года (табл. 10.1).

Сезонные суммы. Основной вклад в уменьшение годовой суммы ФАР, как и суммарной интегральной радиации, в 2016 году оказала осень, когда сумма ФАР была на 21% меньше многолетнего значения. Во все остальные сезоны сумма фотосинтетически активной радиации была так же меньше нормы – на 1% летом, на 7% зимой и на 9 % весной.

Таблица 10.1. Сезонные и годовые суммы ФАР, суммарная интегральная солнечная радиация и факторы, определяющие их приход к земной поверхности в 2016 году и в среднем за 1999-2013 гг. (норма)

		Зима*	Весна	Лето	Осень	год
ФАР, Q_b , МДж/м ²	2016	80	503	742	159	1484
	1999-2013 гг. ± ДИ***	86±5	550±19	737±26	201±11	1574±45
	V, %	11	6	6	10	4
	δ_{2016} , %	-7	-9	-1	-21	-6
	Максимум Год	101 2010	624 2002	813 2014	237 2014	1714 2014
	Минимум Год	69 2008	479 2008	663 2003	148 2013	1435 2008
Суммарная интегральная радиация, Q МДж/м ²	2016	203	1203	1753	371	3530
	1999-2013	208	1293	1697	487	3692
	δ_{2016} , %	-3	-7	3	-24	-4
Аэрозольная оптическая толщина, АОТ550	2016	0,04	0,11	0,17	0,04	0,09
	1999-2013	0,06	0,16	0,19	0,12	0,14
	δ_{2016} , %	-39	-29	-9	-69	-36
Продолжительность солнечного сияния, ПСС, час	2016	96	595	884	156	1736
	1999-2013	112	638	851	272	1871
	δ_{2016} , %	-14	-7	4	-43	-7
Доля ПСС от возможной	2016	16	45	58	15	39
	1999-2013	15	50	57	28	42
Общая облачность, балл	2016	9,2	7,9	7,8	9,3	8,6
	1999-2013	9,0	7,8	7,6	8,7	8,3
	δ_{2016} , %	2	1	3	7	4
Нижняя облачность, балл	2016	7,4	5,6	4,5	8,1	6,4
	1999-2013	7,5	4,9	4,7	6,9	6,0
	δ_{2016} , %	-1	14	-4	17	7
Альbedo подстилающей поверхности, %	2016	56	29	22	35	-
	1999-2013	58	32	19	23	-
	δ_{2016} , %	-4	-8	14	51	-

Примечание: ДИ – доверительный интервал, δ – среднеквадратичное отклонение

Вышеперечисленные тенденции изменения сезонных сумм ФАР обусловлены изменениями факторов, влияющих на ее поступление. Так, осенью 2016 года отмечается значительное, по сравнению с нормой, уменьшение (на 24%) прихода интегральной суммарной радиации, которая в свою очередь связана с увеличением нижней облачности на 17% (табл. 10.1). Что касается весеннего снижения суммарной ФАР, то это также связано со значительным увеличением нижней облачности (на 14%).

Оценка тренда многолетнего изменения суммарной ФАР по сезонам показала, что зимой и летом суммарная ФАР имеет тенденцию к увеличению, тогда как весной и осенью тенденция обратная (рис.10.1).

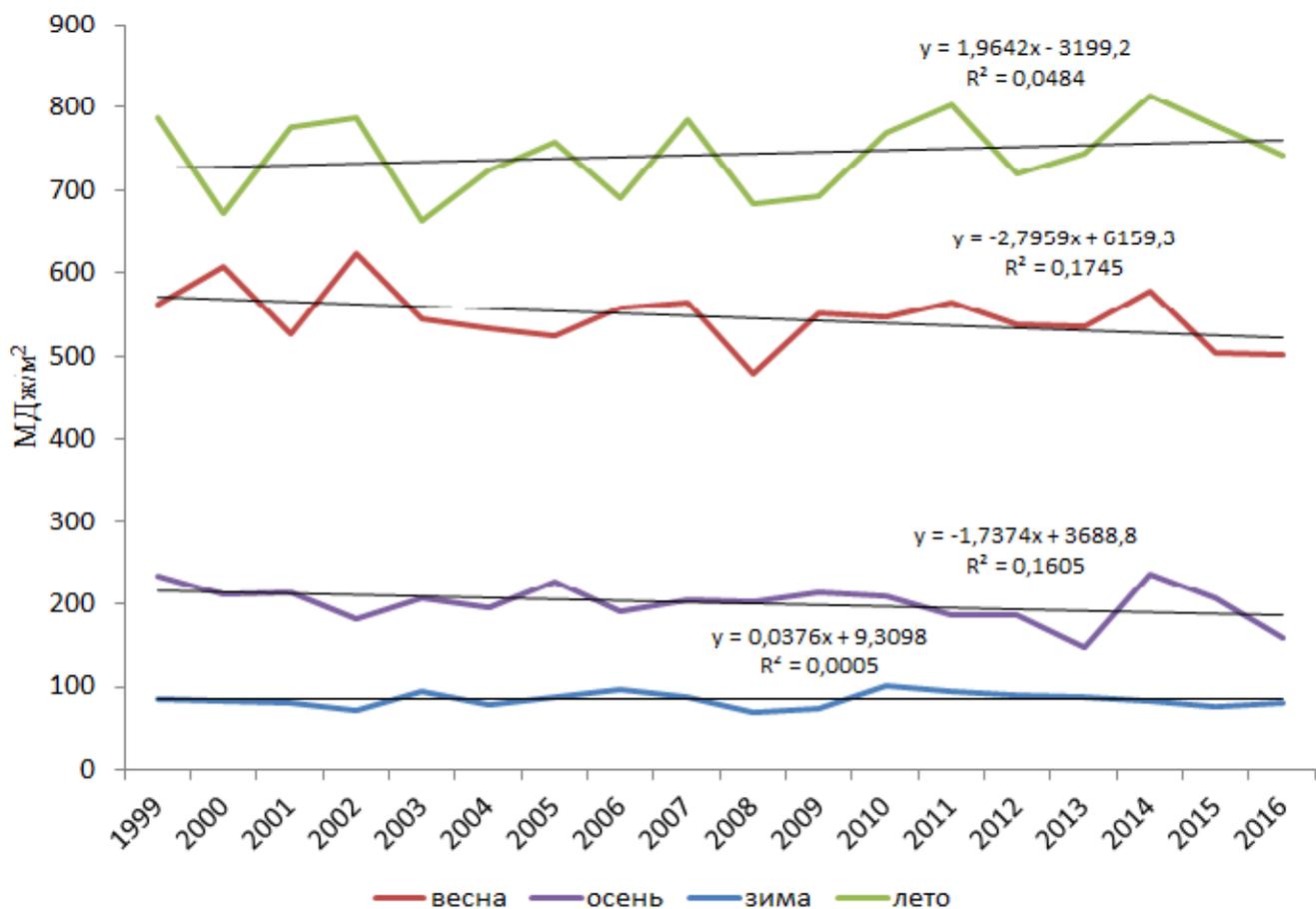


Рисунок 10.1. Тенденции многолетнего изменения прихода ФАР по сезонам

Месячные суммы. Как уже было отмечено выше, осень 2016 года, была более пасмурной, чем обычно, что оказало воздействие на уменьшение прихода ФАР за год. В 2016 г. отсутствовало «бабье лето», в сентябре и октябре отмечено значительное ($\delta > V$) уменьшение суммы ФАР. При этом в октябре был перекрыт октябрьский минимум 2002 года. Значительно меньше нормы оказалось также значение ФАР в феврале и в апреле, но минимумы перекрыты не были. Положительные отклонения не столь значительны (в пределах коэффициента вариации) и наблюдались только в трех месяцах – в январе, августе и декабре 2016 года (табл. 10.2).

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

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
2016	25	42	108	157	237	268	252	221	98	41	20	15	1484
норма	23	50	115	177	258	271	265	202	123	57	21	13	1574
δ, %	9	-16	-6	-11	-8	-1	-5	10	-20	-28	-3	15	-6
V, %	20	14	10	7	11	12	9	12	14	17	20	29	4
макс	34	60,5	133	201	318	335	316	244	144	78	32	23	1714
год	2010	2007	1999	2014	2002	1999	2014	2005	2014	2005	1999	2002	2013
min	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	2002

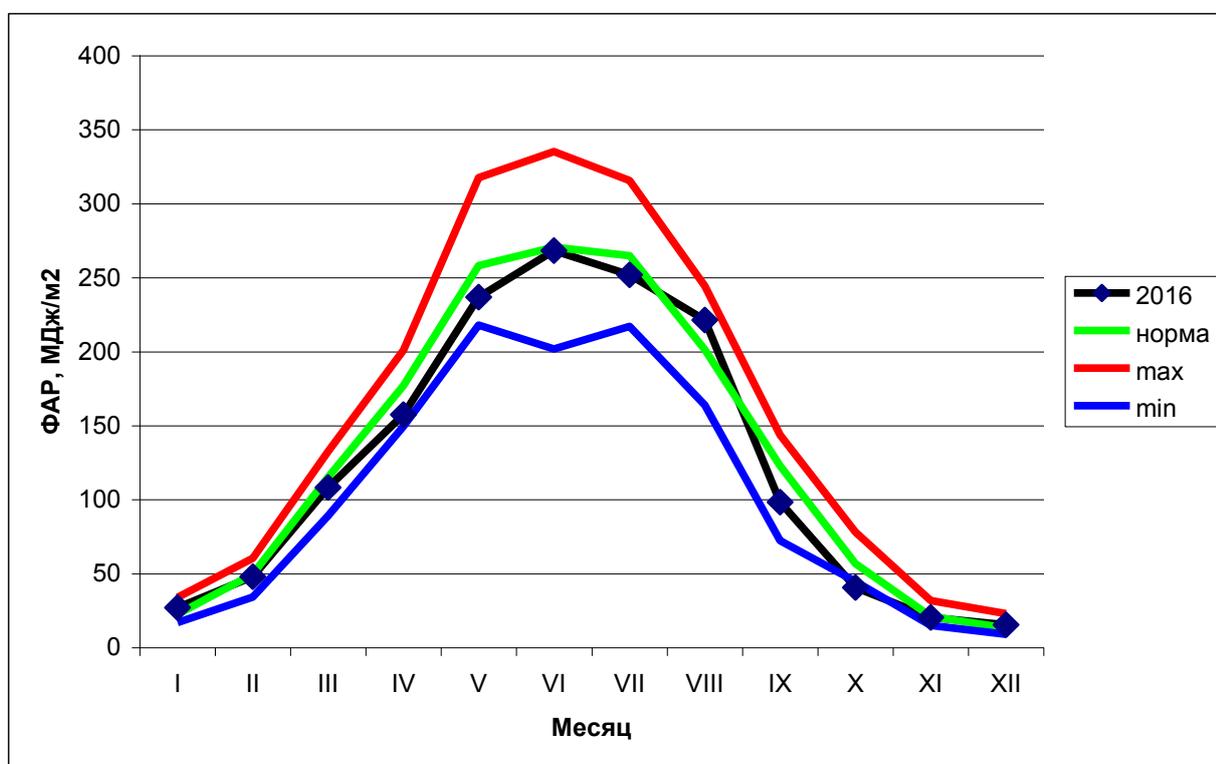


Рисунок 10.2. Годовой ход месячных сумм фотосинтетически активной радиации в 2016 году, максимальных, минимальных и средних значений за 1999-2015 гг.

Вклад ФАР в годовую сумму суммарной интегральной радиации в 2016 году составил 42%, в месячных суммах он менялся от 39% в марте до 44% в сентябре (табл. 10.3). Нужно отметить, что в 2016 году во все летние и весенние месяцы доля ФАР в суммарной интегральной радиации была ниже средней.

Таблица 10.3. Доля ФАР в суммарной интегральной радиации %

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
2016	40%	40%	39%	42%	43%	43%	42%	41%	44%	42%	42%	42%	42%
1999-2013	40%	40%	40%	42%	44%	44%	43%	43%	41%	41%	40%	39%	43%

Суточные суммы суммарной ФАР в течение года менялись от 0,16 до 12,6 МДж/м². Приход суммарной ФАР колеблется ото дня ко дню в широких пределах (рис. 10.3), в зависимости в основном от облачности, а также от прозрачности атмосферы и альbedo подстилающей поверхности (табл. 10.4)

Таблица 10.4. Среднесуточные значения ФАР а 2016 году, в среднем за период 1999-2013, максимальные и минимальные значения за 1999-2013 гг. (400-700 нм, МДж/м²)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2016	0,88	1,65	3,49	5,25	7,65	9,05	8,13	7,14	3,27	1,19	0,68	0,50
1999-2013	0,73	1,75	3,71	5,93	8,33	8,99	8,49	6,48	4,02	1,79	0,68	0,43
d, %	20	-6	-6	-11	-8	1	-4	10	-19	-34	0	17
max	2,08	4,23	5,84	9,16	12,05	12,86	11,73	9,64	6,64	3,76	1,61	0,94
min	0,13	0,21	1,25	1,93	2,78	3,60	3,82	2,34	0,96	0,49	0,21	0,13

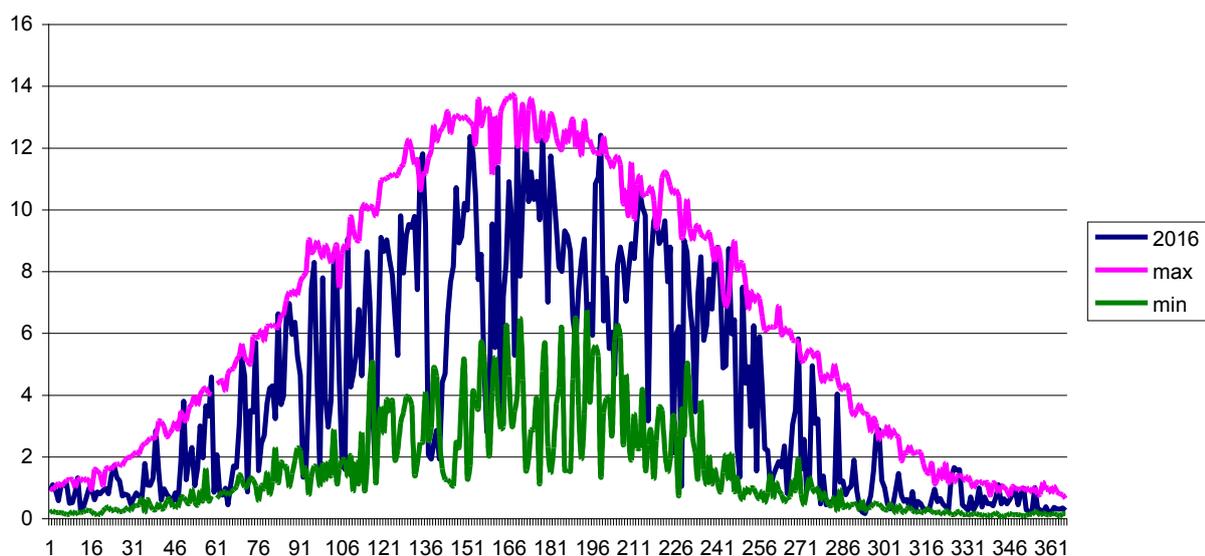


Рисунок 10.3. Суточные суммы суммарной фотосинтетически активной радиации в 2016 году, максимальные и минимальные значения за период 1999-2015 гг

Суточное значение ФАР в 2016 году превышало среднее за 1999-2013 гг. значение за тот же день 168 дней, при этом максимумы этих дат были перекрыты 25 дней (10 зимой и по 5 дней весной, осенью и летом). 198 раз в год суточная сумма ФАР не превышала норму за тот же день, и 29 дней были перекрыты суточные минимумы (13 весной, 7 летом и 9 осенью). Отметим, что ни абсолютный минимум (0,04 МДж/м²), ни абсолютный максимум (13,73 МДж/м²) суточных значений перекрыт не был. Максимальная суточная сумма в 2016 году наблюдалась 17 июня – 12,64 МДж/м², минимальная – 20 октября (0,16 МДж/м²).

Для сельского хозяйства наибольший интерес представляет информация о приходе ФАР за вегетационный период. Под вегетационным периодом подразумевается количество суток со средними температурами 5°C и выше (далее ВП5).

Вегетационный сезон ВП5 в 2016 году начался 5 апреля и закончился 9 октября и составил 187 дней. В среднем для периода 1999-2013 продолжительность ВП5 в Москве длится 190 дней (с 8.04 по 14.10), а для исторического периода ВМО 1961-1990 продолжительность меньше – 183 дня, с 16.04 по 15.10. Длительность вегетационного периода в 2016 году всего лишь на 0,5% меньше нормы и на 2% больше исторического значения (табл. 10.5).

Суммарная величина ФАР за ВП5 в 2016 году была немного (на 5%) выше современной нормы. При этом суммы температур за вегетационный период 2016 года были лишь немного (на 4%) выше современной нормы за счет третьей декады июля и теплого августа, и на целых 20% выше средней суммы температур за базовый период ВМО. Что касается осадков, то лето в вегетационный период выдалось более дождливым: на 40% выпало больше осадков, чем в среднем в 1999-2013 и на 42% – чем в среднем в 1961-1999 гг. Всего за вегетационный период наблюдалось 113 дней с дождем (60% дней).

Таблица 10.5. Характеристики вегетационного периода 2016 г

Годы	ВП5		Σt °С	Σ Q _f МДж/м ²	Осадки мм
	Период	Дни			
2016	06.04-09.10	187	2989	1227	575
1999-2013	08.04-14.10	190	2869	1290	414
1961-1999	16.04-15.10	183	2494	-	405

В годовом ходе средние многолетние суммы ФАР по декадам меняются от 4,15 МДж/м² в первой декаде декабря до 91,1 МДж/м² в третьей декаде июля. В 2016 году суммы ФАР за декады колебались от 3,2 в третьей декаде декабря до 104,2 в третьей декаде июня.

Выводы

Таким образом, в 2016 году:

- годовая сумма ФАР оказалась на 10% меньше средней за период 1999-2013 гг.
- максимальная отрицательная аномалия (-21%) сезонных сумм ФАР наблюдалось осенью; во все сезоны сумма ФАР оказалась меньше, чем в среднем за 1999-2013;
- наибольшие отклонения месячных значений от нормы отмечались:
 - ✓ в отрицательную сторону – в сентябре (-20%) и октябре (-28%), при этом в октябре был перекрыт абсолютный минимум 2002 года
 - ✓ в положительную сторону – в августе (+10%) и в два зимних месяца (январь и декабрь 2016);
- максимальная суточная сумма наблюдалась 17 июня – 12,64 МДж/м², минимальная – 20 октября (0,16 МДж/м²).

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.

11. Режим естественной освещенности земной поверхности

Сошинская И.В., Шиловецова О.А., Горбаренко Е.В.

Раздел посвящен анализу режима естественной освещенности горизонтальной поверхности в 2016 году.

Естественная освещенность земной поверхности – это фотометрическая величина, создаваемая солнечным излучением в диапазоне длин волн 380-760 нм, которую оценивают по зрительному восприятию человека. Она измеряется в фотометрических единицах – килोलюксах (клк). Естественная освещенность является одним из важных экологических факторов, обеспечивающих благоприятность среды для проживания человека, жизнедеятельности животных и растений.

Количество освещения (E_Q) в Метеообсерватории МГУ (МО МГУ) оценивается в килोलюкс-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/Вт = 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 2016 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.

Годовое количество освещения суммарным светом в 2016 году составило 108 Млк·ч, что на 2% меньше многолетней нормы ($E_{Qcp} = 110$ Млк·ч). В ранжированном ряду с 1964 года сумма 2016 года стоит на 18 месте, повторяемость градации 108-109 Млк·ч, куда попала сумма, является первой по величине и составляет 23% (рис. 11.1).

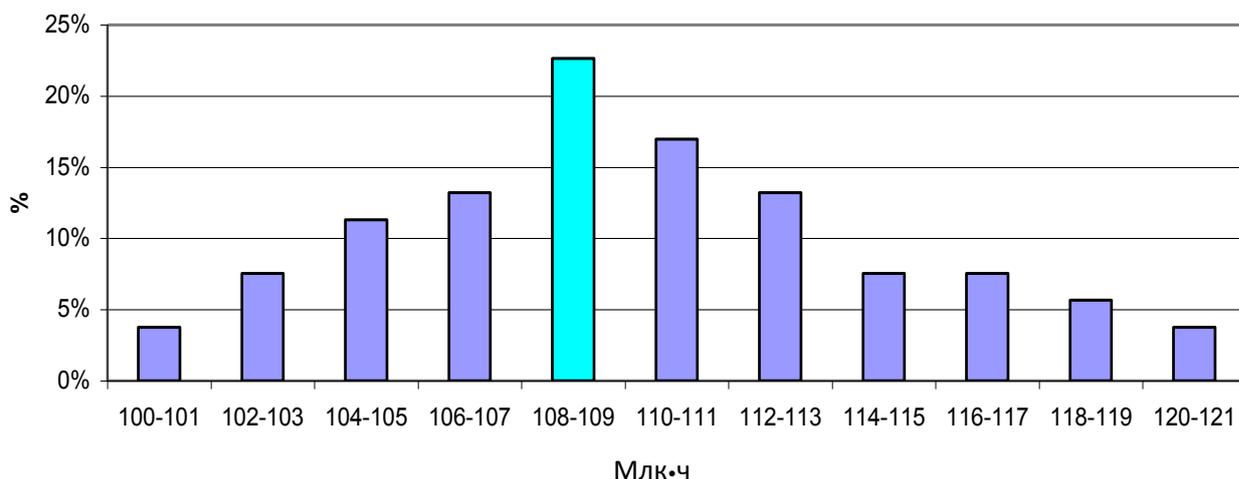


Рисунок 11.1. Повторяемость годовых сумм освещенности E_Q за период наблюдений с 1964 года, Млк·ч

Анализ многолетней изменчивости количества освещения за 53 года показал его квазипериодическую изменчивость и тенденцию к росту на 0,75 Млк·ч за 10 лет (рис.11.2). Рассматриваемый 2016 год не превысил максимальную сумму освещенности, которая наблюдалась в 2002 году и составляла 120,3 Млк·ч, минимальное количество освещения суммарным светом наблюдалось в 1974 году 100,8 Млк·ч.

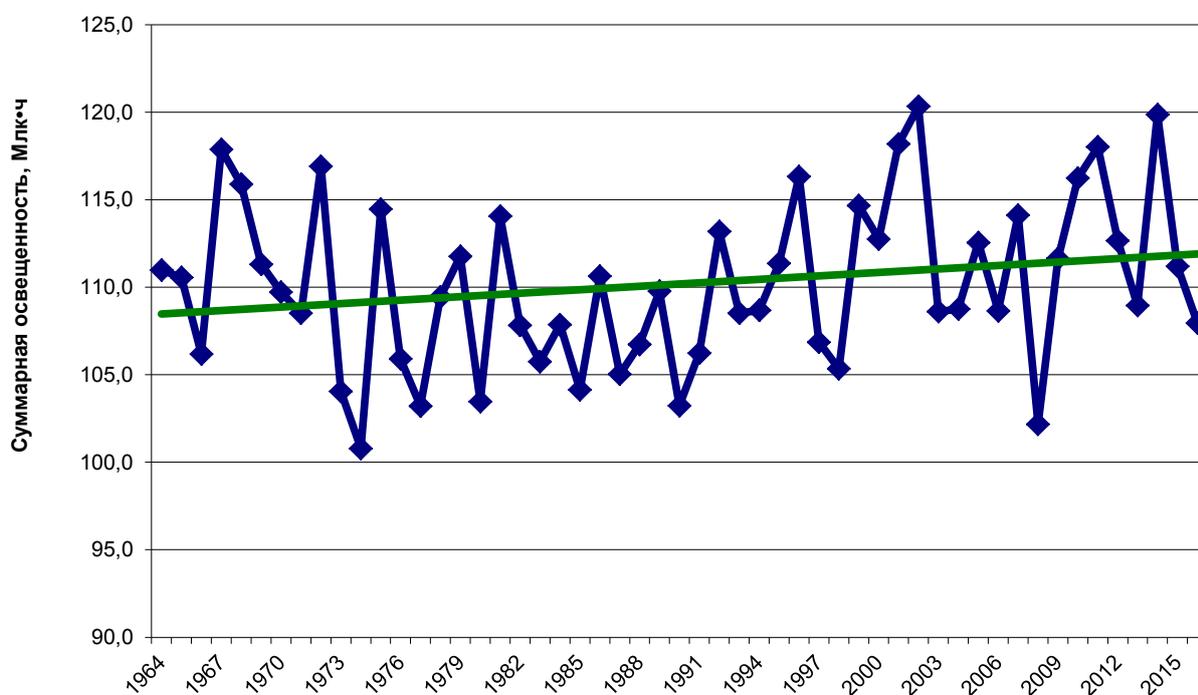


Рисунок 11.2. Многолетнее изменение годового количества естественного суммарного освещения в Москве за период наблюдений с 1964 года, Млк·ч

Таблица 11.1. Сезонные и годовые суммы количества освещения суммарным светом, суммарная интегральная солнечная радиация и факторы, определяющие их приход к земной поверхности в 2016 году и в среднем за 1964-2013 гг. (норма)

		Зима*	Весна	Лето	Осень	Год
Естественная освещенность земной поверхности E_Q , клк·час	2016	5566	37172	53617	11481	107956
	1964-2013	6284	37528	51576	14613	110013
	δ_{2016} , %	-12	-1	4	-21	-2
	Максимум	7910	44542	58503	18411	120323
	Год	1969	2002	2011	1967	2002
Световой эквивалент L_{EQ} , лм/Вт	2016	99	111	110	111	110
	1964-2013	100	108	111	108	108
Суммарная интегральная радиация Q , МДж/м ²	2016	203	1203	1753	371	3530
	1964-2013	228	1252	1679	489	3648
	δ_{2016} , %	-11	-4	4	-24	-3
Аэрозольная оптическая толщина, АОТ550	2016	0,04	0,11	0,17	0,04	0,09
	1964-2013	0,13	0,23	0,22	0,16	0,19
	δ_{2016} , %	-72	-51	-21	-77	-53
Продолжительность солнечного сияния ПСС, час	2016	96	595	884	156	1736
	1964-2013	112	638	851	271	1872
	δ_{2016} , %	-14	-7	4	-43	-7
Доля от возможной ПСС, %	2016	15,5	45	58	15	39
	1964-2013	15	50	57	28	39
	$\delta_{2016-ср}$	0,5	-2	1	-7	0
Общая облачность, балл	2016	9,2	7,9	7,8	9,3	8,6
	1964-2013	8,7	7,7	7,3	8,6	8,1
	δ_{2016} , %	5	3	7	9	6
Нижняя облачность, балл	2016	7,4	5,2	4,5	8,1	6,3
	1964-2013	7,0	5,1	4,9	7,0	6,0
	δ_{2016} , %	6	10	-8	15	7
Альbedo подстилающей поверхности, %	2016	56	29	22	35	-
	1964-2013	61	29	19	26	-
	δ_{2016} , %	-9	1	14	33	-

* – декабрь 2015 года, январь и февраль 2016 года

Сезоны. Если в целом годовое значение освещенности меньше нормы всего лишь на 2% и входит в интервал наиболее часто повторяющихся величин, то для сезонов наблюдаются интересные отклонения от нормы. Наиболее значительное отрицательное отклонение –21% наблюдалось осенью, положительное отклонение +4% зафиксировано

только летом. Зимой и весной количества освещения в 2016 году было меньше нормы на 12% и 1% соответственно.

Как видно из рисунка 11.4 и таблицы 11.1, наибольшее отклонение освещенности от нормы определяется факторами, влияющими на приход суммарной солнечной радиации к земной поверхности. Так, положительное отклонение летом 2016 года связано с меньшим количеством нижней облачности, а значительное отрицательное отклонение осенью 2016 года – с большей облачностью, как нижней, так и верхней, что в свою очередь повлияло на значительное отрицательное отклонение от нормы суммарной солнечной радиации и ПСС (см. главу 8 и 9). За теплый сезон (с мая по сентябрь) поступило 73% от годовой суммы (78,7 Млк.ч), что всего лишь на 1% больше нормы (77,9 Млк.ч).

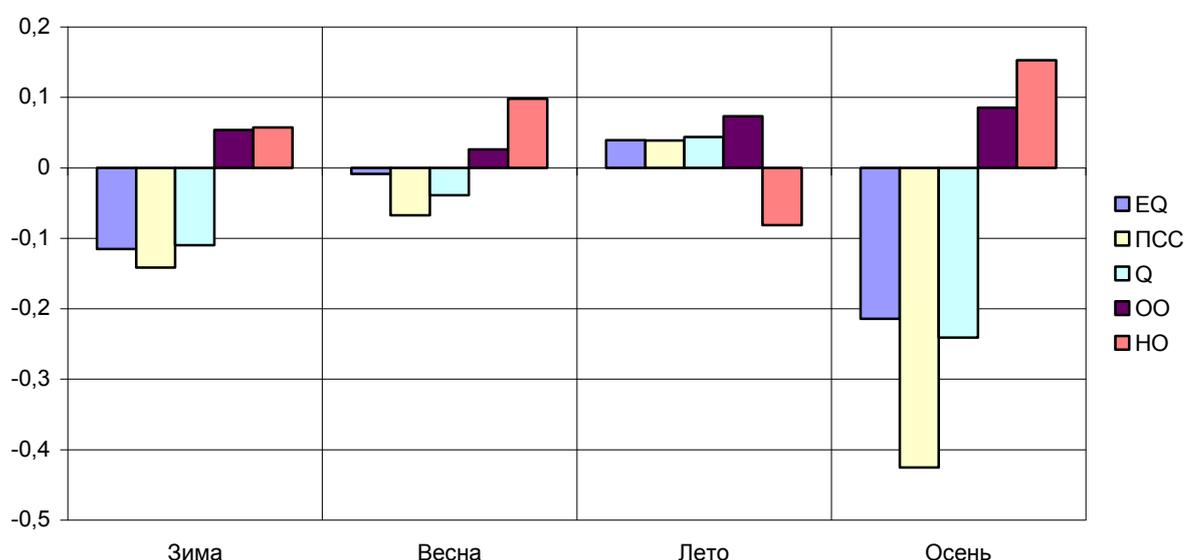


Рисунок 11.4. Сезонные отклонения в 2016 году освещенности (E_Q), продолжительности солнечного сияния (ПСС), суммарной солнечной радиации (Q), общей (ОО) и нижней (НО) облачности от нормы (1964-2013 гг.)

Месячные значения. Рассмотрим более подробно, какие месяцы определяли характер изменения сезонных сумм естественной освещенности.

В течение 2016 года месячные суммы E_Q изменялись от 1,02 Млк.ч в декабре до 19,39 Млк.ч в июне. Поступление суммарного освещения значительно больше нормы ($\delta_{2016} > V$) наблюдалось только в августе. Причем в этом же месяце процент количества освещения от возможного (при отсутствии облачности) был наибольшим (69%), а также был

значительным вклад прямой солнечной радиации в суммарную (60%). Июнь был чуть выше нормы по всем показателям, а вот в июле из-за дождей и большого количества нижней облачности освещенность была ниже нормы, что уменьшило процент положительного отклонения от нормы в летний период.

Таблица 11.2. Количество освещения суммарным светом E_Q за месяц (Мкл•час) в 2016 году и в среднем за период 1964-2013 гг.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2016	1,70	2,96	7,76	11,40	18,01	19,39	17,96	16,26	7,10	2,93	1,45	1,02
1964-2013	1,66	3,63	8,17	11,79	17,55	18,69	18,27	14,64	8,74	4,20	1,67	1,00
V, %	17	17	12	11	11	10	9	9	14	16	21	20
δ , %	2	-18	-5	-3	3	4	-2	11	-19	-30	-13	2
max год	2,21 2010	4,99 1969	10,77 1969	14,57 2014	22,39 2002	22,38 1968	22,73 2014	17,43 2015	11,35 2014	5,62 1987	2,68 1967	1,67 2002
min год	1,11 1989	2,22 1990	5,67 1979	8,35 1986	12,54 1974	14,51 2003	15,04 2000	11,57 1998	5,07 2013	2,33 1970	1,02 2003	0,69 1965

Таблица 11.3. Отношение фактического освещения за месяц к возможному и световой эквивалент в 2016 году и в среднем за период 1964-2013 гг.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Процент фактической от возможной освещенности												
2016	58	50	59	57	69	68	63	69	46	34	39	49
1964-2013	57	61	63	59	67	65	64	62	56	48	45	48
Световой эквивалент, лм/Вт												
2016	100	103	102	110	117	112	109	110	114	109	105	98
1964-2013	99	101	106	107	109	110	111	111	109	106	105	97
Альбедо, %												
2016	69	61	47	19	22	21	22	22	23	22	59	64
1964-2013	61	62	47	18	20	20	19	19	19	21	37	54
Суммарная радиация Q (МДж/м ²)												
2016	62	104	274	373	556	624	594	534	225	97	49	37
1964-2013	60	130	278	396	578	611	592	476	289	143	58	37

Наибольшие отрицательные отклонения от нормы в 2016 году наблюдались в феврале, а также во все осенние месяцы – с сентября по ноябрь (рис. 11.5).

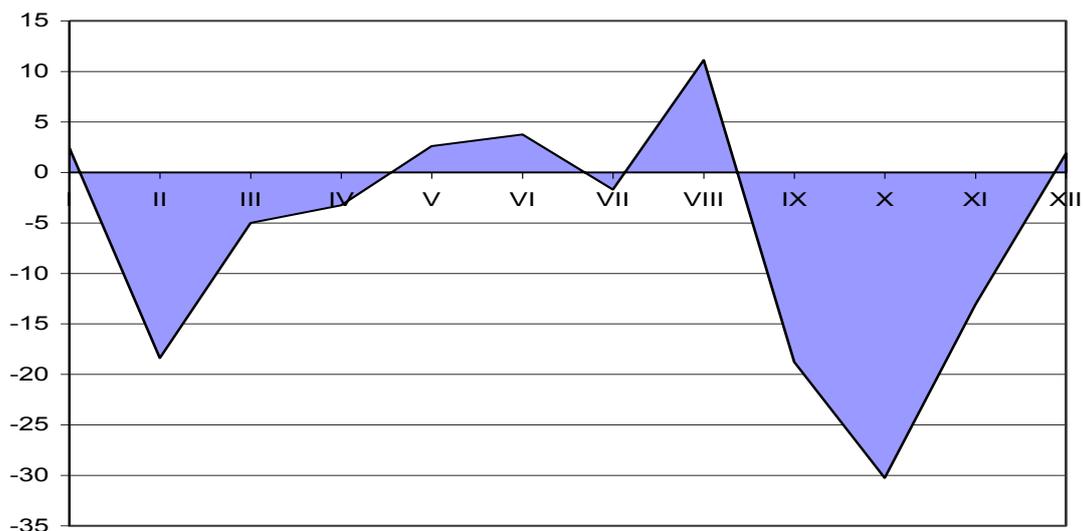


Рисунок 11.5. Отклонение суммарного количества освещенности в 2016 году (%) от нормы 1964-2013 гг. по месяцам

Причем все осенние месяцы 2016 года были значительно ($|\delta_{2016}| > V$) темнее нормы, поэтому для всей осени отмечено существенное (21%) уменьшение освещенности по сравнению с нормой. Эта тенденция прослеживалась и в годовом ходе суммарной интегральной радиации, продолжительности солнечного сияния и облачности.

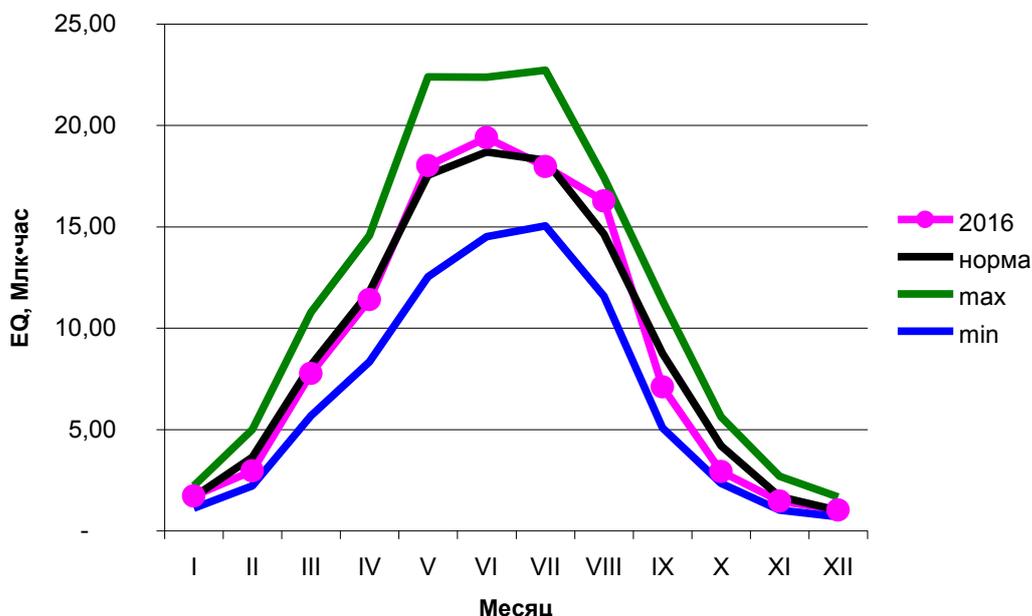


Рисунок 11.6. Количество освещения суммарным светом в 2016 году, в среднем за период 1964-2013, экстремальные значения за 1964-2015 гг.

В годовом ходе значения освещенности в 2016 году не вышли за пределы экстремумов, наблюдавшиеся за весь период наблюдения (рис. 11.6).

Отношение фактического количества суммарного освещения к возможному показало, что в целом за 2016 год к земной поверхности поступило 60% от возможной суммы, что на 2% ниже, чем в прошлом году и на 2% ниже нормы (за счет «неудавшихся» осенних месяцев). При этом менее 50% от возможного значения приходилось на освещенность в осенние месяцы: от 46% в сентябре до 34% в октябре (см. табл. 11.3). Максимум от возможной величины суммарного освещения (69 %) приходится на май и август (рис. 11.7).

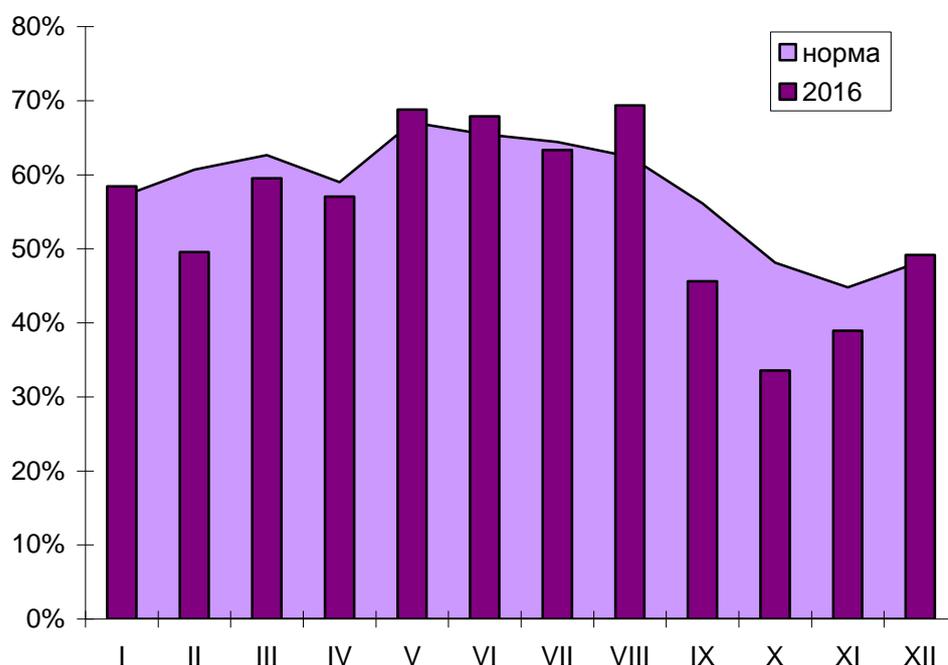


Рисунок 11.7. Сравнение отношения фактического количества освещения к возможному в 2016 году с наблюдавшейся нормой 1964-2013 гг.

Суточные изменения. Количество освещения сильно меняется от одного дня к другому в зависимости от условий облачности, прозрачности атмосферы – факторов, определяющих приход солнечной радиации к земной поверхности. На рисунке 11.8 хорошо видно, что колебания освещенности в течение 2016 года происходили главным образом в пределах колебаний между максимальными и минимальными значениями за 1964-2015 гг.

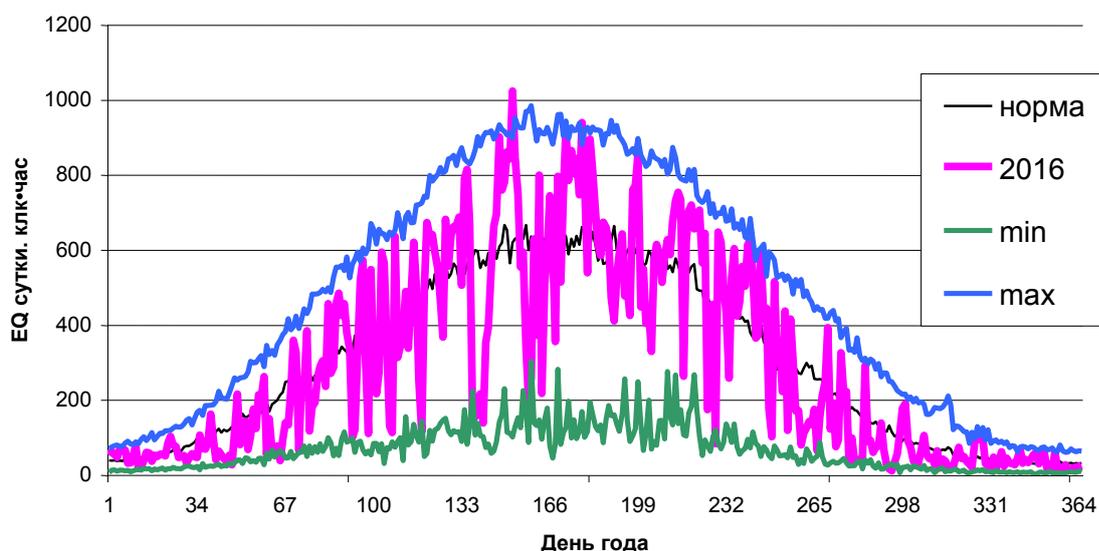


Рисунок 11.8. Суммарное освещение E_Q за каждый день, клк·ч

Однако в определенные дни освещенность была ниже минимального или выше максимального значения для соответствующих дат за указанный период. 1 июня 2016 г. был перекрыт абсолютный суточный максимум 985 Мкл·ч: суточная сумма составила 1024,6 Мкл·ч. Абсолютный суточный минимум 2,33 Мкл·ч, наблюдавшийся в декабре, перекрыт не был. Интересно отметить также, что в марте 2016 года наблюдалось минимальное количество освещения за сутки за все годы наблюдения (39,0 клк·час, табл. 11.3).

Таблица 11.3. Характеристики количества освещения за сутки по месяцам, клк·час

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
E_Q среднее 2016	55,0	103,7	241,3	370,1	568,3	653,5	582,0	536,2	246,0	95,2	48,7	34,0
E_Q среднее 1964-2013	53,6	128	263,4	393,3	565,8	623,6	589,6	472,1	291,8	135,5	55,3	32,4
δ_{2016} , %	3	-19	-8	-6	0	5	-1	14	-16	-30	-12	5%
E_Q max 2016	103,2	263,1	485,3	673,7	902,2	1024,6	853,6	754,6	588,7	327,0	105,8	68,7
E_Q max 1964-2013	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 max 2016	24	28	28	30	27	1	18	2	2	2	2	8
E_Q min 2016	17,4	27,7	39,0	99,8	139,3	200,6	330,0	84,1	65,4	11,8	19,2	14,0
E_Q min 1964-2015	7,9	14,7	43,6	31,7	58,5	46,0	64,8	52,7	27,2	6,4	6,4	2,3
Дата min 2016	12	16	6	2	21	7	23	16	23	21	29	19

Примечание: красным отмечены экстремальные значения, наблюдавшиеся в 2016 году.

Выводы

- Годовое количество освещения, создаваемое суммарной радиацией в 2016 году, составило 108 Млк·ч, что на 2% меньше годовой нормы.
- Сезонные суммы суммарного освещения были выше только летом (+4%), самой темной оказалась осень (-21%).
- Значительные отклонения от нормы за месяц отмечались в октябре (-30%), но при этом абсолютный минимум октября 1970 года $E_Q = 2,33$ Млк·ч перекрыт не был. Сентябрь и февраль также были значительно темнее нормы (на 18 и 16% соответственно).
- Абсолютный суточный максимум был перекрыт 1 июня 2016 г. на 4%. Суточный минимум за март был перекрыт 6 марта на 11%. При этом в 2016 году 9 дней были темнее установленных минимумов за 1964-2013 гг. в эти дни.

Результаты мониторинга освещенности могут быть использованы для оценки световых условий помещений, для взаимной увязки норм искусственного и естественного освещения. Это в свою очередь необходимо для технических и экономических расчетов, как для создания рабочих мест, так и для жилых помещений.

12. Особенности прихода УФ радиации 300-380 нм

Незваль Е.И.

12.1. Методика градуировки

В Метеорологической обсерватории МГУ имени М. В. Ломоносова с ноября 1967 г. проводится мониторинг суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм (Q380) различными типами широкополосных приборов. С ноября 1967 г. по ноябрь 2008 г. использовался уфиметр МО МГУ, разработанный и сконструированный в МО МГУ (Ультрафиолетовые измерительные приборы, 1977, Chubarova, Nezval, 2000). С декабря 2008 г. по настоящее время мониторинг Q380 осуществляется УФ пиранометрами UVA-1 фирмы Yankee Environmental Systems LTD (www.yesinc.com/products/data/uvb1/index/html). В последние годы параллельно проводится регистрация суммарной УФ радиации в области 300-380 нм приборами UVS-A-T фирмы Kipp&Zonen (www.kippzonen.com/Product/26/UVS-A-T-UV-Radiometer/html). Приборы UVA-1 YES и UVS-A-T первоначально были проградуированы для измерения радиации в УФ-А области спектра (в диапазоне 320-400 нм и 315-400 нм соответственно). Возможность их использования для измерения суммарной радиации в области спектра 300-380 нм при условии сохранения однородности ряда наблюдений была показана в работах (Nezval', and Chubarova 2007; Nezval', and Chubarova 2008; Незваль, Чубарова, 2011; Незваль, 2014). Контрольные приборы МО МГУ были проградуированы в Медицинском университете г. Инсбрука по спектрометриру Bentham DTM-300, входящему в группу приборов, по которым осуществляется градуировка УФ приборов в Европе (уфиметр МО МГУ № 9 - в июле 2005 г., УФ пиранометр UVA-1 YES № 060902 в августе 2008 г. и в сентябре 2011 г.). Это дало возможность привести показания контрольных приборов МО МГУ к международному стандарту. При обработке данных учитываются переводные множители, а также спектральные и косинусные погрешности УФ приборов.

Для контроля работы УФ пиранометра UVA-1 № 031201, используемого для проведения мониторинга суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм (регистратор), периодически проводится сопоставление его данных с данными, контрольного прибора UVA-1 № 060902, подключенного параллельно на запись Q380.

Параллельные записи данных были проведены с 4 по 12 мая, с 6 по 27 июня и с 29 августа по 9 сентября 2016 г. В среднем различия за период с 2011 по 2016 гг. составили около 1%.

Параллельные измерения суммарной УФ радиации приборами UVS-A-T фирмы Kipp&Zonen №№ 110061, 110062 и УФ пиранометрами UVA-1 фирмы Yankee Environmental Systems LTD позволили получить переводные множители для приборов UVS-A-T фирмы Kipp&Zonen в области спектра 300-380 нм и их спектральные погрешности (Незваль, 2016). Данные, полученные по приборам UVS-A-T, использовались при неисправностях в электрической сети прибора UVA-1 № 031201.

12.2. Результаты

12.2.1. Месячные, сезонные и годовые суммы ΣQ_{380}

Годовая сумма суммарной УФ радиации в 2016 г. лежит в пределах нормы (табл. 12.1). В качестве нормы здесь и в предыдущие годы использовались средние величины за период 1968-2007 гг. Для сравнения приведены средние значения за период 1981-2010 гг., принятый в настоящее время Всемирной Метеорологической Организацией в качестве нормы для метеорологических параметров. В отдельные месяцы отмечаются значительные как положительные, так и отрицательные аномалии (см. табл. 12.1). Отметим, что различия в отклонениях месячных сумм за 2016 г. от данных за периоды 1968-2007 гг. и 1981-2010 гг. лежат в пределах 2 %.

Таблица 12.1. Месячные и годовые суммы суммарной УФ радиации 300-380 нм за 2016 год и за периоды 1968-2007 гг. и 1981-2010 гг. МО МГУ.

Параметры	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Месячные и годовые суммы суммарной УФ радиации 300-380 нм, МДж/м ²													
2016	2,45	4,33	10,5	14,9	22,1	26,0	24,6	21,7	9,82	4,20	2,22	1,58	144,4
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
ДИ	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
1981-2010.	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
ДИ	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
Месячные и годовые суммы суммарной УФ радиации 300-380 нм, МДж/м ²													
2016	2,45	4,33	10,5	14,9	22,1	26,0	24,6	21,7	9,82	4,20	2,22	1,58	144,4

Параметры	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
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
ДИ	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
1981-2010.	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
ДИ	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 2016 г. (d%) от средних многолетних величин													
1968-2007	4,2	-13,9	-1,9	0,3	-0,8	6,0	2,7	12,1	-14,0	-25,0	-4,8	0,8	0,3
1981-2010	4,6	-13,5	-3,3	-0,8	-2,7	6,8	0,4	13,7	-13,9	-26,6	-6,8	0,3	-0,4
Максимальные и минимальные месячные и годовые суммы за и период 1968-2015гг., 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 интегральной радиации, %													
2016 г	3,9	4,2	3,8	4,0	4,0	4,2	4,1	4,1	4,4	4,3	4,5	4,3	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: ДИ – доверительный интервал с доверительной вероятностью $\alpha = 0.05$ средних за 1968-2007 гг., 1981-2010 гг. Красным и синим цветом отмечены соответственно положительные и отрицательные значимые аномалии.

Наибольшая отрицательная аномалия отмечалась в октябре и достигла 25% по сравнению со средней величиной за 40-летний период наблюдений. Однако эта величина является лишь третьей по сравнению с самой низкой месячной суммой в октябре (3,39 МДж/м²), наблюдавшейся в 1982 г. Существенные отрицательные аномалии примерно до -14% были отмечены в феврале и сентябре. Наибольшая положительная аномалия имела место в августе и более слабая в июне (12% и 6% соответственно по сравнению со средними месячными суммами за 40-летний период измерений с 1968 по 2007 гг.). Однако месячная сумма в августе 2016 г. является лишь 8 величиной по сравнению с самой

высокой за август суммой Q380 за весь период наблюдений: 2.9 МДж/м² в 1971 г. (см. табл. 12.1).

Доли месячных сумм Q380 в месячных суммах суммарной коротковолновой (интегральной) радиации изменялись в течение года от 3,8% в марте (при норме 3,8%) до 4,5% в ноябре (при норме 4,1%).

Данные за сезоны года представлены в табл. 12.2.

Таблица 12.2. Суммы суммарной УФ радиации за сезоны 2016 г. и 1968-2007 гг. и 1981-2010 гг. МДж/м².

Период	Характеристики	Зима	Весна	Лето	Осень
2016 гг.		8,22	47,52	72,29	16,24
1968-2007 гг.	Средняя	8,95	47,86	67,83	19,34
	ДИ	0,32	1,05	1,16	0,55
	d %	-8,1	-0,7	6,6	-16,0
1981-2010 гг.	Средняя	8,91	48,62	67,94	19,51
	ДИ	0,38	1,00	1,45	0,67
	d %	-7,7	-2,3	6,4	-16,7
1968-2015 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.

За счет существенных отрицательных аномалий в сентябре и, особенно, в октябре, приход суммарной УФ радиации осенью 2016 г. оказался очень низким (16% по сравнению со средней многолетней величиной за период 1968-2007 г.). Это вторая величина после минимальной за весь период измерений 15,07 МДж/м², отмеченной в 2013 г. (см. табл.12.2).

Можно отметить, что месячная сумма коротковолновой радиации в октябре 2016 г. и сумма за осень 2016 г. также являются очень низкими (третья и вторая величина после минимальной за период измерений с 1968 г.).

Имевшие место в 2016 году аномалии как месячных сумм Q380, так и сумм Q380 за сезоны года достаточно хорошо согласуются с условиями облачности и с

продолжительностью солнечного сияния, определяемой степенью закрытия солнечного диска облаками (рис. 12.1).

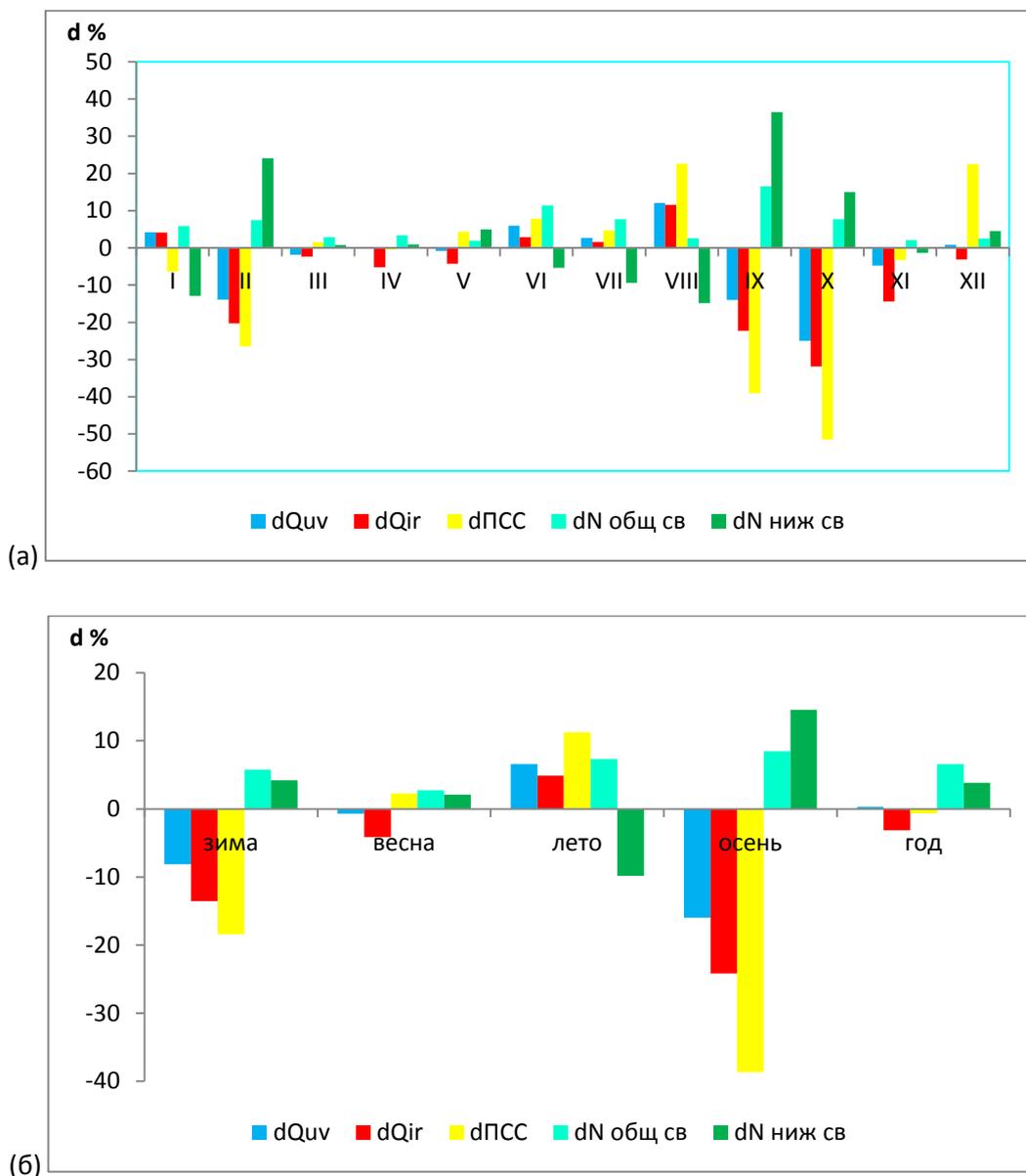


Рисунок 12.1. Отклонения от средних значений за период 1968-2007 гг. значений суммарной УФ (dQ_{380}), интегральной (dQ_{IR}) радиации, балла общей ($dN_{Общ, св}$) и нижней ($dN_{Ниж, св}$) облачности за светлую часть суток и продолжительности солнечного сияния ($dПСС$) за 2016 г. (а) – для месяцев года, (б) – для сезонов года и года в целом.

Наиболее тесная связь отмечается между приходом Q_{380} и ПСС (табл. 12.3). При определении коэффициентов корреляции были исключены месяцы, когда в Москве наблюдалась дымная мгла от лесных и торфяных пожаров (август 1972 г., июль, август, сентябрь 2002 г. и август 2010 г.).

Таблица 12.3. Коэффициенты корреляции (r) между месячными и сезонными суммами Q380 и баллом общей и нижней облачности за светлую часть суток и продолжительностью солнечного сияния

Месяц, сезон	r между Q380 и Ниж, св	r между Q380 и Нобщ, св	r между Q380 и ПСС
I	-0,58	-0,56	0,60
II	-0,69	-0,64	0,73
III	-0,71	-0,63	0,76
IV	-0,80	-0,57	0,86
V	-0,75	-0,66	0,86
VI	-0,90	-0,72	0,93
VII	-0,80	-0,64	0,88
VIII	-0,70	-0,73	0,86
IX	-0,86	-0,74	0,87
X	-0,83	-0,72	0,86
XI	-0,71	-0,71	0,72
XII	-0,64	-0,56	0,66
Год	-0,49	-0,32	0,76
Зима	-0,49	-0,50	0,57
Весна	-0,72	-0,50	0,81
Лето	-0,80	-0,57	0,85
Осень	-0,74	-0,73	0,79

Коэффициенты корреляции между суммами Q380 и ПСС во все месяцы и во все сезоны года выше, чем между суммами Q380 и баллом облачности. Наименьшие коэффициенты корреляции, как правило, между суммами Q380 и баллом общей облачности, при этом различия сокращаются в холодное время года, что определяется преобладанием в это время года плотной облачности нижнего яруса в общей облачности.

12.2.2. Суточные суммы

Экстремальные суточные суммы в целом за все месяцы 2016 года лежат в пределах экстремальных суточных сумм за весь период наблюдений (табл. 12.4, рис. 12.2).

Таблица 12.4. Суточные суммы суммарной УФ радиации 300-380 нм

	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средние, максимальные, минимальные суточные суммы за 2016 г., средние квадратичные отклонения (σ), кДж/м ² и коэффициенты вариации (V),%												
Q _{средн}	79	149	339	495	714	866	793	700	327	136	74	51
Q _{макс}	131	334	600	797	1123	1163	1105	976	728	405	152	87

	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Число	24	28	27	29	31	26	17	1	1	1	1	7
$Q_{\text{мин}}$	29	45	77	170	209	341	512	156	108	17	33	24
Число	12	16	5	7	20	6	22	15	22	20	7	25
σ	22	76	157	207	250	235	135	202	169	95	31	19
V	28	51	46	42	35	27	17	29	51	70	42	37
Средние суточные суммы за 1968-2007 гг. и 1980-2010 гг., кДж/м ² и коэффициенты вариации V%												
1968-2007 гг.												
$Q_{\text{средн}}$	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
1981-2010 гг.												
$Q_{\text{средн}}$	76	179	351	499	734	811	791	616	380	185	79	51
V	44	40	40	38	29	30	28	33	41	53	52	44
Максимальные и минимальные суточные суммы за период 1968-2015 гг., кДж/м ²												
$Q_{\text{макс}}$	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
$Q_{\text{мин}}$	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

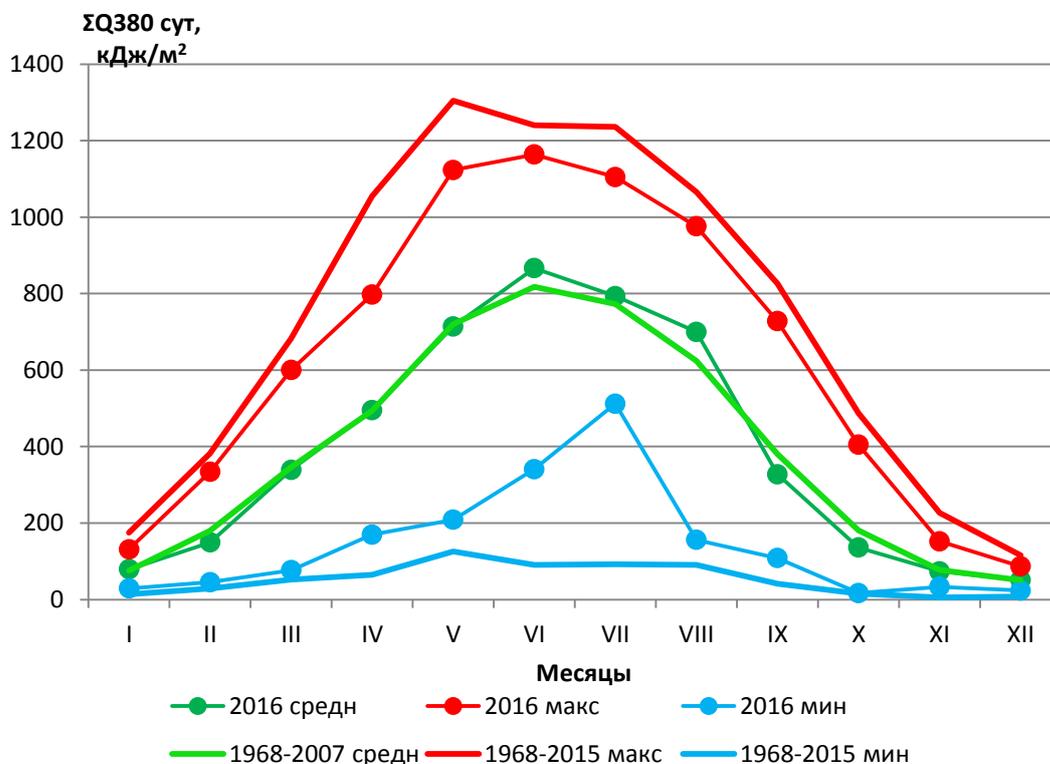


Рисунок 12.2. Годовой ход средних суточных сумм за 2016 г. и 1968-2007 гг., максимальных и минимальных суточных сумм за 2016 г. и за период 1968-2015 гг.

Однако для отдельных дат в 2016 году отмечались экстремальные суточные суммы (табл.12.5, рис. 12.3).

Таблица 12.5. Экстремальные суточные суммы Q380 для отдельных дат 2016 года, экстремальные суточные суммы Q380 для тех же дней за период 1968-2015 г. и их различия d.

Дата	2016	1968-2015 гг.		d%
	Q380 кДж/м ²	Q380 кДж/м ²	год	
Минимальные суточные суммы				
29.02.2016	97	122	1972	-20
03.03.2016	98	101	2007	-3
17.05.2016	241	289	2003	-17
20.05.2016	209	308	1983	-32
15.08.2016	156	166	1998	-6
06.10.2016	62	67	1976	-7
19.10.2016	26	35	1973	-26
20.10.2016	17	37	2007	-54
Максимальные суточные суммы				
27.08.2016	788	724	1969	9

Можно видеть, что в 2016 г. для 8 дней года отмечались экстремально низкие суточные суммы, некоторые из которых были на 30-50% ниже минимальных величин за весь предыдущий период. В 2016 г. лишь 27 августа суточная сумма оказалась выше максимальной величины для того же числа за период 1968-2015 гг.

Наибольшая изменчивость в среднем за 40 лет (1968-2007 гг.) приходится на ноябрь - октябрь (коэффициент вариации $V = 54$ и 53% соответственно), минимальная – на май-август ($V = 29\div 31\%$) (рис. 12.4). В 2016 г. наибольшая изменчивость в приходе УФ радиации наблюдался в октябре (величина V достигла 70%) и в феврале ($V = 51\%$). Наиболее стабильный приход УФ радиации в течение месяца по сравнению с многолетней величиной отмечался в июле (величина V составила всего 17%) и в январе ($V = 28\%$).

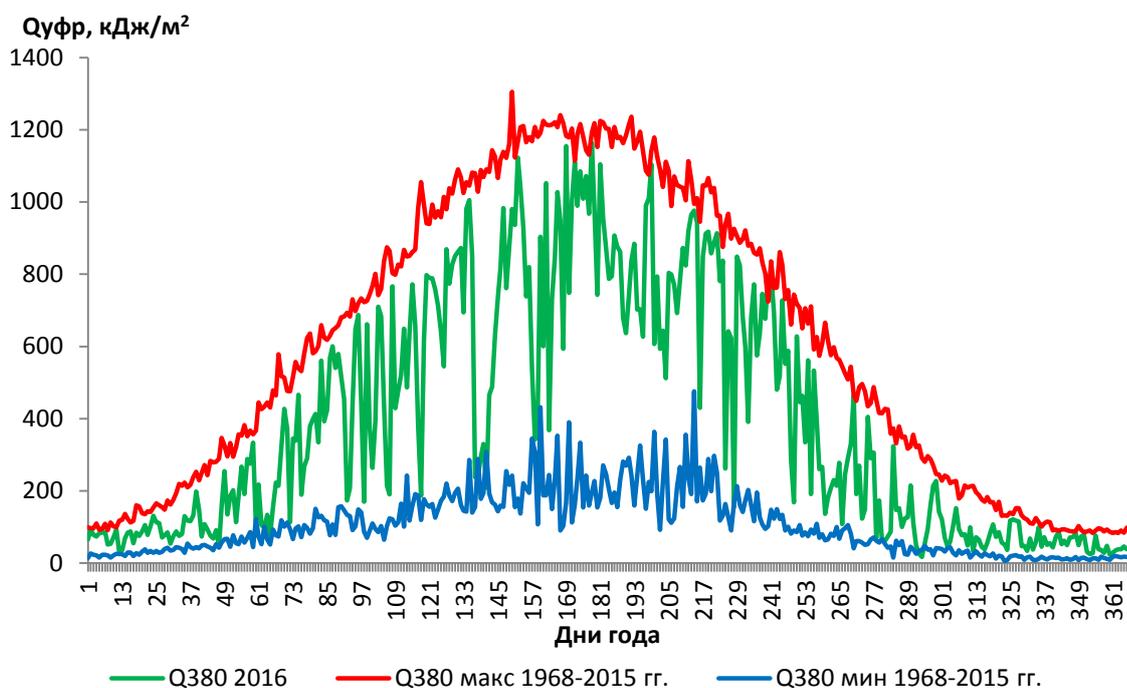


Рисунок 12.3. Годовой ход суточных сумм Q380 за 2016 г. и экстремальные значения суточных сумм за период 1968-2015 гг.

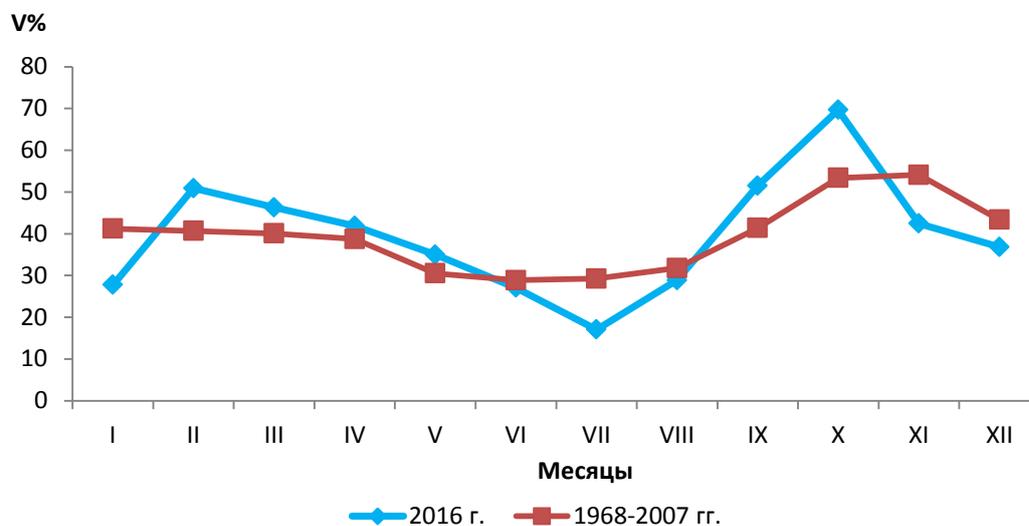
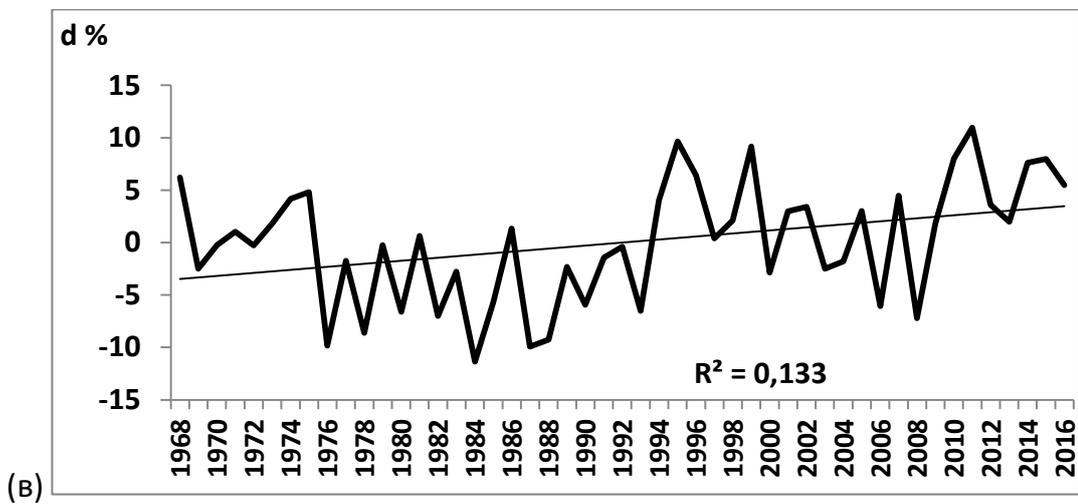
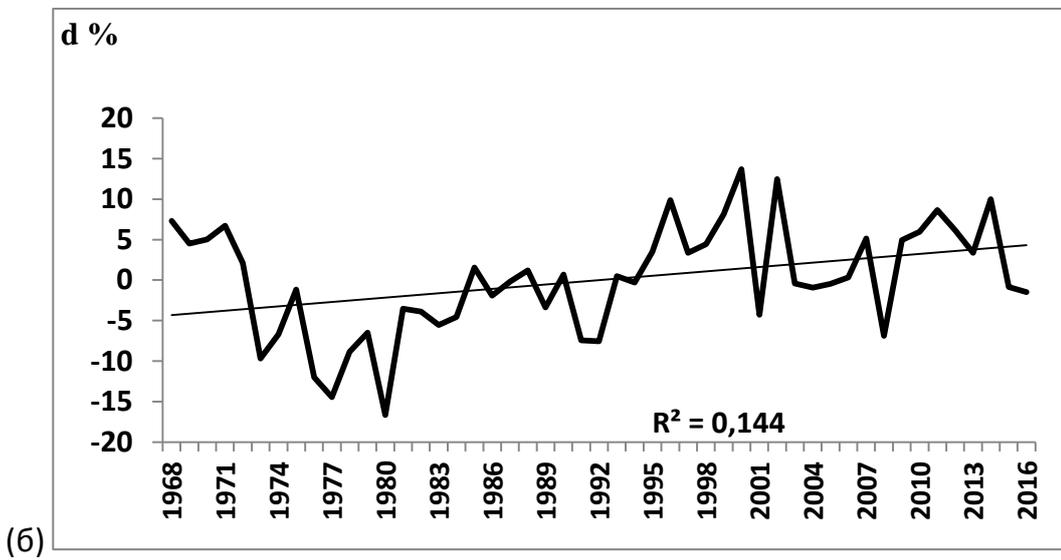
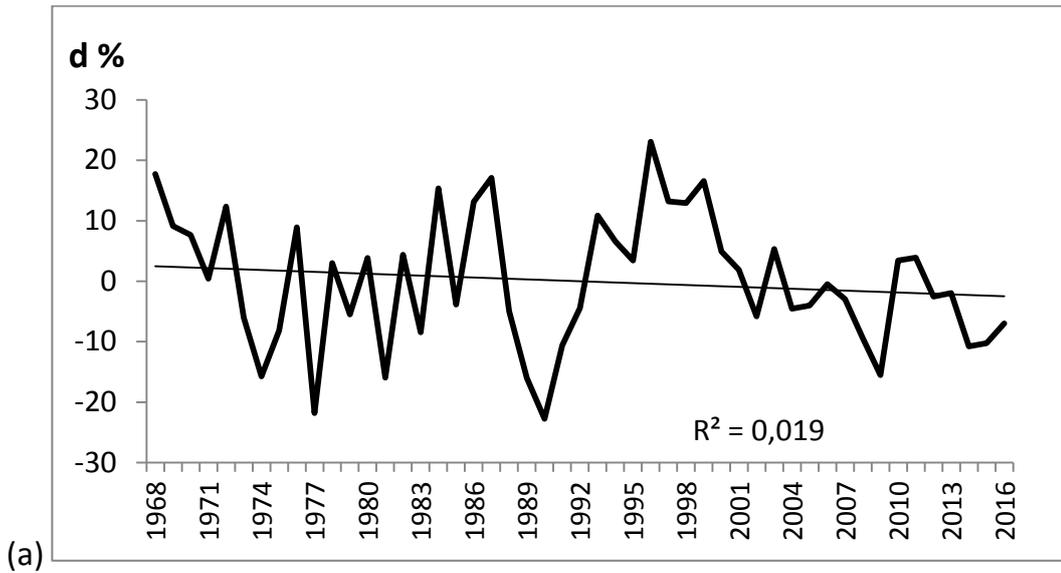


Рисунок 12.4. Годовой ход коэффициента вариации (V%) за 2016 г. и за период 1968-2007 г

12.2.3. Многолетние изменения

Многолетние изменения суммарной УФ радиации в целом за год и за отдельные сезоны года представлены на рис. 12.5 (а-д).



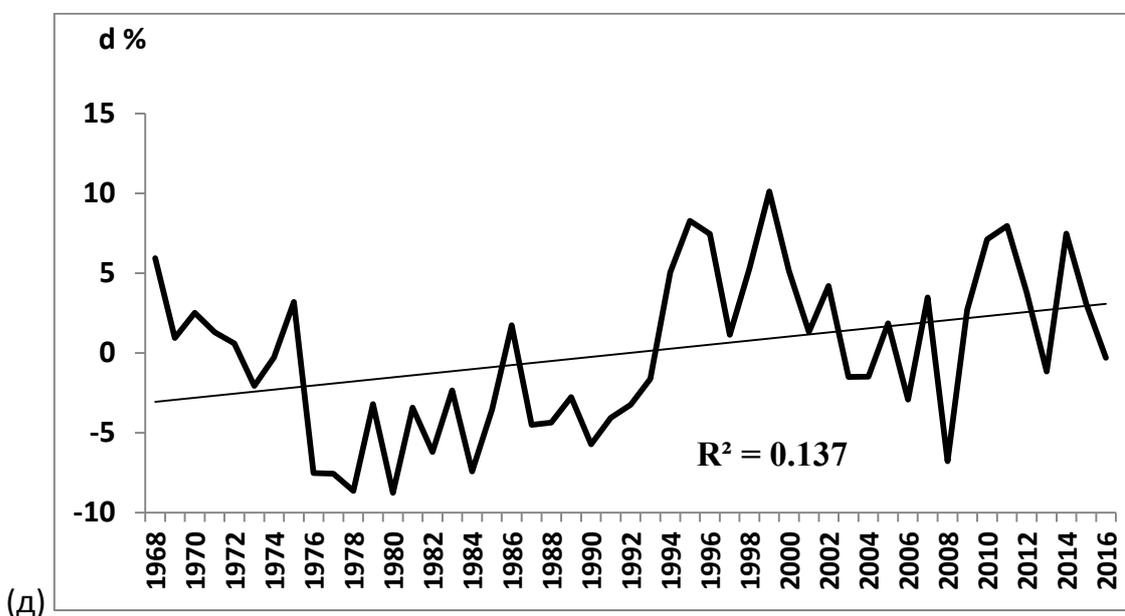
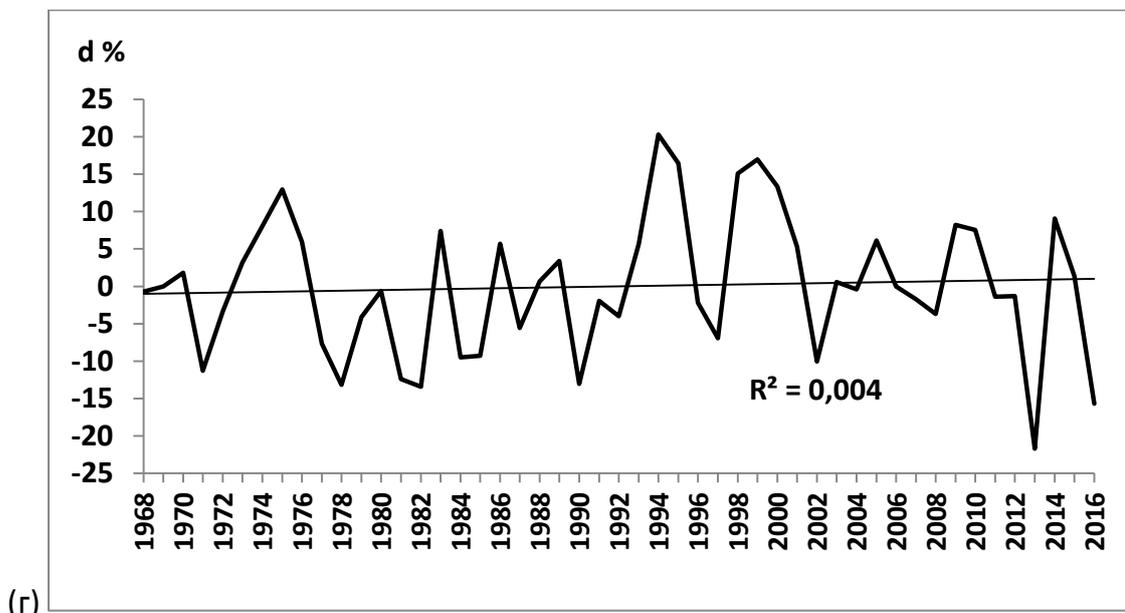


Рисунок 12.5. Многолетние изменения суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм. (а) – зима, (б) – весна, (в) – лето, (г) – осень, (д) – год.

В 2016 г. отмечается уменьшение в приходе Q380 как в целом за год, так и для весны, лета и осени по сравнению с предыдущим годом. Зимой 2016 г. имел место незначительный рост Q380, хотя величина Q380 была примерно на 10% ниже нормы. Как и за периоды 1968-2014 г. и 1968-2015 г., за период 1968-2016 гг. отмечаются небольшие значимые положительные линейные тренды для весны, лета и в целом за год (см. рис. 12.4, табл. 12.6). Начиная с конца 70-х - начала 80-х в теплое время года имеет место заметная тенденция к росту суммарной УФ радиации. За этот период положительные тренды

значительно больше (см. табл.12.6.). Интересно отметить, что положительные тренды для отдельных месяцев наблюдаются только в апреле и в июле. Для других месяцев тренды незначимы.

Таблица 12.6. Тренды суммарной УФ радиации Q380 за период 1968-2016 гг. и 1979-2016 гг., уровень значимости $P \geq 0.95$

Сезон	% за 10 лет	R ²	R
1968-2016 гг.			
Год	1.3	0.137	0.37
Теплый период (май-сентябрь)	1.4	0.126	0.36
Весна	1.8	0.144	0.41
Лето	1.5	0.133	0.36
Апрель	2.7	0.121	0.35
Июль	2.8	0.202	0.45
1979-2016 гг.			
Год	2.5	0.286	0.54
Теплый период (май-сентябрь)	2.8	0.286	0.53
Весна	3	0.266	0.52
Лето	3.2	0.325	0.57
Апрель	6	0.369	0.61
Июль	4.5	0.276	0.53

Выводы

В целом за год приход суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм соответствует средней величине за 40 лет наблюдений (1968-2007 гг.). Однако для отдельных месяцев года отмечаются существенные как положительные (июнь +6%, август +12%), так и отрицательные (сентябрь – 14%, октябрь – 25%) аномалии.

Получены наиболее высокие коэффициенты корреляции между месячными и сезонными суммами УФ радиации и продолжительностью солнечного сияния. Для месяцев с апреля по октябрь они превышают 0,85%, а для мая достигают величины 0,93. Для месяцев с низкими высотами Солнца коэффициенты корреляции снижаются до 0,60-0,66 за счет малого вклада прямой радиации.

В целом для всех месяцев 2016 г. экстремальные суточные суммы не выходят за пределы экстремальных сумм за все предыдущие годы. Однако для 8 дней в 2016 г. отмечались самые низкие суточные суммы, а для 27августа суточная сумма в 2016 г. оказалась наибольшей за все время наблюдений.

За период 1968-2016 гг. отмечены положительные линейные тренды для весны, лета, теплого периода (май-сентябрь) и года в целом (1,8, 1,5, 1,4 и 1,3% за 10 лет). Для соответствующих временных отрезков за период 1979-2016 гг. тренды заметно больше и изменяются от 2,5% для года до 3,2% для лета.

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

Работа поддержана госбюджетной темой АААА-А16-116032810086-4

Литература

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

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

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

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

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

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

13. Биологически активная эритемная УФ радиация

Жданова Е.Ю., Чубарова Н.Е.

13.1. Краткая характеристика приборов и методических аспектов измерений

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

В 2016 году сравнения контрольного и регистрирующего приборов были проведены в мае (12 - 27 мая). По результатам сравнений, проведенных по измерениям в мае 2016 года, средняя разница между контрольным и регистрирующим приборами составила при высотах Солнца около 30 градусов 4% (рис. 13.1). В сентябре 2016 года для контроля качества измерений были проведены сравнения регистрирующего и контрольного приборов с 8 по 15 сентября. С учетом увеличенного на 4% переводного множителя регистрирующего прибора при высоте Солнца около 30 градусов в среднем измерения контрольного и регистрирующего приборов в сентябре оказались равными (табл. 13.1).

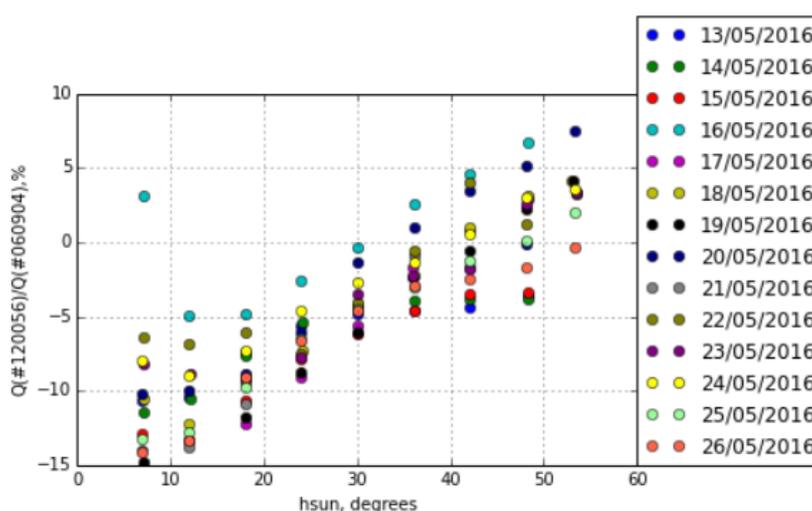


Рисунок 13.1. Относительное отклонение измерений регистрирующего прибора UV-S-E-T №120056 от показаний контрольного прибора UVB-1YES №060904 в зависимости от градаций высот Солнца для различных дней в мае 2016 года

Таблица 13.1. Средние относительные отклонения измерений регистратора UV-S-E-T№120056 от показаний контрольного прибора UVB-1YES№060904 в сентябре 2016 года

высоты Солнца градусы	первая половина дня Q120056/Q060904	вторая половина дня Q120056/Q060904
5-9	-10%	-3%
9-15	-10%	-3%
15-21	-7%	-2%
21-27	-5%	1%
27-33	-2%	2%
33-39	2%	3%

В июне 2017 года регистрирующий прибор UV-S-E-T №120056 был отправлен на международную калибровку в Давос, Швейцария, поэтому результаты, приведенные в этом обзоре, могут быть уточнены в будущем.

13.2. Анализ данных измерений биологически активной эритемной радиации в 2015 г.

Годовая сумма эритемной УФ радиации (Q_{er}) в 2016 году составила 409 Дж/м²(эфф), что на 6% ниже среднего значения за 1999-2013 гг. Месячные суммы радиации в 2016 году были ниже средних за весь период наблюдений во все месяцы за исключением июня (+8%) и августа (+18%). На рис. 13.2 показан годовой ход средних за месяц суточных сумм Q_{er} в 2016 году, средние многолетние суточные суммы Q_{er} за период 1999-2013 гг., а также относительная разница между среднесуточными суммами в 2016 году и средними многолетними значениями.

Из рис. 13.2 видно, что относительные изменения эритемной УФ радиации в 2016 году относительно средних многолетних значений варьировались от -27% в октябре до +18% в августе. Вторым годом подряд наибольшие положительные аномалии эритемной УФ радиации относительно среднего значения за период 1999-2013 гг. наблюдаются в августе.

Низкая месячная доза эритемной УФ радиации в январе связана практически полностью с высоким общим содержанием озона (рис. 13.3). Потери эритемной УФ радиации в феврале и марте обусловлены более облачными условиями по сравнению со средними.



Рисунок 13.2. Годовой ход средних за месяц суточных сумм Q_{er} в 2016 году, среднемноголетних значений за период 1999-2013 гг. (левая ось) и относительные изменения Q_{er} по сравнению со средними значениями (правая ось)

Около нормы эритемная УФ радиация была в мае и июле. Августовский высокий уровень эритемной УФ радиации связан как с более низким содержанием озона, так и с более ясными условиями. Кроме того, в августе 2016 года наблюдалась значительная положительная аномалия температуры воздуха (см. главу 1).

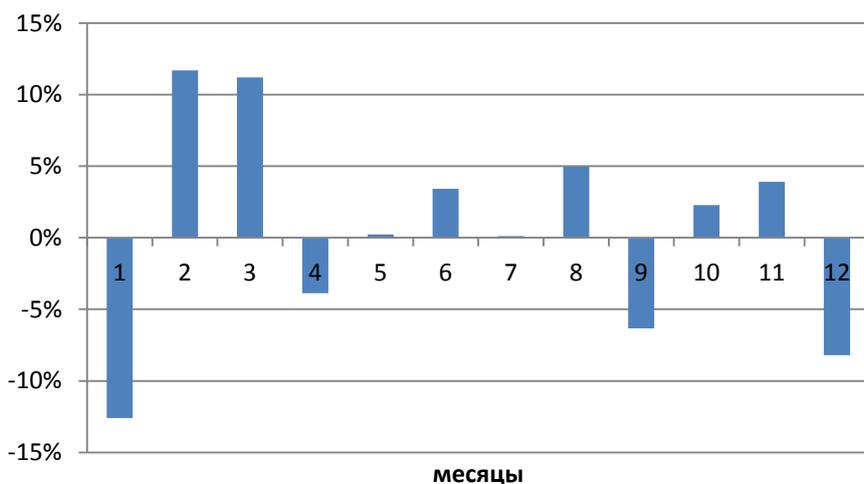


Рисунок 13.3. Относительные изменения эритемной УФ радиации за счет поглощения озоном

В табл. 13.2 кроме других характеристик представлены максимальные УФ индексы в 2016 году. Так, 1 октября 2016 года в околополуденное время УФ индекс повторил свое максимальное значение для октября за период 1999-2015 годы и составил 2.5.

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

На основании данных модели реконструкции (Chubarova et al., 2008) получены оценки межгодовой изменчивости биологически активной эритемной УФ радиации за счет различных атмосферных факторов и проведены сравнения с результатами измерений. Результаты приведены на рис. 13.4.

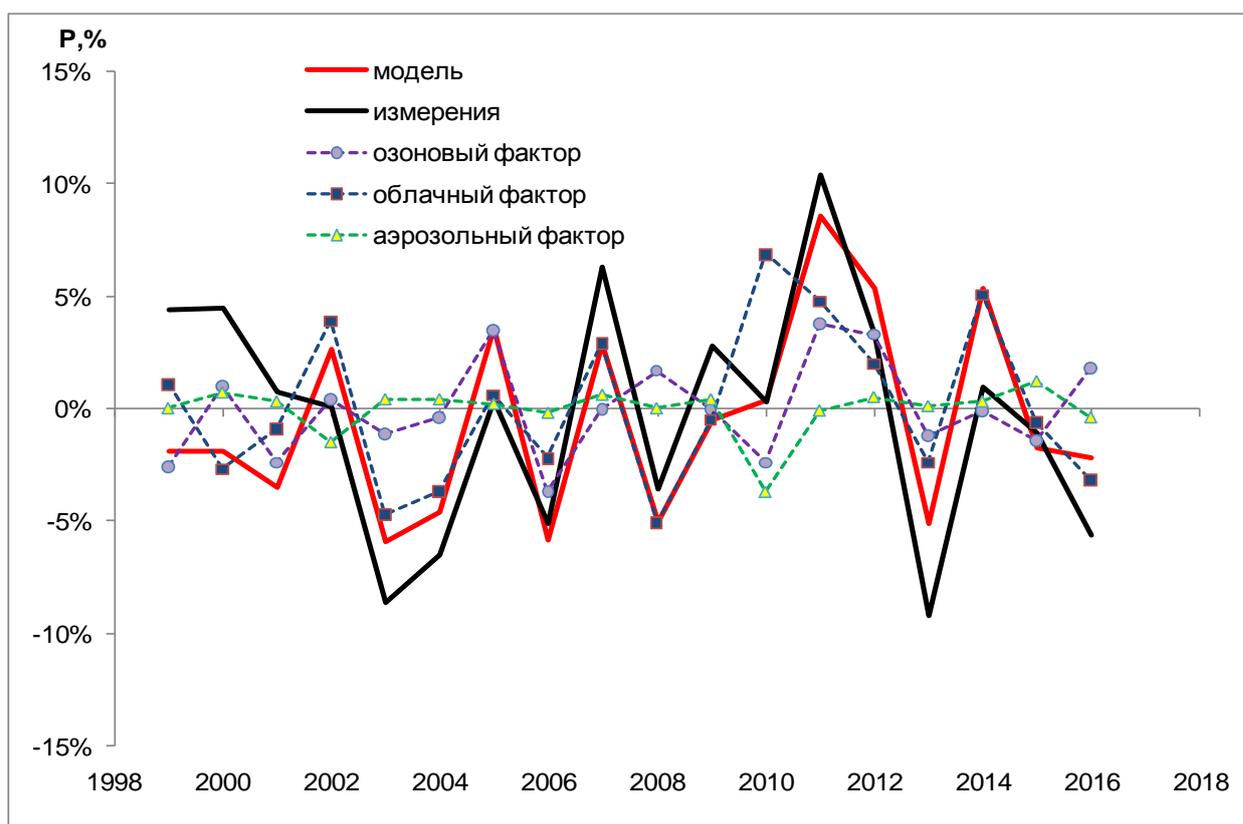


Рисунок 13.4. Относительная изменчивость годовых величин биологически активной эритемной УФ радиации по данным измерений и модели реконструкции относительно 15-летнего периода 1999-2013г, а также изменения эритемной УФ радиации за счет вариаций общего содержания озона, эффективного балла облаков и аэрозольной оптической толщины

Хорошо видно, что по данным модели, как и в прошлом году, изменчивость Q_{er} относительно нормы за 1999-2013 гг. была небольшой. В 2016 году в целом за год должны были наблюдаться более высокие значения эритемной УФ радиации за счет несколько пониженного общего содержания озона, но большой эффективный балл облаков привел к компенсации этого роста. Уменьшение Q_{er} за счет облачного фактора составило примерно 3,2%. В результате общее годовое уменьшение эритемной УФ радиации в 2016 году по данным модели реконструкции относительного 15-летнего периода 1999-2013г. составило 2,2%. По результатам наблюдений также отмечается небольшое отрицательное отклонение Q_{er} от среднего за 1999-2013 гг. Отметим, что результаты моделирования относительной изменчивости Q_{er} хорошо согласуется с данными измерений (коэффициент корреляции, как и в прошлом 2015 году, составляет 0,76).

Таблица 13.2. Средние, минимальные, максимальные суточные суммы Q_{er} (Дж/м²эфф) в 2016 году, в период 1999-2013 гг. и максимальные УФ индексы в 2016г, 1999-2013гг; относительные изменения Q_{er} в 2016 году

	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q_{er} 2016	96	241	677	1191	2229	2991	2726	2371	945	310	114	63
Q_{er} (среднее) 1999-2013	113	293	791	1394	2278	2770	2786	2008	1132	424	137	70
Q_{er} (max) 1999-2015	155	378	975	1635	2710	3332	3308	2471	1267	501	205	115
Q_{er} (min) 1999-2015	82	233	643	1165	1949	1890	2177	1658	625	351	105	51
УФ-индекс (max) 2016	0,4	1,2	2,4	3,7	6,2	6,8	6,7	5,9	4,5	2,5	0,8	0,3
УФ-индекс (min) 1999-2015	0,8	2,7	3,8	4,9	6,4	7,7	7,3	6,2	4,5	2,5	1,2	0,5
$Q_{er2016}/Q_{er1999-2013}$ -1, %	-15	-16	-14	-15	-2	+8	-2	+18	-16	-27	-16	-10

Работа поддержана госбюджетной темой АААА-А16-116032810086-4, грантом РФФ № 17-77-10132, грантом 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

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



14. Основные характеристики аэрозоля по данным солнечно-небесного фотометра CIMEL сети AERONET

Хлестова Ю.О., Чубарова Н.Е.

14.1. Методика измерений

В метеорологической обсерватории МГУ, начиная с 2001 года, проводятся регулярные измерения аэрозольных свойств атмосферы с помощью солнечных небесных фотометров CIMELCE 318-2 в рамках международной программы AERONET (Chubarova et.al., 2016). 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, а остальные каналы – для определения спектральной аэрозольной оптической толщины атмосферы АОТ λ . Измерения рассеянного излучения в солнечном альмукантарате и в главной солнечной плоскости проводятся по 4 спектральным каналам: 440, 670, 870 и 1020 нм. Ширина полосы пропускания на половине максимума составляет 2 нм для УФ фильтров и 10 нм – для всех остальных. Прибор имеет 2 коллиматора с одинаковыми углами зрения 1.2° для измерений прямого и рассеянного от небесной полусферы солнечного излучения. Погрешность измерений АОТ λ в видимом и ближнем ИК диапазоне составляет 0.01, в УФ области спектра для каналов 340 и 380 нм – 0.02. Работы ведутся в рамках соглашения с американским Годдардовским центром космических полетов в рамках международной программы AERONET. На официальном сайте программы AERONET <http://aeronet.gsfc.nasa.gov> доступны данные нескольких уровней. Изначально данным присваивается уровень 1.0. После фильтрации данных, искаженных влиянием облаков, по методике (Smirnov et.al., 2000) результатам измерений присваивается уровень 1.5. Далее, после вторичной калибровки фильтров и дополнительного контроля, данным присваивается уровень 2.0.

До 2017 г. стандартной версией данных по аэрозольным оптическим толщинам являлась 2-ая версия. В 2017 году исследовательской группой AERONET была представлена новая, третья, версия обработки данных измерений. Улучшения касаются различных сторон алгоритма. Для данных уровня 1.0 введена температурная коррекция для предотвращения аномально высоких изменений температуры за короткий период. Для параметров уровня 1.5 наблюдаются сразу несколько нововведений. Во-первых,

применяется уточненная облачная коррекция, согласно которой улучшен алгоритм, позволяющий идентифицировать и удалять случаи с неизменными по оптической толщине облаками верхнего яруса. Стало возможным сохранять в выборке случаи, когда наблюдались значительные изменения оптической толщины дымового аэрозоля, например, восстанавливать измерения, подвергшиеся облачному скринингу, если $AOT_{870} > 0.5$, волновой экспонент Ангстрема $\alpha(675-1020) > 1.2$, $\alpha(870-1020) > 1.3$, которые ранее удалялись из анализа. По новому контролю качества удаляются случаи, при которых наблюдались значительные отклонения температуры, а также измерения значения AOT_{λ} , волновые экспоненты Ангстрема с низкой спектральной зависимостью. Диапазон масс атмосферы расширен от 5 до 7. Изменился критерий отбора триплета АОТ: если раньше фильтрации подлежали случаи, при которых внутри триплета аэрозольная оптическая толщина меняется более чем на 0.02 или когда она составляет величину $0.03 * AOT$, то теперь диапазон расширили (соответственно: 0.01 или $0.015 * AOT$). Введено обнаружение облачности на Солнце с помощью коррекции на светимость солнечного ореола.

В МО МГУ, в дополнение к основному алгоритму, принятому на сети AERONET, используются и дополнительные критерии, которые основаны на визуальных наблюдениях за облачностью (Chubarova et.al., 2016), что позволяет проводить более качественный отбор измерений. Так, для месяцев с ноября по февраль включительно исключаются измерения с баллом общей облачности 9 и выше, а для остальных – 6 и выше. Также вводится дополнительная коррекция на уточненное содержание диоксида азота.

В задачу данного исследования входил анализ аэрозольных измерений стандартной версии 2 и сопоставление полученных результатов АОТ по версиям 2 и 3.

В анализе были использованы данные уровня 1.5 с дополнительной фильтрацией по облачности. В 2016 году наблюдалось 193 дня (118 с учетом фильтраций), для которых проходили измерения аэрозоля.

14.2. Временная изменчивость характеристик аэрозоля в 2016 году

В таблице 14.1 приведены основные статистические данные для некоторых АОТ, влагосодержания (W) и параметра Ангстрема (α) для интервала 440-870 нм. На рисунке

14.1 представлен годовой ход среднемесячных спектральных значений аэрозольной оптической толщины в 2016 году и за весь период измерений 2001-2016.

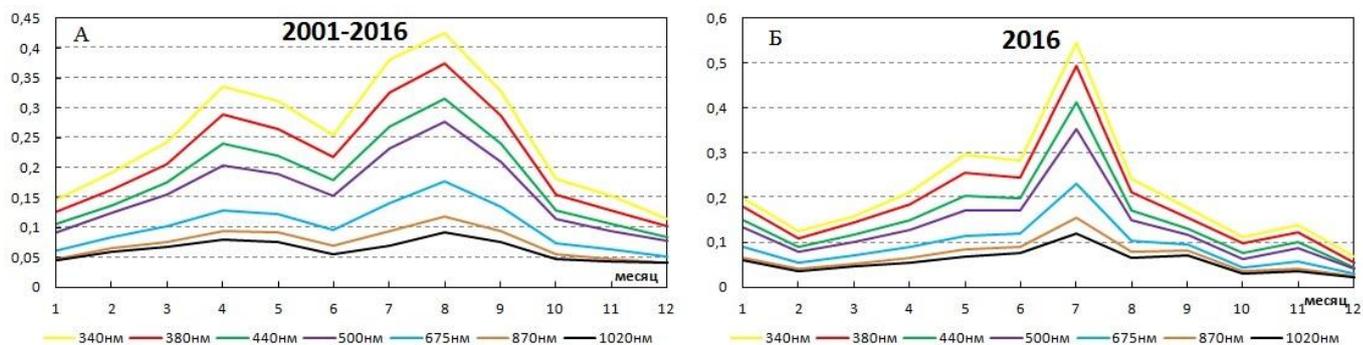


Рисунок 14.1. Годовой ход среднемесячных значений АОТ на разных длинах волн по данным AERONET в среднем за 2001-2016 (А) и в 2016 году (Б). Москва. Уровень 1.5. Версия 2.

Годовой ход АОТ обычно носит бимодальный характер с максимумами в апреле и августе, связанными с пиками содержания природного аэрозоля. Следует отметить, что в 2016 году весенний максимум аэрозольной оптической толщины практически не наблюдается. Несколько более высокие значения имеют место в мае, летний максимум – в июле. Возможно, это связано с более поздним переходом от холодного режима к теплему, что влечет за собой позднюю интенсификацию источников эмиссий природных частиц. Хотя устойчивый снежный покров сошел 15 марта, выпадения снега наблюдались вплоть до 21 апреля. Максимальные значения АОТ отмечались в июле во второй половине месяца, когда над Москвой установилась область высокого давления. Наблюдавшиеся юго-восточные и южные потоки обуславливали адвекцию дымового аэрозоля из Сибири, где наблюдались большие площади, занятые лесными пожарами, что и привело к существенному росту АОТ.

С ростом длины волны наблюдается снижение аэрозольной оптической толщины, что говорит о преобладающем содержании частиц мелкодисперсной фракции.

Анализ межгодовой изменчивости средних и медианных значений АОТ500 показан на рисунке 14.2.

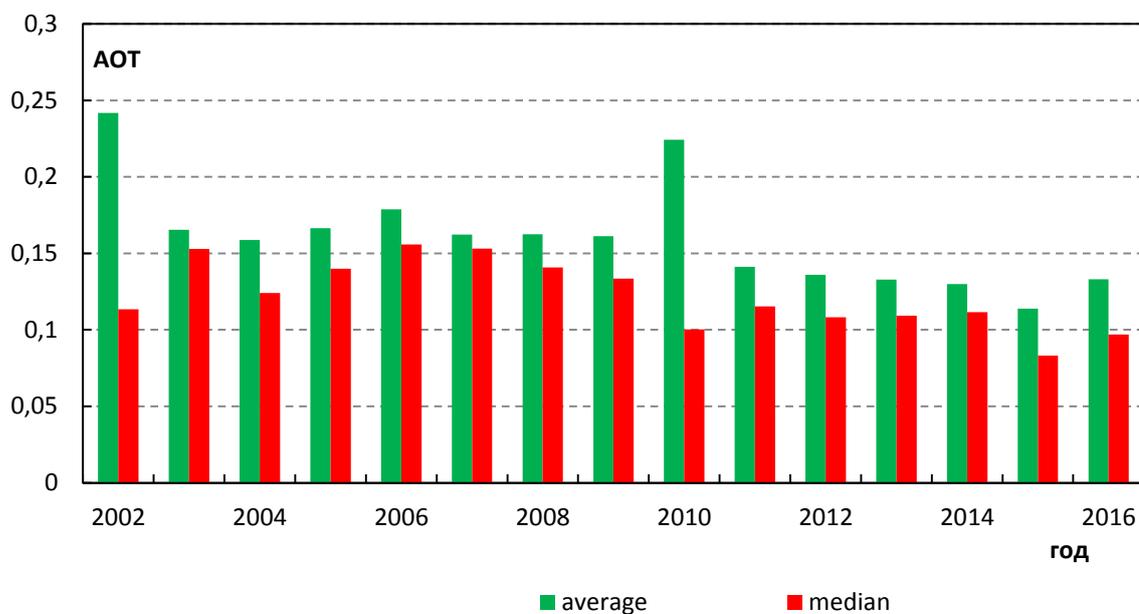


Рисунок 14.2. Среднегодовые и медианные значения АОТ500 по данным АERONET за период 2002 - 2016. Уровень 1.5. Москва

Среднегодовая аэрозольная оптическая толщина в 2016 году оказалась несколько выше, чем в 2015 году, и составила 0.13. Эта величина на 17% ниже среднего многолетнего значения за 2002-2016 г. Относительно среднего медианного значения медианное значение АОТ500 в 2016 году оказалась ниже на 21%, что с вероятностью 95% статистически значимо.

Таблица 14.1. Средние, максимальные, минимальные значения и коэффициенты вариации (Cvar, %)* аэрозольных оптических толщин (АОТ) на 500, 380 и 1020 нм, влагосодержания атмосферы (W, см), параметра Ангстрема** в 2016 году и их относительные разницы (R, %) со средними многолетними значениями за период 2001-2016 г. Москва, МО МГУ. Уровень 1.5. Число дней измерений – 118

Месяц	Число дней	АОТ500					АОТ380					АОТ1020					W, см					Параметр Ангстрема. α				
		Среднее	Cvar. %	Min	Max	R. %	Среднее	Cvar. %	Min	Max	R. %	Среднее	Cvar. %	Min	Max	R. %	Среднее	Cvar. %	Min	Max	R. %	Среднее	Cvar. %	Min	Max	R. %
1	5	0.13	16.8	0.08	0.18	43%	0.18	15.0	0.10	0.25	43%	0.06	5.6	0.05	0.08	34%	0.35	2.8	0.33	0.37	-9%	1.35	9.6	1.23	1.60	23%
2	8	0.08	15.0	0.03	0.19	-36%	0.11	12.4	0.03	0.25	-32%	0.04	5.9	0.02	0.08	-39%	0.52	4.9	0.35	0.67	27%	1.51	6.0	1.31	1.69	39%
3	13	0.10	10.4	0.04	0.29	-35%	0.14	9.7	0.06	0.43	-30%	0.05	5.5	0.02	0.09	-31%	0.57	5.8	0.27	0.99	5%	1.27	7.2	0.89	1.73	13%
4	10	0.13	13.6	0.05	0.21	-37%	0.19	12.5	0.07	0.32	-36%	0.06	2.2	0.03	0.08	-31%	0.73	5.8	0.46	0.88	-5%	1.39	8.3	0.93	1.76	8%
5	19	0.17	13.4	0.10	0.34	-9%	0.25	12.8	0.17	0.48	-4%	0.07	2.4	0.05	0.15	-11%	1.32	4.8	0.64	2.53	-6%	1.46	6.9	0.94	1.71	12%
6	16	0.17	10.0	0.09	0.40	11%	0.25	9.2	0.13	0.56	13%	0.08	2.5	0.04	0.25	36%	1.88	3.0	0.90	3.21	6%	1.29	5.5	0.71	1.81	-11%
7	15	0.35	12.8	0.12	0.83	53%	0.49	12.3	0.20	1.06	52%	0.12	2.3	0.05	0.26	70%	2.54	2.9	1.85	3.07	12%	1.43	3.2	0.77	1.82	-9%
8	17	0.15	12.4	0.06	0.36	-46%	0.21	12.0	0.08	0.50	-44%	0.06	3.1	0.03	0.15	-30%	1.96	5.0	1.21	2.88	0%	1.19	9.3	0.67	1.72	-19%
9	6	0.12	10.6	0.07	0.16	-44%	0.16	9.3	0.09	0.23	-46%	0.07	3.8	0.04	0.11	-5%	1.62	3.1	1.14	2.13	4%	0.82	9.4	0.32	1.15	-38%
10	4	0.06	13.3	0.03	0.09	-44%	0.10	12.3	0.05	0.14	-37%	0.03	5.0	0.02	0.03	-38%	0.65	4.9	0.43	1.25	-33%	1.31	5.2	0.78	1.61	3%
11	4	0.09	9.2	0.04	0.20	-8%	0.12	7.8	0.05	0.29	-4%	0.04	4.4	0.02	0.06	-18%	0.30	2.9	0.18	0.49	-55%	1.37	9.4	1.00	1.75	22%
12	1	0.04	3.7	0.04	0.04	-47%	0.06	2.9	0.06	0.06	-45%	0.02	4.3	0.02	0.02	-46%	0.22	1.4	0.22	0.22	-63%	1.43	3.1	1.43	1.43	24%
Среднее за год		0.13	11.8	0.06	0.27	-17%	0.19	10.7	0.09	0.38	-14%	0.06	3.9	0.03	0.11	-9%	1.06	3.9	0.66	1.56	-5%	1.32	6.9	0.91	1.65	4%

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

**Параметр Ангстрема определяется как $\alpha = -\ln(\text{АОТ}_\lambda) / \ln \lambda$. Расчет параметра Ангстрема в стандартном алгоритме AERONET проводится на основании уравнения регрессии для различных спектральных диапазонов, но в качестве основного диапазона принята область 440-870 нм.

14.3. Микрофизические, оптические и радиационные свойства аэрозоля в 2016 году

Кроме аэрозольных характеристик, получаемых по ослаблению прямого солнечного излучения, сеть AERONET предоставляет информацию о некоторых наиболее важных микрофизических, радиационных и оптических свойствах аэрозоля, рассчитываемых по специальному алгоритму, разработанному Дубовиком и Кингом (Dubovik, King, 2000). Заметим, что количество случаев значительно меньше (118), чем для стандартных характеристик, что может повлиять на качество статистических оценок.

В таблице 14.2 представлены основные оптические, микрофизические и радиационные свойства аэрозоля. Из полученных данных видно, что доля объемного содержания мелкодисперсной фракции составляет в среднем за год 68%. Так как во второй половине года случаев нет, сезонные различия получить затруднительно.

Таблица 14.2 Среднемесячные микрофизические, оптические и радиационные характеристики аэрозоля в 2016 году. Характеристики рассчитаны по среднедневным оценкам. Уровень 1.5. Москва

Месяц	Число измерений	Число случаев	AOT500	Альbedo однократного рассеяния на длине волны 675 нм	Показатель преломления REFR для 675 нм	Мнимая часть показателя преломления для 675 нм	Фактор асимметрии для 675 нм	Объемная концентрация. мкм ³ /мкм ²	Эффективный радиус мелкодисперсной фракции. мкм	Эффективный радиус грубодисперсной фракции. мкм	Доля объемного содержания мелкодисперсной фракции
1	1	1	0.13	0.97	1.52	0.01	0.63	0.05	0.16	2.18	0.76
2	4	9	0.08	0.75	1.40	0.05	0.67	0.02	0.18	2.38	0.71
3	10	25	0.10	0.71	1.44	0.05	0.70	0.03	0.17	2.38	0.66
4	5	15	0.13	0.81	1.44	0.04	0.65	0.03	0.15	1.89	0.71
5	1	1	0.17	0.76	1.55	0.04	0.59	0.04	0.14	2.21	0.71
6	1	1	0.17	0.85	1.35	0.01	0.61	0.08	0.15	2.03	0.67
7	2	4	0.35	0.93	1.47	0.01	0.66	0.07	0.20	2.68	0.82
8	N/A	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
9	N/A	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
10	N/A	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
11	N/A	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
12	N/A	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
год	24	54	0.13	0.82	1.45	0.03	0.64	0.05	0.16	2.25	0.68

На рисунке 14.3 представлено объемное распределение частиц по размерам в разные месяцы 2016 года. Можно отметить, что содержание частиц грубодисперсной фракции мало изменчиво, за исключением зимы, когда наблюдается их наименьшее содержание. Для мелкодисперсных аэрозолей модальный радиус изменялся от 0.3 мкм в холодный период до минимального значения 0.1 мкм в апреле и далее рос до 0.4 мкм летом. В весеннее время наблюдается наибольшее увеличение содержания грубодисперсного аэрозоля: изменения объемного распределения частиц по размерам ($\frac{dV}{d\ln r}$) для аэрозоля радиусом порядка 4-5 мкм составило 0.009, что связано с неустойчивым снежным покровом, который наблюдался с середины марта по конец апреля, а также отсутствием травянистой растительности и, следовательно, увеличивающейся вероятностью отрыва грубодисперсных пылевых частиц.

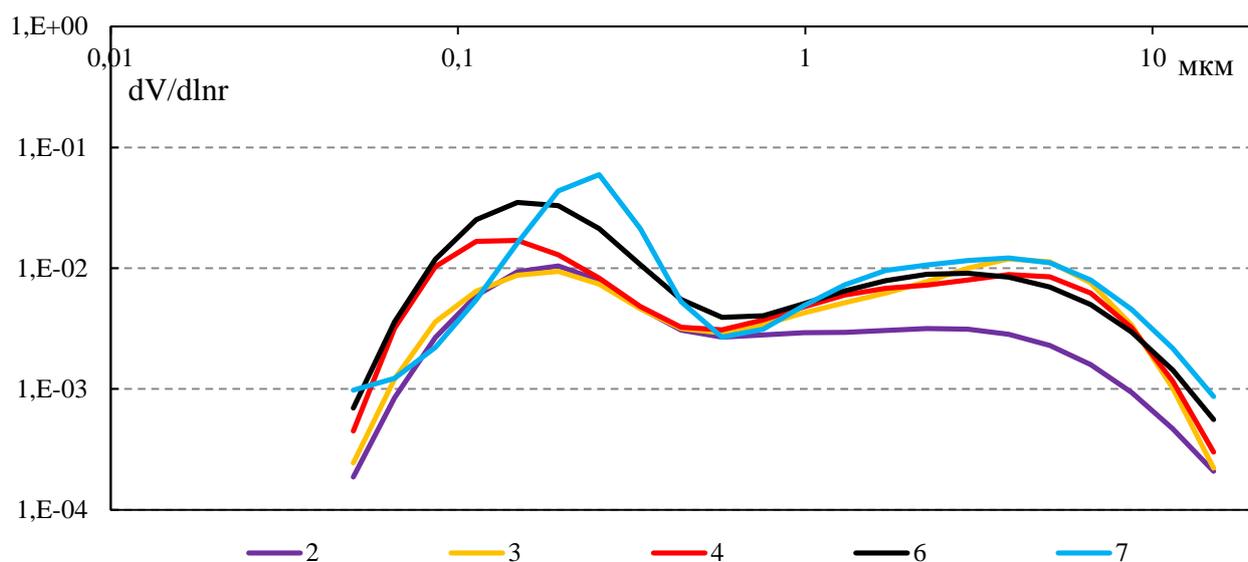


Рисунок 14.3. Объемное распределение частиц по размерам $dV/d\ln r$ в разные месяцы 2016 г.

Для альбедо однократного рассеяния (SSA) отмечается сезонная изменчивость: летом SSA выше, чем зимой. Рост альбедо однократного рассеяния в теплый период определяется, вероятно, ростом доли слабо поглощающего естественного аэрозоля. Среднегодовая оценка SSA_{675} составляет 0.82 (см. табл. 14.2), фактор асимметрии индикатрисы рассеяния в среднем – 0.64. Их изменчивость относительно среднегодовых значений за 2002-2015 гг. составляет 8.1% и 7.8% соответственно.

Средние по выборке действительная (REFR) и мнимая (REFI) части показателя преломления равны 1.45 и 0.03 соответственно. Изменчивость REFR относительно среднего за год невелика (до 6%), в то время как REFI существенно меняется. Так как мнимая часть показателя преломления ответственна за поглощение, то ее сезонный ход выражен так же, как и для альбедо однократного рассеяния.

Таким образом, можно сказать, что в 2016 году содержание аэрозоля оказалось несколько выше по сравнению со среднемесячными значениями за период 2001-2016 гг., но значительно меньше (на 21%) средних медианных оценок. В течение всего года наблюдается преобладание частиц мелкодисперсной фракции с модальным радиусом 0.1-0.4 мкм, за исключением марта, когда преобладала грубодисперсная фракция с радиусом 7 мкм. На длине волны 675 нм альбедо однократного рассеяния в среднем составило 0.82, а фактор асимметрии индикатрисы рассеяния – 0.64. Заметим, что мы рассматриваем данные уровня 1.5 из-за отсутствия окончательной калибровки прибора. Поэтому результаты надо рассматривать как предварительные.

14.4. Сравнение аэрозольных характеристик 2 и 3 версий

Проанализируем результаты, полученные по разработанной в AERONET новой версии 3 обработки данных измерений. Сравним АОТ по AERONET МО МГУ версии 2 (V2) с учетом дополнительной фильтрации по облачности и версии 3 (V3) без фильтрации за 2016 год. Выборка аэрозольных характеристик новой версии меньше (V3 – 173 дня, V2 – 193). Однако если к данным 3-ей версии применять облачную фильтрацию, выборка снижается до 133 дней, для старой версии – до 118. В новой версии отсутствуют 23 дня измерений и восстановлены 3: изменения (удаленные и восстановленные дни) от их общего числа (196) составляют - 6% в теплый, 3% в холодный и 2.5% в переходный периоды. Изменения дней в данных версий 2 и 3 (26) относительно изменения количества дней в версии 2 после применения облачной фильтрации составляет 45.8%. В таблице 17.3 приведены среднемесячные АОТ500 и волновой показатель Ангстрема для различных вариантов версий 2 и 3.

Таблица 14.3. Среднемесячная аэрозольная оптическая толщина на длине волны 500 нм и волновой показатель Ангстрема (для диапазона 440-870нм) в 2016 году для данных V2 и V3 с фильтрацией (ф) и без нее. Характеристики рассчитаны по среднедневным оценкам. Уровень 1.5. Москва

Номер версии	Версия 2		Версия 2 (ф)		Версия 3		Версия 3 (ф)	
	АОТ500	$\alpha_{440-870}$	АОТ500	$\alpha_{440-870}$	АОТ500	$\alpha_{440-870}$	АОТ500	$\alpha_{440-870}$
Январь	0.13	1.44	0.13	1.44	0.11	1.34	0.11	1.39
Февраль	0.10	1.43	0.09	1.45	0.10	1.25	0.09	1.26
Март	0.21	1.08	0.11	1.28	0.13	1.19	0.11	1.30
Апрель	0.22	1.20	0.13	1.34	0.14	1.28	0.14	1.37
Май	0.19	1.37	0.18	1.43	0.18	1.41	0.18	1.40
Июнь	0.21	1.21	0.18	1.28	0.19	1.26	0.16	1.26
Июль	0.39	1.31	0.36	1.46	0.32	1.38	0.31	1.46
Август	0.21	1.16	0.16	1.19	0.18	1.20	0.15	1.19
Сентябрь	0.13	0.81	0.12	0.82	0.12	0.83	0.12	0.82
Октябрь	0.38	0.86	0.07	1.31	0.08	1.26	0.07	1.26
Ноябрь	0.12	1.03	0.09	1.35	0.09	1.25	0.10	1.30
Декабрь	0.05	1.34	0.05	1.43	0.08	1.41	0.08	1.44
Среднее за год	0.19	1.19	0.14	1.31	0.14	1.26	0.14	1.29
Число дней/ Число случаев	193/5876		118/3288		173/7536		133/4352	

На рисунке 14.4 представлены разницы аэрозольной оптической толщины ($\lambda=500$ нм) и параметра Ангстрема (440-870 нм) версии 3 с облачной фильтрацией и без нее. Можно отметить, что наибольшее различие в АОТ наблюдается летом (0.028), а в целом разница меняется от -0.005 до 0.028. АОТ500 версии 3 без применения облачных фильтров выше, чем с ними. В то же время для показателя Ангстрема отмечаются и положительные, и отрицательные значения, небольшие по величине (до 0.1).

Проводились сравнения АОТ и волнового показателя Ангстрема для версии 2 и 3 с облачной фильтрацией с одинаковым (с точки зрения дней измерений) размером выборок. Они показали, что различие в версиях при одном и том же облачном фильтре влияет на результаты: различия в аэрозольной оптической толщине лежат в интервале от -0.009 до 0.008 (рис.14.5), а для показателя Ангстрема разница достигает 0.15.

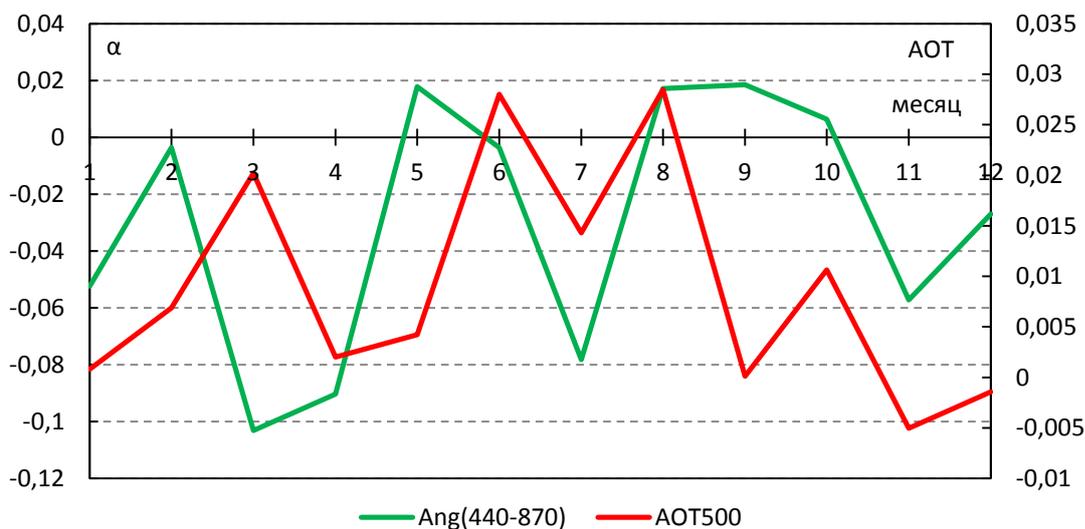


Рисунок 14.4. Разницы ($V3 - V3$ с фильтрацией) среднемесячных величин АОТ на длине волны 500 нм и параметра Ангстрема (440-870) в 2016 году. Москва. Уровень 1.5

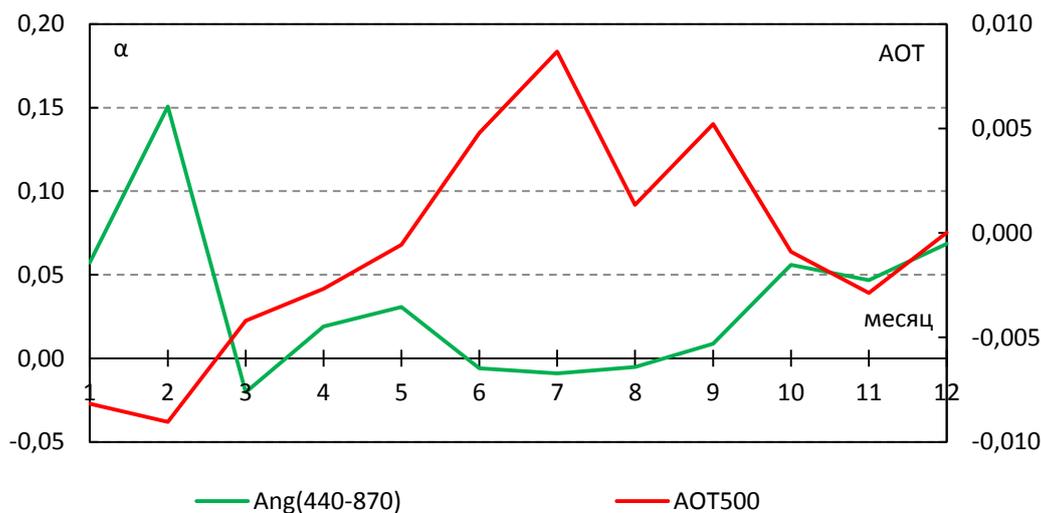


Рисунок 14.5. Разницы ($V2 - V3$) среднемесячных величин АОТ на длине волны 500 нм и волнового показателя Ангстрема (440-870) для одинаковой выборки ($n=117$) с облачными фильтрами в 2016 году. Москва. Уровень 1.5

Следует отметить, что для оптической толщины NO_2 тоже имеются различия в данных для версий 2 и 3 (рис.14.6), которые возрастают в зимние месяцы.

В случае применения облачных фильтров для различных выборок $V2$ и $V3$ изменение в АОТ более заметно, однако оно не превышает 0.05, а волновой показатель Ангстрема $V3$ несколько ниже практически в течение всего года (рис.14.7).

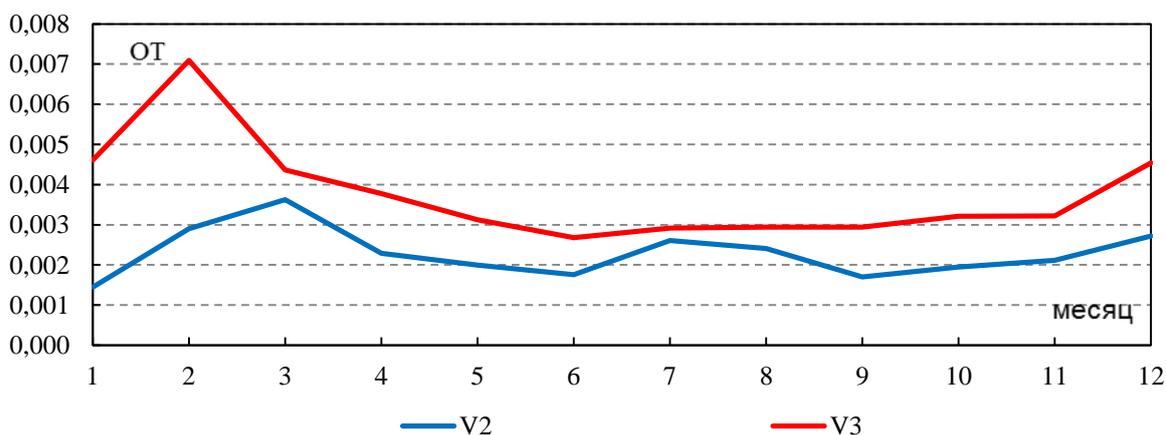


Рисунок 14.6. Ход среднемесячных величин OT_{NO_2} на длине волны 500 нм версий данных 2 и 3 в 2016 году. Москва. Уровень 1.5

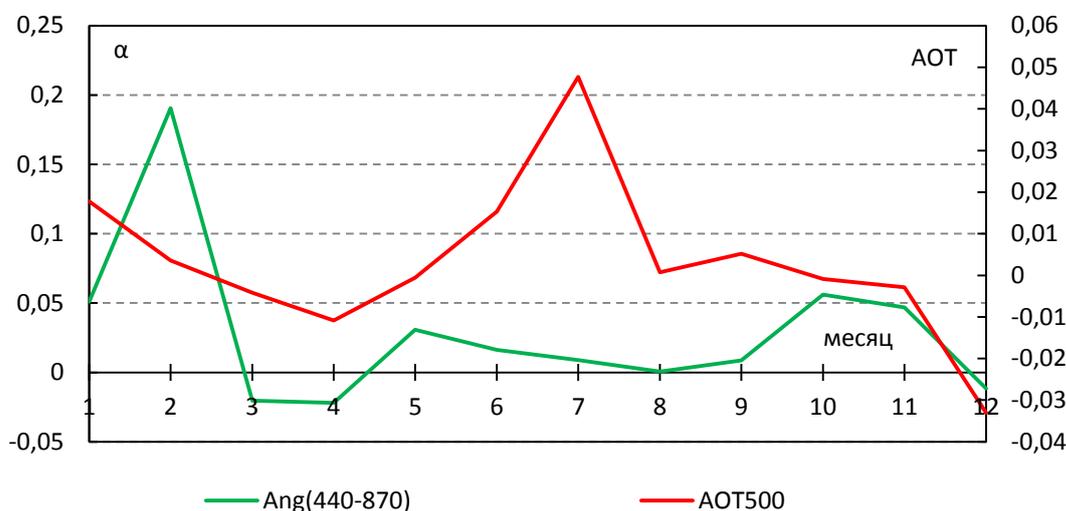


Рисунок 14.7. Разницы ($V2 - V3$) разных по числу случаев выборок с облачными фильтрами среднемесячных величин АОТ на длине волны 500 нм и параметра Ангстрема (440-870) в 2016 году. Москва. Уровень 1.5

На рисунке 14.8 представлен годовой ход разности ($V2$ с фильтрацией - $V3$) среднемесячных величин АОТ на различных длинах волн и W (в см) в 2016 году. С введением новой коррекции наблюдается изменение (как возрастание, так и снижение в различные месяцы года) аэрозольной оптической толщины и влагосодержания атмосферы. Наибольшие различия наблюдаются для АОТ в УФ диапазоне спектра (до 0.05). Такие различия связаны, главным, образом с облачной фильтрацией и исключением из выборки измерений в некоторые дни.

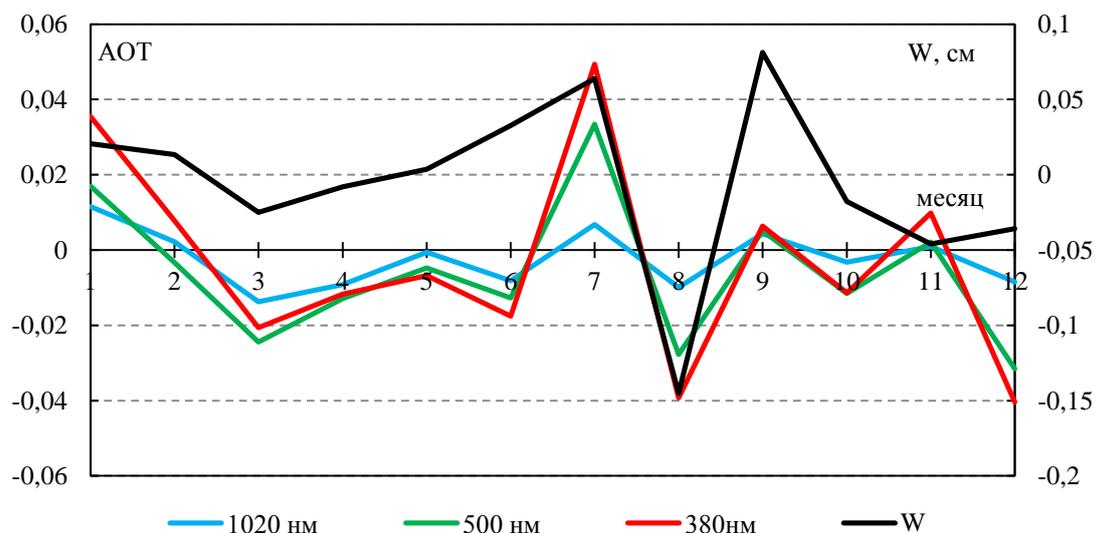


Рисунок 14.8. Разницы (V2 с фильтрацией – V3) среднемесячных аэрозольных оптических толщин (АОТ) для разных длин волн и влагосодержания (W, см) в 2016 году. Уровень 1.5

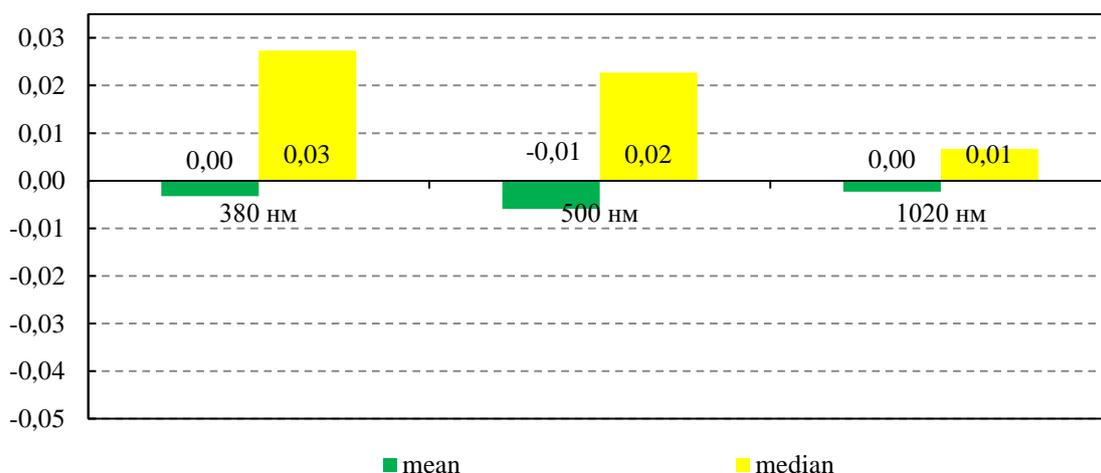


Рисунок 14.9. Разница (V2 с фильтрацией – V3) среднегодовых и медианных годовых значений аэрозольных оптических толщин (АОТ) для разных длин волн в 2016 году. Уровень 1.5

Для выборок с облачной фильтрацией медианные характеристики по версии V2 выше, чем V3, особенно для УФ области спектра, где разница достигает 0.027 (рис.14.9).

На рисунке 14.10 представлены разницы экстремумов аэрозольных оптических толщин и влагосодержания, рассчитанные по средним дневным оценкам. Наибольшие различия характерны для летнего периода. С введением дополнительных коррекций

минимальные наблюдаемые величины для большинства месяцев мало отличаются (за исключением июля и января), а максимальные возросли, что, конечно, связано появлением возможности восстановления очень больших АОТ.

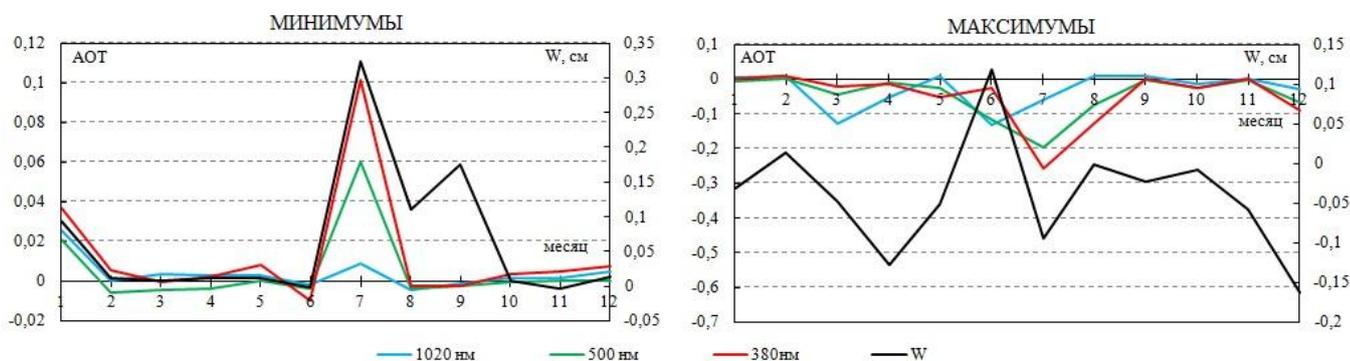


Рисунок 14.10. Разницы (V_2 с фильтрацией – V_3) экстремумов аэрозольных оптических толщин (АОТ) для разных длин волн и влагосодержания (W , см) в 2016 году. Уровень 1.5

Следует также отметить, что прошедшие через алгоритм обработки сети AERONET данные версии 2 с отрицательными значениями параметра Ангстрема (для 2016 года такие величины наблюдались 25 марта, 22 июля и 20 ноября) были исключены из выборки как облачным фильтром МО МГУ, так и по новому алгоритму 3 версии AERONET.

Таким образом, данные версии 3 стали ближе к данным версии 2 с облачной дополнительной фильтрацией, однако наблюдаются различия. Аэрозольные оптические толщины версии 2, прошедшие облачную фильтрацию, все же ниже, чем данные версии 3, а значит, новый алгоритм, вероятно, идентифицирует не все облачные случаи в выборке.

Литература

Chubarova N.Y, Poliukhov A.A. and Gorlova I.D.: 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 NO_2 correction, *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 313–334, doi:10.5194/amt-9-313-2016, 2016

Dubovik O. and M.D. King: A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements, *J. Geophys. Res.*, 105, 20, 673–20, 696, 2000

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

15. Химический состав атмосферных осадков в 2016 году

Еремина И.Д.

В 2016 г. были продолжены наблюдения за химическим составом осадков и их кислотностью. Собрано и проанализировано 155 проб твердых и жидких осадков, подвергнутых полному химическому анализу. Из них 82 пробы дождя, 55 – снега и 18 проб – смешанных осадков. Кроме этого, собрано 28 проб, в которых было определено только значение рН (из-за малого количества образца). В теплый период было получено 4 пробы снега (все в октябре), а в холодные месяцы – 4 пробы дождевых осадков (в феврале и марте). Общее количество полностью проанализированных осадков составило 99,2% от всех выпавших в этом году.

Кислотность осадков. *Среднее годовое значение рН* в 2016 г. составило 5,14 рН – при среднем многолетнем значении 4,88 рН. Предыдущие 10 лет (с 2006 по 2015 гг.) средние годовые значения рН были менее 5,0, т.е. осадки были кислыми. Возможная причина повышенных значений рН кроется в большом количестве осадков в холодный период, когда рН выпадающих осадков находится в диапазоне 6-8 рН, и при расчете средневзвешенных значений они внесли существенный вклад в повышение среднего значения рН. Так, в январе, феврале, марте и ноябре 2016 г. выпало 81, 62, 55 и 100 мм осадков при норме 44, 37, 35 и 57 мм соответственно. Количество собранных проб также увеличилось: обычно собираем 50-60 проб в холодные месяцы, а в 2016 г. – 90. Получается, что в эти месяцы мы получили почти в 2 раза больше, чем обычно нейтральных и щелочных значений проб, что и сказалось на увеличении среднего значения рН.

Самое кислое значение, полученное в 2016 г., равно 3,90 рН (дождь 16 мая 2016 г., выпал после 4-х дней без осадков, количество 0,6 мм, поэтому очень грязный – минерализация 155 мг/л). Максимальное значение 7,70 рН получено, можно сказать, для последней пробы снега за зиму 2015-2016 гг. – 18 марта 2016 г. Проба тоже довольно грязная, собрана после 5 дней без осадков, минерализация 88 мг/л, количество 1,0 мм.

Среднее значение рН осадков за *теплый период* 2016 года равно 4,99 (среднее многолетнее 4,76 рН), а для холодных месяцев 5,64 рН (среднее многолетнее 5,51 рН). В теплый период выпало 41,9% кислотных осадков (рис. 15.1), а в холодные месяцы 2016 г. только 5 проб (5,6%), и все они собраны в январе-марте, а в ноябре-декабре – ни одной. Более того, в эти последние два месяца собраны всего 3 пробы в интервале 5-6 рН, а все остальные – в диапазоне от 6 до 8 рН.

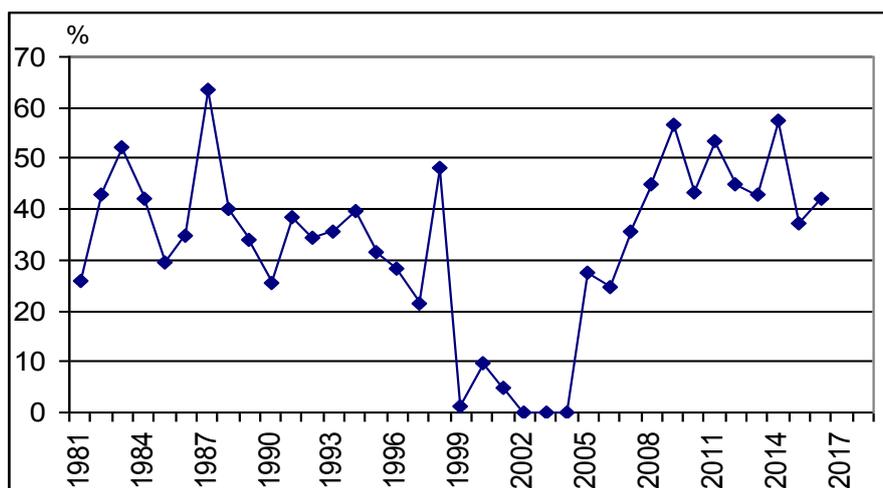


Рисунок 15.1. Доля кислотных проб осадков в теплые периоды за все годы наблюдений

Из рис. 15.1 видно, что в последние годы – после периода 1999-2004 гг., когда практически не было выпадения кислотных дождей, и по настоящее время – средняя доля проб дождей с $pH \leq 5,0$ несколько выше по сравнению с периодом до 1999 г. и приближается к 45 %. В первом периоде наших наблюдений (1981-1998 гг.) эта доля в среднем составляла 36 %, несмотря на то, что в этот период входит самый «кислый» год, 1987 г., когда получено максимальное количество кислотных дождей за теплый период (63,5%) и наименьшие средние значения рН за год (4,22 рН) и теплый период (4,10 рН).

Сравнивая распределение проб по градациям рН в 2016 г. и многолетнее (1982-2016 гг.), видно, что количество проб в различных интервалах рН для всех осадков без разделения их по агрегатному состоянию для 2016 г. почти не отличается от многолетнего (рис. 15.2, а и з). Также очень похожи гистограммы распределения по градациям кислотности снежных проб 2016 г. и многолетняя (рис. 15.2, в и е). А распределение проб осадков в теплый период 2016 г. отличается от многолетнего уже тем, что максимальное количество проб дождя имеет рН в интервале от 4 до 5, а в многолетнем распределении,

хотя и не намного, но большинство проб имеет рН от 5 до 6 (рис. 15.2, б и д). Вообще по многолетним данным выпадение осадков в теплый период в диапазонах 4-5, 5-6 и 6-7 рН примерно равновероятно. Но заметим, что в последние 10 лет только для 3 лет (2008, 2010 и 2015 гг.) максимум приходился на градацию 5-6 рН, а в остальные 7 лет больше всего проб дождей имели $\text{pH} \leq 5,0$, т.е. были кислыми. Еще раз подчеркнем, что различия в количестве проб между этими градациями небольшие, о чем и свидетельствует гистограмма многолетнего (1982-2016 г.) распределения (рис. 15.2, д). Увеличение числа кислотных проб в теплый период произошло за счет уменьшения проб осадков во всех других градациях рН, а в интервале 7-8 рН в 2016 г. выпал всего 1 дождь.

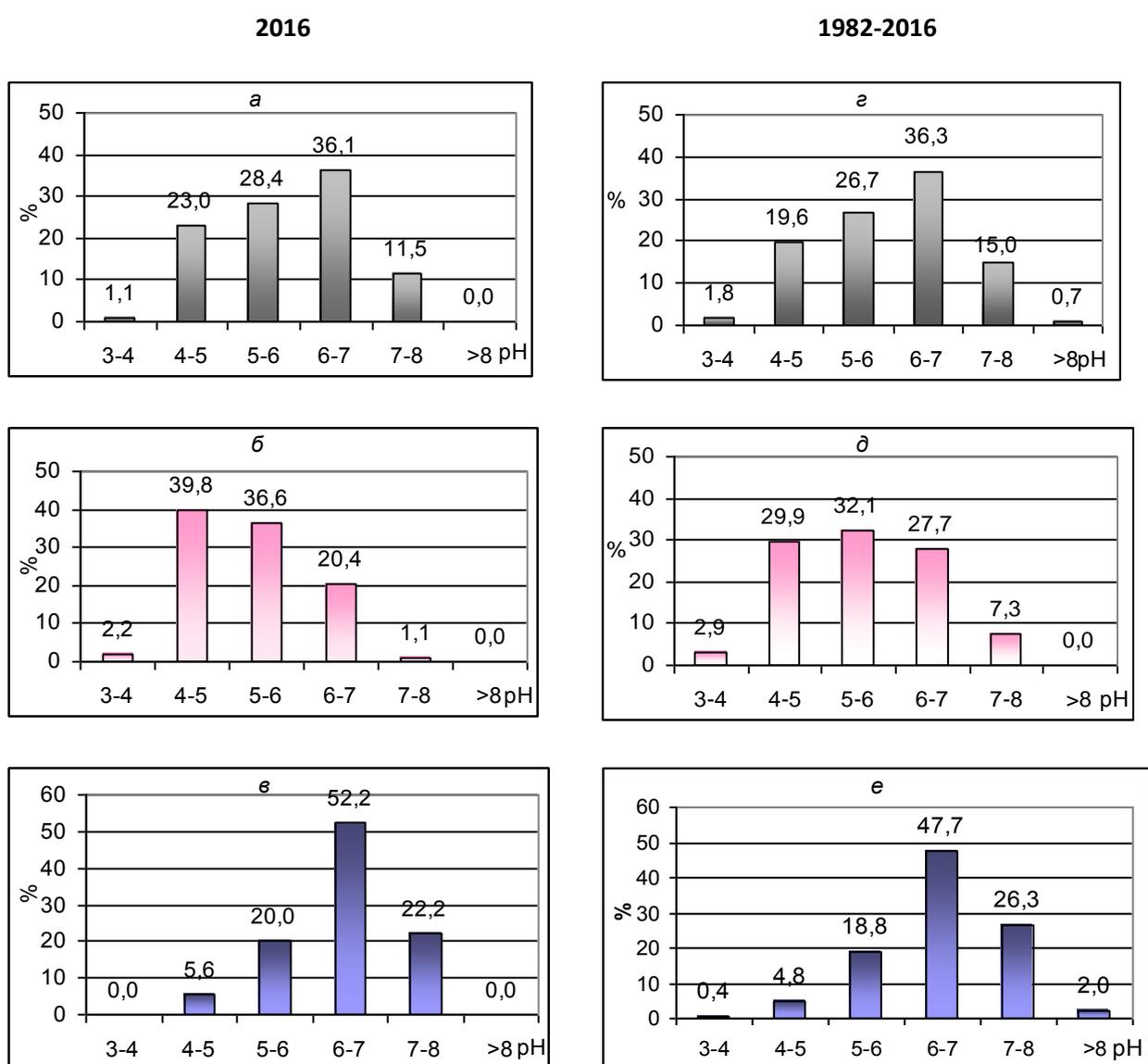


Рисунок 15.2. Распределение проб осадков по градациям кислотности 2016 г. и многолетнее (1982-2016): пробы всех осадков (а, з), пробы дождей (б, д) и пробы, собранные в холодные месяцы года (в, е)

Годовой ход рН осадков 2016 г. имеет необычную форму по сравнению с многолетним (рис. 15.3 а, б). В этом году среднее значение рН в июне необычно высокое, т.к. в июне было только 2 кислотных дождя из 14 собранных. Обычно же в июне выпадает более 40% дождей с рН<5,0. Видно, что в этом году только 3 месяца имеют среднее значение рН<5,0, и значения их не столь низкие (4,8-4,9 рН) как средние многолетние (летние месяцы по многолетним данным имеют около 4,6 рН).

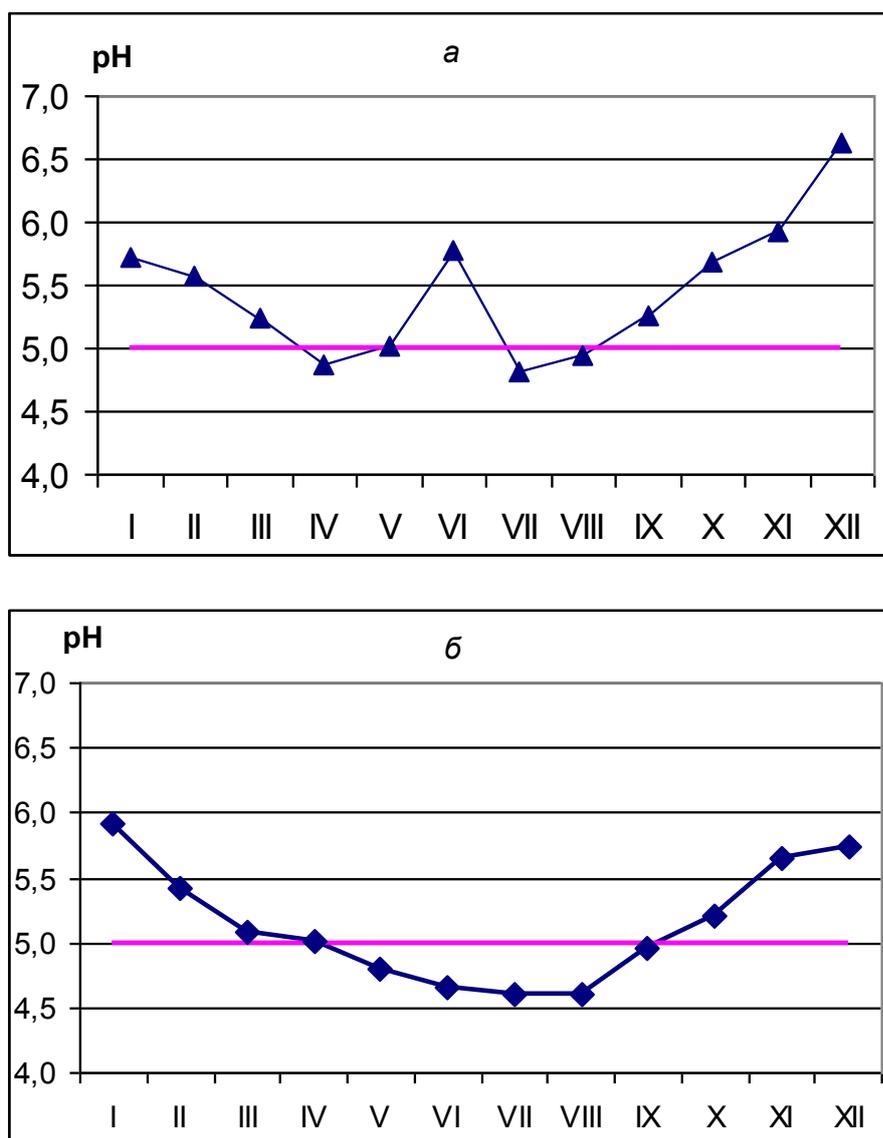


Рисунок 15.3. Годовой ход кислотности осадков: (а) – 2016 г., (б) – многолетние данные (1980-2015 гг.)

Ионный состав осадков. В табл. 15.1 приведены осредненные данные химического состава осадков за 2016 г. по сравнению с прошлым годом и средними многолетними значениями. Видно, что годовые значения в 2016 г. всех ионов и минерализации ниже, чем в прошлом. Это понятно, поскольку в прошлом 2015 г. осадков было гораздо меньше, чем в этом (735 и 939,5 мм соответственно), т.е. в 2016 г. атмосфера очищалась более регулярно, и высокие концентрации ионов в пробах встречались гораздо реже. Отметим, что средняя годовая концентрация сульфата в 2016 г. равна 1,7 мг/л – наименьшая за все годы наблюдений. А в первые 15-20 лет наших наблюдений сульфат был основным преобладающим анионом, и его концентрация составляла от 5,6 до 10,9 мг/л, при среднем значении >6 мг/л. В период 2000 – 2016 гг. средняя концентрация сульфатов близка к 3 мг/л. Понятно, что все это – результат перехода котельных Москвы на газ, поэтому в атмосфере резко снизились концентрации сернистого газа, предшественника сульфатов в осадках.

Самая чистая проба дождя с минерализацией 2,0 мг/л была собрана 15 августа 2016 г., когда суточное количество осадков было самым высоким за все годы наблюдений (108,5 мм). Самый загрязненный дождь (минерализация 160,7 мг/л) выпал 11 апреля 2016 г. при количестве осадков всего 0,7 мм.

Средние сезонные концентрации всех ионов и минерализации тоже оказались ниже прошлогодних. Особенно «чистыми» оказались холодные месяцы 2016 г.: значение средней минерализации, а также ионов сульфатов, гидрокарбонатов, кальция и магния оказались самыми низкими для холодных месяцев за все годы наблюдений. Понятно, что это объясняется превышением количества осадков в эти месяцы по сравнению с многолетними наблюдениями почти на 100 мм, как уже отмечалось в разделе о кислотности осадков. По сравнению с многолетними средними концентрациями в 2016 г. содержания всех ионов, понятно, ниже, кроме ионов хлорида (табл. 15.1), которые, часто имеют повышенные значения концентраций в последние годы. Причиной этого, может быть чрезмерное применение противогололедных реагентов (Еремина, 2015). Несмотря на то, что в последние 2 года концентрации хлоридов несколько снизились по сравнению, например, с 2014 г., однако явное увеличение содержания его в осадках и теплого, и холодного периодов с 2000 г. очевидно (рис. 15.4).

Таблица 15.1. Средние значения концентраций ионов в осадках в 2016 г. по сравнению с 2015 г. и многолетними данными

Сезон	Концентрация ионов, мг/л										Сумма ионов
	pH	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	
2016 г.											
Год	5,14	1,3	1,7	4,3	1,48	2,4	0,12	0,40	0,20	0,98	12,9
Тепл. (IV-X)	4,99	1,2	1,8	4,8	1,55	2,6	0,14	0,16	0,24	1,12	13,6
Хол. (I-III, XI-XII)	5,64	1,5	1,5	3,5	1,36	1,9	0,07	0,84	0,12	0,74	11,6
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
Многолетние данные (1982-2016 гг)											
Год	4,89	2,7	4,4	3,6	1,79	3,1	0,17	0,39	0,17	0,93	17,3
Тепл. (IV-X)	4,77	1,9	4,5	3,8	1,72	2,9	0,18	0,22	0,18	1,06	16,5
Хол. (I-III, XI-XII)	5,51	4,7	4,3	3,0	1,95	3,5	0,17	0,74	0,14	0,64	19,1

Как уже отмечалось из-за повышенного количества осадков в этом году, проб с высокой минерализацией было мало (рис. 15.5, а). Зато самых чистых проб (минерализация до 10 мг/л) было гораздо больше, чем по средним многолетним данным (рис. 15.5, а и б). Самые загрязненные пробы с минерализацией больше 100 мг/л было всего 3. Такие пробы выпадают после некоторого периода без осадков и/или с малым количеством осадков (до 1 мм).

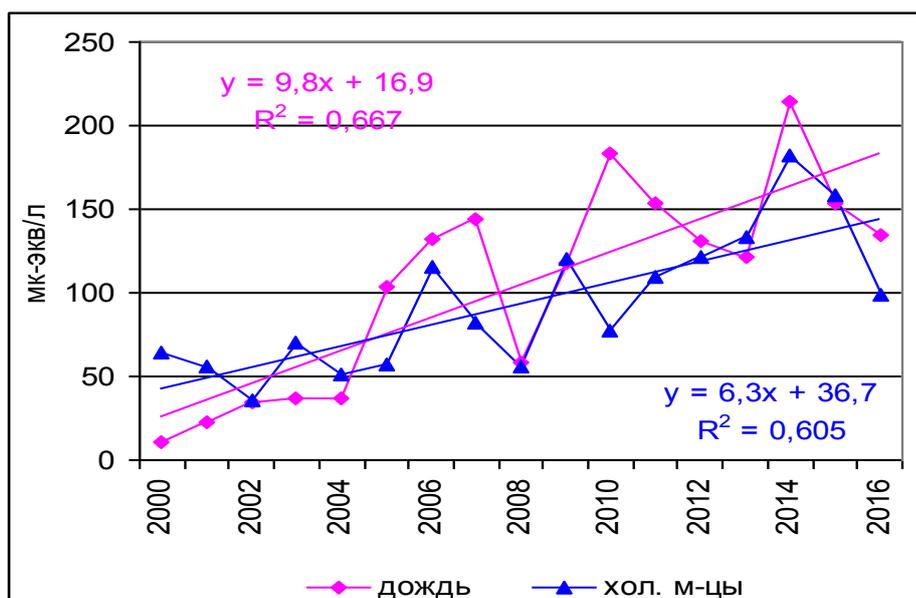


Рисунок 15.4. Увеличение концентрации хлоридов в теплые и холодные месяцы с 2000 г.

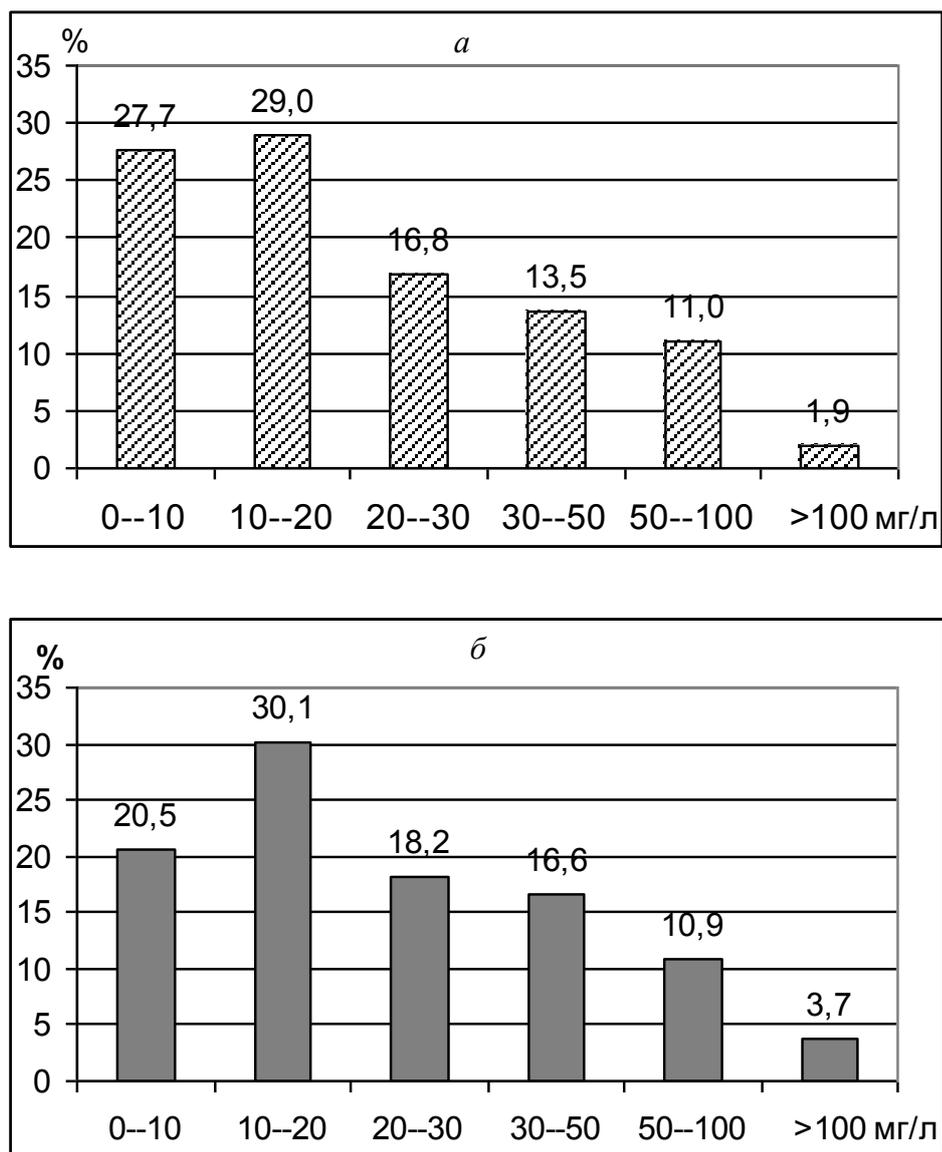


Рисунок 15.5. Распределение проб осадков 2016 г. по градациям минерализации (а) по сравнению с многолетним (б)

Годовой ход минерализации осадков 2016 г. по сравнению с многолетним представлен на рис.15.6. Традиционный весенний максимум немного ниже, чем по многолетним данным. Зато из-за малого количества осадков в октябре и декабре наблюдаются повышенные значения минерализации, почти на уровне весеннего максимума. А самые небольшие значения минерализации получены при наибольших месячных суммах осадков в июле и августе, а также в январе и феврале – при необычно большом количестве проб для холодных месяцев (20 и 13 проб соответственно).

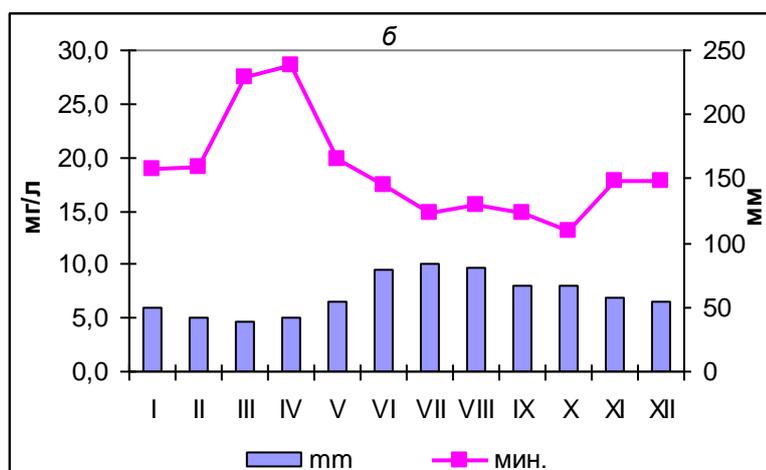
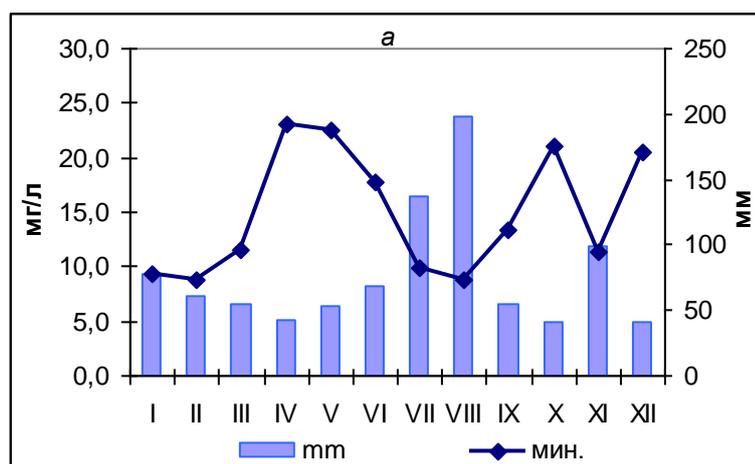


Рисунок 15.6. Годовой ход минерализации (а) – 2016 г. и (б) – многолетний

Сравнительное содержание всех ионов в осадках (в мк-экв/л) показано на рис. 15.7. Содержание катионов не претерпевает больших изменений в течение всего периода наблюдений. Преобладающим катионом является как всегда ион кальция (89% от всех проб). И далее средние годовые значения катионов убывают в следующем порядке: $\text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{H}^+ > \text{K}^+$, мало отличаясь от многолетнего порядка. Отметим только уменьшение ионов кальция в 2016 г. по сравнению с многолетними данными вследствие большого количества осадков в этом году. По этой причине и средние относительные значения анионов в 2016 г. тоже меньше многолетних, за исключением хлоридов, про рост концентраций которых в последние годы уже неоднократно упоминалось. Именно хлорид является теперь преобладающим анионом не только по ежегодным средним значениям с 2005 г., но и по многолетним данным. В 2014 г. средние многолетние эквивалентные концентрации сульфатов и хлоридов были одинаковыми, а вот уже 2 года и в многолетних

средних хлорид преобладает. В 2016 г. из всех 155 собранных проб в 90% проб преобладающим анионом был хлорид, в 5% – гидрокарбонат-ион, в 3% – сульфат и в 2% – нитрат.

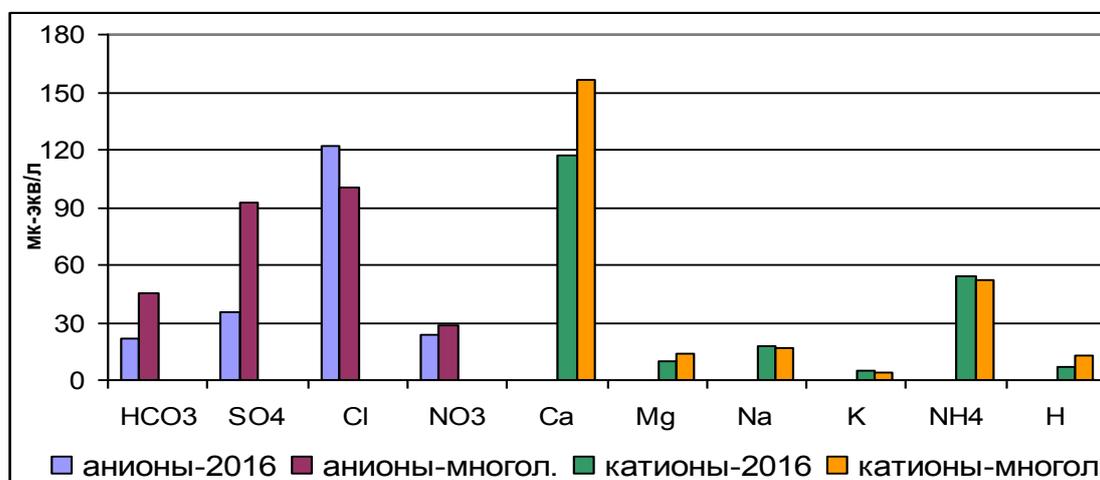


Рисунок 15.7. Сравнительное содержание всех ионов в осадках 2016 г. по сравнению со средними многолетними

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

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

где $C_{cp.}$ – средняя годовая 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 2016 г. на поверхность земли вместе с атмосферными осадками выпало 121,1 кг/га минеральных солей (многолетнее годовое значение составляет 124,9 кг/га*год) (см. табл. 15.2).

Таблица 15.2. Выпадение ионов минеральных солей с атмосферными осадками

	Ионы										
	H	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Сумма
Выпадение ионов в 2016 г											
кг/га	0,07	12,5	16,0	40,6	13,9	22,0	1,1	3,8	1,9	9,2	121,1
%	0,1	10,3	13,2	33,5	11,5	18,2	0,9	3,1	1,5	7,6	
Многолетние данные (1982-2016)											
кг/га	0,09	19,8	31,9	25,7	12,9	22,6	1,2	2,8	1,2	6,7	124,9
%	0,1	15,9	25,5	20,6	10,3	18,1	1,0	2,2	1,0	5,4	

Больше всего на поверхность земли в этом году выпало хлоридов (40,6 кг/га в год), 22,0 кг/га солей кальция, примерно по 12-16 – гидрокарбонатов, сульфатов и нитратов. По сравнению с многолетними данными в 2016 г. с атмосферными осадками намного больше выпало хлоридов, а также солей натрия и аммония. Меньше многолетних значений составили выпадения гидрокарбонатных и сульфатных солей. Отметим, что общее количество солей, выпадающих с осадками, заметно снизилось. До 2000 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).

Выводы

Среднее значение рН осадков за теплый период 2016 г. равно 4,99, а для холодных месяцев 5,64 и годовое 5,14 рН. Все эти значения выше соответствующих многолетних, т.е. кислотность осадков 2016 г. чуть меньше обычных значений.

Благодаря повышенному количеству осадков 2016 г. был довольно «чистым». А средняя годовая концентрация сульфата (1,7 мг/л), а также средние концентрации гидрокарбонатов, сульфатов, кальция и магния в пробах холодных месяцев были минимальными за весь период наблюдений с 1982 г.

Литература

Еремина И.Д., Алоян А.Е., Арутюнян В.О., Ларин И.К., Чубарова Н.Е., Ермаков А.Н. Кислотность и минеральный состав осадков в Москве. Влияние противогололедных реагентов. Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2015. Том 51, №6, с. 700-709

16. Особенности аэропалинологического состава атмосферы в 2016 году

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

Наблюдения за аэропалинологическим составом атмосферы проводили с 1 марта по 17 сентября при помощи волюметрического пылеуловителя Ланзони 2000 по стандартной методике (Galan et al., 2014). Всего за период наблюдения в атмосфере были обнаружены пыльцевые зерна 39 палинологических типов, 19 из которых были отмечены в составе спектра единично. Кроме пыльцевых зерен, в препаратах фиксировали споры грибов из родов *Cladosporium* и *Alternaria*.

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 (с 1993 г.). Начало пыления ольхи было зарегистрировано 13 марта, интенсивность пыления (суммарная концентрация пыльцы за сезон) была на уровне средних многолетних значений и составила 2491 пыльцевых зерен (пз), пик пыления пришелся на 16 марта (384 пз/м^3), продолжительность пыления составила 33 дня. Пыление орешника началось 13 марта – это самое раннее начало пыления, зафиксированное за 25 лет наблюдений. Интенсивность пыления (478 пз) незначительно превышала средние многолетние значения, пик пыления пришелся на 9 апреля и составил 90 пз/м^3 .

Раннее начало пыления было отмечено также для тополя (*Populus*, 9 апреля) и ивы (*Salix*, 10 апреля), опережение по сравнению со средними сроками составило 5 и 6 дней соответственно. Интенсивность пыления тополя составила 922 пз, что в два раза ниже средних многолетних значений, пик пыления пришелся на 10 апреля (171 пз/м^3), продолжительность пыления составила 16 дней. Интенсивность пыления ивы составила 1355 пз, что существенно превысило средние многолетние значения. Такая же высокая интенсивность пыления была зафиксирована ранее в 1996, 2010 и 2013 гг. Пик пыления зарегистрирован 4 мая (209 пз/м^3), продолжительность пыления составила 35 дней.

Начало пыление вяза (*Ulmus*) и клена (*Acer*) в 2016 незначительно опережало средние показатели и было зафиксировано 10 и 18 апреля соответственно, пик пыления пришелся на 15 (*Ulmus*, 35 пз/м^3) и 25 (*Acer*, 289 пз/м^3) апреля. Интенсивность пыления клена (988 пз) была сходна со средними многолетними значениями, вяза (164 пз) – в два раза ниже. Пыление

ясеня (*Fraxinus*) началось 29 апреля, что на неделю позже средних многолетних показателей, интенсивность пыления была ниже средней, пик пыления пришелся на 10 мая (52 пз/м³).

Абсолютной доминантой спектра являлась пыльца березы (*Betula*) – на ее долю в 2016 году пришлось 41 % от всей пыльцы, зарегистрированной за сезон (рис. 16.1).

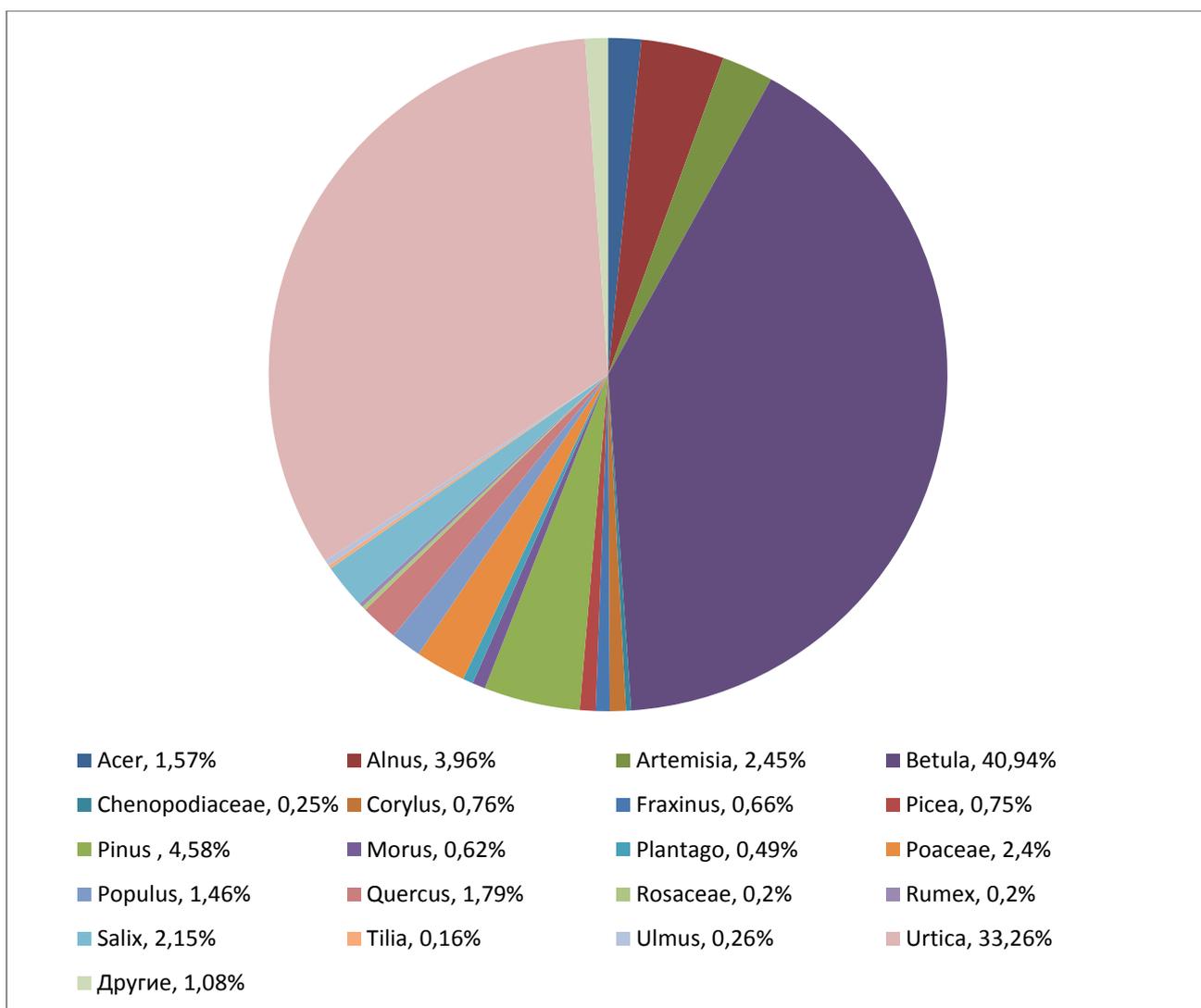


Рисунок 16.1. Состав аэробиологического спектра, 2016 год

Начало пыления березы было зафиксировано 24 апреля, что соответствует средним срокам начала пыления за весь период наблюдений. Пик пыления березы пришелся на 28 апреля, концентрация пыльцы в этот день составила 5626 пз/м³.

Весенний период цветения завершился пылением дуба, которое в целом соответствовало средним показателям. Начало пыления отмечалось 4 мая, пик пришелся на 9 мая (266 пз/м^3), интенсивность пыления составила 1129 пз.

Пыление хвойных – сосны (*Pinus*) и ели (*Picea*) было зафиксировано во второй половине мая – начале июня. Пыление ели началось 7 мая, пик пыления был отмечен 11 мая (105 пз/м^3), общая интенсивность пыления составила 473 пз. Интенсивность пыления сосны в 2016 году была ниже средних многолетних значений и составила 2883 пз (среднее многолетнее значение 3387 пз), период пыления превысил средние значения и составил 21 день с 15 мая по 6 июня.

Наибольшую опасность с аллергологической точки зрения в начале лета представляет пыльца злаков, которая появляется в воздухе в конце весны. Начало пыления злаков было отмечено 30 мая, что соответствует многолетним наблюдениям. Пик пыления пришелся на 18 июня (204 пз/м^3), общая интенсивность пыления за сезон составила 1513 пз. Для злаков характерно наиболее растянутое пыление – его общая продолжительность в 2016 году составила 84 дня (рис. 16.2). Кривая пыления многовершинная, что соответствует одновременному цветению многочисленных видов, относящихся к семейству Злаки (*Poaceae*).

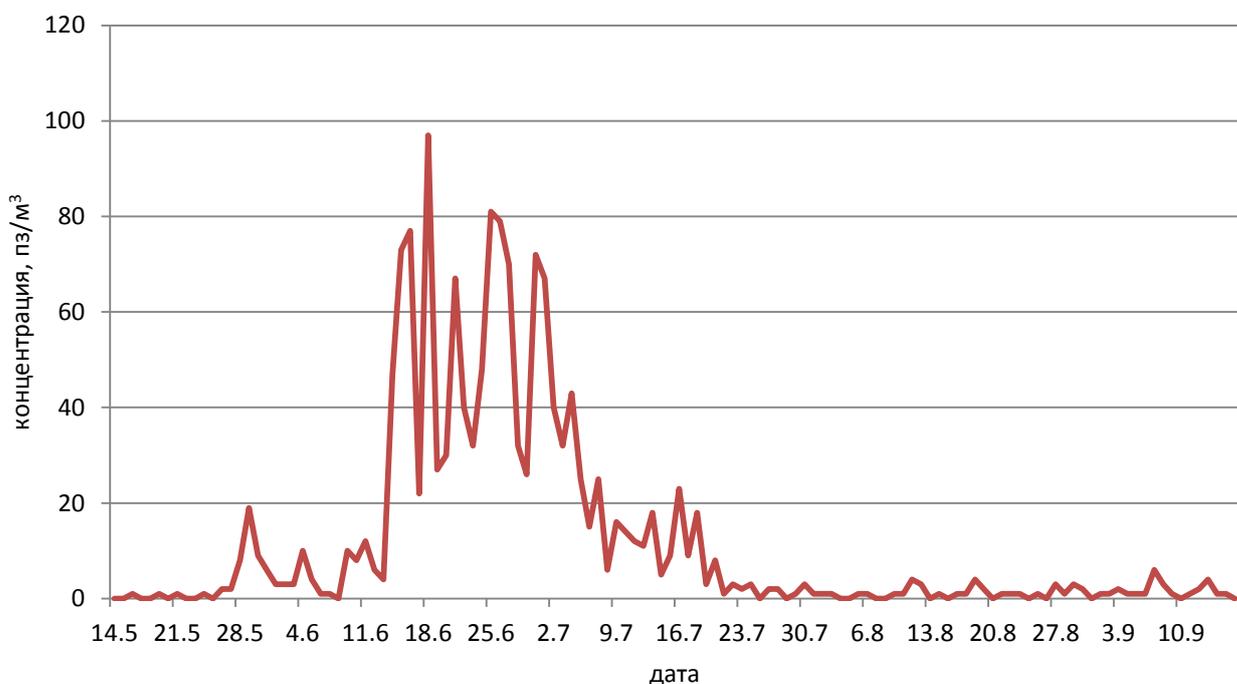


Рисунок 16.2. Динамика пыления злаков

Помимо злаков, растянутый период пыления характерен для крапивы (*Urtica*). Интенсивность пыления крапивы в 2016 году в 1,7 раза превысила средние многолетние показатели и составила 20933 пз. Пыление продолжалось 58 дней, начало пыления было зафиксировано 21 июня, пик пыления пришелся на 30 июня и составил 665 пз/м³.

Начало, продолжительность и интенсивность пыления полыни (*Artemisia*) в 2016 году соответствовали многолетним наблюдениям. Начало пыления было зарегистрировано 23 июля, интенсивность составила 1540 пз, пик пыления был отмечен 6 августа и составил 192 пз/м³. Пыльца амброзии (*Ambrosia*) в составе спектра была зарегистрирована в период с 18 по 30 августа. За исключение 30 августа, суточная концентрация пыльцы амброзии была низкой, от 1 до 11 пз/м³. 30 августа был зафиксирован резкий подъем концентрации до 47 пз/м³, а затем ее резкое снижение до нулевых значений. Суммарное содержание пыльцы амброзии за сезон составило 96 пз.

Спороношение кладоспирума и альтернрии соответствовало средним многолетним показателям. Интенсивность спороношения составила 180094 (*Cladosporium*) и 4063 (*Alternaria*) споры за сезон, продолжительность спороношения составила 118 и 91 день, пик спороношения пришелся на август (23.08, 5734 споры/м³ *Cladosporium*; 07.08, 435 споры/м³ *Alternaria*).

Сезон пыления завершился к середине сентября, что соответствует многолетним наблюдениям.

Аэропалинологический мониторинг в Москве осуществляется при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-50-00029).

Литература

Galan C., Smith M., Thibaudon M., Frenguelli G., Oteros J., Gehrig R., Berger U., Clot B., Brandao R., EAS QC Working Group. Pollen monitoring: minimum requirements and reproducibility of analysis // *Aerobiologia*. 2014. Vol. 30. P. 385–395.

Часть IV. Прикладные аспекты метеорологических наблюдений



17. Изучение пространственно-временной неоднородности снежной толщи на площадке метеорологической обсерватории МГУ зимой 2016/2017 гг.

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

Исследование направлено на изучение пространственной и временной изменчивости структуры и характеристик снежного покрова, быструю идентификацию слоев на основе значений прочности и ее вариации, полученных на основе данных пенетрометра высокого разрешения SnowMicroPen (SMP). Работа выполнена на площадке метеорологической обсерватории МГУ в Москве, Воробьевы горы. Исследования включали в себя регулярные замеры автоматическим датчиком толщины снежного покрова с дискретностью 1 раз в 15 минут, периодические наблюдения за строением и развитием снежной толщи в шурфе с определением температуры, плотности, размера и типа кристаллов снега, измерения прочности снега с использованием пенетрометра высокого (4 Мкм) разрешения SMP. Измерения прочности выполнялись через каждые 50 см вдоль линии протяженностью 10 м (по 20 измерений). На основе анализа полученной информации разработана схема развития снежного покрова. Анализ данных показал высокую пространственную и временную изменчивость строения и параметров снежного покрова как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Это свидетельствует о сильном влиянии таких факторов, как воздействие ветра и жидкой воды на развитие снежной толщи. Было установлено, что пространственная и временная изменчивость характеристик снежного покрова существенна даже в пределах однородного равнинного ландшафта.

Введение

Составление прогноза лавинной опасности требует оперативного получения максимально возможного количества информации о строении и свойствах снежного покрова на склонах и быстрой ее интерпретации для прогноза лавинной опасности. Значительная пространственно-временная изменчивость строения и свойств снежного покрова во многом усложняет задачу.

Изучению пространственно-временной изменчивости строения и свойств снежного покрова посвящены работы Л.А. Канаева, А.А. Чирковой, П.А. Черноуса и других авторов (Канаев, 1969; Черноус и др., 2010; Чиркова, 1977). Как правило, рассматривается изменчивость таких показателей как толщина снежного покрова и его отдельных слоев, плотность, сопротивление на сдвиг. Но существуют определенные сложности, вызванные как объективными, так и субъективными причинами, определяющие качество выполняющихся наблюдений и измерений. Получение необходимых данных требует значительных временных и физических затрат на рытье шурфов, проведение измерений. Выделение отдельных слоев в снежной толще субъективно и качественно зависит от опыта наблюдателя. Использование весового снегомера ВС-43 и других, часто самодельных, приборов не позволяет выполнять или ограничивает по качеству измерения необходимых значений в тонких структурных неоднородностях, важных, к примеру, для исследования процесса лавинообразования, таких как ледяные корки и разрыхленные прослойки. Различия прилагаемых усилий к рамке при исследовании сопротивления снега на сдвиг практически неизбежны. Изучение прочности различных слоев снега с использованием таких приборов как зонд Хефели в Советском Союзе и позднее в России было достаточно редким. Этот прибор также имеет ограничения в интерпретации результатов - позволяет выявить только достаточно крупные по толщине слои внутри снежной толщи. Таким образом исследование строения и свойств снежного покрова и их пространственно-временной изменчивости сопряжено с трудностями, определяемыми недостатками приборной базы и «человеческим фактором», а получаемые данные имеют значительную погрешность.

Новые возможности для изучения прочности снега и его пространственно-временной изменчивости дает пенетромтр высокого разрешения SnowMicroPen (см. Литературу) разработанный в Швейцарском институте снеголавинных исследований (SLF). Пенетромтр высокого разрешения SnowMicroPen представляет собой устройство, позволяющее проводить измерения прочности связей между зернами снега в снежной толще и получать информацию о ее состоянии, стратиграфии и устойчивости (Pielmeier, 2009; Schneebeli, 1998). Отличительной чертой данного прибора является его высокая точность и скорость работы. Движимый электромотором с постоянной скоростью сквозь

снежную толщу щуп с датчиком сопротивления приложенному воздействию на конце фиксирует и записывает на флэш-карту значения через каждые 4 микрометра. Измерение прибором исключает ошибки, вызываемые "человеческим фактором", такие как применение различных усилий, неточная регистрация значений, недобор пробы и пр.

Основной целью настоящего исследования является апробация прибора SnowMicroPen в отличных от альпийских физико-географических условиях и определение лимитирующих факторов его использования. Статистический анализ полученных в ходе измерений данных позволяет определить значения ряда параметров (среднего, коэффициента вариации) для каждого слоя снега, и оценить, какие сочетания значений характеризуют тот или иной тип снега. Данный метод особенно актуален для снеголавинных исследований, поскольку позволяет реконструировать строение снежной толщи, оперативно идентифицировать слои с различными свойствами и выявлять ослабленные, лавиноопасные слои без копания шурфов.

Данные и методы

Методика использования прибора заключается в периодических линейных (через определенные интервалы) измерениях. Происходит постепенное накопление массива информации и его обработка в специальных программах методами статистического и графического анализа. В шурфах и траншеях выполняются измерения толщины снежного покрова и отдельных его слоев, их плотности, температуры, размера и формы зерен.

Исследования включали в себя регулярные замеры автоматическим датчиком толщины снежного покрова с дискретностью 1 раз в 15 минут, периодические наблюдения за строением и развитием снежной толщи в шурфе с определением описанных выше параметров. Измерения прочности выполнялись через каждые 50 см вдоль профиля протяженностью 10 м. На основе анализа полученной информации в соответствии с международной классификацией сезонно выпадающего снега (Комаров и др., 2015) составлена схема развития снежного покрова за 2016/17 зимние сезоны. Значения вариации прочности были рассчитаны для каждого слоя по продольным и поперечным

профилям и являются отражением пространственной неоднородности снежной толщи. Вариация прочности по поперечному профилю рассчитана как среднее значение вариации внутри слоя, осредненное между 20 точками. Вариация по продольному профилю рассчитана на основе средних значений прочности слоя в каждой точке (с интервалом 0,5 м).

Данные, полученные в результате исследований снежного покрова в Москве в 2016/17 году свидетельствуют о значительной пространственной-временной неоднородности и межгодовой изменчивости развития снежного покрова, включая даты установления, максимальной толщины и разрушения покрова, стратиграфии и распределения значений исследуемых параметров внутри толщи.

Результаты наблюдения

Характер формирования и залегания снежного покрова в 2016-2017 годах в Москве значительно отличался от наблюдаемых в 2014-2015 годах (Комаров, 2015), хотя прослеживались общие закономерности, такие как формирование мощных ледяных корок и слоев с преобладанием талых форм в результате просачивания жидкой воды во время оттепелей с последующим их промерзанием и консолидацией (рис. 17.1). Снежный покров установился 28 октября, что на 36 дней раньше, чем в первый год наблюдений. Максимум снегонакопления наблюдался 16 февраля, на 4 дня позже чем в 2014/15 годах. Снег достиг своей максимальной толщины 40 см, после чего началась его быстрая деградация, связанная с резким повышением среднесуточных значений температуры воздуха до положительных значений. Полное разрушение устойчивого снежного покрова произошло 13 марта, на 26 дней раньше чем в 2014/15 годах. Таким образом, в 2016/17 зимний сезон наблюдалась значительная сдвигка периода снегонакопления по сравнению с 2014/15 годами. При этом, максимум снегонакопления пришелся на один и тот же период. Зима характеризовалась ранним началом и завершением зимнего сезона, умеренной толщиной снежного покрова и редкими, но продолжительными оттепелями, в результате которых стратиграфия и свойства снежной толщи претерпевали значительные изменения.

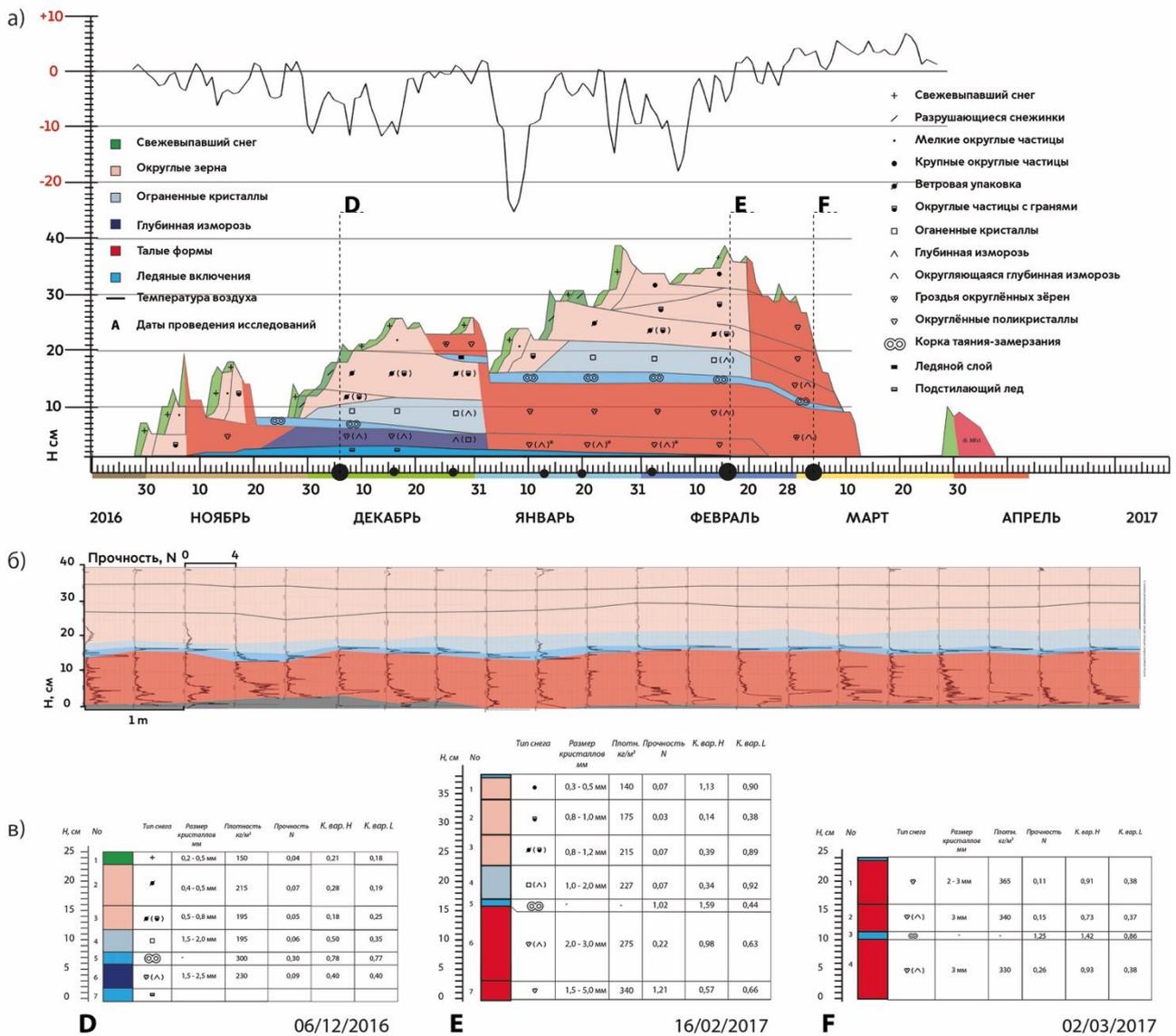


Рисунок 17.1. Схема временной неоднородности развития снежного покрова зимой 2016-2017 гг. Москва, Метеостанция МГУ (а); схема пространственной неоднородности стратиграфии и значений прочности по данным SMP (черные линии) вдоль 10 метрового профиля в период максимума снегонакопления 16/02/2017 (б); значения исследуемых параметров снежной толщи в периоды начала аккумуляции, максимума снегонакопления, и активной фазы таяния снега (в).

Плотность и стратиграфия

Измерения плотности и стратиграфии снежной толщи были выполнены 8 раз в период с 06.12.16 по 02.03.17 (рис. 17.1 в) На основе полученных данных была построена схема эволюции снежного покрова в 2016/17 годах, на которой прослеживается 3 основных цикла (периода) (28.10.16 – 25.11.16, 25.11.16 – 04.01.17 и 04.01.17 – 13.03.17). В октябре-ноябре аккумуляция снежного покрова происходила в условиях умеренных

температур ($T_{\text{ср}} = -1,8^{\circ}\text{C}$), при небольших скоростях ветра, в результате чего сформировалась толща 18-20 см рыхлого мелкозернистого (менее 0,5 мм) однородного снега. В периоды похолоданий начинали формироваться кристаллы с огранкой. Затем, в результате серии оттепелей и миграции жидкой воды сквозь толщу, произошло оседание снежной толщи до 8 см и ее уплотнение. К 20.11.16 основная часть снежной толщи оказалась значительно фирнизована и сложена талыми формами, преимущественно смерзшимися округленными поликристаллами и гроздьями округлых зерен, следы огранки полностью исчезли. На поверхности промерзшей почвы сформировался слой подстилающего льда толщиной до 2-3 см, который прослеживался до конца зимнего сезона. Второй мощный слой льда толщиной до 2 см образовался на поверхности. Наличие ледяных слоев оказало в дальнейшем значительное влияние на развитие процессов рекристаллизации снега внутри толщи.

Период с конца ноября по начало января (25.11.16 - 04.01.17) характеризовался морозной погодой (до -12°C , при средней температуре $-4,1^{\circ}\text{C}$) и аккумуляцией снега при значительных скоростях ветра. В результате серии метелей в декабре поверх фирнового слоя была накоплена толща мощностью около 20 см уплотненного ($150 - 215 \text{ кг/м}^3$) сухого мелкозернистого снега (менее 0,5 мм) типа мягкой метелевой доски. Суммарная максимальная толщина снежного покрова на данный период составила 26 см. По мере аккумуляции, в условиях преобладания низких температур и высокого температурного градиента, происходила активная перекристаллизация снега, наблюдался рост размера кристаллов (до 0,8-3 мм) и формирование неустойчивых, потенциально лавиноопасных слоев пониженной прочности и плотности ($215-235 \text{ кг/м}^3$). Процесс затронул даже нижний, сильно фирнизованный, смерзшийся слой, сформировавшийся в ноябре, в результате чего его микроструктура еще более усложнилась, появились ниши глубинной изморози с кристаллами до 2 и более мм. К концу декабря снежная толща характеризовалась преобладанием ограненных форм кристаллов среднезернистого (СЗ) и крупнозернистого (КЗ) снега и довольно четко выраженной слоистостью. Корка оттепели конца ноября почти полностью разрушилась, в результате чего сформировался мощный, до 10 см, слой разрыхления с кристаллами глубинной изморози (ГИ) до 3 мм и средней плотностью 220 кг/м^3 . В целом, в течение декабря наряду с процессами перекристаллизации происходило гравитационное уплотнение снежной толщи. Так, по данным измерений 06.12.16, плотность верхних 18 см снежной толщи варьировала от 150 до 215 кг/м^3 , нижних 7 см –

от 230 до 400 кг/м³. Средняя плотность снежной толщи составила 215 кг/м³. По данным наблюдений 15.12.16, значения плотности варьировали от 100 до 400 кг/м³ при среднем показателе 225 кг/м³. 27.12.16 были зафиксированы значения плотности в интервале от 115 до 400 кг/м³ при среднем значении около 250 кг/м³.

В первых числах января в результате оттепели с повышением температуры до +4 °С и обильными жидкими осадками произошло резкое изменение свойств и стратиграфии снежного покрова. В течение 2-х дней суммарная толщина снежного покрова сократилась с 26 до 16 см и полностью пропиталась жидкой водой, кристаллы приобрели округлые формы, огранка сохранилась лишь локально (в нишах слоя фирна начала осени), образовались многочисленные льдистые неоднородности, такие как линзы, прослойки и корки льда. В результате прихода мощных арктических масс произошло быстрое промерзание (03.01.17) и консолидация снежной толщи, сформировался очень твердый и плотный слой сильно льдистого фирна со средней плотностью около 310 кг/м³, состоящий из смерзшихся оплавленных кристаллов и поликристаллов округлых форм до 2-3 мм и конгломератов до 1-2 см. На поверхности образовалась серия из 2-х корок льда суммарной толщиной около 2 см и плотностью более 500 кг/м³.

Период с 03.01.17 по 20.02.17 отличался морозной погодой ($T_{\text{ср}} = -7,7$ °С, $T_{\text{мин}} = -25,3$ °С), отсутствием значительных оттепелей и активной аккумуляцией снега в результате метелевой деятельности. Особенности аккумуляции и процессов, происходивших в снежной толще в этот период, во многом повторяли картину, наблюдавшуюся в декабре. Аккумуляция снежного покрова происходила преимущественно во время метелей, формируя довольно мощные, по 5-10 см, слои уплотненного мелкозернистого (МЗ) снега, менее 0,5 мм, снега типа мягкой метелевой доски плотностью 160-200 кг/м³. К середине февраля плотность слоев с ветровой упаковкой варьировала от 175 до 230 кг/м³. Как и в декабре, в результате сильных температурных градиентов, происходила активная перекристаллизация снежной толщи, особенно верхней, не фирнизированной ее части, сопровождающаяся образованием слоев с огранкой и глубинной изморози, ростом размера кристаллов (до 0,8 - 2 мм) и уменьшением прочностных характеристик. Более рыхлые слои, отложенные при низких скоростях ветра, отличались повышенными темпами развития огранки, более плотные – пониженными. Так или иначе, к середине февраля снежная толща характеризовалась преобладанием СЗ-КЗ кристаллов остроконечных форм.

Наименее устойчивый, сыпучий слой сформировался над ледяной коркой начала января, здесь наблюдались КЗ кристаллы до 2 мм и кристаллы ГИ до 3 мм. Слой фирна 0-15 см сохранил свои свойства, но претерпел некоторые изменения. Его плотность, по данным наблюдений, практически не менялась с момента образования и варьировала в пределах от 290 до 315 кг/м³. Слой фирна характеризовался преобладанием талых оплавленных форм смерзшихся поликристаллов 2-3 мм, с весьма неоднородным строением, наличием многочисленных льдистых неоднородностей, корок в разной стадии разрушения, смерзшихся зернистых конгломератов и зон разрыхления с отдельными кристаллами ГИ до 3-4 мм. Особенно сложная микроструктура наблюдалась в слое 0-5 см, сформировавшемся осенью, в начале сезона снегонакопления. Размер отдельных поликристаллов достигал 4-5 мм. Слой отличался чередованием участков очень твердого и плотного сильно льдистого фирна, конгломератов и линз льда до 2-3 см хаотичного простираения, а также локальных участков разрыхления с кристаллами ГИ размером до 3-4 мм. Его средняя плотность к началу периода снеготаяния составила 340 кг/м³.

Период с 20.02.17 по 13.03.17 характеризовался активным таянием снега, уплотнением снежной толщи и ее фирнизацией в результате многочисленных циклов таяния-замерзания. В этот период, по данным замера 02.03.17, в шурфе преобладали сильно льдистые слои талых форм - оплавленного крупнозернистого снега и смерзшихся поликристаллов с зернами до 2-3 мм, многочисленными конгломератами до 1-2 см и льдистыми включениями различного генезиса. Днем в результате воздействия положительных температур и жидких осадков происходило оседание толщи, сопровождающееся просачиванием и замерзанием жидкой воды внутри толщи. Ночью - ее промерзание и консолидация. Значения плотности возросли и по данным замера 02.03.17 варьировали от 330 до 400 кг/м³, при среднем значении около 350 кг/м³. Полное разрушение устойчивого снежного покрова произошло 13.03.17, что почти на месяц раньше, чем в 2014/15 годах.

Прочность

Описание изменения значений сопротивления зерен снега приложенному воздействию датчика (прочности) зимой 2016/17 гг. представляется для периода начала формирования снежной толщи (06.12.16), периода максимума снегонакопления (16.02.17),

и периода наиболее активной фазы весеннего снеготаяния (02.03.17). Результаты исследования прочности снежного покрова представлены в таблицах (рис. 17.1 б).

Было определено, что зимой 2016/17 гг. значения прочности, осреднённые по слоям, варьировали от 0,03 N до 1,25 N при значениях коэффициента вариации от 0,14 до 1,59 по поперечному и от 0,18 до 0,92 по продольному профилям, что соответствует значениям, полученным в 2014/15 гг.

В начале зимы строение снежной толщи было достаточно однородным. По данным 06.12.17 значения прочности по слоям варьировали от 0,04 до 0,30 N, значения коэффициента вариации составили 0,18 - 0,78 по поперечному и 0,18 - 0,77 по продольному профилям. Среднее значение прочности для всей толщи составило 0,08 N. При этом, в верхней рыхлой части толщи значения прочности (0,04-0,07 N) и ее вариации (0,18-0,50; 0,18-0,35 для поперечного и продольного профилей соответственно) оказались меньше, чем в нижней, фирнизованной, льдистой части, подвергшейся процессам таяния-промерзания в начале периода аккумуляции (0,09-0,30 N), (0,40-0,78; 0,40-0,77).

В период максимума снегонакопления, по данным 16.02.17, были зафиксированы значения прочности в интервале от 0,03 до 1,21 N, при значениях коэффициента вариации 0,14-1,59 по поперечному и 0,38-0,92 по продольному профилям. Среднее значение прочности для всей толщи составило 0,27 N. В верхней, рыхлой части толщи значения прочности варьировали в пределах 0,03-0,07 N, коэффициента вариации – 0,14-1,13; 0,38-0,92 для поперечного и продольного профилей соответственно. В нижней, фирнизованной части толщи они составили 0,22-1,21 N; 0,57-1,59 и 0,44-0,66 соответственно.

В период весеннего снеготаяния происходило просачивание жидкой воды, разрушение связей между кристаллами, слияние и фирнизация слоев, вследствие чего наблюдалось уменьшение среднего по толще значения прочности до 0,12 N. По данным 02.03.17, осредненные по слоям значения прочности варьировали от 0,11 до 1,25 N, коэффициента вариации – от 0,73 до 1,42 и от 0,38 до 0,76 для поперечного и продольного профиля соответственно. При этом, постепенное разрушение ледяных корок в сочетании с увеличением размера кристаллов и частой повторяемостью циклов таяния-замерзания привело к формированию сильно льдистых слоев и появлению многочисленных микронеоднородностей, о чем свидетельствует увеличение значений коэффициента

вариации. В слое ледяных корок наблюдались максимальные значения коэффициента вариации – 1,42 по поперечному и 0,86 по продольному профилям. Показатель пространственной неоднородности по продольному профилю показал значительное увеличение по сравнению с предшествующим периодом в этом слое.

Исследование подтвердило выводы, полученные зимой 2014/15 гг., и показало, что наименьшие значения прочности соответствуют однородным слоям рыхлого свежавыпавшего и мелкозернистого снега (0,03-0,07 N), а также типичны для слоев с огранкой и глубинной изморози (0,06-0,15 N). Наибольшие средние по слоям значения прочности характеризуют сильно льдистые слои и ледяные корки (0,22 - 1,25 N). В этих же слоях наблюдаются наибольшие значения вариации по поперечному и продольному профилям. При этом, в конце зимнего сезона коэффициент вариации по продольному профилю сильно уменьшается, а по поперечному - возрастает. Это может быть связано с характером инфильтрации жидкой воды сквозь толщу. В случае быстрой равномерной инфильтрации талой воды сквозь толщу происходит слияние слоев и коэффициент вариации по продольному профилю уменьшается. Если инфильтрация происходит постепенно, по локальным зонам просачивания-промерзания, коэффициент вариации по продольному профилю возрастает.

В целом, значение прочности увеличивается в соответствии с увеличением льдистости и размера кристаллов слоя (в частности, с увеличением циклов таяния-замерзания и степени фирнизации толщи). Наибольшие значения прочности наблюдаются при промерзания толщи после оттепелей. В период снеготаяния значения прочности уменьшаются вследствие разрушения связей между зернами. Аналогичным образом выглядит распределение значений коэффициента вариации — разброс значений максимален для слоев крупнозернистого снега и смерзшихся поликристаллов с многочисленными ледяными включениями и конгломератами зерен и минимальны для однородных рыхлых слоев свежавыпавшего снега и глубинной изморози.

Таким образом, даже в пределах однородного, равнинного, с травянистой растительностью, ландшафта площадки метеорологической обсерватории МГУ наблюдается значительная вариация толщины и значений прочности слоев. Характер залегания слоев и распределения исследуемых параметров во многом зависит от микрорельефа поверхности и характера инфильтрации воды. Это особенно четко

проявляется для нижних слоев снежной толщи. Рельеф подстилающей поверхности нивелируется во время метелей, поэтому стратиграфия верхней части снежной толщи более равномерна. Мы также предполагаем, что рельеф поверхности влияет на характер расположения зон просачивания и замерзания жидкой воды, что значительно усложняет структуру снежной толщи, но подобные вопросы требуют дополнительных специальных изысканий.

Обсуждение

Лимитирующие факторы

В ходе выполнения работ были отмечены факторы, лимитирующие возможности использования прибора SMP в подобных климатических условиях.

В Москве основные сложности были связаны с фиксацией верхней и нижней границы снежной толщи. Несмотря на высокую чувствительность прибора, плотность и прочность верхнего слоя свежевывавшего снега, сложенного частично фрагментированными снежинками, оказывается крайне низкой и не позволяет четко определить верхнюю границу снежного покрова, что ведет к погрешности определения значений. Аналогичная проблема имеется с фиксацией нижней границы подстилающего слоя в том случае, если снежный покров лежит на талой почве. В этом случае прибор, пробивая плотные твердые слои нижнего слоя снега, характерные для подобной ситуации, входит непосредственно в грунт до тех пор, пока не достигнет критических значений сопротивления датчику. Таким образом, он не только вносит значительную погрешность в полученные данные, но и забивается грунтом, осложняя дальнейшее использование.

Перспективы использования прибора

Методические сложности интерпретации полученных данных связаны с отсутствием четкого алгоритма автоматического выделения слоев в снежной толще. На данном этапе выделение слоев происходит на основе экспертной оценки в процессе изучения шурфа, а затем границы уточняются по «перегибам» на графике. Таким образом, наиболее актуальной задачей, связанной с использованием прибора, является поиск решения, позволяющего производить автоматическую идентификацию слоев при помощи математического аппарата, а также определение сочетаний параметров, характеризующих

тот или иной тип снега в конкретных климатических условиях и быструю идентификацию потенциально лавиноопасных слоев.

Выводы

Хотя измерения твердомера дискретны, они охватывают всю снежную толщу независимо от толщины отдельных субъективно выделенных слоев, что дает возможности для автоматизированного выявления слоев по значениям прочности и ее дисперсии и обнаружения потенциально лавиноопасных слоев с установлением их параметров. Частота измерений прочности (4 мкм), осуществляемых твердомером, позволяет установить более детальные по сравнению с другими характеристиками изменения их по профилю, выделить гораздо большее число слоев, нежели традиционными методами, а так же уточнить границы визуально выделенных слоев.

Анализ полученных данных показал высокую пространственную и временную изменчивость строения и параметров снежного покрова как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Это свидетельствует о сильном влиянии таких факторов, как воздействие ветра и жидкой воды на временную и пространственную эволюцию снежной толщи. Было установлено, что изменчивость стратиграфии и свойств снежного покрова существенна даже в пределах однородного равнинного ландшафта. Распределение значений исследуемых параметров в толще подтверждает наличие в ней неоднородностей, связанных с микрорельефом подстилающей поверхности и ее растительностью.

Наибольшие значения прочности и ее вариации характерны для неоднородных, сильно льдистых, смерзшихся крупнозернистых слоев, в то время как минимальные их значения типичны для однородных слоев мелкозернистого и свежевывавшего слабо метаморфизованного снега, а так же для слоев разрыхления и глубинной изморози. Также установлено, что изменчивость значений прочности по поперечному профилю выше, чем по продольному.

Прибор SnowMicroPen может использоваться в различных климатических условиях, но требует доработки, поскольку его использование в условиях метелей и низких температур затруднено, а зачастую и вовсе невозможно в связи с техническими трудностями. В Москве имеются сложности с идентификацией верхней и нижней границ снежной толщи.

Литература

Канаев Л.А. Об изменчивости свойств снега // Тр. САРНИГМИ. 1969. Вып. 44 (59). С. 25–42.

Комаров А.Ю., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Гребенников П.Б. Изучение пространственно-временной неоднородности снежной толщи с использованием пенетromетра высокого разрешения SnowMicroPen на территории метеорологической обсерватории МГУ // Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2015 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова / Чубарова Н. Е. (ред.), место издания МАКС Пресс Москва, с. 201-210

Фирц, Ш., Армстронг, Р. Л., Дюран, И., Этхеви, П., Грин, И., МакКланг, Д. М., Нишимура, К., Сатьявали, П. К., Сократов, С. А. Международная классификация для сезонно-выпадающего снега (руководство к описанию снежной толщи и снежного покрова) Русское издание (Материалы гляциологических исследований, 2012–2). М.: Институт географии РАН, Гляциологическая ассоциация .

Черноус П.А., Барашев Н.В., Федоренко Ю.В. Изменчивость характеристик снега и образование лавин // Лёд и Снег. 2010. No 3 (111). С. 27–36.

Чиркова А.А. Статистический анализ распределения глубины снежного покрова на малых площадях в горах // Тр. САРНИГМИ. 1977. Вып. 37 (118). С. 43–50.

Pielmeier, C., and H.-P. Marshall (2009), Rutschblock-scale snowpack stability derived from multiple quality-controlled SnowMicroPen measurements, Cold Regions Science and Technology, 59(2-3), 178– 184

Schneebeli, M., and J. B. Johnson (1998), A constant-speed penetrometer for high-resolution snow stratigraphy, Annals of Glaciology, 26, 107–111.

Schneebeli, M., C. Pielmeier, and J. B. Johnson (1999), Measuring snow microstructure and hardness using a high resolution penetrometer, Cold Regions Science and Technology, 30(1-3), 101–114

The SnowMicroPen as a tool to integrate multiple scales in quantitative snow measurements http://www.wsl.ch/fe/schnee/projekte/SnowMicroPen/index_EN last access 10.10.16.

SnowMicroPen a high resolution snow micro penetrometer User Manual. http://www.wsl.ch/fe/schnee/Schneephysik/SnowMicroPen/User_Manual_SMP2_v30_r3.pdf retrieved 10.10.16

18. Фенологические наблюдения за некоторыми видами деревьев и кустарников в дендрарии Ботанического сада МГУ

Казарова С.Ю., Куцзов С.В., Бойко Г.А.

В Ботаническом саду МГУ в 2016 году было проведено исследование ритмов сезонного развития 39 вида деревьев и кустарников путём систематизации фенологических наблюдений по методике, рекомендованной советом ботанических садов (Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР, 1979).

Виды, у которых набухание почек проходило до 09.IV (средняя дата перехода среднесуточной температуры через 5°C) отнесены к рано распускающимся, после 09. IV – к поздно распускающимся. Растения, заканчивающие вегетацию (окончание листопада) до 15. X (средняя многолетняя дата перехода среднесуточной через 5°C), отнесены к группе с ранним окончанием вегетации, позже – к поздним.

Тринадцать видов принадлежит к группе ПП (поздно начинающие и поздно заканчивающие вегетацию) с продолжительностью вегетационного периода 184-234 дня. Двенадцать видов принадлежат к группе РР (рано начинающие и рано заканчивающие вегетацию). Продолжительность вегетационного периода 189-225 дней. Группа РП (рано начинающих и поздно заканчивающих вегетацию) включает девять видов. Продолжительность вегетационного периода варьирует от 196 до 223 дней. Группа ПР (поздно начинающих и поздно заканчивающих вегетацию) составляет пять видов с наименее продолжительными периодами вегетации (165-209 дней).

Начало вегетации видов зависит от теплового режима и начинается фазой набухания почек. Анализ фенодат показал, что начало вегетации у видов проходило в период с 28.03 (*Alnus japonica* (Thunb.) Steud.) по 15.05 (*Picea abies* (L.) Karst). Раннее набухание почек отмечается у таких видов как *Alnus incana* L., *Alnus japonica* (Thunb.) Steud., *Lonicera praeflorens* Batal., *Lonicera xylostium* L., *Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Br, *Spiraea betulifolia* Pall. Более позднее начало вегетации свойственно видам *Tilia cordata* Mill., *Pinus sylvestris* L., *Pinus sibirica* Du Tour. Сроки начала вегетации большинства видов незначительно отклонялись от среднеарифметических дат за последние десять лет.

Самое раннее начало разворачивания листьев у исследованных видов приходится на 20.04 у *Lonicera coerulea* L. и самое позднее – у *Quercus robur* L.(20.05).

Важным фенологическим показателем декоративных деревьев и кустарников является интенсивность, начало и окончание сроков цветения. Все виды цвели, за исключением *Alnus japonica* (Thunb.) Steud., *Populus x berolinensis* K. Koch. и *Populus x mosquensis* R.I. Schrod. Необычно раннее начало цветения наблюдалось у *Corylus avellana* L. (24.02). Пик цветения раньше всех отмечался у *Alnus glutinosa* L. (Gaertn.) (12.04), *Corylus avellana* L. (13.04), затем – у *Alnus incana* L. (14.04). Несмотря на ранние сроки начало цветения, пик цветения у *Corylus avellana* L. проходил на 7 дней позднее относительно средней арифметической за последние 10 лет, у *Betula pendula* Roth. – на 10 дней раньше. Массовое цветение *Alnus glutinosa* L. (Gaertn.) и *Alnus incana* L. проходило в сроки, не отклоняющихся от средне арифметических величин.

Виды различались и по продолжительности цветения. Сравнительно короткий период цветения (7-8 дней) имели: *Populus x berolinensis* K. Koch., *Populus x mosquensis* R.I. Schrod., *Quercus rubra* L. Более продолжительное и обильное цветение (15-18 дней) отмечалось у *Corylus colurna* L., *Cornus alba* L., *Lonicera maackii* Rupr., *Betula pendula* Roth. Самое продолжительное цветение (33 дня) было у *Cotoneaster lucidus* Schlecht. и *Corylus avellana* L. (61 день).

Большинство видов завязали семена. Сроки плодоношения варьировали от 13.06 у *Lonicera coerulea* L. до 20.10 у *Tilia platyphyllos* Scop. и *Corylus colurna* L.

Средняя продолжительность вегетационного периода для условий Москвы составляет 181 день (Зайцев, 1981). Самый короткий период вегетации имела *Corylus avellana* L. (165 дней), самый продолжительный – *Populus x berolinensis* K. Koch. (234 дня). Сезонный ритм развития большинства исследованных видов превышал этот интервал, что определялось поздними сроками наступления фазы полного опадания листьев. Так, у *Quercus rubra* L. и *Populus x berolinensis* K. Koch. листопад соответствовал датам (01.12 и 10.12). Продолжительные периоды вегетации из-за позднего листопада наблюдались у *Crataegus oxyacantha* L. (226 дней), *Padus avium* Mill. (230 дней), *Salix caprea* L. (216 дней).

Таким образом, большинство из исследованных видов цвели и плодоносили. Ритмы сезонного развития соответствовали региону интродукции, за исключением сроков окончания вегетации относительно среднестатистических данных.

Литература

Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР // Бюлл. ГБС АН СССР. - 1979. – Вып. 113. - С. 3-11.

Зайцев Г. Н. Фенология древесных растений. – М., 1981. – 120 с.

19. Фенологические наблюдения в Ботаническом саду МГУ

Лаврова Т.В.

Фенологические наблюдения за растениями, как документированный научный материал, необходимы для дальнейших сопоставлений и выводов о биологии развития растений, о влиянии климатических факторов на сроки наступления их сезонных циклов, о тенденциях в развитии климата. Ботанический сад МГУ располагается на Воробьевых горах в непосредственной близости от Метеорологической обсерватории МГУ, поэтому фенологические наблюдения за растениями Ботанического сада могут дополнить климатические показатели, регистрируемые в том же месте. Фенологический календарь Ботанического сада, помимо его научной ценности, позволяет ориентироваться в сроках цветения растений на разных участках Сада, строить график проведения экскурсий и планы сезонных работ (Лаврова, 2016).

Основное внимание было уделено наблюдениям за травянистыми растениями-интродуцентами из различных географических регионов, произрастающих в альпинарии Ботанического сада МГУ. Также интерес представляли некоторые древесно-кустарниковые растения разных регионов, в том числе и более южных областей. Третья группа растений, за которой велись наблюдения, – крупные коллекции декоративных растений: сортов сирени обыкновенной и сирени Престон, травянистых пионов и высоких бородатых ирисов. Три основные фенологические фазы растений – начало цветения (несколько первых распустившихся цветков), пик цветения (50% распустившихся цветков) и конец цветения (большинство цветков отцвели) (Аксенова, 1979) отмечены у всех видов, что дает возможность разместить данные в таблице для дальнейших исследований и сравнения. Среди древесно-кустарниковых видов в нашей выборке рассмотрены раннецветущие растения средней полосы России (волчегонник обыкновенный), интродуценты из горных лесов Европы, Крыма, Кавказа, Средней Азии (кизил обыкновенный, миндаль низкий, рододендрон желтый), Северной Америки (фотергилла), Юго-Восточной Азии (магнолии, рододендрон японский, вишня курильская), Дальнего Востока (сирень амурская, рододендрон Шлиппенбаха).

Таблица 19.1. Фазы цветения древесных растений в Ботаническом саду МГУ в 2016 г.

№	Вид	Начало цветения	Пик цветения	Конец цветения
1	<i>Amygdalus nana</i> L.	5.05	8.05	11.05
2	<i>Cerasus kurilensis</i> (Miyabe ex Takeda) Masam. & S. Suzuki	28.04	1.05	6.05
3	<i>Cerasus tomentosa</i> (Thunb.) Masam. & S. Suzuki	5.05	8.05	11.05
4	<i>Cornus mas</i> L.	14.04	19.04	5.05
5	<i>Daphne mezereum</i> L.	4.04	14.04	20.04
6	<i>Fothergilla monticola</i> Ashe	7.05	10.05	21.05
7	<i>Ligustrina amurensis</i> Rupr.	14.06	18.06	25.06
8	<i>Louiseania triloba</i> 'Plena'	6.05	12.05	15.5
9	<i>Magnolia × loebneri</i> Kache	6.05	8.05	14.05
10	<i>Magnolia stellata</i> (Siebold & Zucc.) Maxim.	6.05	8.05	12.05
11	<i>Malus nedzwetzki</i>	17.05	21.05	25.05
12	<i>Rhododendron japonicum</i> (A. Gray) Suringar	21.05	25.05	2.06
13	<i>Rhododendron luteum</i> Sweet	20.05	23.05	2.06
14	<i>Rhododendron schlippenbachii</i> Maxim.	4.05	7.05	16.05
15	<i>Syringa x prestoniae</i>	28.05	2.06	14.06
16	<i>Syringa vulgaris</i> hort.	16.05	20.05	28.05

Из травянистых растений для наблюдений выбраны стойкие интродуценты с Дальнего Востока, Кавказа, Крыма, Средней Азии, Европы, Северной Америки, давно и успешно выращиваемые и аспектирующие в альпинарии в разные периоды времени. В таблице представлены раннецветущие эфемероиды (белоцветник весенний, сцилла сибирская), а также раннецветущие растения с длинным периодом вегетации (печеночница благородная, морозники, скополия карниолийская, дальневосточный белокопытник из семейства сложноцветных). Кроме того, изучались некоторые виды дикорастущих травянистых пионов, пион древовидный (Китай), кавказские виды купена широколистная, мак восточный, лилия Кессельринга, валериана липолистная, гроссгеймия крупноцветковая, дальневосточная какалия копьевидная, флокс шиловидный (Северная Америка) и другие виды. Пион древовидный мы рассматриваем среди других видов рода в списке травянистых растений.

Таблица 19.2. Фазы цветения травянистых растений в Ботаническом саду МГУ в 2016 г.

№	Вид	Начало цветения	Пик цветения	Конец цветения
1	<i>Acanthus mollis</i> L.	17.07	21.07	30.07
2	<i>Aconitum lasiostomum</i> Spreng.	15.06	17.07	30.07
3	<i>Arabis alpine</i> L.	19.04	6.05	11.05
4	<i>Cacalia hastata</i> L.	6.07	13.07	30.07
5	<i>Clematis integrifolia</i> L.	18.06	25.06	30.07
6	<i>Digitalis grandiflora</i> Mill.	2.07	10.07	17.07
7	<i>Echinops sphaerocephalus</i> L.	12.07	20.07	30.07
8	<i>Galanthus nivalis</i> L.	4.04	14.04	21.04
9	<i>Grossheimia macrocephala</i> (Muss. Puschk. ex Willd.) Sosn. & Takht.	7.07	17.07	22.07
10	<i>Helleborus caucasicus</i> A. Br.	11.04	14.04	19.04
11	<i>H.purpurascens</i> Waldst. et Kit.	11.04	14.04	19.04
12	<i>Hepatica nobilis</i> L.	28.03	14.04	19.04
13	<i>Iris hybrida hort.</i> TB	7.05	10.05	19.05
14	<i>Leucojum vernalis</i> L.	4.04	11.04	19.04
15	<i>Lilium kesselringianum</i> Misch.	13.06	15.06	20.06
16	<i>Paeonia anomala</i> L.	17.05	19.05	26.05
17	<i>Paeonia hybrida hort.</i>	8.06	11.06	19.06.
18	<i>Paeonia suffruticosa</i> Andrews	15-17.05	23.05	31.05
19	<i>Paeonia wittmanniana</i> Hartwiss. ex Lindl.	11.05	13.05	19.05
20	<i>Papaver orientale</i> L.	8.06	13.06	17.06
21	<i>Petasites amplus</i> Kitam.	4.04	14.04	19.04
22	<i>Phlox subulata</i> L.	11.05	19.05	4.06
24	<i>Saxifraga caespitosa</i> Scop	17.05	4.06	13.06
25	<i>Scilla sibirica</i> Andrews	4.04	11.04	19.04
26	<i>Scopolia carniolica</i> Jacq.	5.05	12.05	17.05
27	<i>Valeriana tiliifolia</i> Troitsky	17.05	27.05	5.06

Сравним сроки наступления «пика» цветения у некоторых из исследуемых видов с наблюдениями, сделанными нами за последние годы. Они представлены в таблице 19.3.

Таблица 19.3. Сравнение сроков «пика» цветения по годам

Вид <i>деревья и кустарники</i>	2009	2012	2014	2015	2016
<i>Amygdalus nana</i>	12.05			8.05	8.05
<i>Louiseania triloba</i> 'Plena'	12.05		12.05		12.05
<i>Magnolia</i> × <i>loebneri</i>			27.04	8.05	8.05
<i>Magnolia stellata</i>			29.04	8.05	не цвела
<i>Syringa</i> × <i>prestoniae</i>		4.06	30.05	7.06	2.06

Вид <i>деревья и кустарники</i>	2009	2012	2014	2015	2016
<i>Syringa vulgaris hort.</i>	28.05	17.05	18.05	22.05	20.05
<i>Травянистые растения</i>					
<i>Aconitum lasiostomum</i>			14.07		17.07
<i>Digitalis grandiflora</i>			14.07	12.07	10.07
<i>Grossheimia macrocephala</i>		7.07			17.07
<i>Iris hybrida hort. ТВ</i>	15.06	8.06	3.06	11.06	10.06
<i>Leucojum vernum</i>		25.04	25.03		11.04
<i>Lilium kesselringianum</i>	11-15.06				15.06
<i>Paeonia hybrida hort.</i>	15.06	8.06	4.06	12.06	11.06
<i>Paeonia suffruticosa</i>	28.05	24.05	22.05	27.05	23.05
<i>Paeonia wittmanniana</i>			12.05		13.05
<i>Papaver orientale</i>	11.06	13.06		15.06	13.06
<i>Phlox subulata</i>		19.05			19.05
<i>Saxifraga caespitosa</i>	11.06			4.06	4.06
<i>Scilla sibirica</i>			25.03	24.04	11.04
<i>Scopolia carniolica</i>			26.04		12.05
<i>Valeriana tiliifolia</i>	11.06				27.05

При сравнении данных наблюдений за 2016 г. со значениями за последние годы видно, что фазы цветения для практически всех выбранных видов в целом сходны, хотя имеются и различия, связанные с разницей в климатических условиях. Согласно таблице, цветение исследуемых растений в 2016 году наступало в сроки, вполне сопоставимые со средними сроками их цветения. Более раннее цветение (всего на несколько дней) отмечено для наперстянки, валерианы липолистной. В 2014 году значительно раньше обычного (приблизительно на 2 недели) зацвели раннецветущие растения – сциллы, белоцветники, галантусы, магнолии, скополии. Сроки цветения коллекций ирисов и пионов, цветущих в июне, в 2014 г. также сдвинулись, но не так сильно, как предыдущая группа, приблизительно на неделю. Однако, другие растения – сорта сирени обыкновенной, луизеания трехлопастная махровая, пион виттмана, пион древовидный (май), наперстянки, акониты (июль) – цвели приблизительно в те же сроки, что и обычно.

Известно, что на развитие растений большое влияние оказывают три основные климатические составляющие – свет, тепло, вода (Булыгин, 1991).

В настоящей работе нами были посчитаны суммы суточных активных температур по месяцам с порогами от 0, 5 и 10°C. Данные метеонаблюдений были любезно предоставлены Метеорологической обсерваторией МГУ.

Таблица 19.4. Суммарные активные температуры выше 0°C

Месяц	2009	2012	2014	2015	2016
Март	20,6	7,86	114,37	76,99	53,34
Апрель	169,7	254,0	222,5	185,4	256,0
Май	434,0	481,6	508,0	449,9	478,5
Июнь	524,0	517,6	492,9	543,9	555,6
Июль	590,6	652,9	663,6	578,6	655,6

Таблица 19.5. Суммарные активные температуры выше 5°C

Месяц	2009	2012	2014	2015	2016
Март	-	-	78,5	43,7	15,9
Апрель	138,4	231,3	211,2	147,9	230,5
Май	434,1	481,6	503,1	449,9	478,5
Июнь	524,3	517,6	492,9	543,9	555,6
Июль	590,6	652,9	663,6	578,6	655,6

Таблица 19.6. Суммарные активные температуры выше 10°C

Месяц	2009	2012	2014	2015	2016
Март	-	-	26,5	-	-
Апрель	82,4	187,0	131,2	61,9	148,2
Май	392,3	463,6	457,7	397,6	478,5
Июнь	524,3	507,9	483,3	543,9	546,4
Июль	590,6	652,9	663,6	578,6	655,6

При сопоставлении суммарных активных температур (САТ) (от 0°C) (табл. 19.4) за исследуемый период оказалось, что в марте, мае и июле наиболее высокие показатели отмечались в 2014 г. Причем мартовские показатели 2014 года значительно превышали показатели других лет, что, по-видимому, и привело к раннему зацветанию раннецветущих растений. Из таблицы 19.5 следует, что температуры выше 5 градусов в марте отмечались не только в 2014, но также в 2015 и 2016 гг. (хотя в меньших суммарных значениях). При этом мартовские температуры выше 10 градусов отмечались только в 2014 году. Видимо, для зацветания раннецветущих видов важны как суммы положительных температур, так и суммы температур, превышающих порог в 10 градусов С.

Максимальные показатели САТ в 2016 году отмечены в апреле и июне ($> 0^{\circ}\text{C}$), в июне ($> 5^{\circ}\text{C}$), в мае и июне ($> 10^{\circ}\text{C}$), что, по-видимому, отразилось на немного более раннем цветении в том году видов, цветущих в июне и июле. Таким образом, можно отметить, что серьезных сдвигов пика цветения за 2016 год, как и за последние годы не наблюдалось, за исключением слишком раннего цветения первоцветов в 2014 году.

По данным Метеорологической обсерватории МГУ «в среднем год стал теплее на $0,9^{\circ}\text{C}$ » за последние 10-15 лет (Константинов, Локощенко, 2011). Изменения в составе коллекций Ботанического сада, произошедшие приблизительно за такой же отрезок времени, подтверждают такие выводы. В открытом грунте в Ботаническом саду в настоящее время растут (некоторые цветут и плодоносят) виды, которые ранее не могли произрастать в средней полосе России, например, виды магнолий, грецкий орех, гинкго двухлопастный и другие. Два североамериканских реликтовых вида тюльпанное дерево (*Magnoliaceae*) и ликвидамбар смолоносный (*Altingiaceae*), обычно разводимые в теплом климате сухих субтропиков, растут в альпинарии Ботанического сада недавно (с 2011 года), пока еще не цвели.

Литература

Аксенова Н.А. 1979. Методические рекомендации для организации фенологической работы в школах. М., Московский филиал Географического общества СССР, 52 С.

Булыгин Н.Е. 1991. Дендрология. 2-е изд., переработанное и дополненное, Л., Агропромиздат, Ленинградское отд., 352 С.

Константинов П.И., Локощенко М.А. 2012. Температура воздуха и ее аномалии // Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2011 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ. М., изд-во Макс Пресс, С. 20-21.

Лаврова Т.В. 2016. Времена года в Ботаническом саду Московского университета. М., изд-во «Перо», 92 С.

20. Сезонная ритмика видов и форм рода *Malus* Mill. (яблоня) в вегетационный сезон 2016 года (семейство *Rosaceae* подсемейства *Maloideae*)

Ванина Л.С.

Интродуцированные в Ботаническом саду МГУ виды и формы рода *Malus* являются представителями разных географических групп – Европы, Средней Азии, Сибири и Дальнего Востока, Восточной Азии, Америки, климатические условия которых существенно различаются между собой.

Календарные даты прохождения основных фенофаз развития растений (начало вегетации, начало-конец цветения, созревание плодов, листопад) и суммы накапливаемых температур и осадков по годам существенно варьируют. Разрыв между рано и поздно вегетирующими видами в календарных датах может достигать 20-25 дней.

В сезон 2016 года виды всех географических групп вступили в вегетацию в сроки, укладывающиеся в интервал средних многолетних значений.

Цветение дружное, на 7-10 дней раньше многолетних значений.

Побурение семян наблюдалось в последней декаде августа и первой декаде сентября, что также близко к средним многолетним.

Листопад начался своевременно, однако своего естественного завершения по многим видам он не имел в связи с недостатком положительных температур и ранним наступлением зимы.

Календарные даты фенофаз развития дикорастущих видов рода *Malus* Mill. (яблоня) 2016 год

	Фенофазы	Географические группы				
		Европа	Средняя Азия	Сибирь и Дальний Восток	Восточная Азия	Америка
1.	Начало вегетации	8.04-13.04	9.04-13.04	7.04-9.04	7.04-15.04	10.04-13.04
2.	Среднее многолетнее	4.04-19.04	6.04-18.04	31.03-17.04	3.04-02.05	12.04-20.04
3.	Начало цветения	7.05- II. 05	7.05-12.05	7.5-8.05	7.05-12.05	13.05-15.05
4.	Среднее многолетнее	13.05-20.05	13.05-23.05	13.05-19.05	8.05-24.05	8.05-22.05
5.	Массовое цветение	10.05-14.05	10.05-16.05	9.05-11.05	9.05-16.05	19.05-20.05
6.	Среднее многолетнее	18.05-24.05	17.05-26.05	18.05-22.05	15.05-31.05	25.05-31.05
7.	Конец цветения	15.05-19.05	18.05-21.05	18.05-21.05	20.05-27.05	25.05-27.05
8.	Среднее многолетнее	23.05-30.05	23.05-30.05	23.05-28.05	25.05-6.06	29.05 -3.06
9.	Созревание плодов	29.08-20.09	1.09-19.09	30.08-3.09	24.08-15.09	10.09-15.09
10.	Среднее многолетнее	11.09-18.09	15.09-17.09	26.08-5.09	26.08-14.09	12.09-15.09
11.	Листопад	7.10-25.10	20.10-26.10	10.10-15.10	7.10-26.10	15.10-28.10
12.	Среднее многолетнее	14.09-1.11	7.10-20.10	27.09-10.10	8.10-6.11	16.10-28.10

21. Особенности годового цикла водоплавающих птиц в 2016 году на примере кряквы (*Anas platyrhynchos L.*)

Авилова К.В.

Кафедра зоологии позвоночных биологического факультета МГУ

Кряквы (*Anas platyrhynchos L.*), гнездящиеся на севере и востоке европейской части России, зимой, как правило, совершают сезонные перелеты в Западную Европу и Средиземноморье (Котюков, Русанов, 1997). С середины 20-го века все больше зимующих группировок крякв формируется на не замерзающих зимой водоемах, особенно – в городах. К середине 2000-х гг. их численность в Европейской России предположительно достигала 200 тысяч. С одной стороны это вызвано развитием градостроительства, коммунального хозяйства и промышленности, а с другой – глобальным потеплением, которое увеличивает площадь незамерзающих водоемов (Viksne et al., 2010).

Численность и пространственное распределение зимующих в Москве крякв зимой 2015/16 года

Подсчет водоплавающих птиц зимой проводили ежегодно с 1985 по 2016 гг. в третье воскресенье января на всех свободных ото льда участках рек и других водных объектов Москвы. 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 февраля.

Годовой цикл городской популяции кряквы отличается от цикла природной популяции отсутствием сезонных миграций. Зимняя численность крякв в городе увеличивается по сравнению с летней, благодаря прибывающим в город мигрантам. Зимовки 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.

Погода в начале ноября 2015 г. была теплой, московские пруды начали затягиваться льдом 7-8.11.2015, но потом оттаяли и стали замерзать второй раз 16-17.11.2015.

Устойчивый переход среднесуточной температуры через 0°C отмечен 23.11.2015. Пруды окончательно замерзли 22-23.11.2015. Под устойчивым переходом температуры воздуха через 0°C для осени принимали тот день, после которого обратного перехода не наблюдалось, или он был, но сумма отрицательных отклонений средней суточной температуры от 0°C превышала сумму положительных отклонений (Садоков и др., 2012).

В декабре температура воздуха неоднократно повышалась, и к 25-26.12.2015 пруды вновь очистились ото льда. Они снова покрылись льдом только 28.12.2015. Январь 2016 г. был холодным и снежным, температура днем опускалась до -17-18°C, толщина снежного покрова достигала 40 см.

В конце января началась оттепель, перешедшая на февраль, когда лишь в отдельные дни температура опускалась до -1-3°C. Переход среднесуточной температуры через 0°C отмечен 27.01.2016 г. По данным Гидрометцентра России прошедшая зима стала одной из самых теплых в Центральном Федеральном Округе, в том числе в Москве, уступая только зиме 2015 года. <http://meteoinfo.ru/climate/climat-tabl3/2016-climat-analysis>

Зимний учет водоплавающих птиц был проведен 17.01.2016 г. Погода в день учета: температура воздуха -3 -5°C, облачно, временами небольшой снег.

В 2015/16 гг. в Москве зимовало 32339 особей 16 видов водоплавающих птиц с резким преобладанием кряквы: 29715 или 91,9%. Видовое разнообразие водоплавающих превысило две предшествующие зимы и приблизилось к максимальному, 18 видов, отмеченному во время учета 2008 года.

На Москве-реке зимовало 7010, на Яузе – 6409 и на остальных малых реках и прудах – 16296 крякв. Среди них наиболее крупные скопления, более тысячи зимующих птиц в каждом, образовались на Обводном канале Москвы-реки, на отрезках Москвы-реки у Коломенского, от Бесединского до Братеевского мостов, на реке Яузе от МКАД до Леонова, на Лихоборке, Городне и Битце, а также на Царицынских и Борисовском прудах. Более 500 птиц зимовало на прудах зоопарка, на Яузе от проспекта Мира до Госпитальной улицы, на пруду-отстойнике ЗИЛа, на реках Чермянке, Химке, Сходне, Сетуни от Аминьевского шоссе до устья, на прудах в Кузьминках и Люблино. Более 200 крякв держалось на Москве-реке от Братеевского моста до Москворечья, а также от Нагатинского затона до метромоста, на прудах Мячковского бульвара, у Перервинского

гидроузла, на Кожуховском затоне, на Яузе от Госпитальной улицы до устья, на Сходне в нижнем течении, на Коптевском заливе Б.Садового пруда, на отрезке Сетуни от Солнцева до Аминьевского шоссе, на реках Очаковке и Чертановке (рис. 21.1).

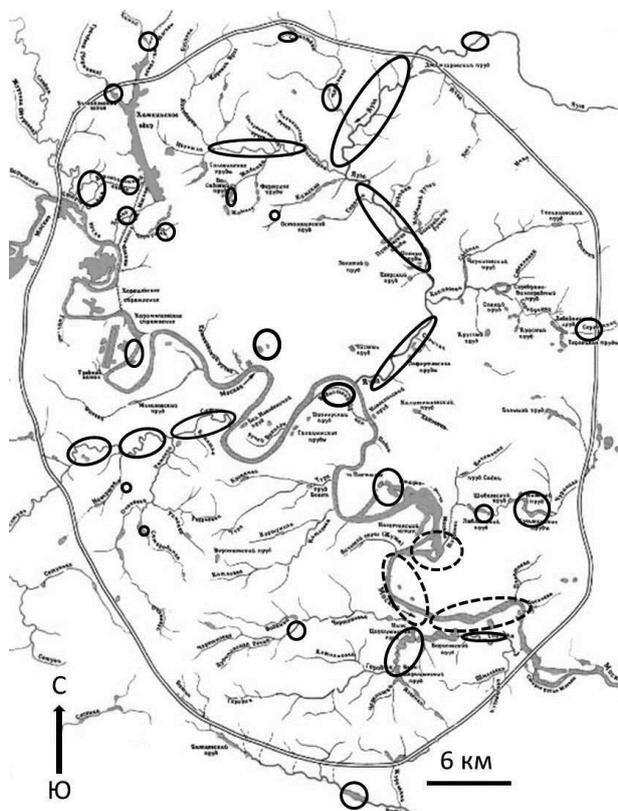


Рисунок 21.1. Схема размещения скоплений зимующих крякв в Москве. Пунктиром показаны скопления на юго-восточном отрезке Москвы-реки

Повсеместно преобладали самцы, число самок составляло от 50 до 96% от числа самцов, чаще всего – 82-88%. В Московском зоопарке зимовало 75,7% самок крякв от числа самцов. Их стало относительно больше по сравнению с зимой 2014/2015 гг. Общая численность кряквы выросла на 5,4% по сравнению с численностью зимой 2014/2015 гг. и в 3,9 раза относительно минимальной численности 1997/1998 гг. Число птиц, зимующих на внутригородских прудах и реках, выросло с 1997/1998 гг. в 6 раз, а птиц, зимующих на Москве-реке – в 1,9 раза (рис. 21.2).



Рисунок 21.2. Численность зимующих в Москве крякв в 1985-2016 гг.

Зимовка крякв в городе, как и в природе, формируется в период замерзания стоячих водоемов. Скопления уток достигают наиболее стабильной численности к середине января. Общая зимняя численность крякв в городе увеличивается по сравнению с летней в 1,6-3,3 раза, на внутренних прудах и реках – до 2 раз. К птицам, обитавшим и размножавшимся на городских водоемах, присоединяются пролетные, многие из которых остаются зимовать. Зимний прирост с 1998 года значительно увеличивается, как на внутригородских водоемах ($r = 0,81$; $p < 0,01$; $n = 19$), так и в городе в целом ($r = 0,63$; $p < 0,01$; $n = 19$). Кряквы распределяются по свободным ото льда акваториям, преимущественно в тех местах, куда приходят люди с кормом: возле пешеходных мостов и в прогулочных зонах. Москворецкая группировка на юго-востоке города формируется каждую осень заново. Здесь у городских очистных сооружений кряквы меньше тяготеют к подкормке и до середины 2000-х гг. проявляли крайнюю осторожность по отношению к человеку. После организации на берегу парковой зоны, где их регулярно кормят жители, кряквы стали менее осторожными. Здесь же зимует несколько видов других водоплавающих птиц, преимущественно гоголи (*Bucephala clangula*), и чайки, скапливающиеся в городе зимой. В зимнюю межень, когда уровень воды в реке снижается, для них становится привлекательным участок русла, богатый беспозвоночными и рыбой (Палий, 1997; Соколов, 1998). Численность крякв, зимующих на этом отрезке Москвы-

реки, сопоставима с общей численностью уток на всех остальных городских реках и прудах. Концентрация их здесь исключительно в холодное время года, как и отсутствие корреляции численности с внутригородской группировкой, дало основание разделить общее число птиц на две группы, которые в дальнейшем проанализированы отдельно.

Рост числа зимующих крякв и их распространение по городу начались в период массового жилищного строительства 1970-х – 1980-х годов после расширения границ Москвы до Кольцевой автодороги. С застройкой окраин, подведением коммуникаций, изменением водного баланса территории многие водоемы, а особенно – водотоки, коллекторы сточных вод, перестали замерзать зимой, привлекая мигрирующих крякв. У горожан, в том числе у многочисленных новосёлов, сложилась прочная традиция подкормки зимующих птиц (Корбут, 1994; Авилова, 2005; Avilova, Eremkin, 2001).

Зимой 1984/85 гг. численность зимующих в Москве крякв составляла более 17 тысяч особей. Ее рост продлился до 1990 г., достигнув почти 30 тысяч, а к 1998 году численность сократилась до 7,5 тысяч. Она держалась на низком уровне до 2002-2003 гг., после чего начался подъем, длившийся до 2016 г. Зимой 2015 г. был достигнут уровень численности 1990 года, а зимой 2016 он был превышен. На Москве-реке спад численности начался позднее, чем на внутренних водоемах города (рис. 21.2).

Современные изменения климата Москвы выражаются в более позднем похолодании. Даты перехода через 0°C в сторону понижения среднесуточной и минимальной температур воздуха с 1985 года значимо изменяются на более поздние ($r = 0,55$; $r = 0,42$; $p < 0,05$; $n = 32$). Одновременно продолжительность морозного периода, то есть промежутка с перехода среднесуточной температуры через 0°C осенью до перехода через 0°C весной, сокращается ($r = -0,60$; $p < 0,01$; $n = 32$). В первой половине 32-х летнего периода она в среднем составила 132 дня, а во второй – 104,5 дня. В пределах этого периода средние и минимальные температуры значимо не изменялись. В то же время росли среднесуточная и минимальная температуры ноября ($r = 0,59$; $r = 0,56$; $p < 0,01$; $n = 32$) и декабря ($r = 0,36$; $p = 0,04$ и $r = 0,41$; $p = 0,02$; $n = 32$) в отличие от январских температур, для которых наблюдается статистически незначимое снижение (рис. 21.3). Таким образом, в Москве налицо более позднее наступление устойчиво морозной погоды, сокращение морозного периода, повышение средних температур ноября и в меньшей степени – декабря, а также признаки снижения январских температур.

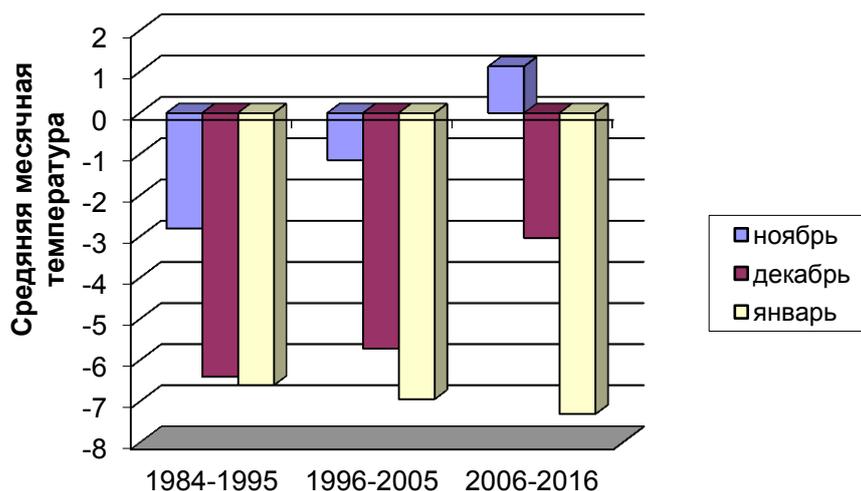


Рисунок 21.3. Динамика среднемесячных температур ноября-января с 1985 по 2016 гг.

Связь численности крякв со средними ($r = 0,41$; $p = 0,02$; $n=32$) и минимальными ($r = 0,54$; $p = 0,001$; $n = 32$) температурами морозного периода выявляется только в отношении москворецкой группировки. Со временем эта связь ослабевает, так в период с 1985 по 1998 гг. корреляция составляла соответственно $r = 0,57$ и $r = 0,71$; $p < 0,05$; $n=14$, а в период с 1985 по 2012 гг. соответственно $r = 0,43$ и $r = 0,45$; $p < 0,05$; $n=27$. Для размера внутригородской группировки в отличие от москворецкой выявлена связь с длиной морозного периода ($r = -0,47$; $p = 0,006$; $n=32$). Относительное число крякв, зимовавших в зоопарке, менялось в противоположном направлении по сравнению с размером городской группировки ($r = -0,83$; $p < 0,01$; $n=32$), рис. 21.4.

Фактор подкормки также является важным при распределении зимующих крякв (Polakowski et al., 2010; Dalby et al., 2013). От него зависит численность городской группировки, что отмечено и для других городских птиц, в частности, для врановых (Корбут, 1996). Численность зимующих крякв связана с благосостоянием горожан. Они пользуются регулярной подкормкой в течение всего года, особенно зимой. Численность зимующих на внутренних водоемах крякв за период с 1985 по 2015 гг. коррелирует с покупательной способностью москвичей ($r = 0,44$; $p = 0,012$; $n = 31$) или с индексом потребительских цен, отражающем уровень инфляции ($r = -0,42$; $p = 0,017$; $n = 31$). Чем ниже покупательная способность и выше инфляция, тем ниже благосостояние, слабее подкормка и тем меньше крякв зимует на городских прудах и речках. Подкормка стала дополнительным аттрактантом для зимующих птиц. Показано, что она улучшает кондиции

самок и приводит к ранним кладкам, а те, в свою очередь, – к повышенной выживаемости птенцов и росту гнездовой плотности (Jones, Reynolds, 2008; Robb et al., 2008a,b; Gillian et al., 2008; Chamberlain et al., 2009).

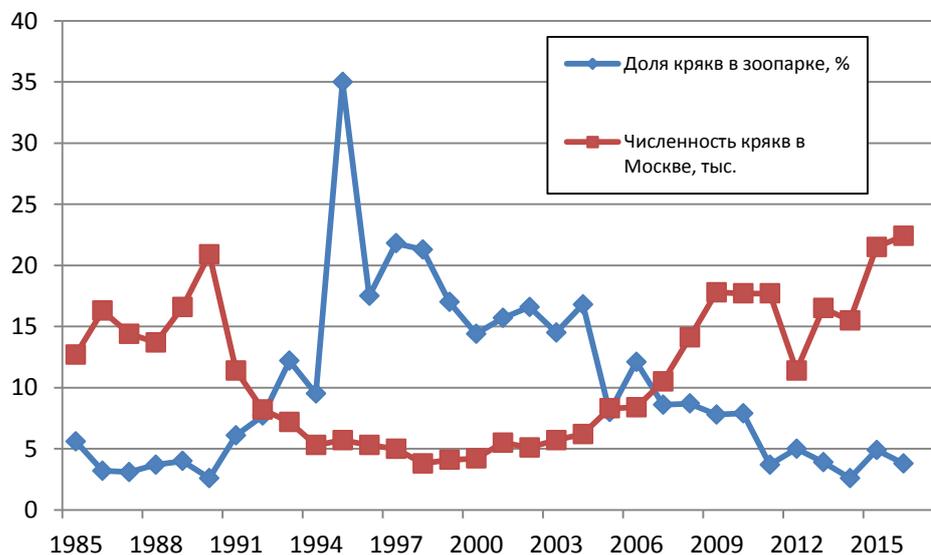


Рисунок 21.4. Доля крякв, зимующих в зоопарке, от их численности на внутригородских прудах и реках Москвы с 1986 по 2016 гг.

Сокращение размера обеих зимних группировок в 1991-1998 гг. свидетельствует о повсеместном ухудшении кормовой базы, как в связи с сокращением подкормки, так и в связи со снижением поступления органики на очистные сооружения, а отсюда – в Москву-реку. Все это влияло на сокращение масштабов зимовки не только уток, численность которых продолжала падать, но и других городских птиц (Константинов, 1995; Сазонов, 2003). В ходе стабилизации экономической обстановки покупательная способность стала расти с 1995 г., а численность зимующих уток, отреагировавших на возобновление подкормки, с 1998 г. (см. рис. 21.2). По той же причине в период дефицита корма происходила концентрация, а по его окончании – снижение числа крякв на прудах зоопарка. Все это говорит о важной роли всех форм подкормки птиц в зимний период. Благодаря ее сокращению в 1991-92 гг. наметившийся рост размера городской популяции прервался и возобновился только с 1998 года.

Москворецкая группировка крякв находится в более жесткой зависимости от погодных условий зимы, чем городская, её размер коррелирует с температурами

морозного периода. В границах Москвы зимуют, таким образом, частично перекрываясь, две экологические популяции кряквы (Наумов, 1975), динамика численности которых определяется в разной степени метеорологическими и социально-экономическими факторами.

В марте часть зимовавших в городе уток скапливается на еще не освобожденных ото льда прудах, куда впоследствии приходят самки с утятами, и остается там, пока пруды не вскроются. Прирост зимней численности крякв зимой, предшествующей размножению, положительно связан с числом гнездящихся самок в период с 1998 по 2016 гг. ($r = 0,52$; $p = 0,03$; $n = 17$).

Ход размножения кряквы в сезон 2016 года в сравнении с предшествующими

Инвентаризацию размножающихся водоплавающих птиц проводили летом с конца июня до конца июля 1998-2016 гг. на большинстве освоенных ими акваторий в границах МКАД. Это более 150-и замкнутых водоемов (озер, прудов, очистных сооружений) и 23 участка рек и каналов. Подсчитывали число утят в каждой выводке и определяли их возраст по шкале Ю.А.Исакова (1963). Сроки вылупления птенцов и дату откладки первого яйца самками вычисляли методом обратного отсчета (Оја, 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.

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 переходом среднесуточных температур воздуха через 0°C . 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 Москве средняя температура за февраль 2016 года составила $-0,6^{\circ}$, с аномалией $+7,1^{\circ}\text{C}$ по отношению к средней

многолетней. В марте средние температуры воздуха также превысили норму на 3-5°C. Аномалии средней температуры за весну 2016 года (март-май) в Северном полушарии достигли абсолютного максимума за 126-летнюю историю регулярных метеорологических наблюдений, превысив рекорд, установленный весной прошлого года <http://meteoinfo.ru/climate/climat-tabl3/2016-climat-analysis>.

Летом 2016 г. в Москве вывело птенцов более 940 самок крякв, на 6,4% больше, чем весной 2015 г. Общее число утят составило 4350, что на 7,8% больше, чем в 2015 г. С 1998 года численность выводков выросла в 3,7 раза, численность утят – в 3,4 раза, число самцов и не гнездившихся или потерявших выводки самок выросло в 3,9 раза с 1200 до 4700 птиц (рис. 21.5). Последовательный рост летней численности кряквы соответствует раннему началу весны, что особенно ярко проявляется с 2014 года.

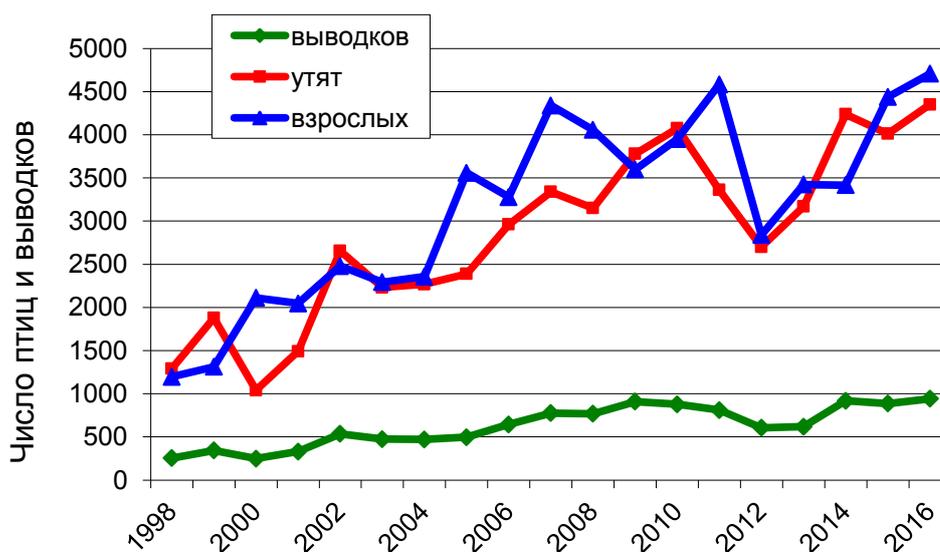


Рисунок 21.5. Летняя динамика численности кряквы в Москве с 1998 по 2016 гг.

В годы с поздней весной кряквы начинают кладку сразу после перехода среднесуточных температур через 0°C или одновременно (рис. 21.6). В 2016 году с беспрецедентно ранней весной у крякв с перехода средней суточной температуры через 0°C до начала кладки 23 марта прошло 57 дней, а в 2015 году с более поздней весной, когда первое яйцо было отложено 30 марта – 38 дней. В целом кряквы стали гнездиться раньше

после 2010 года. С 1998 по 2010 гг. откладка первого яйца практически всегда приходилась на 1-19 апреля.

В Москве кряквы приступают к откладке яиц при все более коротком естественном фотопериоде: если в 2015 году они начали гнездиться при длине дня в 12 часов 56 минут, то в 2016 г.– 12 часов 27 минут.



Рисунок 21.6. Даты откладки 1-го яйца кряквой относительно дат перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C.

Черный прямоугольник – декада перехода температуры через 0°C

Белый прямоугольник – декада откладки 1-го яйца

Серый прямоугольник – декада, когда произошли оба явления одновременно

Период гнездования сильно растягивается, так как молодые самки гнездятся позднее старых, а птицы, потерявшие кладки или птенцов, гнездятся повторно. Расчетное время начала первых кладок 23.03.2016 г, а начала последних – 14.06.2016 г. Общая длина периода начала откладки яиц кряквой в городе в 2016 г. в среднем составляет 84 дня, что превосходит большинство полученных в природе показателей.

Средняя суточная температура в мае 2016 г., когда на водоемах появляется 30-35% самок с утятами, в Москве составила 15,0°C, что на 1,9°C больше нормы. Средняя температура июня, когда выводит утят почти половина самок, была 18,2°C с аномалией +1,6°C. В июле жара продолжала усиливаться. Июнь и июль 2016 г. входят в первую тройку самых жарких с 1891г. Количество осадков в июле и августе превышало среднее <http://meteoinfo.ru/climate/climat-tabl3/2016-climat-analysis>.

Раннее начало размножения повлекло за собой увеличение числа ранних выводков: в конце апреля – начале мая их появилось 17 (1,8% от общего числа), а в тот же период 2015 года – всего 2 (0,1%). В мае 2016 года появилось 325 выводков или 34%, а в мае 2015 – 261 (30%). Больше их было и в июне 2016 года, чем в июне 2015. А вот заключительная часть сезона размножения, наоборот, уступила по числу выводков 2015 году. Конец июня и июль 2016 года были менее «урожайными» (рис. 21.7). С более ранним весенним и более интенсивным летним потеплением сроки размножения кряквы последовательно сдвигаются со второй половины сезона на первую.

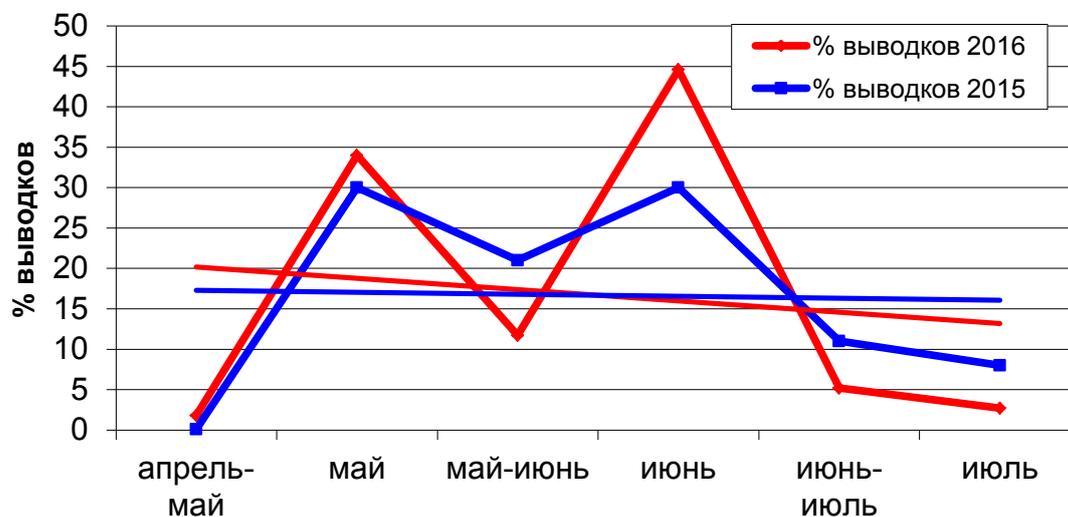


Рисунок 21.7. Ход появления выводков кряквы на водоемах Москвы весной и летом 2016 и 2015 гг.

Соотношение числа взрослых птиц и оперенных молодых в конце лета составило 0,92 (в 2015 г. – 0,90). На самку приходилось в среднем 4,61 утёнка всех возрастов, то есть чуть больше прошлогоднего (в 2015 г. – 4,53). Число взрослых не размножающихся птиц было

рекордным (4700), в 2015 г. – 4440. Репродуктивный потенциал городской популяции еще далеко не исчерпан.

Выводы

Летний сезон 2016 года был климатически благоприятным для водоплавающих птиц: весна наступила рано, лето было жарким и влажным. Раннее в связи с общим потеплением наступление весны спровоцировало относительно раннее гнездование и рост числа выводков у кряквы, а также продолжение смещения сроков массового появления выводков с начала – середины лета на весну – начало лета.

Динамика размножения кряквы за последние 18 лет отличается дальнейшим 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..., 2016). Более ранний переход температур воздуха через 0°C (Исаев, 2005), увеличение среднегодовой температуры на 1,7°C за десятилетие, особенно в январе (0,07°C /год) и в марте – апреле (0,06°C /год) (Чубарова и др., 2014) способствуют более раннему началу гнездования. Увеличение прозрачности атмосферы над Москвой, рост продолжительности солнечного сияния (Горбаренко, 2014, 2015), рост освещенности на 8%, наблюдаемый именно весной (Шиловцева, 2015), видимо дополнительно стимулируют наступление репродуктивного состояния птиц. Свой вклад в корректировку жизненного цикла вносит и искусственное освещение.

В целом 2016 год характеризуется рекордным размером городской группировки зимующих крякв с 1985 г., ранним началом размножения, рекордным количеством выводков, утят и взрослых не размножающихся птиц с 1998 г., близким к среднему уровню успешности размножения.

Благодарности. Автор глубоко признателен заведующей Метеорологической обсерваторией МГУ им. М.В. Ломоносова О.А. Шиловцевой и ведущему научному сотруднику М.А. Локощенко за предоставленные данные метеорологических наблюдений и публикации.

Литература

- Авилова К. В., 2005. История формирования городской группировки кряквы в Москве // Казарка, № 7. С. 240–255.
- 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, 2016. Весна: март – май. Обзор состояния и тенденций изменения климата России // ФГБУ «Институт Глобального Климата и Экологии». М. 35 с.
- Исаев А.А. (отв. ред.), 2005. Справочник эколого-климатических характеристик г.Москвы (по наблюдения Метеорологической обсерватории МГУ). Т.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.
- Константинов В.М., 1995. Изменение городской авифауны Москвы за 30-летний период // Экология и охрана окружающей среды: Тез докл. 2-й Международной научно-практической конференции. Ч.4. Пермь. С. 27–29.
- Корбут В.В., 1994. Пространственно-временное распределение // Урбанизированная популяция водоплавающих (*Anas platyrhynchos* L.) г. Москвы. М.: Аргус. С. 28-61.
- Котюков Ю. В., Русанов Г. М., 1997. Крякva *Anas platyrhynchos* L. // Миграции птиц Восточной Европы и Северной Азии. Пластинчатоклювые. М. С. 7–103.
- Михантьев А.И., Селиванова М.А., 2009. Экологические основы прогнозирования продуктивности и численности уток // Казарка. Т. 12. № 1. С. 47–67.
- Наумов Н.П., 1975. Механизмы взаимодействия популяций (на примере некоторых млекопитающих и птиц) // Зоол. журнал, т.14, вып.6. С. 832–847.
- Палий А. 1997. Зообентос Москвы-реки на участке от Коломенского до Бесед // Птицы техногенных водоемов Центральной России. М., МГУ: 129–134.
- Птушенко Е.С., Иноземцев А.А., 1968. Биология и хозяйственное значение птиц Московской области и сопредельных территорий. М.: Изд-во МГУ. 461 с.
- Садоков В.П., Козельцева В.Ф., Кузнецова Н.Н., 2012. Определение весенних дат устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0, +5°C, их прогноз и оценка // Труды гидрометеорологического НИЦ РФ / Под. ред. д-ра физ.-мат. наук М.А. Толстых, вып. 348. С. 144–152.
- Сазонов С.В., 2003. Современные тенденции динамики орнитофауны на урбанизированных территориях в Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. Вып.4. Петрозаводск. С. 187–200.
- Соколов Л.И., 1998. Рыбы в условиях мегаполиса (г.Мосва) // Соросовский образовательный журнал. № 5. С. 30–35.

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.

Avilova K.V., Eremkin G.S., 2001. Waterfowl wintering in Moscow (1985-1999): dependence on air temperatures and the prosperity of the human population // *Acta Ornitologica* V.35 (1). P. 65-71.

Chamberlain D., Cannon A. R., Toms M. P., Leech D. I. , Hatchwell B. J. , Gaston K. J., 2009. Avian productivity in urban landscapes: a review and meta-analysis // *Ibis* V.151. P.1–18.

Dalby L., Fox A.D., Petersen I.K., Delany S., Svenning J., 2013. Temperature does not dictate the wintering distributions of European dabbling duck species // *Ibis* V.155. P.80–88.

Jones D.N., Reynolds S.J., 2008. Garden bird feeding: a global research opportunity // *J. Avian Biol* V.39. P. 265–271.

Gillian N. Robb, Robbie A. McDonald, Dan E. Chamberlain, S. James Reynolds, Timothy J. E. Harrison and Bearhop S., 2008. Winter feeding of birds increases productivity in the subsequent breeding season. *Biol. Lett.* V.4. P. 220–223.

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.

Polakowski M., Skierczynski M., Broniszewska M., 2010. Effect of urbanization and feeding intensity on the distribution of wintering Mallards *Anas platyrhynchos* in NE Poland // *Ornis svecica* V.20 (2). P.76-80.

Robb G.N., MacDonald R.A., Chamberlain D.E., Reynolds,S.J. Harrison T.J.E. & Bearhop S., 2008b. Winter feeding of birds increases productivity in the subsequent breeding season // *Biol. Lett.* V.4. P.220–223.

Robb, G.N., MacDonald, R.A., Chamberlain, D.E., Bearhop, S., 2008a. Food for thought: supplementary feeding as a driver of ecological change in avian populations // *Front. Ecol. Evol.* V 6 (9). P 459–512.

Viksne J., Svazas S., Czajkowski A., Janaus M., Mischenko A. et al., 2010. Atlas of Duck population In Eastern Europe. Vilnius: “Akstis”. 199 p.

Часть V. Ольга Александровна Шиловцева

ПУСТЬ ВСЕГДА БУДЕТ СОЛНЦЕ

Памяти Ольги Александровны Шиловцевой

1 мая 2017 г. после тяжёлой болезни ушла из жизни заведующая метеорологической обсерваторией Московского университета, кандидат географических наук Ольга Александровна Шиловцева (Котова). Она проработала в метеообсерватории почти 40 лет, пройдя путь от студентки до заведующей. Вся жизнь Ольги Александровны связана с Московским университетом, который она нежно и преданно любила.

В данной статье мы постарались вспомнить основные вехи её жизни.

ОЛЬГА АЛЕКСАНДРОВНА ШИЛОВЦЕВА

3 сентября 1958 – 1 мая 2017



«Огромное небо»

Ольга Котова родилась 3 сентября 1958 г. в Куйбышеве (Самаре) в семье выпускников химического факультета МГУ Людмилы Сергеевны Шиловцевой и Александра Гордеевича Котова. С ее рождением связано семейное предание: Сергей Павлович Шиловцев, дедушка Ольги, уважаемый хирург-онколог и депутат Куйбышевского горсовета, помог разрешить некое недоразумение в семье акушерки, принимавшей роды. Его помощь помогла восстановить справедливость, и он посчитал, что это сулит новорожденной Оле счастливую жизнь.

С 1966 г. Ольга жила с родителями в Москве. Ходила в школу № 308 Дзержинского района, любила читать книги и есть варенье. С детства Ольга остро чувствовала желание бороться за справедливость. Она росла послушной, чаще всего робкой – но, увидев, что красивый одноклассник свысока обижает своих восторженных поклонниц, она подложила ему под дверь дымовую шашку. Порыв ее не был оценен, и о проделке доложили и в детскую комнату милиции, – а многих знакомых впоследствии поразило такое сильное желание защитить других, присущее Ольге. О своей неумелой попытке проучить зазнайку она много лет вспоминала со смехом и смущением.



Конец 1960-х гг., Москва. Оля и её младший брат Коля.

Предполагалось, что она продолжит семейную традицию и станет химиком. Ольга старательно занималась, была лучшей по химии в параллели. Но в девятом классе, готовя реферат о Швейцарии, она увлеклась географией. «Вот оно – моё!» - вспоминала Ольга охватившее её чувство, которое она запомнила на всю жизнь. Швейцария, указавшая ей путь, так и осталась её любимой страной (много позже ей удалось там побывать, хоть и недолго), и Ольга очень гордилась тем, что действительно любит свое дело.

«Альма-дочь»

В 1975 г. после усердной подготовки Ольга поступила на географический факультет МГУ. Взятие этого барьера было для нее триумфом, заслуженным и непростым. Тему своего вступительного сочинения, задачу на вступительном экзамене по математике Ольга наизусть цитировала всю жизнь, а еще всегда помнила радость, охватившую её, когда она узнала, что учиться ей предстоит в Главном Здании. По её словам, именно после поступления в Университет начался самый счастливый этап в её жизни.

С географической специальностью Ольга определилась не сразу. Сначала ей понравилась геоморфология, сохранился даже протокол заседания Научного студенческого общества кафедры геоморфологии от осени 1975 г., где присутствовала первокурсница Ольга Котова. Но после практики в Сатине сомнений не осталось – сердце Ольги навсегда было отдано метеорологии, а после курсовой 3-го курса, подготовленной по материалам МО МГУ под руководством доцента Б.В. Полтарауса, – актинометрии и метеообсерватории.

С первого курса Ольга была старостой, сначала 4-й группы 1-го курса, а затем и группы метеорологов. Она нежно любила своих одногруппников и по возможности всегда прикрывала их, в то же время ругая за академические провалы. Она часто вспоминала свои беседы с ними, с улыбкой цитируя: «Ольга, я на первую пару не прихожу, потому что так спать хочется! А на вторую пару не прихожу, потому что так есть хочется!». Куратором группы был нынешний заведующий кафедрой профессор А.В. Кислов, тогда аспирант.



20 декабря 1979 г. После заключительной лекции. Слева направо. Нижний ряд: Александр Наумов, Виктор Артемьев; второй ряд: Елена Скриптунова, Татьяна Кайдаш, Анна Хмелёва, Ольга Котова (Шиловцева), Татьяна Макарова (Терещенкова), Елена Ширяева; стоят: Татьяна Смирнова (Козловская), Аля Белавина (Моргунова), Владимир Перунов, Александр Рылов (1955-2007), Евгений Стулов, Виктор Фёдоров, Анна Коган (Фёдорова). На фотографии отсутствуют Андрей Жуков и Мила Балаева (Павловская)

В 1977 г. Ольга занялась актинометрией и выбрала актинометрическую тему для курсовой работы. По рекомендации научного руководителя Б.В. Полтарауса, фронтовика, одного из трёх первых выпускников кафедры метеорологии (1950), именно для работы над курсовой она впервые пришла в Метеообсерваторию. Тогда её возглавляла Маргарита Павловна Гараджа (1928-2006). В первый раз Ольга пришла в обсерваторию после пар, ближе к концу рабочего дня. Её поначалу пожурили за поздний приход, но потом предоставили данные и стол, чтобы работать с ними. Коллектив обсерватории (Н.П. Никольская, Г.М. Абакумова, Т.В. Евневич, Е.И. Незваль, В.М. Товстолес, А.В. Высоцкий и др.) принял студентку очень доброжелательно, работа там ей очень понравилась. В обсерваторию с той поры Ольга будет приходить с небывалой радостью и любовью, делить с нею все радости и горести, трудиться и надеяться на нее. Для неё она была неотъемлемой и главной частью географического факультета, без которого она не

представляла свою жизнь. МО МГУ работает 63 года (с 1954 г.), и Ольга Александровна провела в её стенах почти сорок лет.

Нередко Ольга Александровна не слишком лестно отзывалась о собственных научных успехах, а ведь с самого начала её работы были высоко оценены на факультете и в науке. Полученные в первой курсовой результаты легли в основу первой научной статьи Ольги в «Вестнике Московского университета» (1979, № 2), подготовленной вместе с Б.В. Полтараусом («Сезонные особенности прихода и изменения суммарной солнечной радиации в Москве»). А весной 1978 г. её доклад занял первое место на ежегодной студенческой конференции «Ломоносовские чтения». О своем выступлении она узнала случайно и накануне, в день доклада была не совсем здорова и, как ей казалось, говорила неважно – но работа была оценена высоко. Она все больше интересовалась своей специальностью, тема очень её увлекла, и она не прекращала трудиться над курсовой даже во время зимней экспедиции ГОПа на Кавказ, при свете керосиновой лампы в шумном спальню-кухонном помещении.

Как истинный географ, Ольга страстно любила путешествовать и не страшилась поездок даже в самые дальние дали. Производственную практику после третьего курса Ольга проходила на гляциологическом стационаре на леднике Джанкуат. По её рассказам, те два месяца были настоящей школы жизни и работы в небольшом коллективе. Жили в палатках, каждый день приходилось не только регулярно ходить на метеоплощадку, но и выполнять целый комплекс работ на леднике. На Джанкуате она привыкла регулярно писать письма. Среди студентов было принято украшать конвертами стены над своим спальным местом в палатке, и к концу практики над ее подушкой не было свободного места от полученных писем – их было гораздо больше, чем у всех остальных! На леднике Ольга научилась мастерски печь блины, в этом искусстве ей не было равных. А еще с тех пор она возненавидела шпротный паштет, ибо начальник отряда в целях экономии средств закупил его в огромных количествах, чем свёл к этому «блюду» большую часть продуктового ассортимента экспедиции.

Летом 1979 г. вместе с Еленой Скриптуновой Ольга участвовала в 23-м рейсе НИС «Эрнст Кренкель» (построен в 1971 г). В течение трёх месяцев, с 13 июня по 22 сентября, студентки выполняли метеорологические наблюдения в северной части Атлантического океана на знаменитой точке «Чарли» (52°41'с.ш.; 35°39'з.д.), а на пути к точке наблюдений

и обратно заходили в Сеуту, Понта-Дельгаду и Санта-Крус-де Тенерифе. Две застенчивые студентки, Ольга и Елена завоевали уважение, а со временем и искреннюю дружбу членов экипажа. Сохранились фотографии, как они устраивают для команды поэтический вечер, вслух читают перед моряками стихи Лермонтова. С некоторыми членами экипажа Ольга потом вела долгую дружескую переписку, всегда аккуратно сохраняя все письма. За отличную работу в сложных и иногда штормовых условиях студенток наградили почётными грамотами и денежными премиями, а на кафедру из Одессы пришло благодарственное письмо. Командование «Кренкеля» благодарило МГУ «за хорошее воспитание студенток Е.Н. Скриптуновой и О.А. Котовой, которые в тяжёлых метеорологических условиях проявили себя...» великолепно, а «своей отзывчивостью и добротой... по праву заслужили уважение моряков!». Заведовавшая тогда кафедрой Н.А. Мячкова прочла эти слова «с непередаваемым выражением». Этим письмом и участием в рейсе Ольга очень гордилась.



Актинометрические наблюдения на борту «Кренкеля», июль 1979 г

Дипломную работу она посвятила анализу актинометрических наблюдений в Москве (руководитель М.П. Гараджа). Работа «Изменчивость суммарной ультрафиолетовой радиации по измерениям в Москве» была очень объёмная и качественная, в неё Ольга

вложила гигантский труд. Защита проходила сложно, ответы на вопросы не всех членов комиссии удовлетворили, они разошлись во мнениях, но Н.А. Мячкова не колебалась – только «отлично». В июне 1980 г. Ольга Котова окончила географический факультет МГУ с красным дипломом. На защиту диплома один из коллег её мамы подарил ей букет пионов с фразой: «Поздравляю тебя, Оля, самое счастливое время твоей жизни подошло к концу». Грядущее расставание с университетом действительно печалило ее. Она всегда вспоминала годы студенчества как одни из самых счастливых и радостных в жизни.



Солнце и его коллега

Сначала Ольгу распределили в Институт географии АН СССР, и она даже ходила туда знакомиться. Но ей очень хотелось работать в МО МГУ, и летом как раз появилось место старшего лаборанта на актинометрическом хоздоговоре по Норильску. Для выполнения работ ей потом пришлось неоднократно летать в Норильск как летом, в жару и духоту, так и зимой, в полярную ночь, когда норильские ветры насквозь пронизывают валенки и шубу. Зимой в Норильске она даже немного отморозила нос. Но сомнений не было никаких: как только ей сообщили о возможности работать в МО МГУ, она согласилась сразу. Её зачислили 1 июля 1980 г. (приказ № 380-ок от 30 июня 1980 г.), и так началась её работа в Метеообсерватории, которую она любила всю жизнь. Это

сложившееся удачно обстоятельство всегда казалось Ольге подарком судьбы – она никогда не хотела работать нигде, кроме обсерватории, стремилась сюда и мечтала вернуться в свой кабинет, к своим приборам, до самых последних дней.

В МО МГУ Ольга Александровна прошла почти все ступени карьеры кадрового работника Московского университета. С 1 июля 1980 г. - старший лаборант, с 1 октября 1981 г. - инженер, с 21 июня 1984 г. - младший научный сотрудник, с 1 июня 1996 г. - научный сотрудник, с 1 июля 1997 г. - старший научный сотрудник, с 1 февраля 2000 г. - ведущий научный сотрудник, с 1 июня 2014 г. - заведующий лабораторией. Ей случалось не только представлять обсерваторию на международных конференциях, но и мыть в ней полы, подменяя уборщицу в тяжелые годы, и отдыхать на жёстких лавках, подменяя метеонаблюдателей. Приходилось давать интервью для телевидения и собственноручно толкать заржавевшую во дворе машину, чтобы освободить проезд.

Своей наукой Ольга Александровна была увлечена и всегда искала новые перспективы, радовалась новым знаниям и возможностям.

В начале 1980х гг. Ольга познакомилась с сотрудницей ГГО имени А.И. Воейкова Е.Л. Махоткиной и внедрила в состав наблюдений МО МГУ непрерывную регистрацию фотосинтетически активной (ФАР) и ближней инфракрасной (БИКР) солнечной радиации с помощью разработанных в ГГО цветных пиранометров. Наблюдения за ФАР она продолжала до конца своих дней и имеющийся в МО МГУ ряд – уникален. К нему часто обращаются специалисты разных подразделений МГУ – биологи, физики, почвоведы, сотрудники кафедры физической географии и ландшафтоведения.

Кроме наблюдений в МО МГУ, Ольга наблюдала во время ГОПовских студенческих экспедиций в Мещёру (1984), а также организовывала специальные актинометрические экспедиции (Сатино, 1986).

13 мая 1993 г. Ольга защитила кандидатскую диссертацию по теме «Климатические ресурсы фотосинтетически активной и ближней инфракрасной солнечной радиации (по наблюдениям в Москве)». Успешная защита стала событием для московской актинометрической общественности, в ней участвовали многие московские актинометристы. По воспоминаниям присутствовавших, это была «настоящая

обсерваторская защита». После голосования многие дамы, включая соискателя, даже немного всплакнули, расчувствовавшись.

После защиты Ольга продолжала наблюдения за ФАР и БИКР, участвуя в составлении очень востребованных до сих пор «Справочниках по климату Москвы, подготовленных под руководством А.А. Исаева.

В 2005-07 гг. она возглавляла работы по проекту РФФИ № 05-05-64696 «Климатические ресурсы солнечной радиации и естественной освещенности и методы их оценки», целиком ею задуманным и исполненным вместе с коллегами. Ниже приведена краткая аннотация результатов.

В 2005 г. перед коллективом исполнителей проекта стояла задача всесторонне изучить климатические ресурсы региона в условиях безоблачного неба, т.е. получить представление о так называемых возможных ресурсах солнечной радиации. В рамках этой задачи оценивалась вероятность наблюдения безоблачного неба в течение всего светлого времени суток и в отдельные часы. На базе созданных электронных архивов наблюдений получены средние климатические оценки и их статистические характеристики: коэффициента прозрачности атмосферы, аэрозольной оптической толщины, влагосодержания атмосферы, солнечной радиации (суммарной, рассеянной и прямой интегральной, ультрафиолетовой (300-380нм) и фотосинтетически активной (380-710 нм)) и естественной освещенности земной поверхности. Проведенное сопоставление данных наблюдений с результатами математического моделирования спектрального распределения солнечной радиации показало хорошую сходимость между ними. Отдельно проанализированы данные о мгновенных значениях прямой солнечной радиации, приходящей на перпендикулярную к падающим лучам поверхность. Для каждого из видов радиации и освещенности получены эмпирические формулы, позволяющие определять средние значения параметра в зависимости от высоты солнца и оптической толщины атмосферы. Для спектральных потоков проведена оценка их вкладов в интегральную радиацию, получены оценки светового эквивалента. Определено эмпирическое уравнение перехода от коэффициента прозрачности атмосферы P_2 к аэрозольной оптической толщине. Приведены радиационные характеристики аэрозоля. На основе средних возможных величин суммарной интегральной радиации, полученных на сети актинометрических станций, рассчитаны возможные средние суточные суммы суммарной

фотосинтетически активной радиации и полуденные значения естественной освещенности, на базе которых построены карты распределения этих параметров по европейской территории России. Создан справочник "Радиационные, световые и оптические характеристики атмосферы при ясном небе".

Полученные в рамках сотрудничества с физико-географом членом-корреспондентом РАН К.Н. Дьяконовым и картографом Е.А. Балдиной результаты опубликованы в серии статей, а подготовленный ими совместно доклад занял первое место на «Ломоносовских чтениях». Разработанные Ольгой простые косвенные методы расчёта ФАР по продолжительности солнечного сияния и данным о суммарном интегральном потоке солнечной радиации широко используются коллегами, так как в их основе лежат тщательнейшие, многократно выверенные измерения, поверки и анализ.

В XXI веке в работе Ольги Александровны появилось два новых направления. От Т.В. Евневич она приняла оперативное руководство наблюдениями за естественной освещённостью земной поверхности и очень увлеклась этим направлением, крайне редким в настоящее время. Ей удалось собрать аппаратный комплекс, позволяющий непрерывно регистрировать и записывать освещённость. Она отладила эту систему и провела уникальные наблюдения во время экспедиции 2014 г. на р. Пенжину. Обработать их она, увы, не успела.

Второе направление, которым она занималась последние годы – динамика климата в Арктике. Вместе с мужем она опубликовала ряд статей, в том числе в зарубежных изданиях, в которых самым тщательным образом проанализировала наблюдения советских-российских полярных станций, показав не только цикличность климатических изменений, но и значительные географические различия в тенденциях изменения температуры воздуха в высоких широтах. Статья по истории полярных станций, опубликованная в 2004 г. в «Природе», сейчас широко используется не только специалистами, но и школьными учителями географии. В последние годы в сотрудничестве с Н.Н. Шабановой Ольга провела анализ изменений температуры воздуха на полярных архипелагах Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, а также на Кольском п-ве. Статьи с результатами этой работы продолжают выходить в свет уже без неё.



2014. На любимом рабочем месте в Метеобсерватории МГУ

Одновременно она собирала материалы по истории актинометрии, развитию актинометрических приборов, искала в московских и петербургских библиотеках редкие издания с результатами актинометрических наблюдений начала XX века. Уже в болезни она написала статью по истории метеорологических наблюдений в Москве, специально посетила место расположения одной из первых метеостанций в районе Красной Пресни.

Всего Ольга Александровна Шиловцева подготовила и написала около двух сотен публикаций, в том числе 15 книг. В последние годы, невзирая на диагноз, она работала над монографией, посвящённой режиму естественной освещённости в Москве. Подобной работы, где анализировались 60-летние ряды наблюдений, в мировой литературе нет. Ольга работала, пока были силы, до последнего, чрезвычайно тщательно контролируя однородность рядов, исправляя малейшие ошибки. Завершить эту огромную работу ей не было суждено.

В её трудовой книжке шесть благодарностей в приказах по факультету: «за успешное выполнение плана научно-исследовательских работ и мероприятий по освоению новой техники» (1982, 1983), «за активное участие в подготовке и проведении выборов» (1984),

«за активное участие в работе по охране природы» (1985), «за успешное проведение студенческих экспедиций группы охраны природы» (1987), «за отличную инициативную работу» (1987).

Дважды её доклады занимали первые места на «Ломоносовские чтениях» (первые премии Ученого совета) - в 2007 г. (вместе с К.Н.Дьяконовым, Е.А. Балдиной и Т.И. Харитоновой) и в 2014 г. (в составе коллектива из геоморфологов, метеорологов и картографов).

Она награждена Почётным знаком и Почётной грамотой Ректора МГУ «за плодотворную деятельность на благо Московского университета в связи с 250-летием МГУ» (2005), Почётной грамотой Министерства образования и науки РФ «за большой личный вклад в развитие отечественной науки и многолетний добросовестный труд» (2015).



2003, Москва, Всемирная конференция по изменению климата. Авторы доклада про динамику климата в Арктике у своего стенда



2016, Вена, EGU-2016. Ольга обсуждает с профессором А.В. Кисловым свой доклад по изменениям климата на Земле Франца-Иосифа

Многие разработки Ольги Александровны, не ставшие публикациями при жизни, продолжают выходить в свет посмертно, и даже коллеги поражаются, сколько она успела сделать в самых разных направлениях. В научном плане она была очень инициативна, постоянно размышляя и обсуждая с коллегами научную работу, организуя её. Инициативу и творческий подход она проявляла и на трудном посту заведующей МО МГУ. Она видела, что её деятельность на этом посту очень полезна, и это тоже было одним из лекарств в последние годы. Она всегда была равна и доброжелательна с коллегами и сотрудниками, внимательно относясь к их просьбам и пожеланиям. «Всем что-то надо, и всё такое разное», - говорила она, не жалея сил и времени на помощь родной обсерватории.

Все эти годы Ольга Александровна была привязана не только к работе и наблюдениям. Отдельное место в ее сердце занимал коллектив обсерватории. На время ее работы пришлась смена поколений, и она заслужила уважение и тепло как от поколения старших, так и от всё молодеющих поколений многочисленных студентов, приходящих, как и она, за данными. Много лет она работала в одной комнате с Галиной Михайловной Абакумовой. По злой иронии судьбы обе они ушли из жизни с интервалом около двух недель. Со многими своими коллегами Ольгу Александровну связывала нежная дружба, и она радовалась не только любимой работе, но и работе именно со своим коллективом. Она действительно радовалась каждый раз, когда приходила сюда. «Я спешу на работу, сегодня квадрат!» - говорила она. – «Я могу не подойти к телефону, буду на крыше». Недаром свой последний день рождения Ольга Александровна, совсем не ожидавшая еще конца, решила праздновать именно в обсерватории. И в последний путь ее провожали здесь же, на ее любимой метеоплощадке, в тени Главного здания, которым она с таким удовольствием любовалась. На небе был квадрат. Солнце провожало свою верную почитательницу и служительницу.

«Каждый раз, когда ты садишься в поезд»...

Ольга очень любила экспедиции. Еще со времен первого школьного похода в окрестности Пушкинских гор она любила все, что связано с походами, поездками и

исследованиями, всегда с удовольствием занималась подготовкой их, особым образом оживлялась перед предстоящим отъездом.

Во время учёбы она была незаменимым участником почти всех экспедиций Группы охраны природы (ГОП) географического факультета МГУ. ГОП был основан в 1975 г. сотрудником кафедры физической географии СССР В.П. Чижовой и Ольгиной однокурсницей, геоморфологом Е.В. Лебедевой, ставшей её первым командиром. Славная история ГОПа, продолжавшаяся почти 20 лет (1975-1990-е гг.) ещё ждёт своего летописца. Сложившийся за многие годы коллектив до сих пор ощущает себя коллективом, хотя связан теперь только воспоминаниями.

А воспоминания о ГОПовских экспедициях (Фанские горы, Свердловск, Лапландия, Киргизия, Мещёра и др.) относились к числу самых драгоценных воспоминаний Оли. Уже став сотрудником факультета, в 1981-84 гг. она неоднократно возглавляла зимние и летние студенческие экспедиции ГОПа. У неё не иссякали рассказы и истории из экспедиций, она тратила на них отпуска, отгулы и всегда грустила, когда нужно было возвращаться. Помимо всего прочего, в этих экспедициях у неё была важнейшая роль: она была превосходным завхозом. Эту должность она брала на себя еще со школьных времен и до самого последнего похода на байдарках в 2016 году. Каждую весну она брала свою толстую серую тетрадь, где рассчитывала, кому, что и сколько необходимо купить, и с удовольствием звонила участникам похода с указаниями. Как-то раз они решили обойтись без них и по-тихому договорились взять только половину указанного Ольгой количества продуктов. Результатом были нехватка припасов и даже небольшая голодовка. После этого попыток нарушить Ольгины указания не было.

А еще Ольга очень любила ходить на байдарках. С первого байдарочного похода в 1979 году она стремилась на байдарки при каждой возможности. С 1979 года она пропустила весенние сплавы только в 1987-1989 и 2015 годах. Вместе со своими одноклассниками и сокурсниками, а затем с командой своего мужа Ольга совершила 34 байдарочных похода по самым разным рекам - от ближних Тверцы, Пры и Угры до Белой и восточного (волжского) склона Тихвинской водной системы. Ольга была центральной фигурой этих походов, постоянным завхозом и главным поваром. Каждый раз она огорчалась, когда пункт назначения был достигнут, поход заканчивался и байдарки приходилось собирать, и главным ее утешением было только то, что поход наступит и в

следующем году. Её последний поход состоялся в мае 2016 г. по новгородской р. Поле. Каждые майские праздники она обязательно стремилась оказаться на реке, и день ее смерти совпал с традиционным началом любимых байдарок.



Река Пола, 1 мая 2016 г. Последний поход...

В 2013 г. ей снова пришлось возглавить зимнюю экспедицию, но не ГОПа, которого уже не существовало, а Научного студенческого общества (НСО) кафедры метеорологии и климатологии на Белое море (совместно с В.М. Степаненко). Она не очень хорошо себя чувствовала и на этапе подготовки, и в ходе экспедиции, но этого никто не замечал. Она с редкостной самоотверженностью, интересом и энтузиазмом руководила коллективом (надо сказать, очень дружным и сильным), и в экспедиции была чудесная атмосфера. Ольга часто вспоминала эту экспедицию до последних дней и радовалась ей.

Также до конца её радовали дальние экспедиции, в которых она участвовала вместе с мужем. В сложных условиях Камчатки (2008), Западной Чукотки (2009), Забайкалья (2010) и Корякии (2014) под дождями и с рюкзаком она чувствовала себя так же комфортно, как и на любимом Белом море (2002, 2004, 2013-16) и с огромным интересом и удовольствием не только знакомилась с природой и людьми и проводила актинометрические наблюдения, но и создавала тёплую и дружескую атмосферу. Воспоминания об этих экспедициях тоже были лекарством.

«Я хочу быть с тобой»

Географическому факультету, Московскому университету и ГОПу, помимо всего прочего, Ольга всегда была благодарна и за найденных здесь верных друзей. Иногда она не замечала, как рады были многие называть себя ее другом, и она притягивала к себе всех, даже тех, кто случайно оказался с нею рядом в транспорте или концертном зале. Друзья разного возраста сопровождали Ольгу всю жизнь. Она с радостью поддерживала дружбу со своими одноклассницами, соседками по дому, гоповцами разного возраста, коллегами по кратковременному сотрудничеству. В её день рождения телефон в ее квартире не замолкал ни на секунду, а когда появились мобильные, оба телефона часто звонили одновременно.



1984. Алабино, с Еленой Скриптуновой. Одна из самых любимых Олиных фотографий. Фото А.Е. Рылова

Еще с университета на гидрометпотоке Олиного курса сложилась традиция регулярных выездов на Олину дачу в подмосковной деревне Алабино. Поначалу были встречи Нового года в квартире у метро «Щербаковская», но бурное веселье не всегда встречало понимание у строгих соседей из «дома образцового содержания». Потом к метеорологам и океанологам присоединились гоповцы, все кафедры и курсы перемешались, и встречи на даче, как называла её Оля, «в алабинском притоне», начались в 1976 году и продолжались почти 40 лет. Танцы вокруг елки, танцевальная эстафета в соломенной шляпе на террасе и походы к разрушенной церкви в соседнюю деревню Бурцево – обо всем этом Ольга рассказывала с удивительной радостью. Помимо всего прочего, она была и замечательной

хозяйкой. Умело и с удовольствием наводила уют в любом месте, где оказывалась, от купе поезда до больничной палаты. Очень любила принимать гостей, и застолья у нее дома славились весельем и обилием угощений. С удовольствием расписывая меню все в той же

серой тетрадке, Ольга всегда переживала, что «гости уйдут голодными», и в результате всегда готовила горы и горы яств.

Ольга Александровна была счастливой и у себя дома тоже. Во время ГОПовской поездки в Бородино в октябре 1983 г. она познакомилась со своим будущим мужем – геоморфологом Фёдором Романенко. Свадьба состоялась 13 июня 1987 г., и супруги прожили душа в душу почти 30 лет, без 44 дней. 1 февраля 1988 г. родилась единственная дочь Ольги – Александра, и это было счастливейшим событием её жизни. Так как Фёдор в это время служил в армии в Хабаровске, Ольга с дочерью, с помощью свекрови О.Д. Кутасовой, которая тоже очень любила Ольгу, полетели к нему уже в ноябре 1988 г. Восьмимесячную жизнь в Хабаровске Ольга всегда вспоминала как непрерывное счастье. Через 20 лет супруги вновь оказались в Хабаровске и посмотрели на дом, где жили, но того ореола счастливой жизни в том дворе уже не было.



Весна 1989 г. Хабаровск

Ольга Александровна была удивительным собеседником. Ее искренность, солнечное чувство юмора, удивительная тактичность и бесконечная доброта заставляли людей иногда звонить ей просто, чтобы услышать её голос. Помимо этого многих удивляла её исключительная эрудированность. Она была исследователем по природе и не отрицала ничего, что было бы интересно узнать. За одним и тем же столом в течение одного ужина она с одинаковым увлечением обсуждала сюжетные повороты сериалов, предпосылки

мировых войн и реформации, а в байдарочном походе – лунные затмения и семейную жизнь жаб. Очень любила читать и делала это вдумчиво, по-исследовательски, часто подробно пересказывая заинтересовавшие ее сюжеты. С одинаковым удовольствием и интересом Ольга ездила в Европу и на Камчатку, в Прибалтику и Смоленскую область, на Украину и Белое море. Ей всегда всё было интересно, её радовали природа, музеи, картины, музыка (с удовольствием ходила как на барочные концерты ансамбля В. Фелицианта и оперу К. Монтеверди «Коронация Поппеи», так и в «Крокус сити холл» на концерты групп «Иванушки интернешнл» и БИ-2) и многое, многое другое. Ольга могла с интересом три часа лазить по подводной лодке-музею в Вытегре, осматривая все уголки, а тем же вечером радостно танцевала на танцполе на концерте Наталии Орейро в Санкт-Петербурге. Она всё делала с удовольствием и радостью, всегда строила вместе с семьёй множество планов, обращала в добро любой свой опыт, и её безвременный уход бесконечно несправедлив.

Из-за той же жестокой несправедливости Ольге Александровне пришлось перенести не одно, а два онкологических заболевания. В 2001 г. болезнь удалось победить оперативным вмешательством и длительным лечением. Второе оказалось коварнее. В болезни она сохраняла удивительное присутствие духа, и не знавшие о её тяжелейшей борьбе даже заподозрить не могли, столь тяжкие испытания ей приходится преодолевать. Ольга Александровна была потрясающим борцом, не позволявшим себе слабину, даже получая удар за ударом. В последней больнице она еще садилась за длинные ряды метеорологических данных и обдумывала свою монографию, когда ей не спалось ночами. За неделю до своего ухода она все еще строила планы, с интересом обсуждала фильмы, мечтала, как вернется в свой любимый кабинет в обсерватории, и пританцовывала в коридоре под песню про лабутены. Уже лёжа в реанимации с подключенным катетером, она не изменила своему характеру и общалась с родственниками в своём обычном стиле. Её последним словом, обращённым к мужу и дочери, было «спасибо». У нее была фантастическая сила духа.

Она очень любила свою семью и свою работу. Очень много сделала, и могла бы сделать ещё больше, если бы не выпавшие на её долю болезни.

В нашей памяти она останется как «человек солнца». Всю жизни работая с Солнцем, она сама стала его частью. «Будем как солнце, оно молодое, в этом – завет красоты», - цитировала Константина Бальмонта она в своих статьях о солнечной радиации.

Память о нашей Олечке, солнечной и удивительной, мужественной и радостной, всегда будет с нами. Она была настоящим, истинным другом, женой, матерью, коллегой, «человеком Московского университета», всегда гордилась им, своей семьёй, своей обсерваторией, которые в ответ делали её жизнь счастливой и наполненной.

Вся её жизнь была наполнена неустанным трудом и искренней любовью, интересом и сочувствием к людям. Её любили и уважали не только коллеги по обсерватории, кафедре и факультету, но все люди, с кем ей пришлось хоть немного общаться. Ей поверяли свои горести соседи по автобусной остановке, звали на чай первые встречные. Жители Аянки, самого удалённого села Корякии, рыбаки и охотники, очень хотели с ней сфотографироваться – всего за несколько десятков минут общения они тоже попали под влияние её великого обаяния, доброжелательности и разумности. Такого тепла и доброты, какое чувствовали люди в её присутствии, так не хватает всем, кто ее знал.

Безвременный уход Ольги – невосполнимая потеря для семьи, обсерватории, кафедры, факультета, всех её многочисленных друзей. Говорят, что незаменимых нет, но эта фраза теряет смысл, когда мы представляем, что позвонить и услышать ее голос нам больше не придется. Наш мир рухнул, и нам остаётся только помнить её и действовать так, как было бы одобрено ею, ибо в наших глазах она – недостижимое мерило мудрости и чистоты. Спасибо ей за ту радость, которую она подарила миру, и за счастье быть рядом с ней.

Светлая память Ольге! Солнечная, благодарная память.

