

2017

ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ МОСКВЫ В 2017 г.

**по данным Метеорологической обсерватории
МГУ имени М. В. Ломоносова**



**Москва
2018**

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Географический факультет
Метеорологическая обсерватория МГУ

**ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ МОСКВЫ в 2017 г.
по данным Метеорологической обсерватории
МГУ имени М. В. Ломоносова**

Коллектив авторов:

М. А. Локощенко, Е. Ю. Жданова, А. Ю. Богданович, Е. В. Горбаренко,
В. Г. Перепёлкин, Е. А. Енукова, Е. И. Незваль, Н. Е. Чубарова, Е. В. Вольперт,
И. Д. Ерёмина, Е. Э. Северова, О. А. Волкова, С. В. Полева, А. Ю. Комаров,
Ю. Г. Селиверстов, С. А. Сократов, А. С. Турчанинова, П. Б. Гребенников,
С. Ю. Казарова, С. В. Купцов, Г. А. Бойко, Т. В. Лаврова, Л. С. Ванина,
К. В. Авилова, А. А. Сучилин, М. Р. Владимирова

Под редакцией М. А. Локощенко



Москва – 2018

УДК 551.50
ББК 26.237
Э40

*Электронное издание комплексного распространения
Минимальные системные требования:
PC не ниже класса Pentium I; 32 Mb RAM; свободное место на HDD
23 Mb; Windows 95/98; Adobe Acrobat Reader; дисковод CD-ROM; мышь.*

*Издание осуществлено при поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 18-55-45012*

Авторы:

*М. А. Локощенко, Е. Ю. Жданова, А. Ю. Богданович, Е. В. Горбаренко, В. Г. Перепёлкин, Е. А. Енукова, Е. И. Незваль,
Н. Е. Чубарова, Е. В. Вольперт, И. Д. Ерёмкина, Е. Э. Северова, О. А. Волкова, С. В. Полевова, А. Ю. Комаров,
Ю. Г. Селиверстов, С. А. Сократов, А. С. Турчанинова, П. Б. Гребенников, С. Ю. Казарова, С. В. Купцов, Г. А. Бойко,
Т. В. Лаврова, Л. С. Ванина, К. В. Авилова, А. А. Сучилин, М. Р. Владимирова*

**Эколого-климатические характеристики атмосферы Москвы в 2017 г. по данным
Э40 Метеорологической обсерватории МГУ имени М. В. Ломоносова / М. А. Локощенко и др. /**
под ред. М. А. Локощенко. – Москва: МАКС Пресс, 2018. – 1 электронный оптический диск.

ISBN 978-5-317-05987-3

По данным наблюдений Метеорологической обсерватории МГУ исследованы различные характеристики атмосферы и особенности погодных условий в Москве в 2017 г., оказавшемся в целом аномально дождливым, пасмурным и темным годом. Обсуждаются необычно холодная погода с апреля по июль, снежный покров и разрушительный шквал в мае, июньский снег, а также аномально тёплый и пасмурный декабрь, в течение которого лишь 6 мин. светило солнце. Рассмотрены показатели метеорологического и радиационного режима атмосферы, аэрозольных частиц, химический состав осадков и аэропалеонтологический состав воздуха, а также промерзание почвы, снежный покров и ветровой режим в нижнем 500-метровом слое воздуха по данным содара «MODOS». Отдельно обсуждается влияние погодных условий на сроки цветения растений и условия обитания водоплавающих птиц гоголей в Москве и Московском регионе. Для различных показателей приведены климатические нормы и исследованы текущие изменения климата столицы.

Ключевые слова: Метеорологическая обсерватория МГУ, погода, изменения климата, атмосферные измерения, солнечная радиация, акустическое зондирование.

УДК 551.50
ББК 26.237

Authors:

M.A. Lokoshchenko, Ye.Yu. Zhdanova, A.Yu. Bogdanovich, Ye.V. Gorbarenko, V.G. Perepelkin, Ye.A. Erukova, Ye.I. Nezval', N.Ye. Chubarova, E.V. Vol'pert, I.D. Eremina, Ye.E. Severova, O.A. Volkova, S.V. Polevova, A.Yu. Komarov, Yu.G. Seliverstov, S.A. Sokratov, A.S. Turchaninova, P.B. Grebennikov, S.Yu. Kazarova, S.V. Kuptsov, G.A. Boiko, T.V. Lavrova, L.S. Vanina, K.V. Avilova, A.A. Suchilin, M.R. Vladimirova

**Environmental and climate characteristics of the atmosphere in Moscow in 2017 according
to the measurements of the Moscow State University Meteorological Observatory / М. А.
Lokoshchenko, etc; ed. by М. А. Lokoshchenko. – Moscow : MAKS Press, 2018. – 1 digital optical
disc.**

ISBN 978-5-317-05987-3

According to the observations of the Meteorological Observatory of Moscow State University, various atmospheric characteristics and specific of weather conditions in 2017, which turned out to be as anomalously rainy, cloudy and dark, were investigated. We discuss the unusually cool weather from April to July, snow cover and destructive squall in Moscow city in May, June snow, as well as anomalously warm and cloudy December, during which the Sun shone only 6 minutes. A lot of meteorological parameters, Solar radiation, features of aerosol particles in the atmosphere, the chemical composition of precipitation and the pollen composition of air, as well as soil freezing, snow cover and wind conditions in the lower 500-m air layer according to MODOS sodar data are considered. The influence of weather conditions on the flowering time of plants and the habitat conditions of the Gogol waterfowl in Moscow and the Moscow region were studied as well. For different parameters, the climatic norms are given and the current climate changes in Moscow are investigated.

Key words: MSU Meteorological Observatory, weather, climate changes, atmospheric measurements, Solar radiation, acoustic remote sensing.

Издательство «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.

Тираж 70 экз.

ISBN 978-5-317-05987-3

© Коллектив авторов, 2018
© Оформление. ООО «МАКС Пресс», 2018

Оглавление

Введение. Об издании и общие сведения о климате Москвы. <i>Локощенко М.А.</i>	5
Часть I. Метеорологические параметры атмосферы	14
1. Температура воздуха <i>Жданова Е.Ю.</i>	14
2. Промерзание и оттаивание почвы и грунта <i>Локощенко М.А.</i>	22
3. Влажность воздуха и атмосферные осадки <i>Жданова Е.Ю.</i>	40
4. Снежный покров <i>Локощенко М.А.</i>	47
5. Атмосферное давление и ветер в приземном слое <i>Жданова Е.Ю.</i>	60
6. Ветровой режим и температурная стратификация нижней атмосферы по данным акустического зондирования в МО МГУ <i>Локощенко М.А., Богданович А.Ю.</i>	71
7. Особенности облачного покрова и продолжительности солнечного сияния <i>Горбаренко Е.В.</i>	93
8. Метеорологические условия разрушительного шквала в Москве 29 мая 2017 года <i>Локощенко М.А.</i>	99
9. Изучение гравитационных волн в Москве посредством регистрации пульсаций давления <i>Перепёлкин В.Г.</i>	115
10. Температура поверхности Московского региона по данным спутников <i>Енукова Е.А.</i>	124
Часть II. Радиационные параметры атмосферы	130
11. Характеристика прозрачности атмосферы и составляющих радиационного баланса <i>Горбаренко Е.В.</i>	130
12. Режим естественной освещенности земной поверхности <i>Горбаренко Е.В.</i>	140
13. Особенности прихода ультрафиолетовой радиации 300-380 нм <i>Незваль Е.И.</i>	147
14. Особенности режима и методические аспекты измерений биологически активной эритемной ультрафиолетовой радиации <i>Жданова Е.Ю., Чубарова Н.Е.</i>	160

Часть III. Аэрозольный и аэропалинологический состав атмосферы, химический состав атмосферных осадков.....	169
15. Основные характеристики аэрозоля по данным солнечно-небесного фотометра CIMEL сети AERONET и оценка качества новой третьей версии данных измерений <i>Вольперт Е.В., Чубарова Н.Е.</i>	169
16. Химический состав атмосферных осадков в 2017 году <i>Еремина И.Д.</i>	181
17. Особенности аэропалинологического состава атмосферы в 2017 году <i>Северова Е.Э., Волкова О.А., Полева С.В.</i>	191
Часть IV. Прикладные аспекты метеорологических наблюдений	199
18. Изучение пространственно-временной неоднородности снежной толщи на площадке Метеорологической обсерватории МГУ зимой 2017/2018 гг. <i>Комаров А. Ю., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Турчанинова А.С., Гребенников П.Б.</i>	199
19. Фенологические наблюдения за некоторыми видами деревьев и кустарников в дендрарии Ботанического сада МГУ <i>Казарова С.Ю., Купцов С.В., Бойко Г.А.</i>	204
20. Фенология цветения травянистых и некоторых древесно-кустарниковых растений в Ботаническом саду МГУ <i>Лаврова Т.В.</i>	209
21. Сезонное развитие дикорастущих представителей рода <i>Malus</i> Mill. (яблоня, семейство Rosaceae) в 2017 году <i>Ванина Л.С.</i>	215
22. Особенности годового цикла водоплавающих птиц в Москве в 2017 году на примере гоголя (<i>Vicerephala clangula</i> L.) <i>Авилова К.В.</i>	217
23. Дифференциальная геодезическая станция ГНСС в Метеорологической обсерватории МГУ <i>Сучилин А.А., Владимирова М.Р.</i>	234

Введение. Об издании и общие сведения о климате Москвы

Локощенко М.А.

Эта книга служит продолжением серии ежегодных сборников трудов, издаваемых коллективом сотрудников Метеорологической обсерватории (МО) МГУ и посвящённых подробному анализу метеорологических условий отдельных лет. Данная серия была начата по инициативе ныне покойного заведующего обсерваторией, доктора географических наук А.А. Исаева в 2001 году, когда увидел свет первый выпуск сборника «Летопись погоды, климата и экологии Москвы (по наблюдениям Метеорологической обсерватории МГУ)» за 2000 год. Первые два сборника были печатными. Затем, после восьмилетнего перерыва, издание их возобновилось в 2011 г. в электронном виде под новым названием «Эколого-климатические характеристики атмосферы по данным Метеорологической обсерватории МГУ». Нынешний выпуск является десятым по счёту и, впервые за последние 15 лет, издан не только в электронном, но и в печатном виде – как и первые два тома этой серии. Ниже приведён перечень всех предыдущих изданий:

1. Летопись погоды, климата и экологии Москвы (по наблюдениям Метеорологической обсерватории МГУ). Отв. ред. А.А. Исаев. Вып.1 – 2000 г. Москва, Географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, 2002, 117 с. ISBN: № 5-89575-052-4.
2. Летопись погоды, климата и экологии Москвы (по наблюдениям Метеорологической обсерватории МГУ). 2001 год. Отв. ред. А.А. Исаев. СПб., Гидрометеиздат, 2003, 128 с. ISBN: № 5-286-01479-8.
3. Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2010 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ. Под ред. Н.Е. Чубаровой. М., МАКС Пресс, 2011, 180 с., электронное издание, ISBN: 978-5-317-03592-1.
4. Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2011 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ. Под ред. Н.Е. Чубаровой. М., МАКС Пресс, 2012, 230 с., электронное издание, ISBN: 978-5-317-04010-9.

5. Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2012 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ. Под ред. Н.Е. Чубаровой. М., МАКС Пресс, 2013, 207 с., электронное издание, ISBN: 978-5-317-04478-7.
6. Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2013 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ. Под ред. Н.Е. Чубаровой. – М.: МАКС Пресс, 2014. – 168 с. ISBN: 978-5-317-04763-4, электронное издание.
7. Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2014 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В.Ломоносова. Под ред. О.А. Шиловцевой и Е.И. Незваль – М.: МАКС Пресс, 2015. – 235 с. ISBN: 978-5-317-05113-6, электронное издание.
8. Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2015 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В.Ломоносова. Под ред. О.А. Шиловцевой – М.: МАКС Пресс, 2016. – 268 с. ISBN: 978-5-317-05424-3, электронное издание.
9. Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2016 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В.Ломоносова. Под ред. Е.И. Незваль, И.В. Сошинской. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 245 с. ISBN: 978-5-317-05711-4, электронное издание.

Метеорологическая обсерватория Географического факультета МГУ (МО МГУ) существует с 1954 года. Она обладает широким набором наблюдений, многие из которых уникальны для Москвы, России и даже всей территории бывшего СССР. Здесь производятся измерения нескольких десятков показателей: метеорологических величин, потоков солнечной радиации, химического состава атмосферных осадков, аэрозольного состава атмосферы, атмосферной стратификации, ветрового режима в нижнем 500-метровом слое воздуха и пр. Обсерватория обладает самым длинным в мире рядом непрерывных измерений солнечной ультрафиолетовой радиации в области 300–380 нм (с 1968 г.), естественной освещённости (с 1964 г.) и фотосинтетически активной радиации (с 1980 г.). С 1999 года здесь, впервые в России, ведутся регулярные измерения биологически активной эритемной ультрафиолетовой радиации. В содружестве с ИФА АН СССР в МО МГУ впервые в СССР (в 1988 г.) было начато и продолжается поныне акустическое зондирование атмосферы в постоянном режиме. Начиная с 1954 г., здесь ведутся непрерывные измерения термического режима почвы и грунта на глубинах вплоть до 320 см, а также наблюдения за их про-

мерзанием и оттаиванием на одном из двух и единственном в европейской части России и СССР участке с постоянно обнажённой поверхностью. Накоплен уникальный многолетний ряд (с 1965 г.) ежечасных данных об облачности. Продолжаются (с 1980 г.) уникальные по своей подробности непрерывные наблюдения за кислотностью и химическим составом атмосферных осадков на основе анализа проб каждого отдельного выпадения дождя или снега. С 1955 по 1988 гг. в МО МГУ действовал первый в Москве стационарный пост регулярных измерений состава воздуха – таким образом, в Обсерватории имеются ряды самых ранних данных о содержании двуокиси серы и частиц сажи в воздушном бассейне столицы. Впоследствии измерения приземного содержания малых газов были возобновлены здесь на совместной экологической станции ИФА РАН и Географического факультета МГУ (действовавшей в МО МГУ с 2002 по 2014 гг.) и ныне продолжаются на посту сети «Мосэкомониторинг». МО МГУ входит в международную сеть АЭРОНЕТ измерений содержания и свойств аэрозольных частиц в атмосфере.

Задачей данной книги явился подробный анализ погодных условий и особенностей 2017 года в Москве в их сравнении с многолетними средними значениями. Результаты измерений каждого отдельного показателя сопоставлены с климатическими нормами. В большинстве разделов сборника приводятся параллельно две нормы для условий Москвы: как традиционная (историческая) норма, т.е. среднее за 30-летний период 1961–1990 гг., так и новая климатическая норма, рекомендованная Всемирной Метеорологической Организацией (ВМО) за период 1981–2010 гг. Обе нормы рассчитаны по данным МО МГУ. Для отдельных метеорологических величин и потоков солнечной радиации сравнение проведено со средними значениями за иные периоды различной продолжительности. Помимо анализа средних значений, в сборнике широко представлены результаты статистического анализа различных рядов многолетних данных (вида их функций распределения и др.), а также приведены диапазоны возможных изменений и предельные оценки в прошлом тех или иных показателей. Таким образом, значение этой книги выходит далеко за пределы описания условий одного конкретного года. Из неё читатель может получить довольно полное представление и подробные сведения о климате Москвы и его современных изменениях.

По данным ВМО, 2017 год вошёл в первую тройку самых тёплых лет в среднем по всему Земному шару за всю историю регулярных метеорологических измерений в глобальном масштабе. Однако, с учётом региональных особенностей атмосферной циркуля-

ции, для условий Москвы этот год отнюдь не стал аномально жарким. Среднегодовая температура воздуха $T_{\text{ср}}$ в 2017 г. составила по данным МО МГУ 6,4 °С. Это значение, хоть и заметно больше как традиционной нормы для Москвы за период 1961–1991 гг. (5,0 °С), так и новой нормы за период 1981–2010 гг. (5,9 °С), однако не является аномально высоким. В ряду самых больших значений $T_{\text{ср}}$ по данным МО МГУ 2017 год занимает лишь 16 место из 64 последних лет (самыми жаркими в Москве годами с $T_{\text{ср}} = 7,6$ °С до сих пор остаются 2008 и 2015 гг.). Примечательно, что в сводном ряду всех известных значений $T_{\text{ср}}$ за всю историю регулярных метеорологических измерений в Москве, начиная с 1780 г., по данным мангеймской станции в XVIII в., наблюдений в Московском Университете в начале XIX в. в центре города и в районе Пресни, станции И. Ланге, Межевого Института, обсерватории Михельсона и МО МГУ, 2017 год также занимает 16 место из 211 лет с достоверно известной $T_{\text{ср}}$ в порядке её убывания. Из 15 более тёплых лет десять наблюдались уже в новом XXI веке и только пять – в предыдущем XX веке, причём ни один из них не был отмечен ранее 1975 г. С другой стороны, за последние 10 лет только два года – 2009 и 2012 – оказались холоднее 2017-го года. Это наглядно подтверждает происходящее быстрое и сильное потепление климата.

Заметим, что 2017 год в целом оказался не только умеренно тёплым на фоне последних лет, но и аномально дождливым, облачным и тёмным. Количество осадков за год составило 910 мм, что является чрезвычайно большим значением: 2017 г. оказался четвёртым в ряду самых дождливых лет за всё время существования МО МГУ, и даже за всю историю измерений в Москве осадков, начиная с 1822 г.

В режиме температуры воздуха этот год, начавшись с довольно сильных морозов (вплоть до $-27,4$ °С 7-го января), был отмечен тёплыми февралём и мартом. Следствием этого стали ранний (уже в середине марта) сход устойчивого снежного покрова и раннее исчезновение устойчивого сезонного промерзания почвы и грунта на глубинах. Однако ранняя и дружная весна вскоре сменилась очень холодной погодой в апреле и в продолжение большей части тёплого периода – в мае, июне и июле. В этой связи примечательно, что в мае в столице дважды устанавливался снежный покров, а в июне впервые за последние 70 лет (!) выпал снег. Неслучайно лишь рано вегетирующие виды яблонь в Ботаническом саду МГУ зацвели в обычный свой срок, цветение же остальных видов яблонь началось намного позднее обычного времени. Задержка в фенологических фазах, включая сроки цветения, была отмечена и у других древесно-кустарниковых, а также травянистых расте-

ний. Семена отдельных видов из-за холодного лета так и не вызрели до самой осени. Холодная в целом весна и более позднее начало вегетации растений проявились и в сравнительно слабом весной 2017 г. городском «острове тепла» Москвы в поле температуры поверхности по данным спутников. Погодные условия (заморозки, низкие температуры, дожди) весенне-летнего сезона 2017 года, помимо прочего, неблагоприятно сказались и на состоянии гнездящейся в Москве популяции водоплавающих птиц гоголей (*Bucephala clangula*).

Особо опасным явлением в 2017 г. явился разрушительный шквал, прошедший Москву 29 мая 2017 года, описанию условий которого посвящены два раздела этого сборника. Наибольший порыв скорости ветра достиг во время шквала 28 м/с, что является повторением рекорда, отмеченного в МО МГУ в июне 1984 года. Помимо ветрового режима, прохождение узкой зоны обострённого холодного фронта и связанного с ним шквала проявились и в регистрации гравитационных волн.

В целом 2017 год оказался также отмечен необычно высокой степенью прозрачности атмосферы и очень малой её аэрозольной оптической толщиной, хотя в последние десятилетия в столице отмечается общая тенденция к уменьшению содержания в атмосфере аэрозольных частиц. Очевидно, в 2017 году эта тенденция была дополнительно усилена обильными осадками и частым господством над Москвой воздушных масс арктического происхождения, определившим холодную погоду в начале и середине лета. Лишь август выдался по-настоящему жарким и солнечным летним месяцем.

Аномально тёплым и пасмурным оказался декабрь 2017 г., в течение которого солнечный диск был открыт всего лишь 6 минут (!), а температура воздуха достигла почти рекордно высокого значения +8,2 °С. За всю историю наблюдений в МО МГУ только один месяц – декабрь 1968 г. – выдался ещё более пасмурным: тогда прямой солнечной радиации не наблюдалось вовсе. Ещё одним следствием аномально тёплого декабря явилось отсутствие вплоть до конца года устойчивого снежного покрова: он образовался в столице лишь 5-го января 2018 г. В целом 2017 год оказался отмечен аномально большой облачностью и, соответственно, аномально малыми значениями продолжительности солнечного сияния, естественной освещённости и ряда других характеристик солнечной радиации.

Авторский коллектив, работая над книгой, стремился наиболее полно отразить в ней многообразие проводимых в Обсерватории измерений во всей их широте. Наряду с метеорологическими и актинометрическими измерениями, в сборник вошли результаты феноло-

гических и зоологических наблюдений в 2017 году сотрудников биологического факультета и Ботанического сада МГУ, а также исследования неоднородности снежной толщи на площадке Обсерватории, выполненные гляциологами географического факультета МГУ. Помимо прочего, в этом выпуске впервые приведены описание и результаты работы установленных в МО МГУ дифференциальной геодезической станции, а также микробарографа – одного из постов созданной ИФА РАН сети наблюдений за прохождением гравитационных волн. Календарные границы 2017 года в книге условны: так, в разделах 2, 4 и 22 подробно рассмотрены промерзание почвы и грунта, снежный покров и поведение гоголей в холодном сезоне 2016–2017 гг. начиная с осени 2016 года, а в разделе 18, напротив, исследованы изменения снежной толщи в следующем холодном сезоне 2017–2018 гг.

Авторы сборника глубоко признательны всем наблюдателям, техникам и инженерам Метеорологической обсерватории МГУ, чей труд послужил надёжной основой полученных результатов. Работы по написанию отдельных разделов сборника выполнены при частичной финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проекты №№ 14-50-00029 (раздел 17); 17-77-10132 (раздел 14); 16-17-10275 (разделы 6 и 8), Российского Фонда Фундаментальных Исследований, проекты №№ 16-05-00985 (раздел 15), 18-05-00700 (разделы 13 и 14), 18-55-45012 (разделы 8 и 10), 18-05-00576 (раздел 9), а также АО «Газпромнефть–МНПЗ» (раздел 6).

Краткие сведения о климате Москвы

Говоря о климате Москвы и её окрестностей, следует отметить довольно ровный рельеф и отсутствие значительных по площади водоёмов. Пересекающая столицу Москва-река узка (ширина её русла в черте города находится в пределах от 120 до 200 м); крупных озёр в городе также нет. Очевидно, что влияние этой реки и мелких прудов в её долине (отепляющее осенью и охлаждающее весной) не выходит за пределы узких береговых зон, то есть, ограничено масштабом микроклимата. Отсутствие горных хребтов и морского побережья обеспечивает сравнительную однородность климата столицы. Очевидно, что в масштабе мезоклимата на расстояниях порядка десятков и сотен километров значительных и устойчивых климатических различий нет, если иметь в виду действие только природных факторов и не брать в расчёт результаты человеческой деятельности, прежде всего – явление так называемого городского «острова тепла». Последний приводит к значительному

потеплению внутри города: в среднем за год на 1 °С при сравнении с окружающей сельской местностью Подмосковья всей площади столицы и даже на 2 °С при сравнении с этой местностью только центра Москвы, где городская застройка наиболее плотная, и антропогенных источников тепла больше всего.

Климат Москвы, в соответствии с широко распространённой в бывшем СССР и в России генетической классификацией климатов Б.П. Алисова, является умеренно-континентальным. Это означает, что в продолжение всего года здесь преобладают континентальные полярные (умеренные) воздушные массы, являющиеся для данного района местными. Более того, Москва расположена в середине этого климатического пояса, поскольку полярный и арктический климатические фронты приблизительно равноудалены от столицы. Среднее местоположение обоих этих фронтов – как полярного к югу, так и арктического к северу – находится по данным Б.П. Алисова очень далеко, на расстояниях порядка 1000 км от Московского региона. Вместе с тем, с запада на территорию Москвы и Подмосковья часто приходит морской полярный воздух, находящийся в разной степени трансформации. При усилении западного переноса – например, в условиях нахождения Москвы зимой на южной или восточной периферии обширной и глубокой исландской депрессии – здесь довольно часто отмечаются свежепришедшие воздушные массы данного подтипа, то есть почти не трансформированные и отвечающие всем характеристическим признакам морского полярного воздуха. Кроме того, в Московский регион возможны также вхождения как тропических воздушных масс (в тёплое время года – континентальных, а в холодное, в редких случаях, – морских), так и арктических (и континентальных, и морских в любое время года). Оценки повторяемостей господства здесь воздушных масс того или иного типа приводились ранее в работах самого Б.П. Алисова, а также С.П. Хромова и их учеников, однако нуждаются в уточнении в свете текущих изменений климата. Так, средняя доля дней с господством летом в Москве континентального тропического воздуха составляла в 1930-е и 1940-е гг. по данным С.П. Хромова лишь 5%. Есть основания считать, что в последние десятилетия эта доля возросла, и ныне вхождения воздушных масс данного типа происходят чаще, нежели в первой половине прошлого века. Однако для подтверждения этого вывода и уточнения прежних оценок требуется проведение отдельного синоптического анализа.

В соответствии с классической классификацией климатов В.П. Кёппена, Москва находится в зоне бореальных климатов Df, т.е. холодных климатов с влажной зимой (в более

поздних её интерпретациях – холодных климатов с равномерным увлажнением), причём, как и в классификации Б.П. Алисова, расположена очень далеко от границ данного пояса. Как известно, северной границей пояса D по В.П. Кёппену служит изотерма $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ самого тёплого месяца, в Москве же средняя температура июля составляет около $+18\div 19\text{ }^{\circ}\text{C}$. Южной границей этого пояса служит изотерма $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ самого холодного месяца. Действительно, средняя температура воздуха T в Москве в январе, в соответствии с традиционной климатической нормой 1961–1990 гг., составляет по данным Метеорологической обсерватории МГУ $-9,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Последние десятилетия отмечены заметным потеплением зимних месяцев, вследствие чего средняя январская температура воздуха повысилась здесь почти на три градуса (согласно новой климатической норме 1981–2010 гг., она теперь равна $-6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Тем не менее, даже это новое значение чрезвычайно далеко от предела, установленного В.П. Кёппеном для южной границы данного климатического пояса. Заметим также, что непреложной особенностью климата Москвы остаётся наличие в холодное время года продолжительного устойчивого снежного покрова, что является важнейшей отличительной чертой пояса D по В.П. Кёппену.

В географической классификации климатов Э. Де Мартонна, очень близкой в своей основе к классификации В.П. Кёппена, Москва относится к сибирскому (в терминах Де Мартонна) климату G_2 как одной из разновидностей холодных климатов. Заметим также, что в этой классификации сравнительно недалеко к югу от Москвы проходит граница с так называемым «украинским климатом» D_5 – степной разновидностью умеренных климатов. В свете происходящих изменений климата нельзя исключить смещение в будущем климатических границ и постепенного перехода климата Москвы в тип D_5 по Де Мартонну.

Согласно классификации климатов Л.С. Берга, созданной на основе ландшафтно-географических зон, Москва находится в поясе лесов умеренного пояса – между поясами тайги и степей. Этот пояс, сужаясь с запада на восток в виде клина, доходит вплоть до Новосибирска и даже восточнее, до верховьев Енисея. Так же как и в других классификациях, Москва находится по Л.С. Бергу довольно далеко от границ своего пояса – приблизительно в 200 км к югу от пояса тайги и в 400 км к северу от пояса степей. Заметим, что смещению границ ландшафтно-географических зон, связанных с преобладанием тех или иных растительных сообществ, должна быть присуща значительная инерция во времени.

В соответствии с геоморфологической классификацией климатов В. Пенка, Москва относится к гумидному климату, важнейшей чертой которого служит преобладание осад-

ков над их возможным испарением. Москва находится в одной из трёх гумидных зон: в умеренной гумидной зоне Северного полушария, и в её пределах характеризуется фреатическим типом гумидного климата, означающим наличие грунтовых вод и отсутствие многолетней мерзлоты.

Таким образом, положение Москвы в большинстве известных классификаций климатов (за исключением Де Мартона) остаётся пока устойчивым, несмотря на быстрое потепление. Континентальность климата Москвы выражена вполне отчётливо: значения индексов континентальности Хромова и Горчинского составляют в последние годы по данным Метеорологической обсерватории МГУ около 35-40 и 0,8-0,9 соответственно. Вследствие более быстрого в последние десятилетия потепления в холодное время года амплитуда годового хода температуры воздуха в целом постепенно уменьшалась и, вследствие этого, континентальность климата ослабевала. Вместе с тем последние несколько лет отмечены довольно холодными зимами, и в изменениях степени континентальности наметилась противоположная тенденция – впрочем, пока слабая и статистически незначимая.

Диапазон возможных изменений температуры воздуха в Москве равен 80 °С: абсолютный минимум (минимум-миниморум) за всю историю метеорологических измерений составляет в Москве –42,1 °С и был отмечен 17 января 1940 г.; абсолютный максимум (максимум-максиморум) достиг +38,2 °С по данным станции ВДНХ 29 июля 2010 г. (в Метеорологической обсерватории МГУ в тот день было отмечено значение +38,1 °С). В целом климат российской столицы довольно типичен для внутриконтинентальных городов в средних широтах.

Часть I. Метеорологические параметры атмосферы

1. Температура воздуха

Жданова Е.Ю.

Метеорологическая обсерватория, Географический факультет МГУ

В целом по Земному шару и Северному полушарию 2017 год вошел в тройку самых теплых лет в истории регулярных метеорологических наблюдений вместе с лидирующими 2016 и 2015 годами (Груза и др., 2017). 2017 год стал четвертым среди самых теплых с 1936 года на территории России, наибольшие положительные аномалии температуры воздуха наблюдались на Азиатской территории России (Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год, 2018).

Среднемесячные значения температуры воздуха в соответствии с исторической и современной климатическими нормами и в 2017 году по наблюдениям Метеорологической Обсерватории МГУ представлены в табл.1.1.

Таблица 1.1. Среднемесячная температура воздуха в среднем за периоды 1981-2010 гг., 1961-1990 гг. и в 2017 году, а также аномалии среднемесячной температуры воздуха в 2017 году по сравнению с нормами, °С

Мес.	T (2017)	T (1981-2010)	T (1961-1990)	T (2017) - T (1981-2010)	T (2017) - T (1961-1990)
1	-7,4	-6,5	-9,4	-0,9	2
2	-4,3	-6,6	-7,8	2,2	3,5
3	2,7	-0,9	-2,2	3,6	4,9
4	5,6	7,0	5,8	-1,4	-0,2
5	11,3	13,5	13,3	-2,3	-2
6	14,6	17,3	17	-2,6	-2,4
7	18,1	19,5	18,3	-1,4	-0,2
8	19,1	17,3	16,7	1,8	2,4
9	13,0	11,6	11,1	1,5	1,9
10	4,8	5,7	4,9	-0,9	-0,1
11	-0,2	-1,3	-1,4	1,1	1,2
12	-0,2	-5,3	-6,2	5,1	6

Относительно средних многолетних значений наибольшие положительные аномалии температуры воздуха в 2017 году пришлись на февраль и март, а также декабрь. В декабре наблюдалась наибольшая за год среднемесячная аномалия температуры воздуха, которая превысила современную климатическую норму на $5,1^{\circ}\text{C}$. Теплым выдался и ноябрь, кроме того, выше нормы температура воздуха была также в августе и сентябре. Летние месяцы (июнь, июль), в особенности июнь, оказались холоднее нормы. В 2017 году минимум температуры воздуха был зафиксирован 7 января и составил $-27,4^{\circ}\text{C}$, максимум температуры воздуха составил $31,8^{\circ}\text{C}$ (20 августа).

На рис.1.1 показаны значения среднегодовой температуры воздуха и их линейный тренд. В 2017 году значения среднегодовой температуры воздуха в Москве оказалась на $0,5^{\circ}\text{C}$ выше современной климатической нормы. 2017 год по наблюдениям Метеорологической Обсерватории МГУ стал 15-ым в ряду самых теплых лет, начиная с 1981 года.

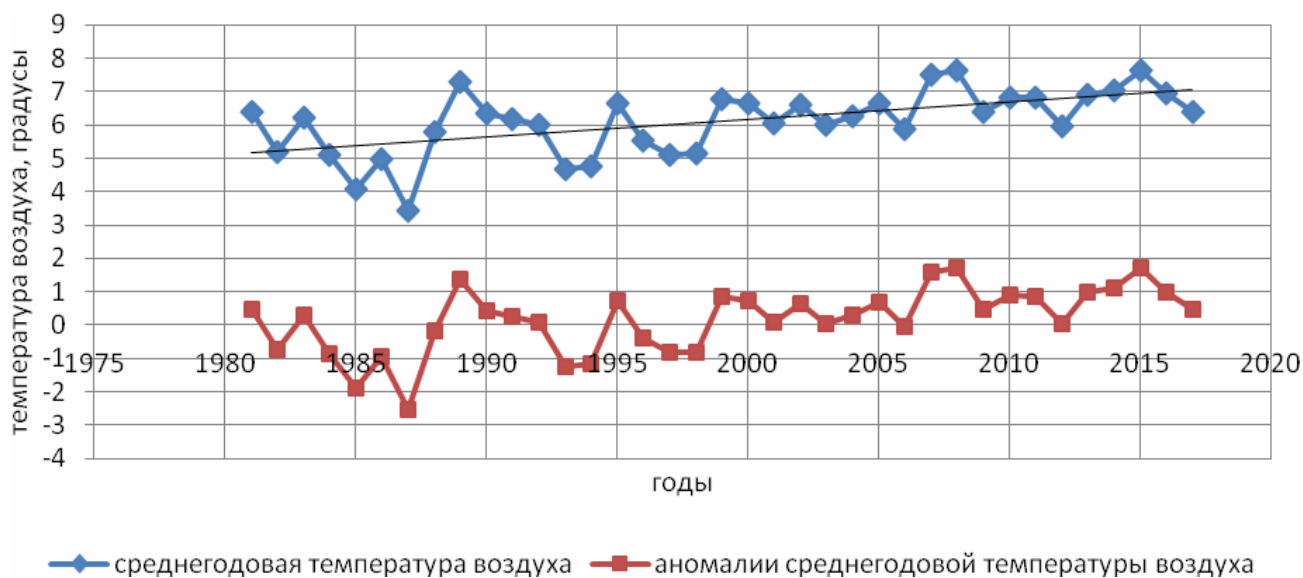


Рисунок 1.1. Среднегодовая температура воздуха и ее аномалии в Москве с 1981 по 2017 годы

Современные экстремумы температуры воздуха показаны в табл.1.2. Экстремумы температуры воздуха в 2017 году не превзошли многолетние экстремумы. Годовой ход среднесуточной температуры воздуха в 2017 году представлен на рис.1.2.

Таблица 1.2. Экстремумы температуры воздуха за период 1981-2017 гг. и в 2017 году по данным Метеорологической Обсерватории МГУ

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
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)
Мин. 2017	2,2 (01.01. 2017)	4,5 (28.02. 2017)	10,2 (22.03. 2017)	24,8 (30.04. 2017)	26,4 (29.05. 2017)	27,4 (30.06. 2017)	31,1 (29.07. 2017)	31,8 (20.08. 2017)	25,8 (12.09. 2017)	14,4 (9.10. 2017)	7,3 (6.11. 2017)	8,2 (17.12. 2017)
Макс. 2017	-27,4 (7.01. 2017)	-21,1 (7.02. 2017)	-4,8 (31.03. 2017)	-3,5 (17.04. 2017)	-0,3 (11.05. 2017)	2,5 (3.06. 2017)	9,5 (7.07. 2017)	6,9 (31.08. 2017)	3,9 (25.09. 2017)	-3,8 (26.10. 2017)	-7,6 (26.11. 2017)	-6,0 (26.12. 2017)

Январь характеризовался холодной погодой, средняя месячная температура воздуха составила $-7,4^{\circ}\text{C}$, что на $0,9^{\circ}\text{C}$ меньше текущей климатической нормы. Однако, несмотря на морозную погоду в начале января, этот месяц в 2017 году оказался теплее предыдущего января 2016 г. В феврале средняя температура воздуха составила $-4,3^{\circ}\text{C}$, что на $2,2^{\circ}\text{C}$ выше нормы. Март был еще существенно выше нормы (на $3,6^{\circ}\text{C}$). Отметим, что современная норма температуры воздуха для марта является отрицательной $-0,9^{\circ}\text{C}$. Апрель был ниже нормы на $1,4^{\circ}\text{C}$, средняя температура воздуха составила $5,6^{\circ}\text{C}$. Май выдался холодным, на $2,3^{\circ}\text{C}$ меньше нормы, средняя температура воздуха составила $11,3^{\circ}\text{C}$. В июне продолжилась тенденция отрицательных аномалий температуры воздуха, аномалия температуры воздуха относительно современных климатических значений составила $-2,6^{\circ}\text{C}$, средняя температура воздуха для июня — $14,6^{\circ}\text{C}$. Температура воздуха в июле была также ниже нормы (на $1,4^{\circ}\text{C}$) и составила $18,1^{\circ}\text{C}$. Самым теплым летним месяцем летом 2017 года был август, положительная аномалия температуры воздуха достигла $1,8^{\circ}\text{C}$, и в среднем составила $19,1^{\circ}\text{C}$. Сентябрь был теплее нормы на $1,5^{\circ}\text{C}$.

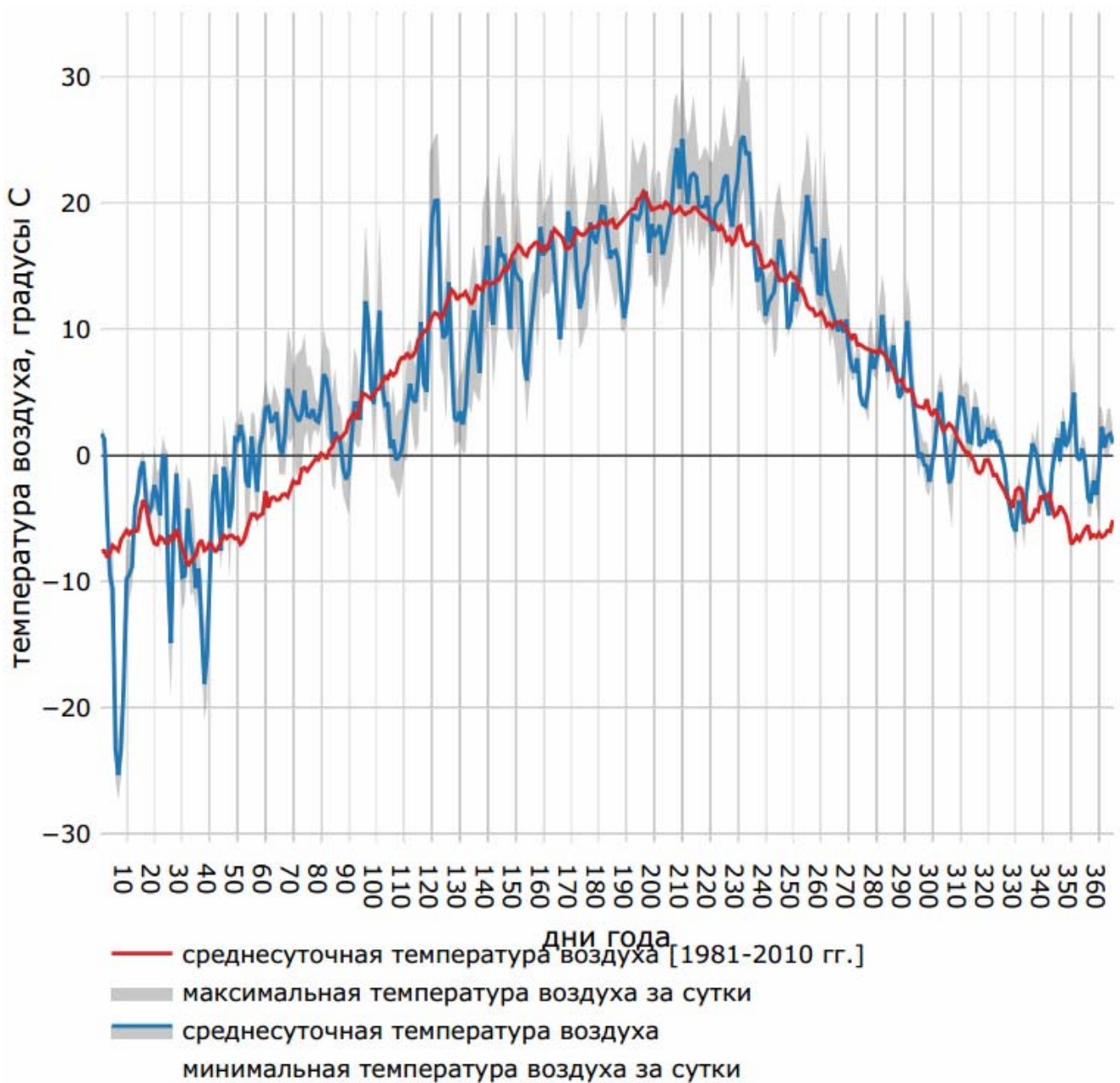


Рисунок. 1.2. Годовой ход среднесуточной температуры воздуха в 2017 году и ее норма

В октябре наблюдалась отрицательная аномалия ($-0,9^{\circ}\text{C}$), средняя температура воздуха была равна $4,8^{\circ}\text{C}$. В ноябре средняя температура воздуха составила $-0,2^{\circ}\text{C}$, что выше климатической нормы на $1,1^{\circ}\text{C}$. Декабрь выдался аномально теплым, на $+5,1^{\circ}\text{C}$ теплее современной климатической нормы из-за значительной адвекции морского умеренного, а возможно, даже морского тропического воздуха с юга. В графическом виде аномалии температуры воздуха относительно современной климатической нормы показаны на рис.1.3.

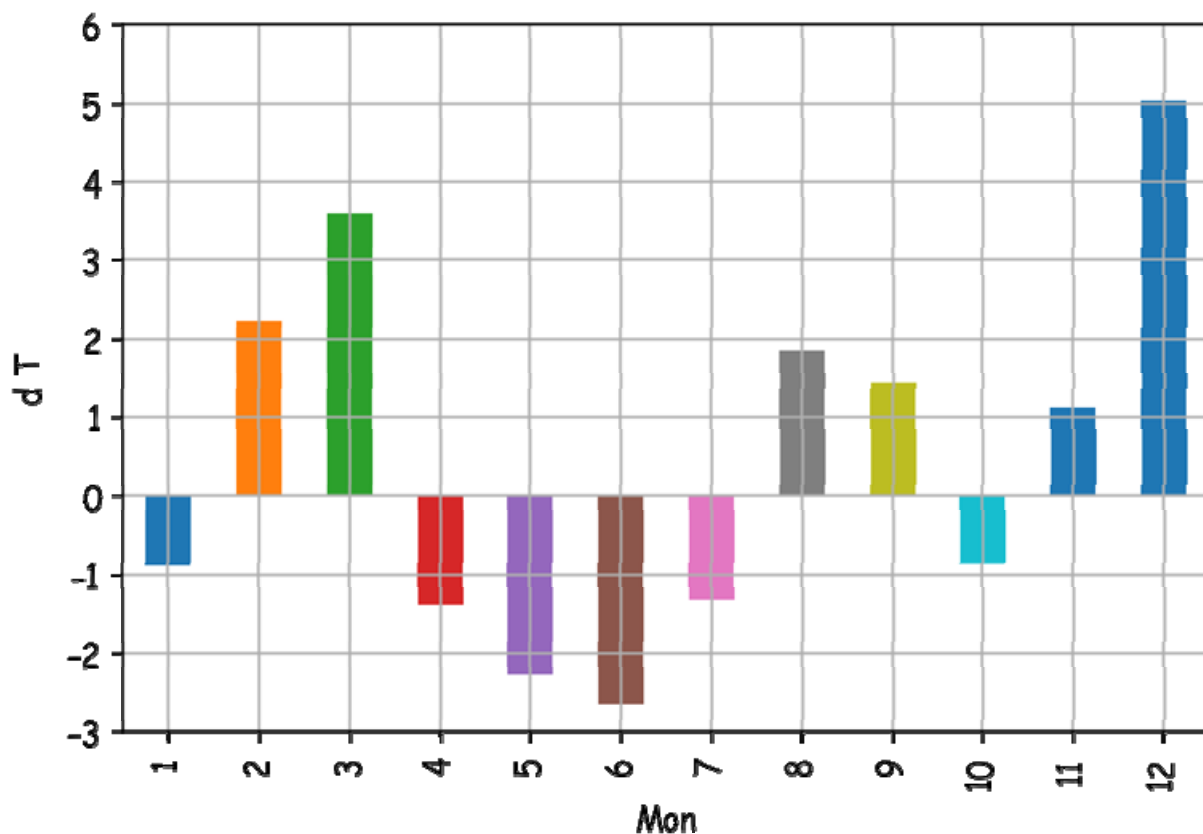
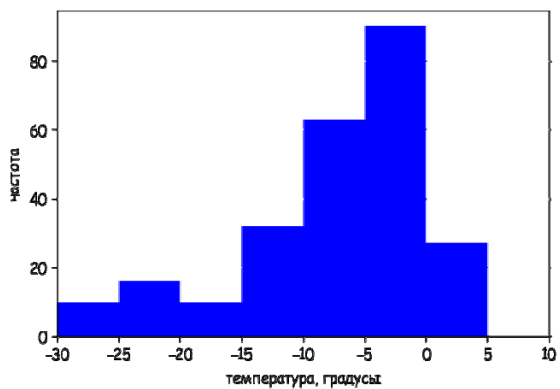


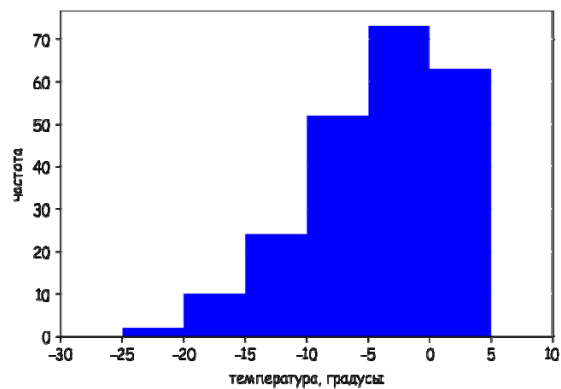
Рисунок 1.3. Аномалии среднемесячной температуры воздуха в 2017 году (dT, °C) относительно современной климатической нормы (1981–2010 гг.)

Частотное распределение значений температур воздуха в каждом месяце показано на рис.1.4. Видно, что в январе наибольшая повторяемость значений температур воздуха приходилась на градацию $-5...0^{\circ}\text{C}$, а также отмечались сильные морозы. В феврале большую повторяемость имели положительные температуры воздуха. В марте доминировали значения температур воздуха $0...5^{\circ}\text{C}$. В апреле наибольшую повторяемость имели значения температуры воздуха $0...5^{\circ}\text{C}$ и кроме того несколько дней выдалось очень теплыми с температурой воздуха свыше 20°C . В мае температура воздуха варьировалась в широком диапазоне значений от 0 до 30°C . В июне наибольшую повторяемость имели температуры воздуха $10...15^{\circ}\text{C}$, а в июле $15...20^{\circ}\text{C}$. Август стал самым теплым летним месяцем, наибольшую повторяемость имели значения температур воздуха $15...20^{\circ}\text{C}$. В сентябре наибольшая повторяемость температур воздуха приходилась на градацию $10...15^{\circ}\text{C}$, в октябре — $0...10^{\circ}\text{C}$. Ноябрь и декабрь характеризовались распределением температур воздуха около нулевой отметки $-5...+5^{\circ}\text{C}$.

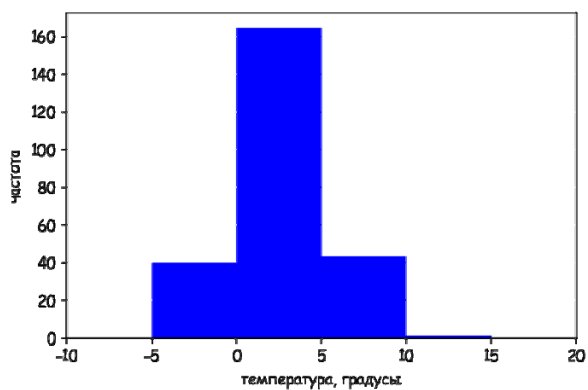
Январь



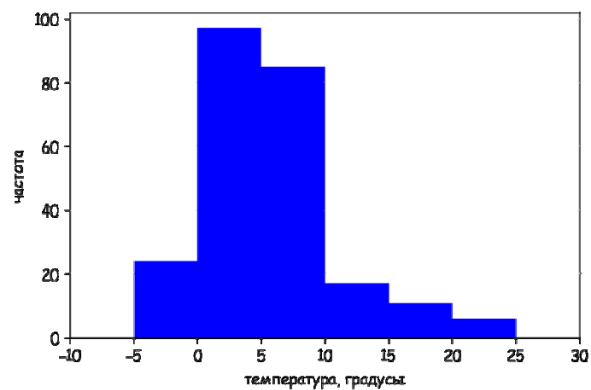
Февраль



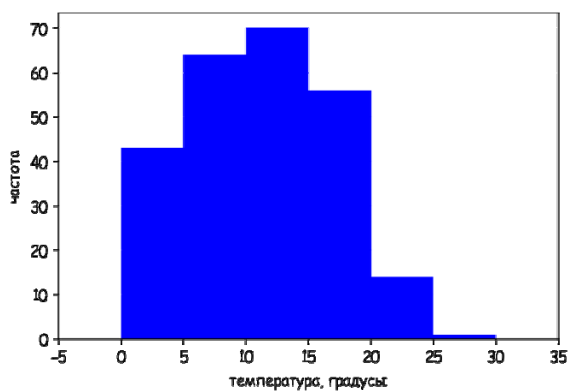
Март



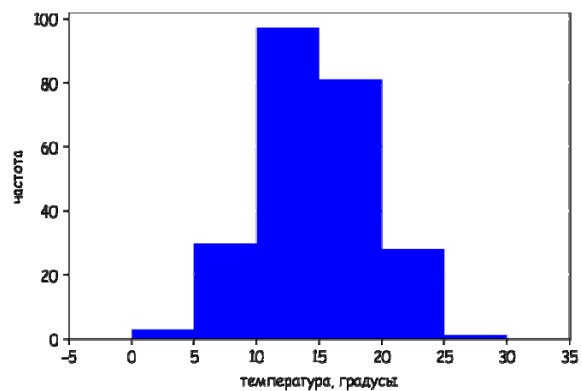
Апрель



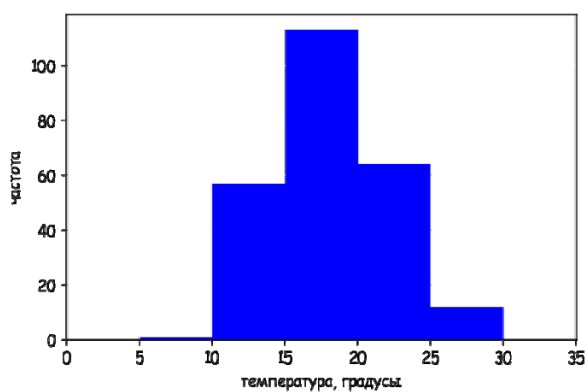
Май



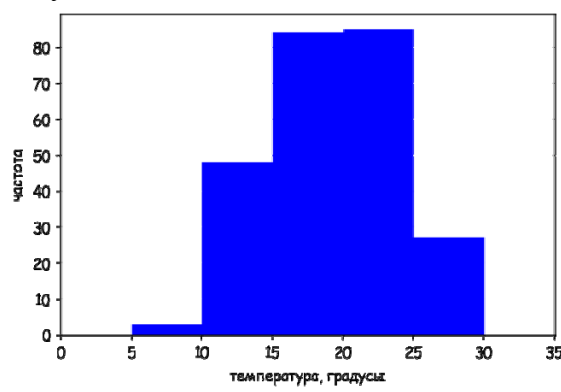
Июнь



Июль



Август



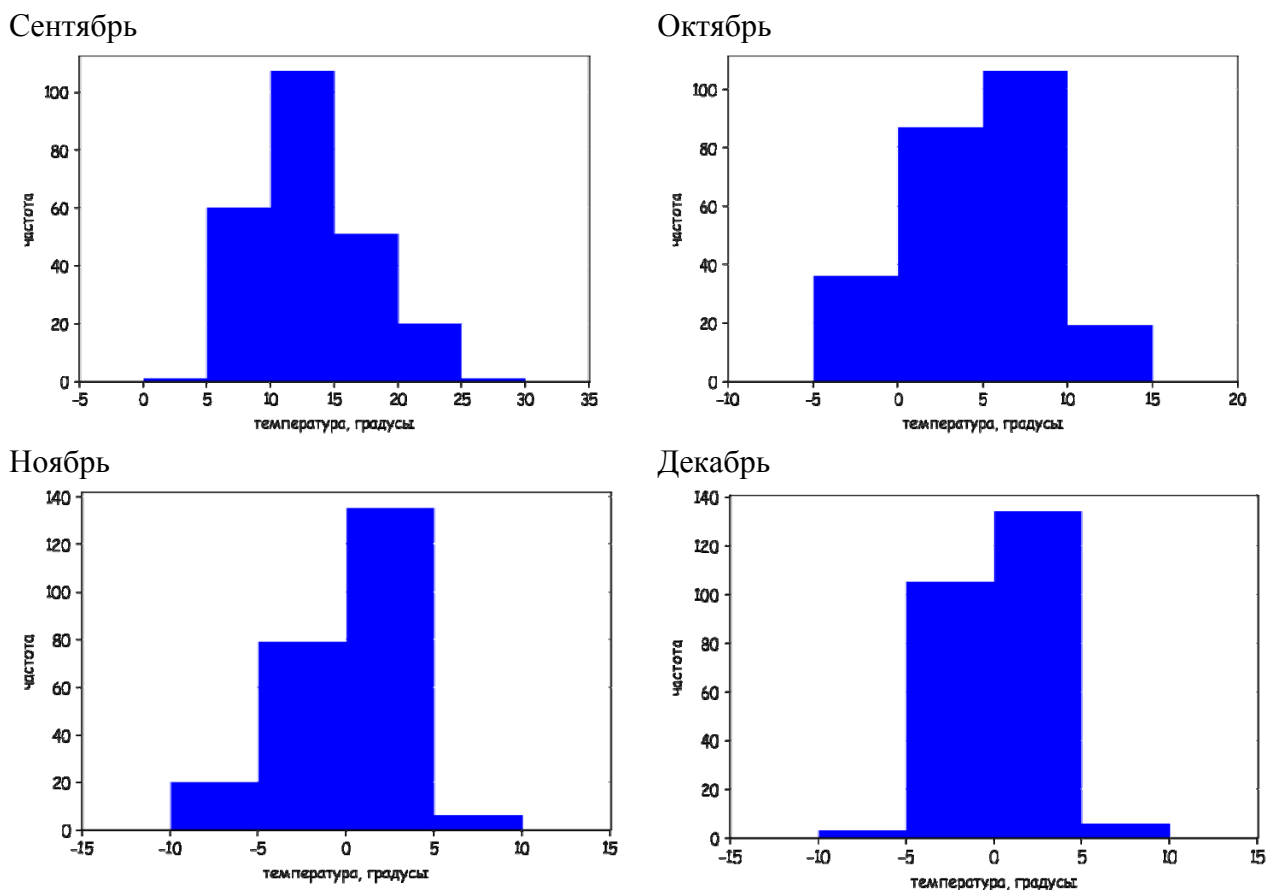
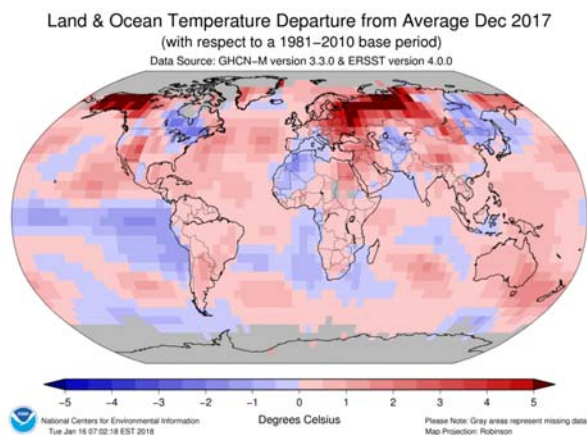


Рисунок 1.4. Частотное распределение значений температуры воздуха в 2017 году для каждого месяца года

Температурный режим 2017 года в Москве в целом характеризовался разнонаправленными отклонениями от нормы температуры воздуха: положительными в холодный период года и отрицательными в теплый период. В целом среднегодовая аномалия температуры воздуха оказалась положительной (+0.5°C), что согласуется со средней положительной аномалией по всему Земному шару и Северному полушарию.

Значительная положительная аномалия температуры воздуха в декабре сформировалась из-за значительной адвекции теплого воздуха, поступавшего в теплых секторах атлантических и южных циклонов. Положительная температурная аномалия в декабре охватила значительную часть Евразии (рис.1.5а). Отрицательная аномалия температуры в июне была связана с регулярной адвекцией холода под влиянием ложбин и фронтов атлантических и южных циклонов (Основные особенности атмосферной циркуляции и погоды в северном полушарии, <https://meteoinfo.ru>). Температурной аномалией была охвачена вся Европейская территория России (рис.1.5б).

А)



Б)

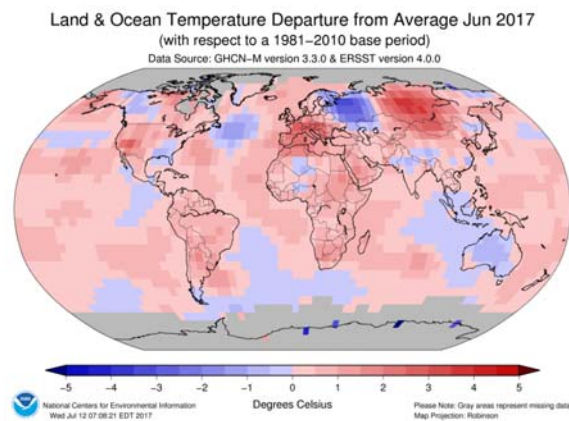


Рисунок 1.5. Аномалии температуры воздуха в декабре (а) и июне (б).

Таким образом, 2017 год стал 15-ым самым теплым годом за последние 37 лет в ряду лет с 1981 по 2017 гг. по наблюдениям Метеорологической Обсерватории МГУ. Наибольшая отрицательная аномалия температуры воздуха наблюдалась в июне, наибольшая положительная – в декабре. Декабрь 2017 года оказался 3-м в ряду самых теплых декабрей, а июнь – 5-ым по счёту среди самых холодных июней за последние 37 лет по данным Метеорологической Обсерватории МГУ. Несмотря на отрицательные аномалии температуры воздуха в теплый период года, среднегодовая аномалия температуры воздуха составила +0,5 °С относительно современной климатической нормы.

Литература

Груза Г.В. и др. Особенности температурных аномалий у поверхности Земного шара в 2016 году //Фундаментальная и прикладная климатология. – 2017. – Т. 1. – С. 124-146.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год, 2018.

<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/>

https://meteoinfo.ru/?option=com_content&view=article&id=14645 - Основные особенности атмосферной циркуляции и погоды в северном полушарии

2. Промерзание и оттаивание почвы и грунта

Локощенко М.А.

*Метеорологическая обсерватория, Географический факультет МГУ
Институт физики атмосферы имени А.М.Обухова РАН*

2.1. Методические вопросы и особенности измерений в МО МГУ

Наблюдения за явлением сезонного промерзания и измерения глубин промерзания и оттаивания почвы и грунта проводятся в Метеорологической обсерватории МГУ на протяжении всей её истории, начиная с 1954 года. Для этого здесь традиционно используются мерзлотомеры двух систем: как Ратомского (МР), так и Данилина (МД), хотя лишь последние стандартизованы и рекомендованы для использования на метеорологической сети как в прошлом Госкомгидрометом СССР, так и ныне Росгидрометом (Наставление, 1985). МО МГУ – единственная станция в России и, вероятно, во всём бывшем СССР, где задействованы мерзлотомеры обоих типов, включая классическую систему Ратомского. 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 обнажённый участок существует только на станции ОГМС Иркутск, однако там его площадь составляет лишь 4×4 м, т.е. она в 15 раз меньше, чем в МО МГУ.



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

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 (в версии АМ-21) трубки, 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.

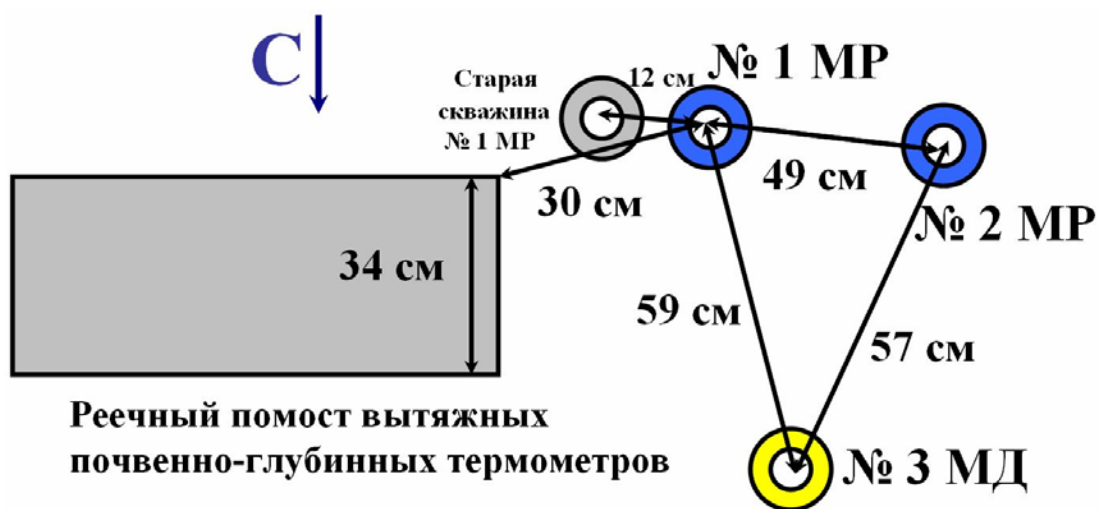
У каждого из обоих видов приборов имеются свои достоинства и ограничения. Так, отсчёты по мерзлотомерам Данилина (нахождение на ощупь границ столба замёрзшей дистиллированной воды) более просты и однозначны. Однако, строго говоря, этот прибор измеряет не глубину промерзания как таковую, а глубину нахождения в грунте нулевой изотермы – показатель близкий, но не тождественный промерзанию. Кроме того, показаниям мерзлотомеров Данилина, как отмечено автором ранее (Локощенко, 2013–2017), присуще заметное запаздывание во времени по сравнению с мерзлотомерами Ратомского любых изменений в режиме промерзания – особенно в конце сезона. Частично оно объясняется различиями в динамике промерзания и отрицательных температур в толще грунта, частично – инерцией образования и таяния льда в трубках этих приборов. В отличие от них, 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 (нижнюю границу) 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. Как прежний (ГОСТ 24847-81, 1981), так и недавно принятый новый стандарт (Межгосударственный стандарт ГОСТ 24847-2017, 2018) рекомендуют не включать эту прослойку в толщину слоя с промерзанием; однако сложившаяся многолетняя практика наблюдений 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 отсчётах в любом случае невелики.

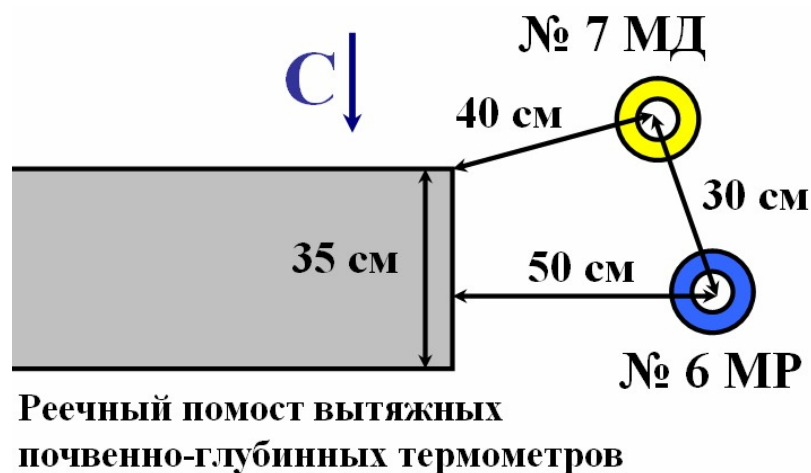
В разные годы общее число действовавших в Обсерватории мерзлотомеров составляло от двух (с небольшими перерывами, когда их становилось больше, – с 1984 по 1997 гг.) до двенадцати (например, в 1975 г.). В конце 1990-х годов программа наблюдений за промерзанием и оттаиванием почвы и грунта была вновь расширена, и число мерзлотомеров обеих систем увеличено до семи. Вплоть до 2003 года здесь ещё использовались все семь мерзлотомеров: два – на действующем участке под естественным покровом, два – на прежнем («старом») участке под естественным покровом, где измерения температуры грунта велись с 1954 до 1964 гг., и ещё три – на участке под обнажённой поверхностью. Старый участок под естественным покровом 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 там приборов. Теперь они ведутся лишь на двух оставшихся участках с помощью пяти мерзлотомеров: трёх – на участке под обнажённой поверхностью (двух МР и одного МД) и двух – на действующем участке под естественным покровом (МР и МД). Под обнажённой поверхностью один из двух мерзлотомеров Ратомского № 1 является основным и опорным, второй МР № 2, идентичный первому, – запасным. Под естественным покровом опорными традиционно считаются показания мерзлотомера Ратомского № 6.

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 мерзлотомеров Данилина (№ 3 и № 7) на обоих участках стандартный и одинаковый: 150 см. Мерзлотомер Ратомского № 6 под естественным покровом имеет диапазон 142 см. Мерзлотомеры Ратомского № 1 и № 2 удлинены дополнительными секциями во избежание потери отсчётов на случай аномально сильных и долгих морозов; их диапазоны составляют соответственно 198 и 175 см.

Схема установки всех пяти мерзлотометров на обоих участках, начиная с октября 2016 года, приведена на рисунке 2.2. Единственным изменением в ней по сравнению с прежней схемой (Локощенко, 2017) является переустановка МР № 1 на обнажённом участке. При замене на новую его треснувшей в предыдущем сезоне эбонитовой оправы установить этот прибор в старой скважине не удалось из-за погребённой его части (нижней секции) на её дне. В связи с этим автор пробурил 03/Х 2016 г. новую скважину в 12 см западнее прежней. Одновременно с этим МР № 1 был удлинён до 2 м (Д.Т. Голубицким была сделана его дополнительная нижняя секция) во избежание потери отсчётов, поскольку рекордно большая глубина промерзания достигла в 1956 году 195 см (Локощенко, 2005).



а) участок под обнажённой поверхностью;



б) участок под естественным покровом

Рисунок 2.2. Схема расположения действующих мерзлотометров в МО МГУ

Новое место установки МР № 1, как видно на рис.2.2, теперь находится ближе к остальным двум приборам, чем ранее. Запасной мерзлотометр МР № 2, тоже в новой эбонито-

вой оправе, взамен сломанной, установлен в той же скважине, что и прежде. В те же дни в новой оправе был установлен и опорный прибор МР № 6 на участке под естественным покровом. Перед началом нового холодного сезона, в октябре 2016 г., было тщательно проверено место нуля всех пяти приборов; в случае его смещений мерзлотомеры извлекались из скважин и производилось либо их добуривание, либо подсыпка в них грунта. В результате, место нуля всех пяти приборов было приведено в соответствие с уровнем поверхности с возможной невязкой не более ± 1 см.

Однако смещение места нуля возможно и в продолжение холодного сезона в силу разных причин. Чаще всего невязка возникает при обрыве штанги, когда она вместе с мерзлотомером падает в скважину. Мастер по приборам, извлекая затем штангу, обычно подпиливает её конец и переставляет набалдашник, что приводит к изменению места нуля: мерзлотомер с укороченной штангой постепенно поднимается вверх, так что его нулевая отметка внутри оправы оказывается приподнятой над поверхностью. Кроме того, возможны оседание оправы в глубь грунта или, напротив, её выпучивание вверх как следствие самого промерзания. Помимо этого, возможно изменение поверхности вблизи прибора: понижение уровня вследствие эрозии грунта, его вымывания осадками, вытаптывания наблюдателями (на обнажённом участке) и т.п., либо, напротив, повышение уровня при насыпи грунта, а также вследствие его текучести вокруг скважины, особенно при оттепелях. Так или иначе, необходим регулярный контроль места нуля. Однако зимой переустановка мерзлотомера с извлечением оправы из скважины (её заглубление или, напротив, подъём) на обнажённом участке при наличии промерзания крайне затруднена, а под снежным покровом невозможна вовсе, поскольку нарушать этот покров, конечно, нельзя. Поэтому при появлении невязки в течение холодного сезона приходится довольствоваться введением поправок к исходным отсчётам.

Следствием возникшей невязки могут стать заметные различия в значениях глубины промерзания между отдельными приборами. Так, уже в декабре 2016 г. в отсчётах на обнажённом участке появилось заметное систематическое смещение оценок глубины промерзания в сторону их занижения на МР № 1 или, напротив, завышения на МР № 2. Средняя разность значений этой глубины на двух идентичных приборах за все 117 дней существования промерзания в обоих местах составила $-6,7$ см при среднеквадратическом отклонении $\sigma = 3,6$ см (см. Таблицу 2.1). Оказалось, что вокруг МР № 1 в середине зимы образовалась корка замёрзшего слоя талой воды.

В течение холодного сезона 2016–2017 гг. место нуля мерзлотомеров на обнажённом участке проверялось автором несколько раз. Поверку удобно производить по краю набалдашника штанги (рис.2.1). Расстояние от этого края до поверхности слоя льда (поверх грунта снаружи оправы) составило 20 февраля 2017 г. 60,0 см, тогда как до нулевого деления шкалы внутри оправы 68,5 см. Иначе говоря, нулевая отметка была утоплена ниже фактического уровня поверхности с учётом корки льда, а мощность этой корки составила 8,5 см. Видимо, место установки опорного прибора находилось в небольшом локальном понижении. Очевидно, оно и явилось причиной заниженных значений глубины промерзания по опорному прибору. Не следует, однако, думать, будто это понижение существует здесь давно: как видно из таблицы 2.1, в другие годы знак средней разности в отсчётах между теми же приборами МР № 1 и МР № 2 был противоположным. Незначительные изменения уровня поверхности вблизи мерзлотомеров, причём с разным знаком, могут возникать вследствие земляных работ, насыпи грунта, прополки участка летом и т.п. Отметим, что перед наступлением следующего холодного сезона грунт вокруг опорного прибора МР № 1 был выровнен автором во избежание подобного смещения оценок в будущем.

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

	МР №1–МР №2	МР №1–МД №3	МР №2–МД №3
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
2016–2017	–6,7	–8,2	–2,6

На запасном приборе МР № 2 невязка, тоже с положительным знаком, составила 20 февраля всего +2,7 см – видимо, место вокруг скважины МР № 2 более ровное, и ледяная корка здесь была тоньше. Ввести корректную поправку на невязку в показания обоих приборов не представляется возможным, поскольку точные даты образования и исчезновения слоя льда неизвестны. В связи с этим было решено, вопреки обычному правилу, считать в сезоне 2016–2017 гг. опорными показания не МР № 1, а запасного мерзлотомера МР №2.

В таблице 2.1 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 полной согласованности результатов, то есть равенства значения во втором столбце разности значений первого и третьего столбцов не следует. Даты начала и окончания промерзания по данным разных приборов могут отличаться на несколько дней; кроме того, в данных каждого из мерзлотометров возможны пропуски либо из-за обрыва штанги и падения прибора в скважину, либо из-за примерзания при сильных морозах набалдашника к оправе, когда извлечь штангу с мерзлотометром наблюдателю не удаётся. Поэтому размер выборок дней одновременных измерений каждым двумя приборами во всех трёх парных сравнениях обычно разный.

Сами по себе различия в показаниях, если они не слишком велики (в пределах нескольких сантиметров), 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 °С. 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 говорит о смещении места нуля либо одного из приборов, либо обоих, если оно разнонаправленное или происходит в одном направлении, но с разной скоростью.

Ошибки в измерениях мерзлотометрами Ратомского могут быть следствием постепенного высыхания грунта, особенно в верхней части прибора – по этой причине весной в наблюдениях может быть пропущена дата начала оттаивания. Что касается мерзлотометров Данилина, ошибки здесь могут возникнуть из-за утечки из них воды: в этих случаях занижается реальная глубина промерзания, а также может быть отмечено мнимое оттаивание, если в верхней части трубки находится воздух.

2.2. Промерзание под обнажённой поверхностью

В целом холодный сезон 2016–2017 гг. оказался в Москве немногим теплее обычного. Средняя температура воздуха с ноября 2016 г. по март 2017 г., составила по данным МО МГУ $-3,2$ °С, тогда как традиционная («старая») климатическая норма, охватывающая период 1961–1990 гг., в среднем за эти месяцы составляет $-5,4$ °С, а новая норма (за период 1981–2010 гг.): $-4,1$ °С. Сравнительно холодными выдались только октябрь и ноябрь; февраль и, особенно, март оказались, напротив, очень тёплыми месяцами (со среднемесячной температурой соответственно на $3,5$ и $4,9$ °С выше традиционной нормы). Январь же был близким к обычным значениям T : теплее традиционной нормы, но прохладнее новой. Как мы увидим ниже, в разделе 4, эти особенности температурного режима определили и состояние снежного покрова: быстрый рост его высоты с опережением многолетних значений в начале холодного сезона и, напротив, ускоренный сход весной. Как и снежный покров, сезонное промерзание быстро росло осенью и в начале зимы.

Первый заморозок на поверхности почвы произошёл 24 октября 2016 г. (фактически – поздним вечером накануне, 23 октября). Первый заморозок в воздухе также был отмечен 24 октября. Наименьшая температура поверхности $T_{\text{П min}}$ составила в тот день $-3,9$ °С, а наименьшая температура воздуха T_{min} достигла $-2,2$ °С. Начиная с этого дня, $T_{\text{П min}}$ уже ни разу вплоть до весны не была положительной, что случается редко. Обычно волны холода чередуются осенью с возвратами тепла, в этот же раз уже первый мороз на поверхности почвы совпал с окончательным переходом её ночных температур в область отрицательных значений. Что касается T_{min} , то вплоть до конца года она лишь один раз, 28 октября, поднялась немного выше нулевой отметки ($+0,3$ °С), и ещё два раза, 08 ноября и 27 декабря, оказалась точно равной нулю ($0,0$ °С). Во все остальные дни наименьшие температуры и воздуха, и поверхности были отрицательными.

Первый исходный отсчёт глубины промерзания по прибору МР № 1 (5 см) – впрочем, сомнительный – отмечен в материалах наблюдений 28 октября, когда температура поверхности лишь ночью опустилась чуть ниже 0 °С. В этот же день промерзание с предельно малой глубиной – лишь 1 см – было отмечено и на МД № 3 (рис.2.3). К сожалению, запасной прибор МР № 2 был тогда сломан (оборвана его штанга), так что проверить достоверность первого отсчёта по опорному прибору не удалось. На следующий день промерзания уже не было ни на одном мерзлотомере. Во второй раз промерзание, тоже только на один день и тоже глубиной всего 1 см, появилось на дополнительном приборе МД № 3

третьего ноября. В третий раз промерзание там же было отмечено уже три дня подряд, с 06 по 08 ноября, и глубина его достигла 3 см. Шестого ноября оно было отмечено и прибором МР № 2 (глубина – 10 см). Видимо, это был первый заслуживающий доверия отсчёт глубины на мерзлотомерах системы Ратомского.

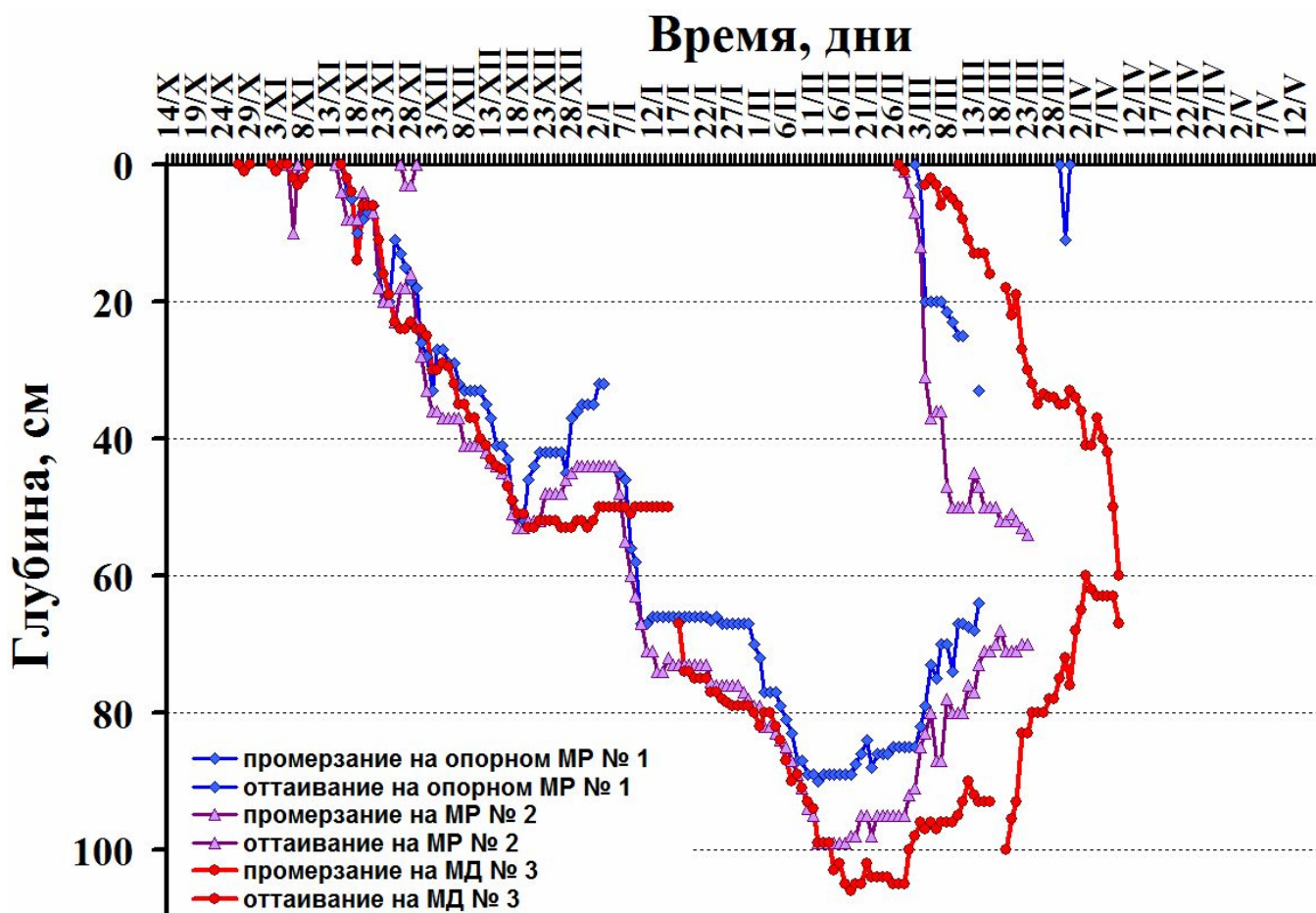


Рисунок 2.3. Ход глубин промерзания и оттаивания грунта в холодном сезоне 2016-2017 гг. на участке под обнажённой поверхностью. Москва, МО МГУ

Четвёртое по счёту промерзание в этом сезоне оказалось уже устойчивым, оно появилось впервые 15 ноября на запасном приборе МР № 2 (4 см). На следующий день 16/XI, как видно на рис.2.3, промерзание уже было зарегистрировано всеми тремя приборами. В последующий месяц с небольшим, вплоть до 19–20 декабря, глубина промерзания устойчиво и быстро росла вследствие морозной погоды. Короткая оттепель 25–28 ноября с положительными значениями максимальной температуры воздуха проявилась в недолгом уменьшении глубины промерзания и даже в образовании оттаявшего слоя по данным МР № 2 два дня подряд (27 и 28 ноября) с глубиной оттаивания 3 см. Затем, с возвратом холодов, оттаивание исчезло, а рост глубины возобновился. Заметим, что глубина промерзания

по мерзлотомеру Данилина лишь 25 ноября превысила значение 20 см (23 см), тогда как температуры почвы и на 20 см, и даже на нижележащей глубине 40 см стали устойчиво отрицательными ещё вечером 22/XI. В подобном запаздывании, видимо, проявляется инерция образования льда в трубке этого прибора.

Довольно сильное потепление произошло с 21/XII до 03/I. Московский регион находился тогда в зоне интенсивных градиентных западных потоков вдоль северной периферии обширной многоцентровой области высокого давления над южной Европой и, одновременно, южной периферии глубокой исландской депрессии. В этих условиях в район столицы происходило быстрое вхождение тёплого морского полярного воздуха из Атлантического океана. Как следствие, среднесуточная температура приблизилась к нулевому значению, а дневные температуры были в основном положительными. Отклик в термическом режиме грунта последовал незамедлительно: глубина промерзания в первый же день оттепели перестала расти, а затем начала сокращаться под действием потока тепла из более глубоких горизонтов. Так, по данным МР № 1, она сократилась с 52 см 19 декабря до 32 см 02 января, а по данным МР № 2 в те же даты – с 53 до 44 см. Видимо, именно тогда вокруг опорной скважины образовался слой талой воды, вскоре замёрзшей, в результате чего показания обоих приборов впоследствии разошлись.

По прибору МД № 3, начиная со второго января, глубина промерзания на протяжении целых двух недель была почти одинаковой: 50-51 см. Это видно на рисунке 2.3 в виде ровной линии красных кружков. Разумеется, подобное постоянство крайне маловероятно и обычно говорит о поломке прибора. Действительно, 16 января в этом мерзлотомере была обнаружена утечка воды, и он был заполнен вновь, так что уже на следующий день показал более реальное значение глубины промерзания: 67 см.

Начавшееся 03 января похолодание привело к установлению довольно сильных морозов с наименьшей температурой воздуха вплоть до $-27,4$ °С 07 января. Инерция отклика в режиме промерзания составила два дня: быстрый рост его глубины по данным МР № 2 начался 06 января. Всего за неделю она возросла на 30 см (с 44 см 05/I до 74 см 13/I). Запаздывание изменений в ходе глубины промерзания по сравнению с погодными условиями в приземном слое воздуха вполне закономерно с учётом инерции их распространения в толще грунта в соответствии с классическим вторым законом Фурье. Этот закон, описывающий изменения температуры грунта с глубиной, вполне применим и для объяснения динамики глубины сезонного промерзания – во всяком случае, качественно.

За этим ростом, с наступлением очередного потепления, воспоследовал сперва период стабилизации её значений – приблизительно до конца января, а затем новый рост глубины в феврале. Наибольшая глубина промерзания по наиболее достоверным в этом сезоне данным прибора МР № 2 составила 99 см, причём отмечалась целых шесть дней подряд: с 12 по 17 февраля. С учётом выявленной 20/II небольшой невязки (+2,7 см) нельзя исключить, что действительная наибольшая глубина промерзания немного превысила здесь метровую отметку и достигла 101 или даже 102 см – впрочем, неизвестно, покрывал ли тогда слой льда всю поверхность обнажённого участка или же только его локальные понижения. По данным МР № 1 – вероятно, заниженным – наибольшая глубина составила 12 февраля 90 см. Прибор МД № 3 показал наибольшую в сезоне глубину залегания нулевой изотермы 106 см с небольшой задержкой: 18 февраля, когда по данным МР № 2 глубина промерзания уже начала уменьшаться. Заметим, что инерция мерзлотомера Данилина проявилась и в очевидном занижении его показаний, поскольку температура грунта дважды, 15 и 20 февраля, опустилась до значения 0,0 °С на более глубоком горизонте 120 см.

Вплоть до конца февраля глубина по всем трём приборам оставалась стабильно большой, близкой к наибольшим значениям. По данным МД № 3 с 26 по 28 февраля она достигла даже 105 см, т.е. всего на 1 см меньше максимальной в сезоне. В последние дни зимы и в начале марта, вследствие сильнейшей оттепели (среднесуточная температура воздуха была в те дни почти на 10 °С больше средних климатических значений) глубина промерзания начала быстро уменьшаться. Одновременно с этим в верхних горизонтах почвы появилось оттаивание: по данным приборов МР № 2 и МД № 3 оно впервые в конце сезона отмечено 28 февраля, а по данным МР № 1 – 03 марта. Правда, по мерзлотомеру Данилина первое оттаивание продлилось лишь один день, окончательное же оттаивание началось там тремя днями позднее – 04 марта. В дальнейшем обе эти глубины – промерзания и оттаивания – закономерно приближались друг к другу по показаниям всех трёх приборов, а слой промёрзшего грунта между ними сужался. Последние отсчёты устойчивого промерзания по прибору МР № 1 были получены 14 марта, когда глубина промерзания составила 64 см, а глубина оттаивания 33 см. На следующий день устойчивое промерзание здесь полностью исчезло, однако по прибору МР № 2 оно ещё прослеживалось вплоть до 23 марта, когда последние отсчёты обеих глубин оказались равны 70 и 54 см. Таким образом, датой исчезновения устойчивого промерзания на обнажённом участке в этом сезоне следует считать следующий день, то есть 24 марта. Примечательно, что, начиная с 23 мар-

та, температура почвы здесь на глубине 80 см уже ни разу опускалась ниже $-0,1-0,2$ °С, что подтверждает исчезновение промерзания с учётом солёности почвенных вод.

По прибору МД № 3 промерзание просуществовало вплоть до 09 апреля, когда глубины промерзания и оттаивания составили соответственно 67 и 60 см. Следовательно, по данным мерзлотомера Данилина датой исчезновения устойчивого промерзания является 10 апреля. Примечательно, что температура почвы на глубине 80 см 07 апреля ещё составляла $-0,1$ °С, но на следующий день уже повысилась до $+1,3$ °С. На вышележащем горизонте 60 см температура стала положительной уже 06 апреля. Таким образом, инерция таяния остатков льда в трубке мерзлотомера Данилина при повышении T выше нуля составляет от двух до трёх дней.

Однако устойчивое промерзание не стало последним в сезоне. В исходных данных прибора МР № 1 имеются ещё два отчёта глубины промерзания в верхнем, приповерхностном слое почвы: 15 см 19 марта и 11 см 30 марта. Если первый отсчёт сомнителен и на рис.2.3 не приведён (T_{\min} и в тот день, и накануне была положительной, а $T_{\Pi \min}$ достигла лишь $-1,0$ °С), то новое промерзание в конце марта вполне достоверно: T_{Π} составила 30 марта $-4,6$ °С, а $T_{\Pi \min}$ $-10,9$ °С. Следовательно, датой окончательного исчезновения последнего в сезоне промерзания по данным мерзлотометров Ратомского служит 31 марта. По мерзлотометру Данилина повторного промерзания не отмечалось, так что даты исчезновения и устойчивого, и последнего в сезоне промерзания по этим данным совпадают. Случаев одновременного существования двух слоёв с промерзанием, а также двух слоёв оттаявшего грунта, в отличие от предшествующих лет (Локощенко, 2016 и 2017), в этом сезоне не было отмечено.

Число дней в сезоне с достоверными отчётами глубины промерзания (с исключением сомнительных отсчётов 28/Х и 19/III) составило 115 по данным МР № 1, 128 по данным МР № 2 и 147 по данным МД № 3. Если принять во внимание короткие пропуски в измерениях устойчивого промерзания из-за поломок приборов, когда промерзание очевидно существовало, то число дней с наблюдением этого явления в сезоне составило 120, 130 и 150 по данным соответственно МР № 1, МР № 2 и МД № 3.

Сравнение режима промерзания в сезоне 2016–2017 гг. с климатическими данными о глубинах промерзания и оттаивания, осреднёнными за 41 год наблюдений в МО МГУ для каждого календарного дня, приведено на рисунке 2.4. Как видим, промерзание началось в сроки, близкие к обычному времени, и глубина его вплоть до 3-й декады декабря

также была очень близка к средним многолетним значениям. Лишь с конца декабря началось заметное отставание глубины промерзания от средних значений. В результате ранней и дружной весны наибольшая глубина промерзания была отмечена раньше обычного и оказалась существенно меньше средней многолетней (в среднем за период 1961–2001 гг. – 126 см). С другой стороны, оттаивание началось в обычные сроки, но стало расти очень быстро, так что и устойчивое промерзание на глубинах исчезло сравнительно рано.

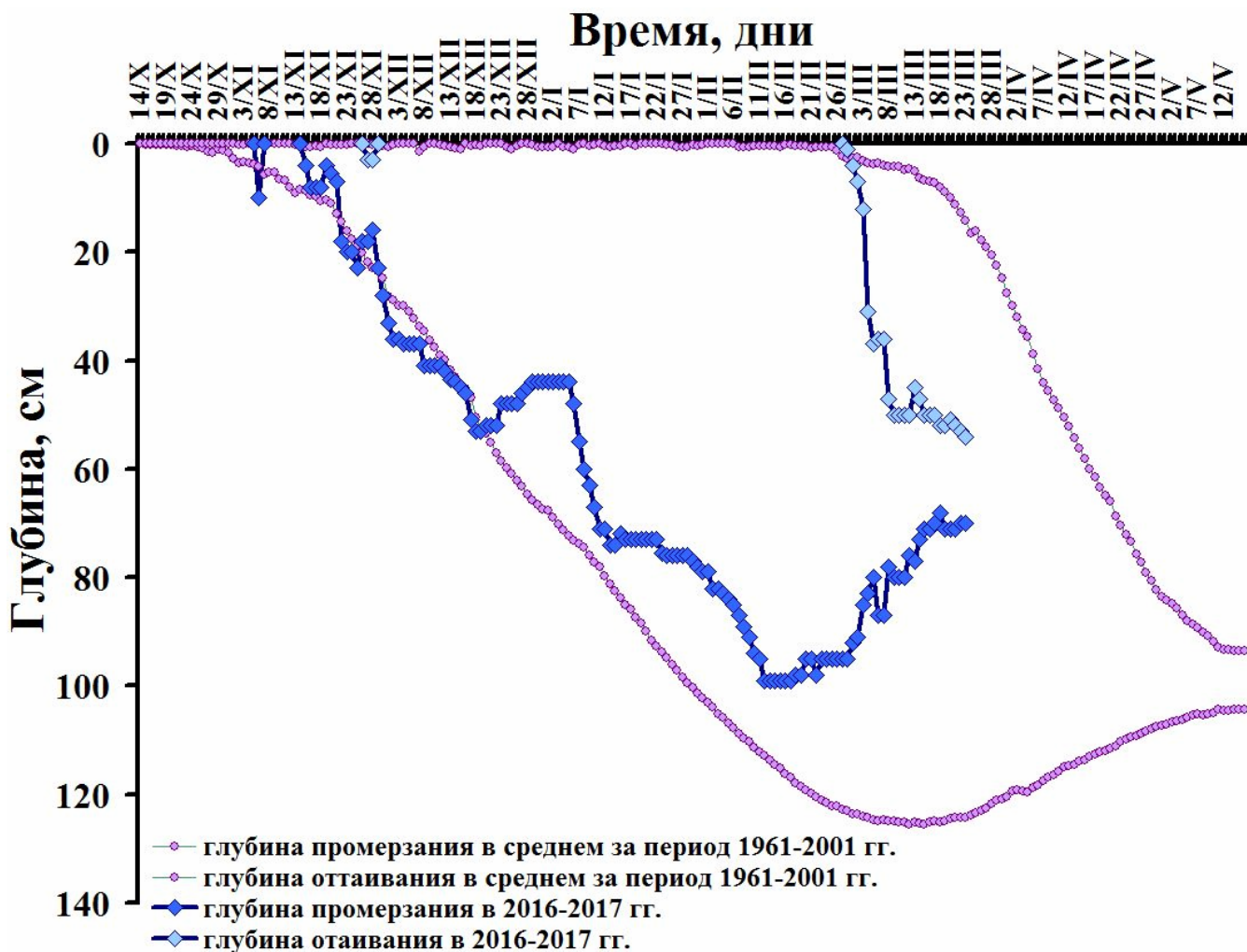


Рисунок 2.4. Глубины промерзания и оттаивания грунта в 2016–2017 гг. в сравнении со средними многолетними (за период 1961–2001 гг.) значениями по данным мерзлотомера Ратомского № 2 под обнажённой поверхностью. Москва, МО МГУ

Таким образом, устойчивое промерзание на обнажённом участке в холодном сезоне 2016–2017 гг. оказалось вторым или четвёртым по счёту по данным соответственно мерзлотометров Ратомского и Данилина. Началось оно в обычное время, но, из-за очень тёплого конца зимы и начала весны, закончилось рано и оказалось сравнительно неглубоким.

2.3. Промерзание под естественным покровом

Промерзание под естественным покровом в условиях нашего довольно снежного климата обычно неустойчивое и неглубокое, существует с перерывами и недолго. Помимо температурного режима, на него сильно влияет 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, лишённой травостоя и регулярно очищаемой от снега.

В холодном сезоне 2016–2017 гг. промерзание под естественным покровом впервые было отмечено по обоим установленным здесь приборам (опорному мерзлотомеру Ратомского МР № 6 и дополнительному мерзлотомеру Данилина МД № 7) 23 октября. Оно продержалось лишь 3 дня по данным МР № 6 и 4 дня по данным МД № 7, достигнув глубины соответственно 10 и 3 см (см. рисунок 2.5). Во второй раз, после трёхдневного перерыва, промерзание образовалось здесь вновь по данным мерзлотомера Ратомского 29/X и отмечалось четыре дня подряд, достигнув глубины 8 см. Однако уже третьего декабря оно здесь исчезло вследствие быстрого роста высоты снежного покрова, о чём ещё пойдёт речь ниже, в разделе 4.

В течение последующего месяца почва и грунт под снегом оставались не замёрзшими, поскольку снежный покров очень рано достиг большой мощности. Лишь седьмого января, в самый холодный день зимы (когда среднесуточная температура воздуха опустилась до $-25,3$ °С), влияние сильного мороза перевесило защитную теплоизолирующую роль снега, и промерзание под естественным покровом возникло в третий раз. Оно продлилось здесь по опорным данным МР № 6 семь дней – с 07 по 13 января, но наибольшая глубина составила в этот раз лишь 5 см. По дополнительному прибору МД № 7 второго по счёту в сезоне промерзания не отмечалось; третье же началось с опозданием по сравнению с опорными данными – только 13 января и просуществовало здесь лишь три дня с глубиной всего 1 см. Ослабление морозов во второй декаде этого месяца и даже слабые оттепели 16 и 20 января закономерно привели к исчезновению этого третьего в сезоне промерзания под естественным покровом.

В четвёртый раз промерзание здесь появилось 04 февраля – по данным только прибора МД № 7, всего на один день и с предельно малой глубиной 1 см. В пятый и последний раз промерзание под естественным покровом возникло 08 февраля по данным МР № 6 и

днём позже – по данным МД № 7. Мерзлотомер Ратомского показал его наибольшую глубину 7 см, а Данилина – лишь 1 см. На этот раз промерзание продержалось всего два или три дня; 10 февраля по обоим приборам были получены последние в сезоне отсчёты его глубины. Таким образом, датой окончательного исчезновения промерзания на этом участке следует считать 11 февраля. Нечего и говорить, что при столь ничтожно малой его глубине никакого оттаивания здесь, конечно, не отмечалось.

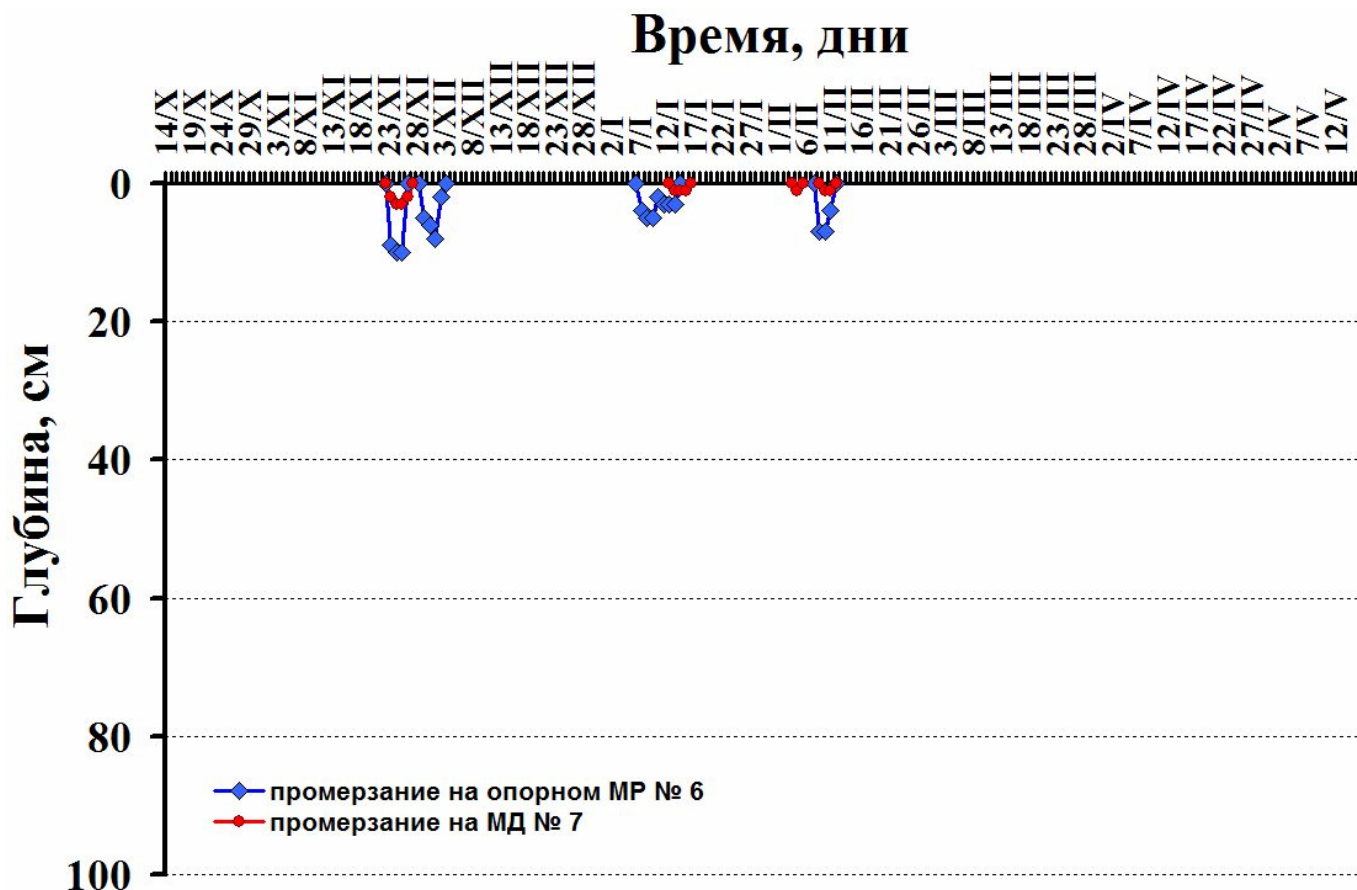


Рисунок 2.5. Ход глубин промерзания и оттаивания грунта в 2016–2017 гг. на участке под естественным покровом. Москва, МО МГУ

Столь слабое и прерывистое во времени промерзание под естественным покровом вызывает естественный вопрос – какой из пяти его эпизодов следует считать устойчивым, то есть основным в сезоне? Важнейшие признаки устойчивого в сезоне промерзания – его наибольшая продолжительность и наибольшая глубина по сравнению со всеми остальными эпизодами этого явления. В данном случае промерзание под естественным покровом дольше всего наблюдалось по опорному прибору в третий раз в январе (семь дней подряд), но наибольшей своей глубины достигло в самый первый раз в конце ноября (10 см). Есте-

ственно считать, что продолжительность устойчивого промерзания важнее его глубины – поэтому примем в качестве даты образования устойчивого промерзания 07 января, а его исчезновения – 14 января (первый день, когда в дневной срок промерзание по данным МР № 6 не было обнаружено). При этом по измерениям дополнительным мерзлотомером Данилина устойчивым промерзанием приходится признать совсем короткий его эпизод всего из трёх дней, согласующийся по времени с устойчивым промерзанием по опорным данным. Итак, промерзание под естественным покровом в продолжение всего сезона существовало лишь 17 дней по опорным данным мерзлотомера Ратомского и 10 дней по данным дополнительного мерзлотомера Данилина. Наибольшая его глубина вследствие очень снежного начала зимы составила здесь лишь 10 см по данным опорного МР № 6 и только 3 см по данным МД № 7. Средняя разность отсчётов глубины промерзания по приборам МР № 6 и МД № 7 составила 5,3 см, однако выборка дней с одновременными измерениями крайне мала: всего 6 дней.

В Таблице 2.2 обобщены сведения о промерзании почвы и грунта на обоих участках:

Таблица 2.2. Основные показатели промерзания грунта в МГУ в 2016–2017 гг.

	Обнажённый участок		Участок под естественным покровом	
	Опорные данные (МР)	Дополнительные данные (МД)	Опорные данные (МР)	Дополнительные данные (МД)
Дата начала промерзания:	6 / XI	28 / X	23 / XI	23 / XI
Дата начала устойчивого промерзания:	15 / XI	16 / XI	07 / I	13 / I
Дата достижения наибольшей глубины:	12 ÷ 17 / II	18 / II	24 ÷ 25 / XI	24 ÷ 25 / XI
Наибольшая глубина, см:	99	106	10	3
Дата начала оттаивания:	28 / II	28 / II	Нет	Нет
Дата начала устойчивого оттаивания:	28 / II	04 / III	Нет	Нет
Дата исчезновения устойчивого промерзания:	24 / III	10 / IV	14 / I	16 / I
Дата окончательного исчезновения промерзания:	31 / III	10 / IV	11 / II	11 / II

2.4. Общие выводы

1. Промерзание в холодном сезоне 2016–2017 гг. началось в обычное время, однако не достигло больших глубин и исчезло рано вследствие погодных условий (очень тёплых февраля и марта).

2. Промерзание под естественным покровом обычно образуется позднее, исчезает значительно раньше, и его глубина намного меньше, чем под обнажённой поверхностью, вследствие теплоизолирующей роли травостоя, слоя дернины и снежного покрова. В условиях мощного снежного покрова в начале холодного сезона 2016–2017 гг. промерзание под естественным покровом оказалось крайне неглубоким, прерывистым и неустойчивым.
3. В показаниях мерзлотометров Ратомского и Данилина наблюдаются заметные различия, особенно в конце холодного сезона, поскольку реальное промерзание почвы как физическое явление исчезает раньше отрицательных значений температуры в толще почвы и грунта.
4. Показаниям мерзлотометрам Данилина присуща инерция, связанная с запаздыванием на несколько дней образования и таяния столба льда в измерительной трубке по сравнению со временем переходов через 0 °С температуры почвы и грунта.

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 Ме-

теорологической 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.

Локощенко М.А. Промерзание и оттаивание почвы и грунта (раздел 2 части I, стр.15–32). В сб.: Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2016 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В.Ломоносова. Под редакцией Е.И.Незваль, И.В.Сошинской. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 245 с. ISBN: 978-5-317-05711-4.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 24847-2017. Грунты. Методы определения глубины сезонного промерзания. Издание официальное. Авторский коллектив: Богданов М.И., Шаманова И.И., Кривенцова И.Л., Локощенко М.А., Алексеев А.Г., Исаев О.Н. М., ФГУП «Стандартинформ», 2018, 14 с.

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

3. Влажность воздуха и атмосферные осадки

Жданова Е.Ю.

Метеорологическая обсерватория, Географический факультет МГУ

В качестве характеристик влажности воздуха рассмотрим парциальное давление водяного пара, дефицит насыщения и относительную влажность. Среднемесячные значения этих величин в 2017 году, полученные по данным стандартных метеорологических наблюдений в МО МГУ, представлены в табл.3.1.

Таблица 3.1. Среднемесячные значения характеристик влажности воздуха в 2017 году в МО МГУ.

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Парциальное давление водяного пара, гПа	3,4	3,9	5,4	6,1	7,7	11,5	15,2	15,1	11,6	7,4	5,4	5,5
Дефицит насыщения, гПа	0,6	0,9	2,1	3,5	6,6	5,7	6,2	8,0	4,0	1,4	0,8	0,5
Относительная влажность, %	84	80	73	67	59	70	74	69	77	84	87	91

Рассмотрим годовой ход среднесуточных характеристик влажности воздуха и отклонения среднемесячных значений от многолетних норм. На рис.3.1 представлены среднесуточные значения относительной влажности воздуха. Низкие значения среднесуточной относительной влажности в 2017 году пришлись на период 30 апреля – 2 мая. Минимум относительной влажности за весь 2017 год составил 21% и наблюдался в дневные и вечерние часы 14 мая. Заметим, что рекордно низкое значение (минимум-минимум) этого показателя за всю историю наблюдений в МО МГУ составляет 15% и было отмечено 21 августа 1972 г. Дневные значения относительной влажности в эти дни в конце апреля и в начале мая составляли около 30%, что считается низкими, неблагоприятными для здоровья человека, значениями. Температура воздуха 30 апреля – 2 мая была достаточно высокой – 19–20°C. Число

дней, в течение которых в срок 15 часов московского времени, относительная влажность была равна или меньше 30%, составило в 2017 году 20. Больше всего таких дней было в мае (11 дней), в том числе 6 дней подряд в начале мая. Наибольшее количество сроков с высокой относительной влажностью больше 80% в дневные часы наблюдалось в холодный период года – октябрь-март. Количество дней с относительной влажностью больше 80% составило в 2017 году 119, в ноябре таких дней было 19, в декабре – 25, в январе – 18.

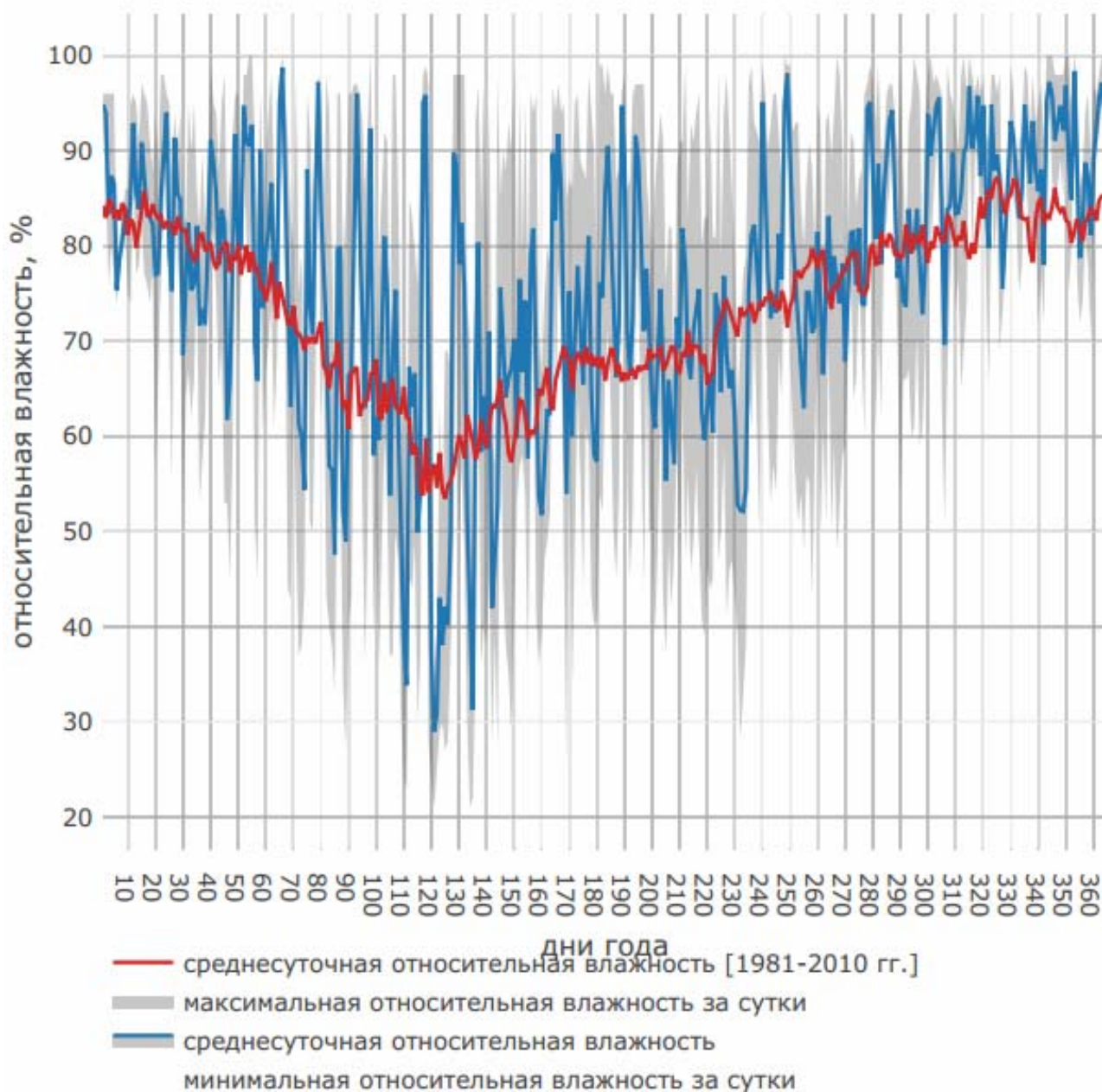


Рисунок 3.1. Годовой ход среднесуточной относительной влажности воздуха в 2017 году и ее норма

Аномалии среднемесячных значений относительной влажности представлены на рис.3.2. Практически во все месяцы года относительная влажность была выше нормы, лишь немного ниже в январе и августе и равна норме в мае.

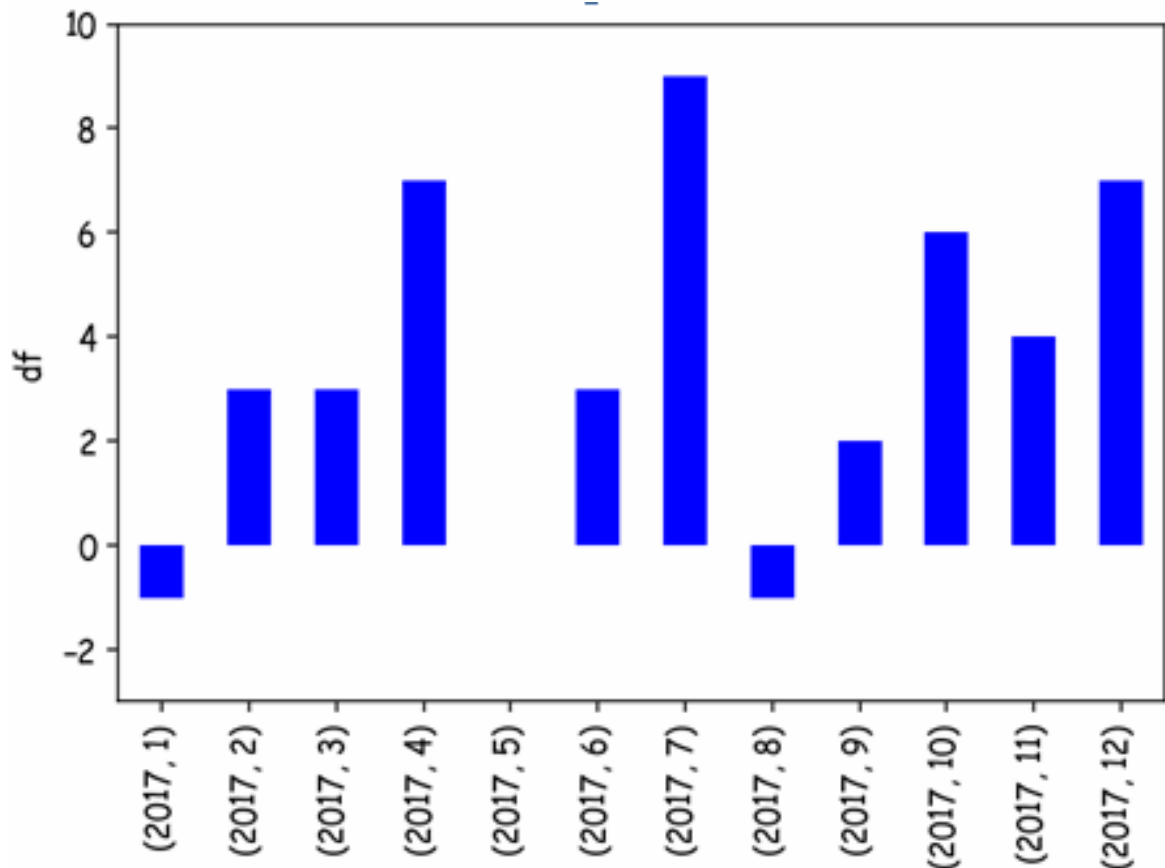


Рисунок 3.2. Отклонения среднемесячных значений относительной влажности (df, %) в срок 12 часов по московскому времени в 2017 году от современной климатической нормы (1981-2010 гг). По оси абсцисс показаны месяцы 2017 года.

Годовой ход среднесуточных значений парциального давления водяного пара представлен на рис.3.3. В годовом ходе среднесуточных значений парциального давления водяного пара обращает на себя внимание заметная междусуточная изменчивость значений.

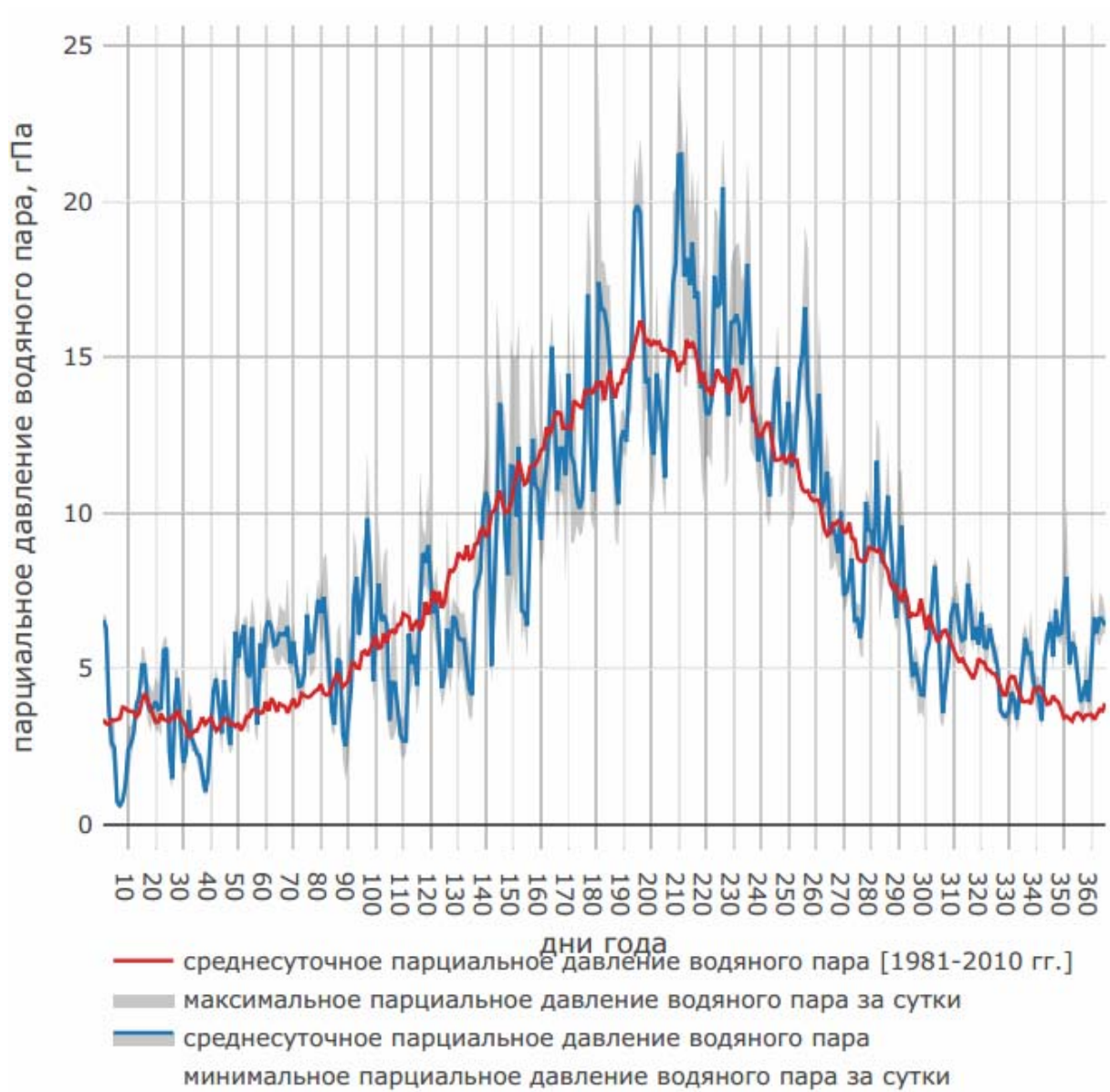


Рисунок 3.3. Годовой ход среднесуточного парциального давления водяного пара в 2017 году и его норма

Среднемесячные аномалии парциального давления водяного пара показаны на рис.3.4. Значительные отрицательные давления водяного пара в мае и в июне взаимосвязаны с отрицательными аномалиями температуры воздуха.

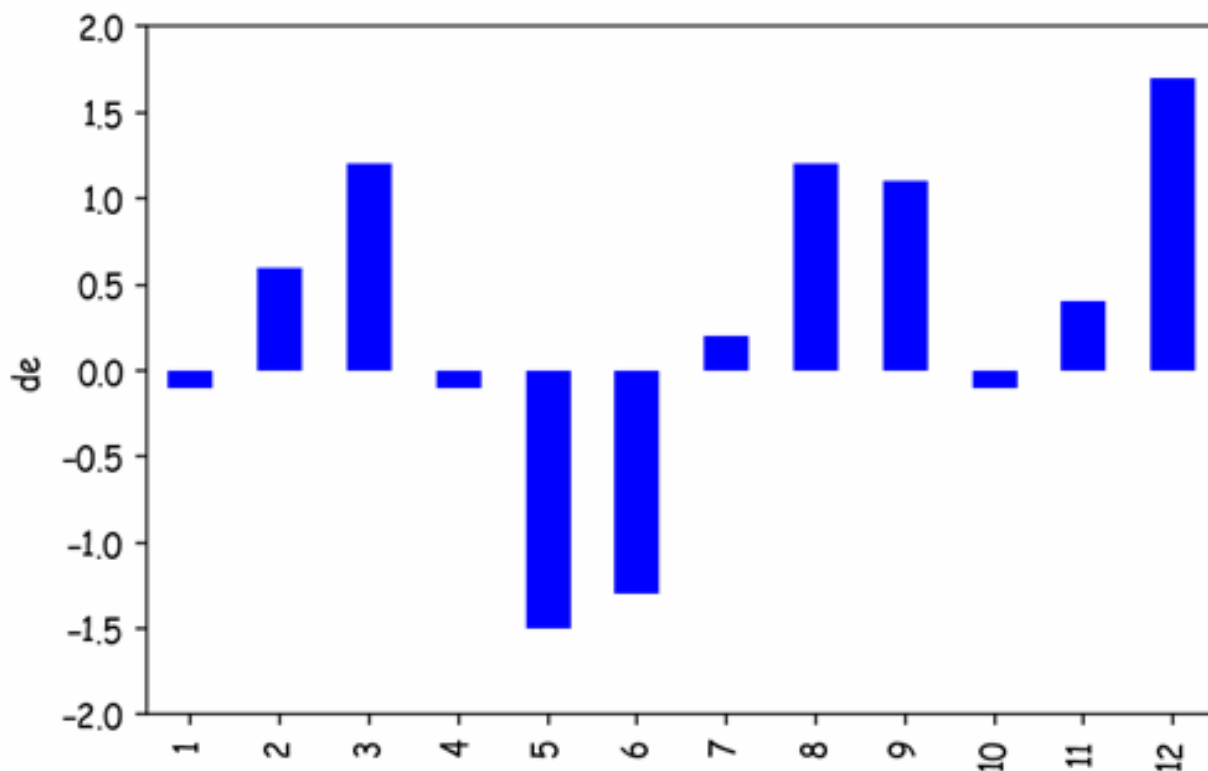


Рисунок 3.4. Аномалии среднемесячных значений парциального давления водяного пара (d_e , гПа) в 2017 году относительно современной климатической нормы. По оси абсцисс показаны месяцы

Сумма осадков за 2017 год составила 910,1 мм, что выше на 196 мм современной климатической нормы. В целом 2017 год был чрезвычайно дождливым – он оказался четвёртым в ряду самых дождливых лет и за всё время существования МО МГУ, и даже за всю историю измерений осадков в Москве, начиная с 1822 г.: после 2013 (1015,8 мм), 2016 (939,5 м) и 2004 (924,9 мм) гг. Почти во все месяцы 2017 г. количество осадков превысило как традиционную (за период 1961–1990 гг.), так и современную (за период 1981–2010 гг.) климатические нормы. Отрицательные отклонения месячных сумм по сравнению с традиционной нормой отмечены только в феврале, сентябре и ноябре, а по сравнению с современной нормой – еще и январе (рис.3.5). Наибольшая положительная аномалия осадков наблюдалась в мае, осадков выпало в два раза больше по сравнению с нормой 1981-2010 годов.

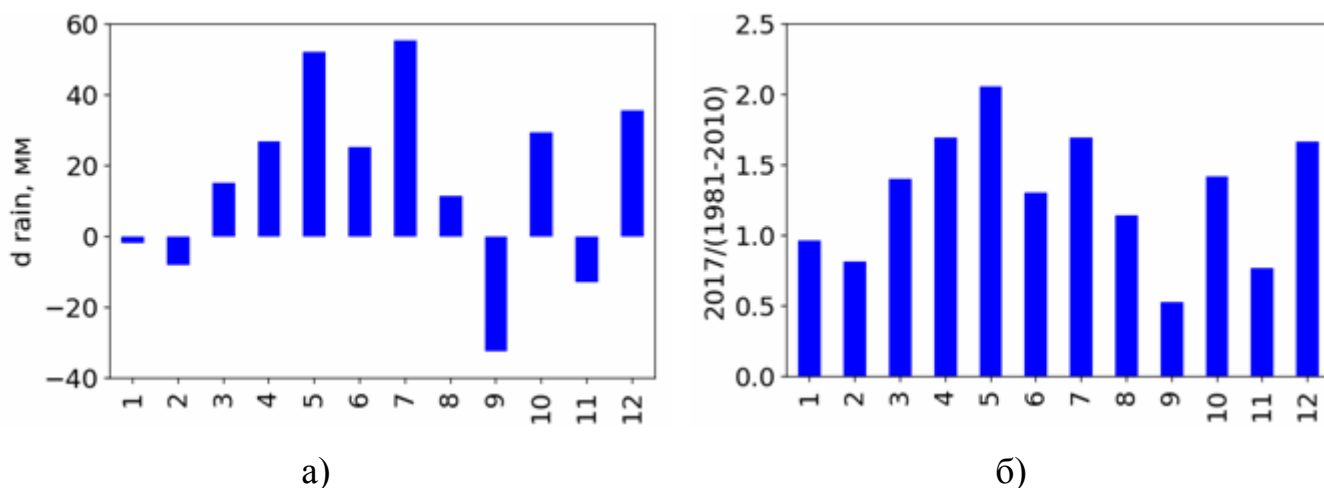


Рисунок 3.5. а) Аномалии месячных сумм осадков (d rain, мм) в 2017 году относительно современной климатической нормы. б) Отношение месячных сумм осадков в 2017 году к климатической норме 1981-2010 гг. По оси абсцисс показаны месяцы 2017 года

Всего за год было отмечено 149 дней с жидкими осадками ливневого характера и 74 дня с жидкими осадками обложного характера, а также 35 дней с осадками моросящего характера. Для твердых осадков, напротив, характерно преобладание обложных осадков над ливневыми (69 дней и 46 дней, соответственно). Распределения осадков по градациям в холодный и теплый период года показано на рис.3.6. Закономерно наибольшая повторяемость отмечается у слабых осадков. В октябре осадки выпали почти каждый день (кроме только трёх дней), причем в последний день этого месяца выпало свыше 28 мм. Июль 2017 года стал самым дождливым месяцем года, месячная сумма осадков составила свыше 135 мм, причем в два дня этого месяца суточная сумма осадков превысила 30 мм. Максимальная суточная сумма осадков составила 36,1 мм и была отмечена 3 июля 2017 года в связи с влиянием фронтов атлантического циклона.

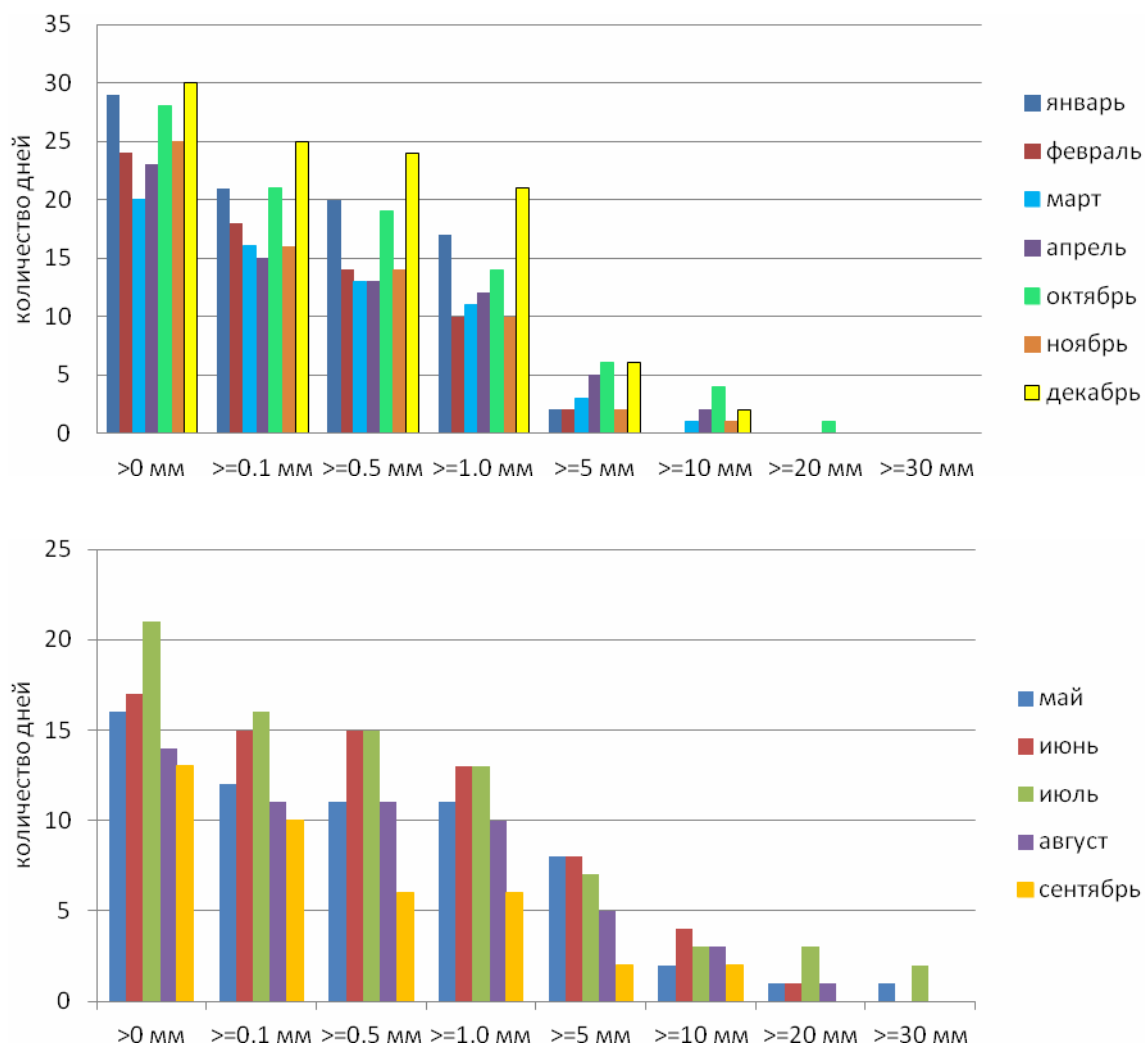


Рисунок 3.6. Число дней с осадками по градациям количества для холодного и теплого сезонов 2017 года

Таким образом, 2017 год выдался необычно дождливым, годовая сумма осадков значительно превысила норму. Осадки ливневого характера преобладали над обложными. Дождливым было лето: на летние месяцы пришлось более трети годовой суммы осадков.

4. Снежный покров

Локощенко М.А.

*Метеорологическая обсерватория, Географический факультет МГУ
Институт физики атмосферы имени А.М.Обухова РАН*

4.1. Наблюдения за снежным покровом в МО МГУ

Наблюдения за снежным покровом в Метеорологической обсерватории МГУ включают в себя измерение его высоты и её прироста после каждого снегопада, а также определение степени покрытия снегом. Вплоть до начала 2000-х гг. здесь определялся ещё один показатель – характер залегания снежного покрова. Согласно Наставлениям гидрометеорологическим станциям и постам, как в прошлом Госкомгидромета СССР, так и ныне Росгидромета, высота снежного покрова измеряется на метеорологических станциях (рис.4.1) с использованием стандартных снегомерных реек М-103 (Наставление, 1969). Три из них, расположенные в линейном порядке, являются основными, а четвёртая – дополнительной. Она устанавливается рядом с речным помостом вытяжных почвенно-глубинных термометров ТПВ-50 на участке под естественным покровом и показывает высоту снежного покрова вблизи них. В зависимости от показаний этой дополнительной рейки температура почвы на глубинах 20 и 40 см измеряется 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 – как и в остальное время года. Заметим, что наличие четвёртой рейки около термометров предусмотрено в (Наставление, 1969) лишь в том случае, если участок для наблюдений выбран за пределами станционной площадки. Если же наблюдения проводятся на площадке, то рядом с термометрами устанавливается одна из трёх реек. Однако в Обсерватории наблюдения за высотой снежного покрова расширены, и используются четыре рейки, хотя все они находятся на площадке. Наставлением в редакции 1969 г. рекомендована установка реек в виде равностороннего треугольника. Однако в МО МГУ, взамен треугольной, традиционно используется линейная схема их установки, и менять её впредь нежелательно для сохранения однородности рядов многолетних данных. Важно не столько расположение реек на площадке, сколько его неизменность. Все рейки устанавливаются на площадке в сентябре, перед наступлением холодного сезона, и убираются в начале июня. Среднее значение высоты снежного покрова рассчитывается по показаниям трёх основных реек.

Отсчёты высоты по всем рейкам производятся ежедневно в утренний срок измерений – в 9 ч (здесь и далее указано Московское время); случайная ошибка не превышает ± 1 см и является ненаправленной. Впрочем, нельзя исключить небольшого систематического занижения высоты снежного покрова при недостаточно низком наклоне наблюдателя во время отсчёта. Согласно (Наставление, 1969) в редакции 1969 г. «при отсчёте нужно держать глаз возможно ближе к поверхности». Очевидно, однако, что наблюдателям преклонного возраста наклоняться вплотную к земле может быть затруднительно.

Степень покрытия снегом, как и высота, определяется один раз в сутки в тот же утренний срок. Сведения о наличии или отсутствии снежного покрова содержатся также в кодировке состояния поверхности, которое определяется три раза в сутки: в 03, 09 и 15 ч. В этой же кодировке приведено приблизительное указание на степень покрытия: в соответствии с кодом снежный покров занимает либо менее половины поверхности, либо её половину и более, либо покрывает всю поверхность. В использовавшейся прежде кодировке характера залегания снега также содержалось указание на степень покрытия (кодом 9 отдельно отмечался факт наличия проталин).

Приrost свежевывающего снега 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. Для измерений пригодна любая плоская поверхность, находящаяся на открытом месте: например, круг ледоскопа (рис.4.1) или крышка прибора ИВО-1М. Точность измерений прироста высоты снежного покрова меньше, чем самой этой высоты.



Рисунок 4.1, слева направо: снегомерная рейка М-103 (рекордный отсчёт 77 см 26 марта 2013 г.); ледоскоп; планшет для измерений прироста снега. Москва, МО МГУ. *Фотографии автора*

Кроме того, возможна потеря отсчёта при сдувании слоя выпавшего снега с приподнятой над землёй поверхности ледоскопа – особенно если ветер сильный, а снег сухой. Во избежание подобных пропусков в данных, следуя рекомендациям Гидрометеорологического бюро Москвы, осенью 2017 г. для измерений прироста был внедрён плоский фанерный планшет (в виде перевернутого столика), установленный непосредственно на поверхности снежного покрова (рис.4.1). Прирост свежевывавшего снега важен и представляет отдельный интерес, поскольку отражает максимально возможную в данном сезоне гипотетическую высоту снежного покрова при условии отсутствия оттепелей, а также гравитационного и ветрового уплотнения снега.

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 (Локощенко, 2005) и в соответствующих разделах выпущенных ранее ежегодных сборников трудов Обсерватории (Локощенко, 2013–2017).

4.2. Календарные показатели и высота снежного покрова в МО МГУ в 2016-2017 гг.

Впервые в холодном сезоне 2016–2017 гг. твёрдые осадки (слабый мокрый обложной снег) выпали вечером 13 октября. Впоследствии они шли также 19, 20 и 21 октября в виде того же мокрого снега, мокрого ливневого снега или снежной крупы. Однако всякий раз поверхность оставалась ещё слишком тёплой, а осадков было недостаточно для образования снежного покрова. Лишь начавшийся в 2.30 27 октября обложной снег привёл к появлению первого в сезоне снежного покрова – впрочем, крайне тонкого (все четыре отсчёта высоты показали утром в тот день 0 см) и недолгого. Уже после полудня 27 октября этот первый покров сошёл, и на следующий день состояние поверхности все три срока было определено по открытой поверхности. Однако ещё день спустя, 29 октября, в 2.46 начался новый снегопад. На этот раз снег, попеременно обложной и ливневый, шёл непрерывно почти трое с половиной суток (!) вплоть до 11.12 01 ноября. Неудивительно, что уже утром 29 октября образовался второй по счёту в сезоне снежный покров, оказавшийся уже устойчивым. Нечего и говорить, что столь раннее его образование – большая редкость для условий Москвы. Добавим, что за всю историю МО МГУ, начиная с 1954 г., устойчивый снежный покров никогда не появлялся ранее 22 октября (Локощенко, 2005). Кроме то-

го, второй по счёту в холодном сезоне снежный покров довольно редко оказывается устойчивым, т.е. не сходит уже вплоть до весны.

В дальнейшем, как и обычно, рост высоты снежного покрова был немонотонным: как видно на рис.4.2, резкое увеличение при сильных снегопадах – например, 03 и 07 ноября – перемежалось столь же быстрым уменьшением вследствие оттепелей – например, 08 и 19-20 ноября. Впрочем, ноябрь 2016 года выдался сравнительно холодным со среднемесячной температурой меньше традиционной климатической нормы 1961–1990 гг. (–2,6 °С). Оттепели в этом месяце не были ни сильными, ни долгими, так что окончательного схода снежного покрова не произошло. Наименьшая его высота (лишь 4 см) вплоть до весны была отмечена 01 и 02 ноября, однако даже в эти дни снежный покров оставался сплошным и покрывал всю поверхность, так что дата исчезновения последних проталин в холодном сезоне 2016–2017 гг. совпадает с датой его появления: 29 октября. В течение первой половины декабря стояли устойчивые морозы, но часто шёл снег, и высота снежного покрова монотонно росла. Наконец, новогодняя оттепель, продлившаяся с 31 декабря до 02 января, в последний раз в продолжение зимы привела к сокращению снежного покрова до значений высоты менее 20 см (с 25 см 30/XII до 15 см 02/I).

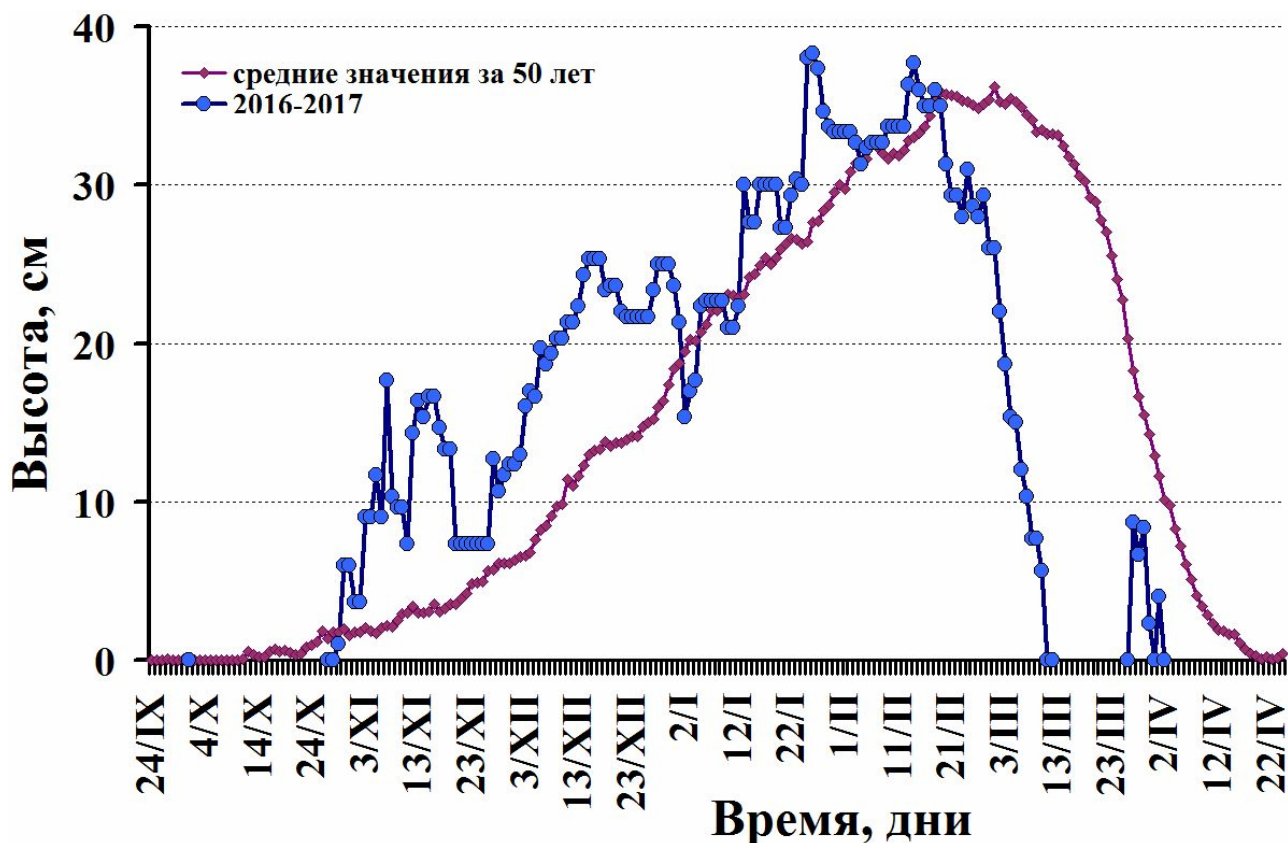


Рисунок 4.2. Ход средней высоты снежного покрова в холодном сезоне 2016-2017 гг. в сравнении со средними многолетними значениями (за период с 1954 по 2003 гг.). Москва, МО МГУ

В отдельные промежутки времени высота не изменялась, оставаясь стабильной в продолжение нескольких дней подряд – либо при сухой морозной погоде (например, 20–24 ноября), либо при выпадении снега в условиях слабой оттепели, когда прирост снежного покрова и его таяние уравнивали друг друга (например, 24–26 декабря).

Наибольшая в сезоне высота снежного покрова (38,3 см как среднее из показаний по трём основным рейкам) была достигнута уже 26 января, что является очень ранней датой этого события. Наибольший отдельный отсчёт высоты был отмечен в тот же день и составил 41 см на 3-й рейке. Почти столь же высокое значение средней по трём рейкам высоты (37,7 см) наблюдалось ещё раз спустя почти три недели: 14 февраля. Заметим, что прирост высоты снежного покрова в продолжение большей части холодного сезона, почти до конца зимы, шёл с заметным опережением по сравнению со средними многолетними значениями. С 30 октября и вплоть до 18 февраля лишь шесть дней (02–04/І и 10–12/ІІ) средняя по трём рейкам высота была ненамного ниже, чем в эти же дни в среднем за полвека. Напротив, начиная с 19 февраля, как видно на рис.4.2, она уже ни разу не оказывалась выше средних многолетних значений. Очевидной причиной этого послужили очень тёплый февраль и, особенно, по-настоящему «жаркий» март со среднемесячной температурой +2,7 °С, что на целых 4,9 °С больше традиционной климатической нормы для первого весеннего месяца. Начиная с последних дней февраля, в Москве со значительным опережением обычных сроков установилась устойчиво положительная температура воздуха, а максимальная температура 09 марта достигла даже 10,1 °С (!). Очевидно, что при столь аномально тёплой погоде высота снежного покрова стремительно сокращалась: с 27 февраля до 11 марта она уменьшилась с 29 до 0 см. Заметим, что март в 2017 году выдался довольно влажным месяцем, количество осадков (53 мм) значительно превысило климатическую норму, однако по большей части они были жидкими; смешанные же осадки (обложной или ливневый мокрый снег) быстро таяли и замедлить сход снежного покрова, конечно, не смогли.

Утром 11 марта, впервые с октября, степень покрытия составила менее 10 баллов (восемь), т.е. были отмечены первые проталины; появление их отражено и в кодировке состояния поверхности (код 2 по снегу, означающий покрытие снегом более половины, но не всей поверхности, впервые использован в утренний срок 11 марта). В этот и на следующий (12 марта) дни по всем рейкам была отмечена нулевая высота снежного покрова. Начиная же с 13 марта отсчётов высоты уже нет, что означает отсутствие снега вблизи всех четырёх

реек. Степень покрытия снегом поверхности закономерно уменьшалась с 8 баллов 11/III до 2 баллов 17/III; последующие три дня подряд отмечены в материалах наблюдений (книжке КМ-1) нулевым значением степени, означающим наличие в окрестностях станции остатков снега, составляющих менее половины одного балла (т.е. менее 5% поверхности). Таким образом, в качестве даты окончательного схода снежного покрова мы должны принять 20 марта, хотя столь долгое – трёхдневное – существование его незначительных остатков при очень высокой температуре воздуха сомнительно. В любом случае снежный покров сошёл не ранее 18-го и не позднее 20-го марта.

Однако устойчивый снежный покров не стал последним в этом сезоне. Ночью 27 марта выпал довольно обильный (6,9 мм) мокрый ливневый снег, в результате чего на поверхности образовался новый снежный покров, третий по счёту в сезоне. Продержался он целую неделю, вплоть до 03 апреля; наибольшая его высота составила 8,7 см в первый день. Этот покров почти полностью сошёл в последний день марта, однако новый снегопад вечером того же дня продлил его существование. Утром 01 апреля он снова стал сплошным, и высота его возросла до 4 см. Однако спустя два дня, утром 03 апреля, были отмечены лишь его остатки в окрестностях станции (0 баллов покрытия). Новый обильный снегопад вечером 16-го и ночью 17-го апреля привёл к появлению утром того же дня нового, четвёртого по счёту снежного покрова – правда, предельно тонкого (высота по всем рейкам составила 0 см, т.е. менее 5 мм) и продержавшегося лишь несколько часов. Уже днём 17 апреля этот покров растаял. Казалось, что на этом история снежного покрова в холодном сезоне 2016–2017 гг. должна завершиться. Однако он неожиданно образовался на поверхности ещё два раза: 08 и 12 мая. Как видно на рис.4.3 а), днём восьмого мая выпал исключительно обильный снег (количество осадков составило за сутки 33,8 мм!), в результате чего после полудня (приведённая на рисунке фотография сделана в 15.26) образовался сплошной снежный покров. Остатки его ещё были отмечены утром на следующий день 09 мая, окончательно же он сошёл спустя несколько часов. Наконец, в шестой и последний раз в сезоне снежный покров ненадолго образовался в результате нового снегопада около полуночи 12 мая. Утром его уже не было вблизи ни одной из станционных реек, однако степень его покрытия составляла ещё 4 балла; наличие его отмечено также в кодировке состояния поверхности. К 15 часам он окончательно сошёл.



а) 08 мая 2017 г.;



б) 30 декабря 2017 г.

Рисунок 4.3. Площадка Метеорологической обсерватории МГУ. *Фотографии автора*

Нечего и говорить, что в мае снежный покров, да ещё дважды, крайне редко образуется в Москве. Самой поздней датой его наблюдения за всё время существования МО МГУ

является 20 мая (Локощенко, 2005). Ярким контрастом к майскому снежному покрову служит почти полное его отсутствие в МО МГУ, как видно на фотографии рис. 4.3 б), в последние дни 2017 года – забегая вперёд, отметим, что в следующем сезоне 2017–2018 гг. устойчивый снежный покров установился очень поздно: лишь 05 января 2018 г.

Ещё одно чрезвычайно редкое для условий Москвы событие было связано с последним выпадением твёрдых осадков. Второго июня (!) в МО МГУ с 11.58 до 12.00 выпали снежная крупа и ливневый мокрый снег, а утром на следующий день 03 июня в течение 8 минут шла ледяная крупа. Заметим, что снег в июне в последний раз выпал в столице, по сведениям Т.М.Россинской, ровно 70 лет тому назад: 04 июня 1947 г. Тогда, по наблюдениям на ст. ТСХА (ныне – обсерватория имени Михельсона), мокрый ливневый снег при аномально холодной погоде ($T = +0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) шёл в Москве с 09.30 до 14.00. Ещё позднее снег выпал в далёком 1884 г. по данным той же обсерватории имени Михельсона (тогда – станция Петровско-Разумовское): 13 июня. В Метеорологической обсерватории МГУ июньский снег был отмечен в 2017 году впервые за всю её историю. До сих пор, начиная с 1954 г., позднее всего твёрдые осадки выпали здесь лишь 24 мая в 1959 г. (Локощенко, 2005).

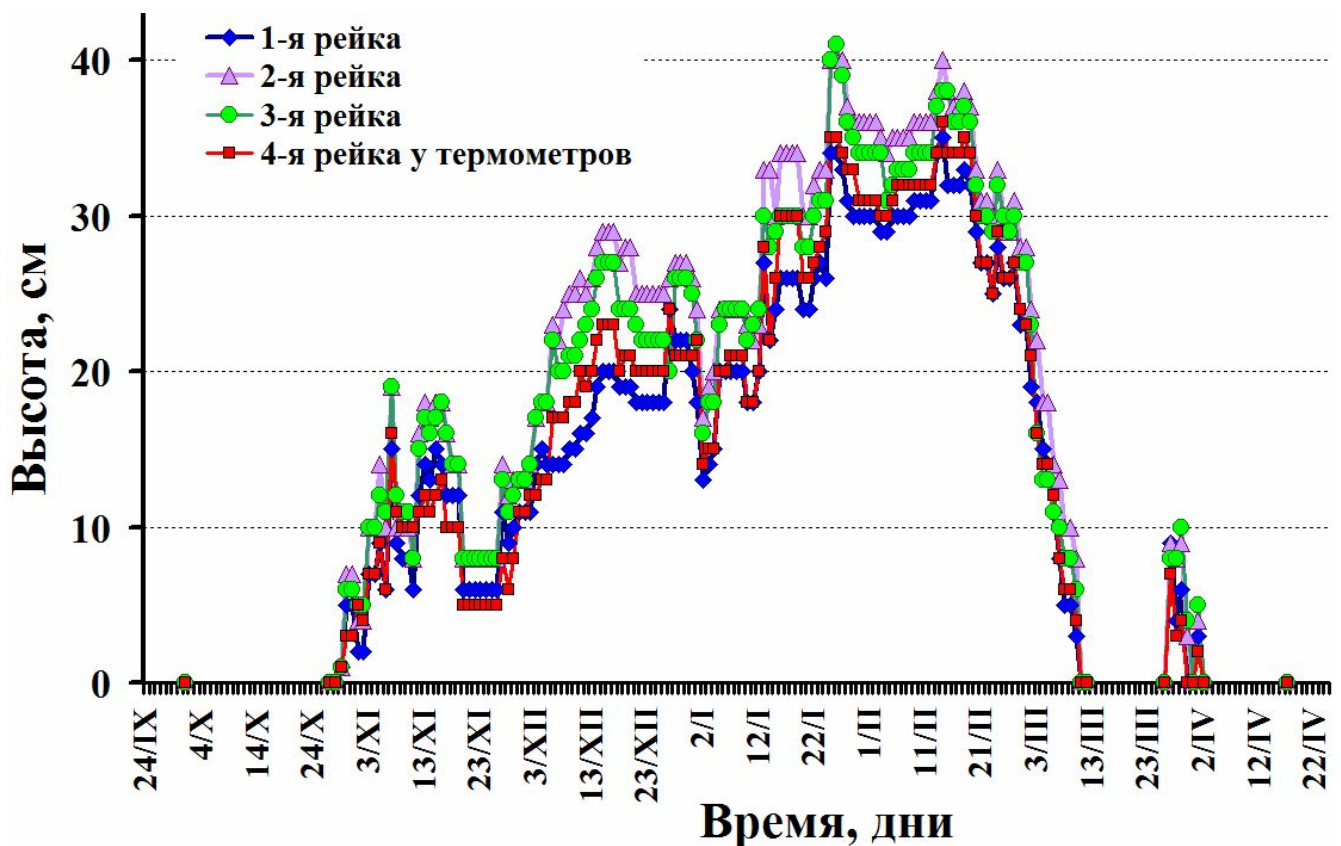
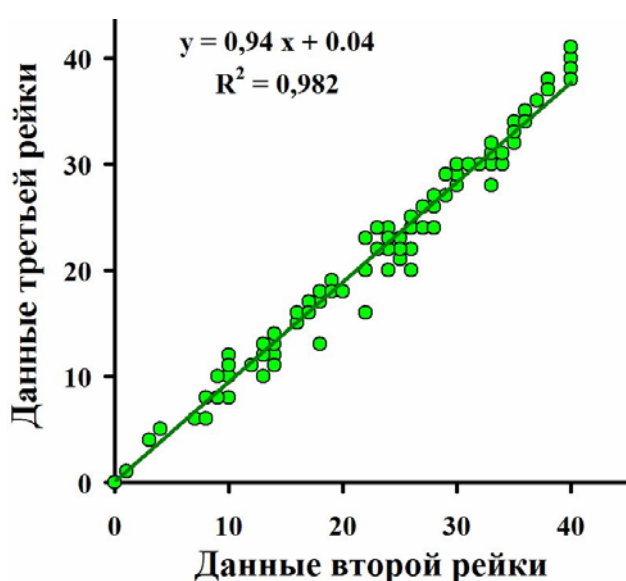


Рисунок 4.4. Ход средней высоты снежного покрова в холодном сезоне 2016-2017 гг. по данным отдельных снегомерных реек. Москва, МО МГУ

Говоря о высоте снежного покрова по данным отсчётов на отдельных рейках, нужно отметить их чрезвычайную близость. Ход изменений высоты на всех четырёх рейках (рис.4.4) весьма сходен. Наибольшие высоты, как видим на рисунке, обычно отмечались на 2-й и 3-й рейках, наименьшие – на первой и дополнительной 4-й. Действительно, средняя высота снежного покрова за все дни его существования, включая нулевые отсчёты, составила 22 см на 2-й рейке, 21 см на 3-й и 18 см на 1-й и 4-й рейках. Средняя за весь сезон разность единичных отсчётов составила на 1-й и 2-й рейках $-4,7$ см; на 2-й и 3-й $+1,3$ см; на 3-й и 4-й $+2,7$ см; на 1-й и 4-й $-0,7$ см. Очевидно, эти различия в отсчётах на несколько сантиметров отражают микроклиматические и наноклиматические особенности разных мест площадки. Примечательно, что знак разностей значений между отдельными рейками в предыдущем сезоне 2015–2016 гг. был точно таким же (Локощенко, 2017). Следовательно, соотношения высот снежного покрова в разных точках устойчивы во времени. Видимо, они отражают локальные неровности рельефа и не связаны с особенностями отдельного снежного покрова в тот или иной год. Заметим также, что всего в холодном сезоне 2016–2017 гг. наблюдалось 143 дня с отсчётами высоты снежного покрова по данным всех трёх опорных реек и 144 дня по данным дополнительной 4-й рейки (утром 31/III снежный покров оставался лишь вблизи неё). В силу случайного совпадения продолжительность существования устойчивого снежного покрова (включая последние его дни, когда отсчётов по рейкам уже не было) также составила в этом сезоне 143 дня.

Коэффициент корреляции R отсчётов как по первым двум, так и по первой и третьей



опорным рейкам за все дни существования снежного покрова в сезоне составляет 0,98, а по второй и третьей рейкам – даже 0,99 (см. рис.4.5). Как видим, связь близка к линейной и очень тесная, причём коэффициент линейной регрессии также близок к 1. Этот результат отражает как высокое качество визуальных отсчётов, так и ровный открытый характер местности на метеорологической площадке МО МГУ.

Рисунок 4.5. График связи данных о высоте снежного покрова в холодном сезоне 2016-2017 гг. по отдельным снегомерным рейкам. Москва, МО МГУ

В Таблице 4.1 обобщены данные о снежном покрове и твёрдых осадках в сезоне 2016–2017 гг. Как видим, даты первого выпадения твёрдых осадков и появления первого в сезоне снежного покрова близки к средним многолетним (наступили позднее лишь на несколько дней). В то же время установление устойчивого снежного покрова, исчезновение открытой поверхности (т.е. первый день, когда устойчивый покров окончательно стал сплошным), достижение наибольшей высоты, появление первых проталин и его сход наблюдались существенно раньше обычного. Таким образом, большинство связанных со снежным покровом событий были сильно смещены в этом сезоне во времени назад, причём опережение сроков достигало от двух до пяти недель. Наконец, последнее в сезоне наблюдение снежного покрова на поверхности земли и последнее выпадение твёрдых осадков в воздухе произошли, напротив, значительно позднее обычного. Последнее из этих событий (03 июня) стало даже рекордно поздним за всю историю существования МО МГУ и первым за последние 70 лет в Москве.

Таблица 4.1. Календарные даты динамики снежного покрова в Москве (МГУ) в 2016–2017 гг. и в среднем за период 1954–2003 гг.

	Первое выпадение твёрдых осадков	Появление первого снежного покрова	Образование устойчивого снежного покрова	Исчезновение последних проталин	Достижение наибольшей высоты	Появление первых проталин	Сход устойчивого снежного покрова	Последнее залегание снежного покрова	Последнее выпадение твёрдых осадков
Средняя дата за 50 лет	8 / X	22 / X	21 / XI	6 / XII	22 / II	25/III	8 / IV	17/IV	28/IV
Дата в 2016-2017 гг.	13 / X	27 / X	29 / X	29 / X	26 / I	11/III	20/III	12 / V	03/VI

4.3. Прирост снежного покрова в МГУ в 2016–2017 гг.

Рассмотрим теперь результаты измерений прироста снежного покрова. На рисунке 4.6 приведены суммарные за каждый день значения накопленного прироста высоты снежного покрова в холодном сезоне 2016–2017 гг. Для сравнения с ними приведены также средние значения этого показателя за предыдущие семь сезонов, начиная с сезона 2009–2010 гг., когда прирост начали измерять. Впервые средние оценки прироста по данным первых шести лет были представлены автором в (Локощенко, 2017), здесь они обновлены с добавлением ещё одного года. Как видно, семилетний ряд обладает уже определённой устойчивостью, случайные скачкообразные повышения значений при сильных снегопадах в отдельные годы сглажены.



Рисунок 4.6. Ход накопленного прироста высоты снежного покрова в холодном сезоне 2016–2017 гг. и в среднем за 7 предыдущих лет. Москва, МО МГУ

В холодном сезоне 2016–2017 гг., начиная уже со второго дня существования устойчивого снежного покрова (с 30 октября) и, вплоть до 12 марта, прирост его высоты существенно опережал средние многолетние значения этого показателя. Однако в конце сезона, вследствие очень тёплого начала весны, прирост совершенно остановился и сохранял постоянное значение (143 см) на протяжении целого месяца – с 27 февраля по 26 марта. Лишь в конце марта и в начале апреля прирост ещё немного подрос и достиг 157 см – окончательного своего значения. В сравнении с другими годами оно сравнительно невелико – к примеру, наибольший за все годы измерений накопленный прирост в 2012–2013 гг. составил 265 см. Следует, конечно, помнить, что показатель этот умозрительный и представляет собой некую гипотетическую наибольшую высоту – далёкую от реальности. Наибольший в сезоне разовый отсчёт прироста наблюдался 15 января 2017 г. и достиг 15 см. Для сравнения, наибольшее увеличение реальной высоты снежного покрова в продолжение суток составило в этом сезоне 8,7 см и наблюдалось дважды: 07 ноября и 27 марта.

Наконец, отметим, что накопленная за сезон высота снежного покрова как сумма её реальных средних значений за все дни существования снежного покрова (показатель,

предложенный автором в (Локощенко, 2005)), составила 2920 см. Это – лишь немногим меньше среднего многолетнего значения за 50 лет: 3161 см, так что минувшая зима 2016–2017 гг. оказалась близкой к обычным значениям данного показателя.

4.4. Общие выводы

Таким образом, в холодном сезоне 2016–2017 гг. снежный покров образовывался шесть раз. Уже второй по счёту покров в конце октября стал устойчивым, что бывает редко. В дальнейшем, вплоть до середины февраля, рост его высоты происходил со значительным опережением обычных значений. Однако установившаяся в конце зимы и в марте необычно тёплая погода привела к быстрому и раннему сходу устойчивого снежного покрова. В результате, его высота в сезоне не достигла слишком больших значений: наибольшее среднее значение по трём основным рейкам составило 26 января лишь 38 см, а наибольший разовый отсчёт в тот же день – 41 см. Окончательно устойчивый снежный покров сошёл не позднее 20 марта. Впрочем, после этого снежный покров образовывался ещё четырежды, в том числе – два раза в мае, что случается крайне редко. Рекордно поздней за всю историю наблюдений в МО МГУ в этом сезоне оказалась дата последнего выпадения твёрдых осадков: 03 июня 2017 г.

Автор признателен Т.М.Россинской за предоставленные исторические данные о наблюдениях снежного покрова в обсерватории им. Михельсона.

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. Снежный покров (раздел 4 части I, стр.41–52). В сб.: Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2016 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В.Ломоносова. Под редакцией Е.И.Незваль, И.В.Сошинской. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 245 с. ISBN: 978-5-317-05711-4.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Л., Гидрометеиздат, 1969, 308 с.; Л., Гидрометеиздат, 1985, вып.3, ч.1, 300 стр.

5. Атмосферное давление и ветер в приземном слое

Жданова Е.Ю.

Метеорологическая обсерватория, Географический факультет МГУ

Циркуляция атмосферы, наряду с тепло- и влагооборотами, является процессом, определяющим погоду и формирующим климат. Годовой ход среднесуточных значений атмосферного давления на уровне моря, зафиксированный в МО МГУ в 2017 году, показан на рис.5.2. Минимум атмосферного давления на уровне станции, связанный с расположением Москвы в центре циклона, составил 953,5 гПа (на уровне моря – 976,4 гПа) и был зафиксирован 31 октября 2017 г. Максимум атмосферного давления на уровне станции достиг в 2017 году 1019,1 гПа (на уровне моря – 1043,3 гПа) и был отмечен 28 сентября. В это время Москва находилась на ближней юго-восточной периферии обширного антициклона с центром над Ленинградской областью. Таким образом, годовая амплитуда значений атмосферного давления в столице составила в 2017 году 65,6 гПа. Выше нормы атмосферное давление было в январе и в последний месяц лета, а также в сентябре, что повлекло за собой ясную погоду в эти месяцы. Наиболее низкие среднемесячные значения атмосферного давления наблюдались в октябре и декабре 2017 года (рис.5.1).

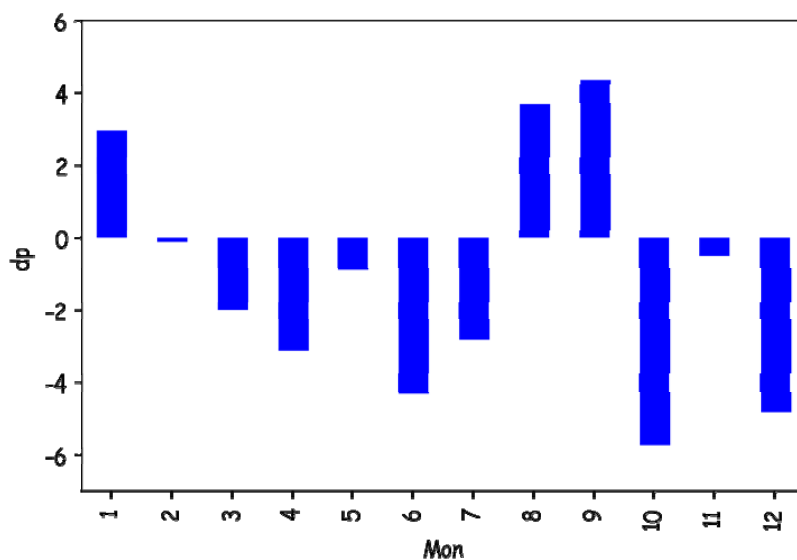


Рисунок 5.1. Аномалии среднемесячных значений атмосферного давления на уровне моря (dp, гПа) относительно современной климатической нормы.

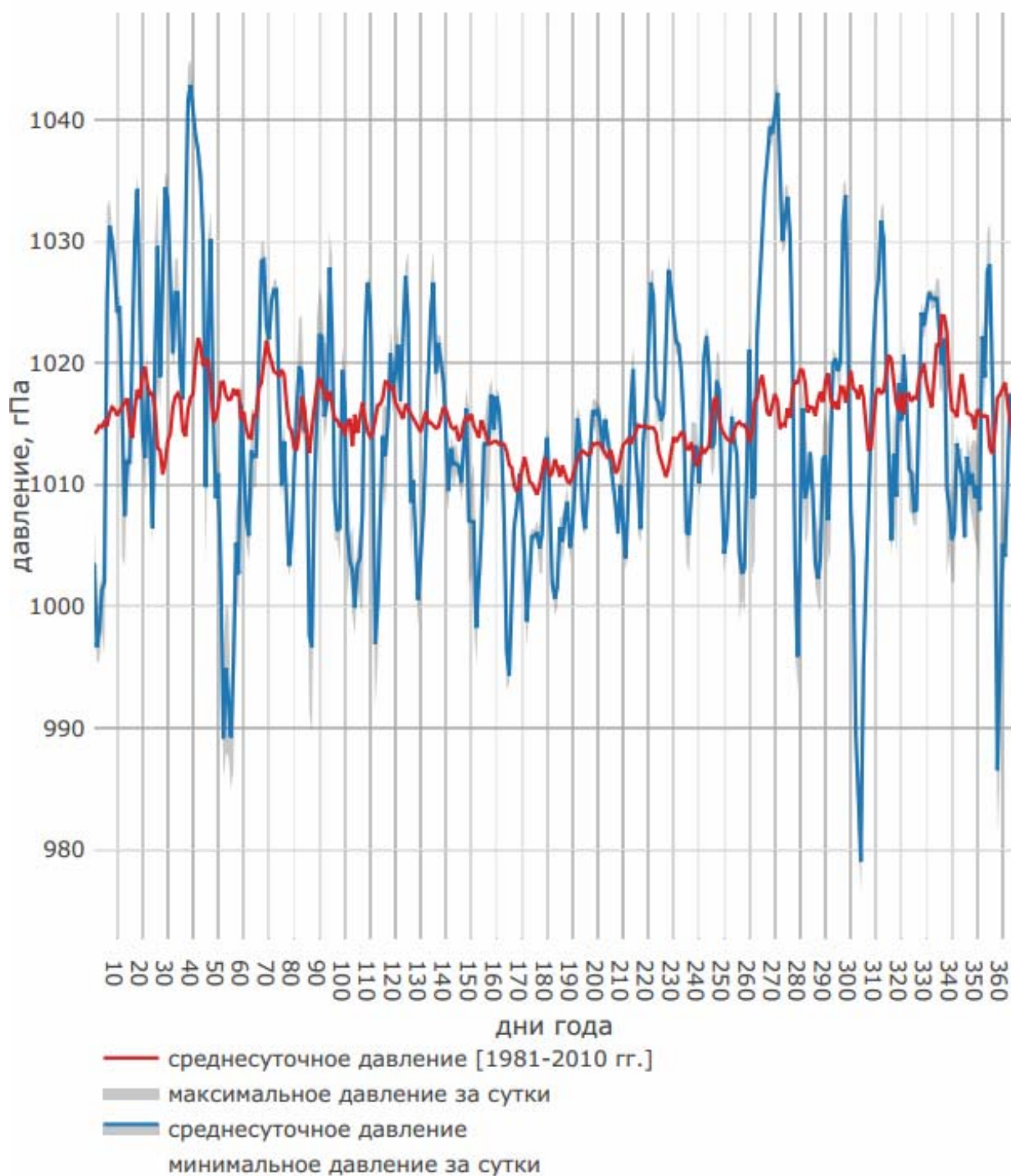


Рисунок 5.2. Годовой ход атмосферного давления на уровне моря и его современная климатическая норма.

Скорость и направление ветра в МО МГУ измеряются традиционными анеморумбометрами М-63М, а также, начиная с 2010 г., - датчиком 05103 автоматического комплекса АМК. Однако опорными в базе данных МО МГУ о ветре, для сохранения однородности многолетних рядов, по-прежнему остаются показания М-63М. Технические характери-

ки обоих приборов рассмотрены в разделе 8. В очень редких случаях обесточивания сети для измерений используются старинные флюгеры Вильда.

Средняя скорость ветра за год составила 1,9 м/с, что на 0,5 м/с меньше современной климатической нормы, что соответствует современной тенденции уменьшения скоростей ветра, фиксируемым на Европейской территории России. Эта тенденция прослеживается и в многолетних данных МО МГУ, как показано ниже, в разделе 6. Около 6% сроков наблюдались штилевые условия. Максимальная зафиксированная скорость ветра в порывах составила во время шквала 29 мая 24 м/с по данным анеморумбометра М-63М и 28 м/с по данным датчика 05103; подробнее метеорологические условия этого дня рассмотрены в разделах 8 и 9. Роза ветров в 2017 году соответствовала средним многолетним значениям (рис.5.3).

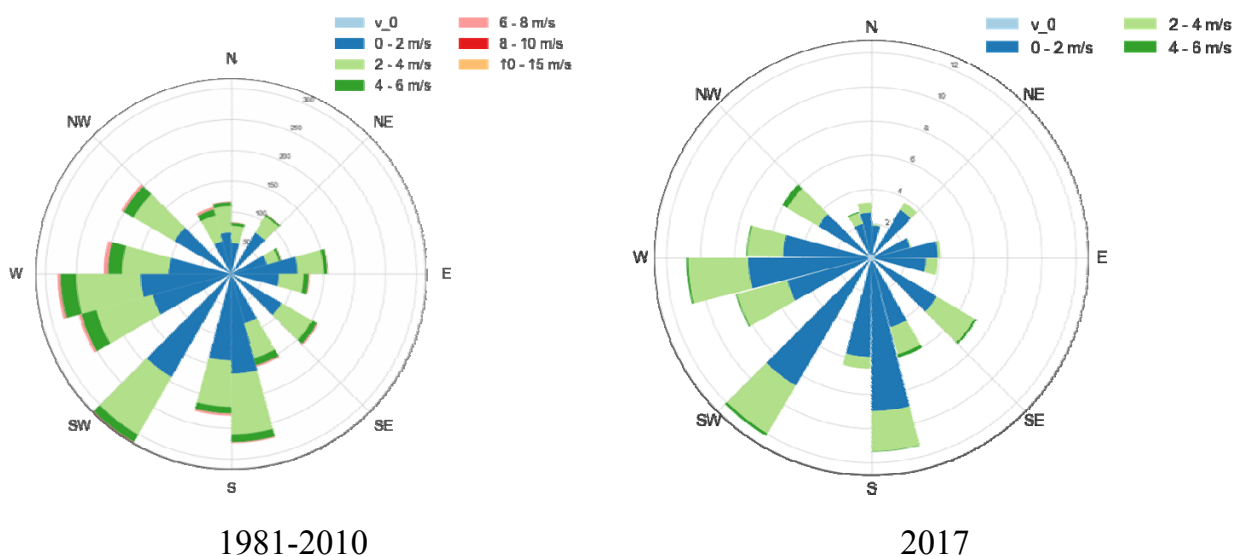


Рисунок 5.3. Роза ветров по многолетним климатическим данным и в 2017 году.

В данном графическом представлении розы ветров повторяемость каждого из основных и промежуточных румбов пропорциональна протяжённости соответствующих треугольных секторов (всего их – 16, остальные 8 из 24 секторов являются разделительными, не содержат данных и отмечены белым цветом). Все буквенные обозначения направлений ветра показаны на границах секторов и относятся к ближайшему сектору по направлению против часовой стрелки: так, направление на юг отмечено на границе секторов южного (справа от буквы «S») и южно-юго-западного направлений, и т.д.

Пилообразный (изрезанный) вид розы ветров частично объясняется субъективностью отсчётов: как известно, наблюдатели на любых станциях обычно склонны отмечать основ-

ные румбы направления ветра чаще промежуточных, так же как чётный балл количества облаков обычно указывается чаще нечётного, и т.п. Подобные примеры систематических смещений оценок хорошо известны в классической климатологии. В силу этого, например, повторяемость южных ветров на рис.5.3 и 5.4 больше и южно-юго-западных, и южно-юго-восточных, и т.д.

Рассмотрим более подробно особенности атмосферной циркуляции и погоды в Москве для отдельных дней и периодов по месяцам 2017 года (рис.5.4).

Январь в Москве был холоднее нормы, осадков выпало выше нормы, наблюдалась положительная аномалия приземного давления, доминирующее направление ветра было юго-западным. В начале месяца, 1-2-ого января, погоду в Москве определял теплый сектор атлантического циклона, в связи с этим наблюдались юго-западные ветры, температура воздуха была выше нормы. Затем, 3-4-ого января, усилилось влияние скандинавского антициклона, ветер сменился на северо-восточный, 5-ого января погоду определяла центральная холодная часть атлантического циклона с северными, северо-восточными ветрами. Шестого января на погоду в Москве влияла восточная периферия западного антициклона с центром над Данией, температура воздуха была низкой вследствие северо-западных ветров; 7-ого января антициклоническое воздействие захватывает практически всю Европу и ЕТР, минимальная температура воздуха в этот самый холодный день года достигает $-27,4$ градусов, наблюдается северный ветер. В последующие дни 8-9 января в условиях атмосферного гребня, а затем седловины ветер северных румбов ослабевает, и даже отмечается штиль. Затем, 10-11-ого января, погода определяется западной периферией антициклона с юго-западными ветрами. В период 12-15-ого января температура воздуха становится выше нормы, что было связано с ветрами юго-восточных направлений вследствие влияния атлантических циклонов и их теплых секторов; 17-19-ого января отмечался рост атмосферного давления под влиянием западного антициклона, ветер сменил направление с северо-западного на западное и на юго-западное по мере перемещения антициклона. В последнюю декаду января погода формировалась под влиянием североатлантических циклонов, чередовавшихся с воздействием западных антициклонов, что определяло регулярную смену ветров северных и южных четвертей.

В феврале преобладал ветер западных четвертей (западный, северо-западный, юго-западный), температура воздуха была выше нормы более, чем на 2 градуса, атмосферное давление было немного ниже нормы. В начале месяца, 1-2-ого февраля, погода формиро-

валась под влиянием гребня высокого давления в системе антициклона с центром над Украиной, а затем над Турцией; наблюдались западный, северо-западный ветры. Затем, 3-ого февраля, ветер изменил свое направление на южное в связи со смещением гребня высокого давления, а 4-5-ого февраля под влиянием циклона наблюдались северо-восточные ветры. Длительный промежуток времени с 6 - 12-ое февраля влияние на погоду оказывал скандинавский антициклон, его южная периферия с северо-восточными, северо-западными ветрами. Далее, 13-ого февраля, центр антициклона сместился на запад, на смену ему пришел североатлантический циклон, который принес потепление 14-ого февраля с юго-западными ветрами. Затем, 15-ого февраля, температура воздуха понизилась в тылу циклона с связи с северо-западными ветрами. А 16-ого февраля отмечалось прохождение западного антициклона. С 17-ого февраля и до конца месяца наблюдалось прохождение серии североатлантических циклонов, температура воздуха испытывала колебания в зависимости от расположения циклонов, но была выше нормы за счет притока атлантического тепла.

В марте температура воздуха в Москве была существенно выше нормы (более 3 градусов), наблюдались отрицательные аномалии атмосферного давления, преобладал ветер южной четверти. Температура воздуха была значительно выше нормы до 27 марта, лишь в последние числа месяца наблюдались ее отрицательные аномалии. В первые дни (1-3-го) марта адвекция теплого воздуха была связана с южными и юго-восточными ветрами на южной периферии атлантических циклонов. Затем, 4-ого марта, юго-западные ветры формировались под влиянием антициклона с центром над Черным морем. На следующий день, 5-ого марта, антициклон сместился на восток, наблюдались южные ветры в передней части сместившегося циклона. В период 6-11-ое марта происходила адвекция тепла за счет прохождения атлантических циклонов, которые имели более северные траектории, чем обычно, а также вследствие вхождений тёплых воздушных масс вдоль западной периферии антициклона с центром над Уралом, а затем над Северным Казахстаном. Затем, 12-ого марта, погода испытывала влияние заключительного антициклона, 13-14-ого марта наблюдались слабые ветры в размытом барическом поле вблизи оси гребня. В период 15-23-ого марта погода в Москве формировалась под влиянием серии атлантических циклонов с центрами над северными морями. Юго-западные ветры 24-ого марта были связаны с влиянием ложбины циклона. В конце месяца, 25-26-ого марта, под влиянием антициклона наблюдался ветер западных четвертей. Влиянием тыловой части циклона объяснялись северо-

западные ветры 27-30-ого марта. Юго-западные ветры 31-ого марта определял антициклон, сместившийся к востоку.

В апреле температура воздуха ниже нормы, преобладающее направление ветра было юго-западным, атмосферное давление было ниже нормы. Значительная отрицательная аномалия температуры воздуха наблюдалась 13-25 апреля. В течение всего месяца наблюдалась активная циклоническая деятельность. В первую половину месяца атлантические циклоны имели северные траектории движения, а во вторую их траектории сместились к югу, что привело к более частым адвекциям холодного воздуха. В течение 18-20-ого апреля погода формировалась под влиянием антициклонов с ветрами северных четвертей. Затем, 21-27-ого апреля, наблюдалось прохождение циклонической серии, в теплых секторах циклонов происходила южная адвекция. Слабые северо-восточные ветры при антициклональной погоде наблюдались 28-ого апреля. В последние дни месяца отмечалось прохождение южного циклона с преобладанием ветров южных четвертей.

В мае температура воздуха была ниже нормы на 2 градуса, атмосферное давление также было ниже нормы и отмечались ветры разных направлений. Существенная отрицательная аномалия температуры воздуха наблюдалась 7-17 мая. В начале месяца, 1-2-ого мая, юго-восточные ветры формировались под влиянием ложбины низкого давления; 3-4-ого мая наблюдались северные, северо-западные ветры, связанные с обширным антициклоном над Норвежским морем. Далее, 5-ого мая, ветры становятся западно-юго-западными из-за смещения антициклона; 6-7-ого мая отмечалось прохождение атлантического циклона. А 8-9-ого мая наблюдался значительный заток арктического воздуха, предположительно континентального, из Карского моря и центральных районов Арктики в тыловой части циклона с ветрами северной четверти. Как следствие этого, 8-го мая выпал снег и даже ненадолго образовался снежный покров (см. раздел 4). А уже 10-ого мая на фоне слабоградиентного поля отмечался южный ветер. Однако 11-12-ого мая очередной заток холодного воздуха был связан с прохождением атлантического циклона по южной траектории, это снова привело к образованию снежного покрова – правда, всего на несколько часов. Северные ветры 14-ого мая были связаны с влиянием гребня скандинавского антициклона, 15-ого мая ветер сменился на юго-юго-восточный. А 16-17-ого мая произошёл вновь заток холодного воздуха в связи с прохождением атлантического циклона по южной траектории. Далее, 18-20-ого мая, наблюдалась антициклональная погода с северо-восточными ветрами, сменяющиеся юго-западными; 21-22-ого мая преобладали се-

верные ветры под влиянием скандинавского антициклона, а в период 23-26 мая наблюдались ветры южной четверти; 27-28-ого мая вновь произошла адвекция холодного воздуха с севера и с северо-запада; 29-30-ого мая направление ветры сменялось с юго-западного на северо-западное в связи с прохождением атлантического циклона; 31-ого мая сформировались юго-восточными потоки на западной периферии антициклона. В первой половине месяца циклоны смещались по более южным траекториям, что привело к формированию отрицательной температуры воздуха, в конце месяца усилился антициклоногенез, который также способствовал формированию отрицательных аномалий температуры воздуха.

В июне температура воздуха и атмосферное давление были ниже нормы, преобладающее направление ветра было западным. В первой и второй декадах июня глубокие атлантические циклоны непрерывной чередой шли на восток, смещаясь по югу Скандинавии и северо-восточной Европе на арктические моря и в Западную Сибирь. В начале месяца, 1-3-ого июня, отмечалось прохождение атлантического циклона, и с северо-западными ветрами в его тылу был связан заток холодного воздуха. Затем, 4-5-ого июня, на ЕТР распространилась область высокого давления. Шестого июня северо-западные ветры были связаны с тыловой частью циклона. С 7-12-ого июня наблюдались слабые ветры переменных направлений; 13-14-ого июня формировалась южная адвекция при прохождении теплого сектора циклона; 15-18-го июня направление потоков сменилось на северо-западное. В последнюю декаду месяца наблюдалось прохождение циклонической серии, траектории циклонов к концу месяца сместились южнее.

В июле температура воздуха и атмосферное давление были ниже нормы, преобладающее направление ветра было западным. В начале месяца, 1-3-ого июля, наблюдалось прохождение серии атлантических циклонов, направления ветра изменялись в зависимости от расположения Москвы и частей циклона. Затем, 4-6-ого июля, наблюдался ветер западных румбов, связанный с влиянием передней части антициклона. В период с 7 по 10-ое июля также наблюдались ветры западной четверти, но обусловленные влиянием циклона, расположенного севернее; 11-12-ого июля направление ветра было связано с воздействием отрога субтропического антициклона; 13-16-ого июля погода определялась прохождением серии атлантических циклонов, преобладали ветры южных и юго-восточных направлений; 17-20-ого юго-западные ветры определились влиянием гребня азорского антициклона; 21-22-ого условия были близки к штилевым; 23-ого июля наблюдались северо-западные ветры, связанные с прохождением холодного фронта атлантического циклона. В период с 24-ого

по 28 июля преобладали ветры южных направлений. А 29-31 июля погоду на европейской территории России определял южный циклон.

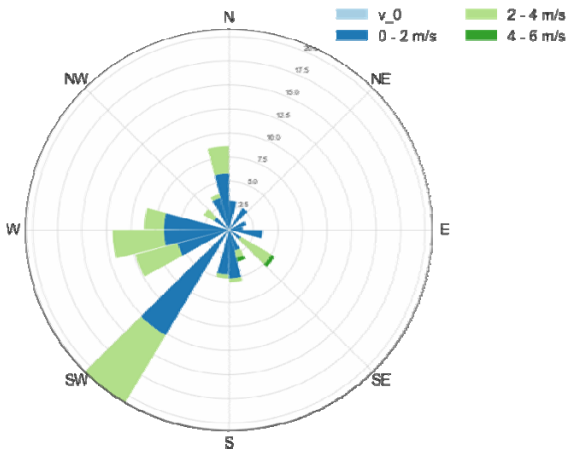
В августе температура воздуха и атмосферное давление были выше нормы, преобладающее направление ветра - южное и западное. В течение месяца преобладали антициклональные условия погоды, связанные с усилением азорского максимума, в связи с этим траектории смещения циклонов были северными.

В сентябре температура воздуха, а также атмосферное давление были выше нормы, наибольшую повторяемость имели ветры восточных, северо-восточных направлений и южных направлений. Преобладали антициклональные условия погоды (антициклоны имели как субтропическое, так и полярное происхождение), и кроме того, были отмечены несколько серий атлантических и южных циклонов. Последнюю декаду сентября погоду определял обширный антициклон с центром над европейской частью России, а затем над Финляндией и охвативший практически всю территорию ЕТР. Москва находилась преимущественно на его южной периферии или вблизи центра, преобладали слабые ветры разных направлений, а также часто отмечался штиль.

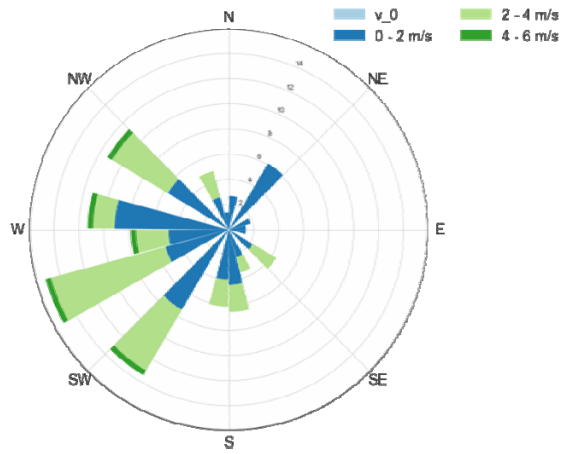
В октябре наблюдалась отрицательная аномалия температуры воздуха, значительная отрицательная аномалия атмосферного давления, вместе с тем преобладали ветры южных румбов. В начале месяца, 1-4-ого октября, ветры формировались под влиянием обширного скандинавского антициклона. В период с 5-20-ого октября погоду определяло перемещение атлантических циклонов, их траектории были таковы, что в Москве преобладали ветры южных направлений. В период с 21-25-ого октября наблюдались северные, северо-западные ветры, связанные с воздействием скандинавского антициклона. С 26-ого октября и до конца месяца погода определялась очередной серией атлантических циклонов.

В ноябре наблюдались положительные аномалии температуры воздуха, отрицательные аномалии давления, связанные с атлантическими циклонами и их ложбинами, преобладал ветер южных румбов. Всю вторую декаду месяца преобладали ветры южной четверти, связанные с адвекциями в теплых секторах атлантических циклонов и северных периферий антициклонов.

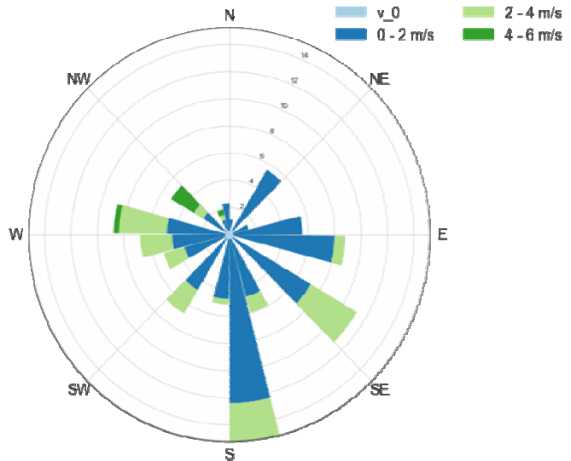
январь



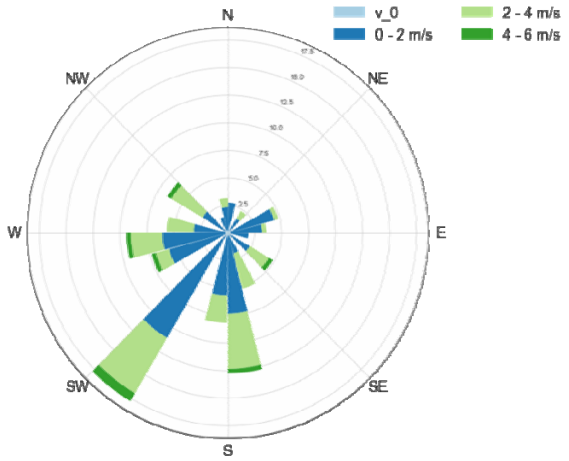
февраль



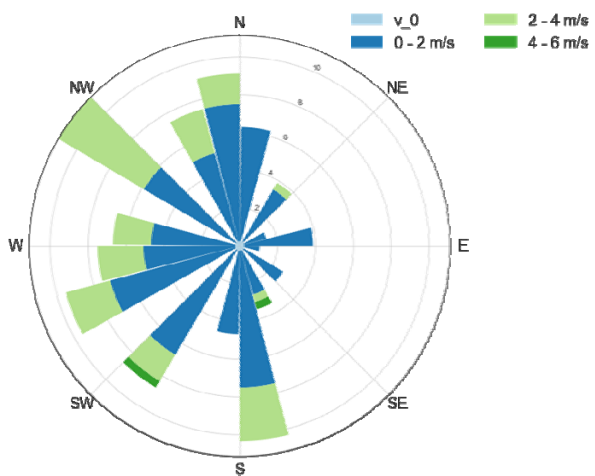
март



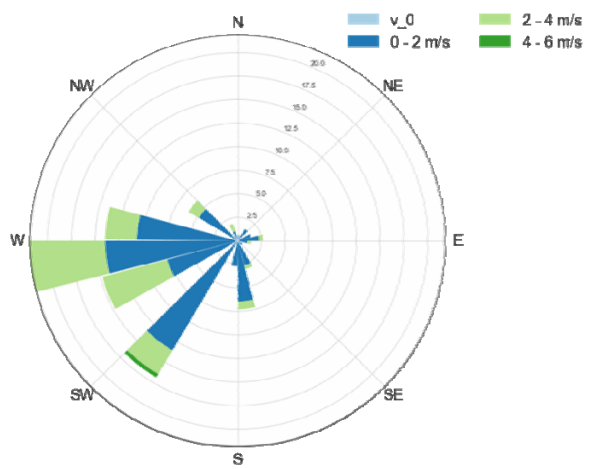
апрель



май



июнь



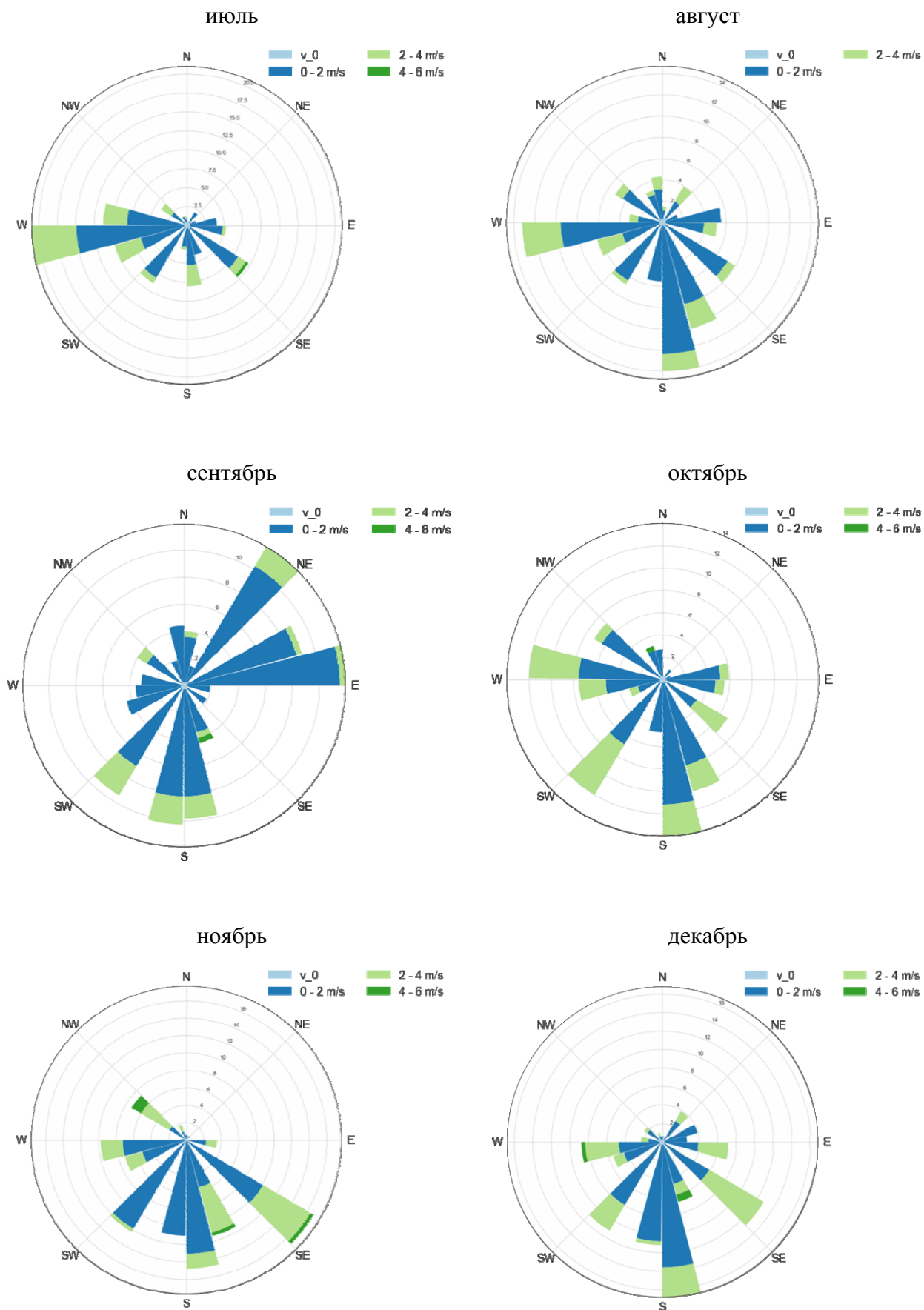


Рисунок 5.4. Роза ветров для каждого месяца 2017 года.

В декабре были отмечены значительные положительные аномалии температуры воздуха, отрицательные аномалии давления, преимущественное направление ветра было южным, также была высока повторяемость юго-восточных и юго-западных ветров. Активная адвекция теплого воздуха была связана с сериями южных и атлантических антициклонов.

Таким образом, за исключением трех месяцев (января, августа и сентября) в 2017 году наблюдались отрицательные аномалии атмосферного давления. Положительные аномалии атмосферного давления в августе-сентябре были обусловлены усилением азорского максимума. Наибольшие отрицательные аномалии давления сформировались в октябре и декабре в связи с усилением атлантического циклогенеза. Скорость ветра в 2017 году была ниже средних многолетних значений, а роза ветров соответствовала средним многолетним значениям.

Литература

https://meteoinfo.ru/?option=com_content&view=article&id=14645 - Основные особенности атмосферной циркуляции и погоды в северном полушарии

6. Ветровой режим и температурная стратификация нижней атмосферы по данным акустического зондирования в МО МГУ

Локощенко М.А.^{1,2}, Богданович А.Ю.¹

¹Метеорологическая обсерватория, Географический факультет МГУ

²Институт физики атмосферы имени А.М.Обухова РАН

6.1. Акустическое зондирование атмосферы в МО МГУ в 2017 году

Акустическое зондирование атмосферы осуществляется в Метеорологической обсерватории МГУ двумя акустическими локаторами (сонарами): с 1988 года – одноканальным вертикальным сонаром «ЭХО-1» производства ГДР, а с 2004 года – также и трёхканальным доплеровским сонаром «MODOS» производства Германии (рис. 6.1) – первым серийным и сертифицированным акустическим локатором в России. 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 (с использованием сонара «ЭХО-1») и ветровом режиме нижней тропосферы (с использованием сонара «MODOS»). Высотный диапазон зондирования сонаром «ЭХО-1» составляет от 25 до 800 м; сонаром «MODOS» – от 40 до 500 м. Пространственное (вертикальное) разрешение данных обоих сонаров – 12,5 и 20,0 м соответственно для «ЭХО-1» и «MODOS».



Рисунок 6.1. Сонары в Метеорологической обсерватории МГУ: 1 – «ЭХО-1»; 2 – «MODOS». Фотография М.А.Локощенко

Столь высокое разрешение данных является главным достоинством акустических локаторов. Оно открывает перед исследователями возможность изучения тонкой термической структуры (включая, например, слои приподнятых инверсий малой мощности) и очень подробных профилей ветра (помимо прочего – с выявлением низкоуровневых струй малой высотной протяжённости и др.). Разрешение во времени данных «ЭХО-1» о стратификации составляет 10 с (период повтора отдельных импульсов); данных «MODOS» о ветре – 10 мин. Расчёт скорости V и направления ветра на основе доплеровского смещения частоты эхо-сигнала требует накопления данных и их осреднения во времени. Поэтому достоверные измерения мгновенных порывов ветра с помощью содаров 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 научных исследований, данные обоих содаров в МО МГУ используются также в оперативных наблюдениях состояния воздушного бассейна столицы и в краткосрочных прогнозах степени химического загрязнения атмосферы, т.е. условий накопления и рассеивания в приземном слое воздуха малых атмосферных газов. Для этой цели содарные данные оперативно передаются по сетевым соединениям в отдел мониторинга атмосферы Центрального УГМС, а также в отдел охраны окружающей среды АО «Газпром-нефть – МНПЗ» (Московского нефтеперерабатывающего завода) в Капотне.

В течение 2017 года удалось продолжить почти непрерывное зондирование атмосферы обоими локаторами (Таблицы 6.1 и 6.2). В данных содара «MODOS» был полностью пропущен лишь один день – 12 марта. Правда, ещё 51 день отмечен небольшими перерывами в данных – как правило, они отмечались при работающей аппаратуре, но в условиях низких значений отношения сигнала к шуму (менее 3), когда автоматическая программа контроля данных производила их полный отсев во всём диапазоне. Обычно это случалось при особо сильных ливневых осадках, когда из-за сильного шума (ударов капель о поверхность антенн) не было достоверных данных. Дополнительными причинами коротких перерывов в зондировании содаром «MODOS» служила периодическая очистка зимой антенн от снега после обильных снегопадов (на время очистки локатор, естественно, выключался), а также профилактическая чистка и промывание всех рупоров антенн, производимая обычно летом один или два раза в год. Кроме того, порой случаются самопроизвольные остановки аппаратуры при сбоях датчика времени в комнатном электронном блоке. Эти остановки обычно происходят, если комнатная температура воздуха превышает

+25 °С, поэтому для их предотвращения в комнате № 9 МО МГУ, где установлен электронный блок содара «MODOS», зимой часто практикуется выключение центрального отопления, а летом при сильной жаре – включение кондиционера в режиме охлаждения.

Для исследований ветрового режима используются доплеровские данные содара «MODOS» о скорости и направлении ветра, прошедшие программный автоматический контроль с учётом отношения сигнала к шуму (более 3), формы спектра эхо-сигнала и т.п., а также сглаженные с учётом соседних значений как во времени, так и в пространстве. В фирменном программном обеспечении «MODOS» мы используем наименьшую степень сглаживания во избежание возможных потерь особенностей тонкой ветровой структуры. Своеобразной расплатой за это является необходимость дополнительного критического контроля содарных данных с исключением очевидно недостоверных значений (шумов). Точность содарных измерений скорости и направления установлена стандартом фирмы-производителя; помимо этого, она подтверждена актом НПО «Тайфун» по результатам проведённых испытаний на полигоне высотной мачты в г. Обнинске.

Помимо данных о ветровом режиме, содар «MODOS» измеряет также ряд дополнительных показателей, связанных с вертикальным турбулентным обменом и структурой мелкомасштабной термической турбулентности (интенсивность эхо-сигнала, вертикальная составляющая скорости ветра W , её среднеквадратическое отклонение σ_w и др.).

Таблица 6.1. Продолжительность измерений содаром «MODOS» в 2017 г. (дни).

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Всего:
31 (30)	28 (25)	30 (24)	30 (29)	31 (29)	30 (28)	31 (29)	31 (29)	30 (27)	31 (21)	30 (19)	31 (23)	364 (313)

Первые числа – количество дней работы содара «MODOS» в течение каждого из месяцев; вторые числа в скобках – количество дней только с непрерывным или почти непрерывным зондированием, если перерывов не было или они составили не дольше 1 ч.

Таблица 6.2. Продолжительность измерений содаром «ЭХО-1» в 2017 г. (дни).

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Всего:
31 (12)	25 (5)	31 (15)	30 (21)	30 (17)	30 (11)	31 (30)	31 (31)	30 (29)	31 (31)	30 (29)	31 (30)	361 (261)

Первые числа – количество дней работы содара «ЭХО-1» в течение каждого из месяцев; вторые числа в скобках – количество дней только с непрерывным или почти непрерывным зондированием, если перерывов не было или они составили не дольше 1 ч.

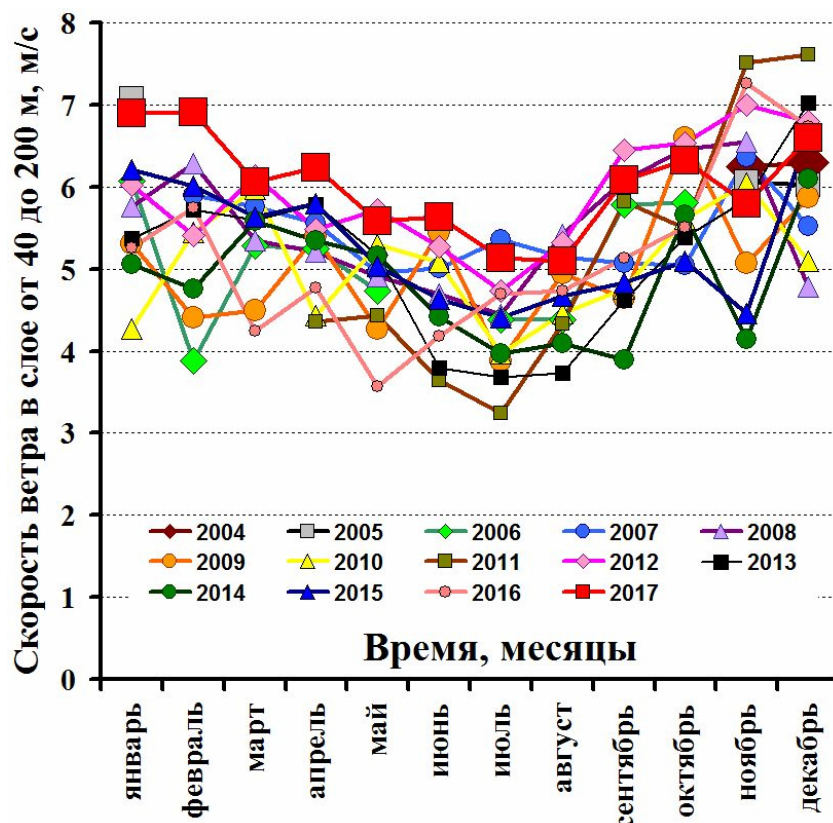
Содар «ЭХО-1» также работал стабильно в продолжение всего года, полностью пропущенными для зондирования оказались лишь 4 дня за весь год. Причиной большинства перерывов в его зондировании – довольно частых, но обычно коротких – служило внезапное прекращение излучения импульсов громкоговорителем антенны, 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 ЧССР. Причины таких остановок остались до конца неясными. В конце июня 2017 г. они прекратились, и зондирование содаром «ЭХО-1», как видно из таблицы 6.2, стало почти непрерывным. Подключенные в 2016 и 2017 гг. к аппаратуре обоих содаров новые источники бесперебойного питания марки APC успешно предотвращают пропуски в записи данных в случаях кратковременных выключений питания в сети в здании МО МГУ.

6.2. Скорость ветра

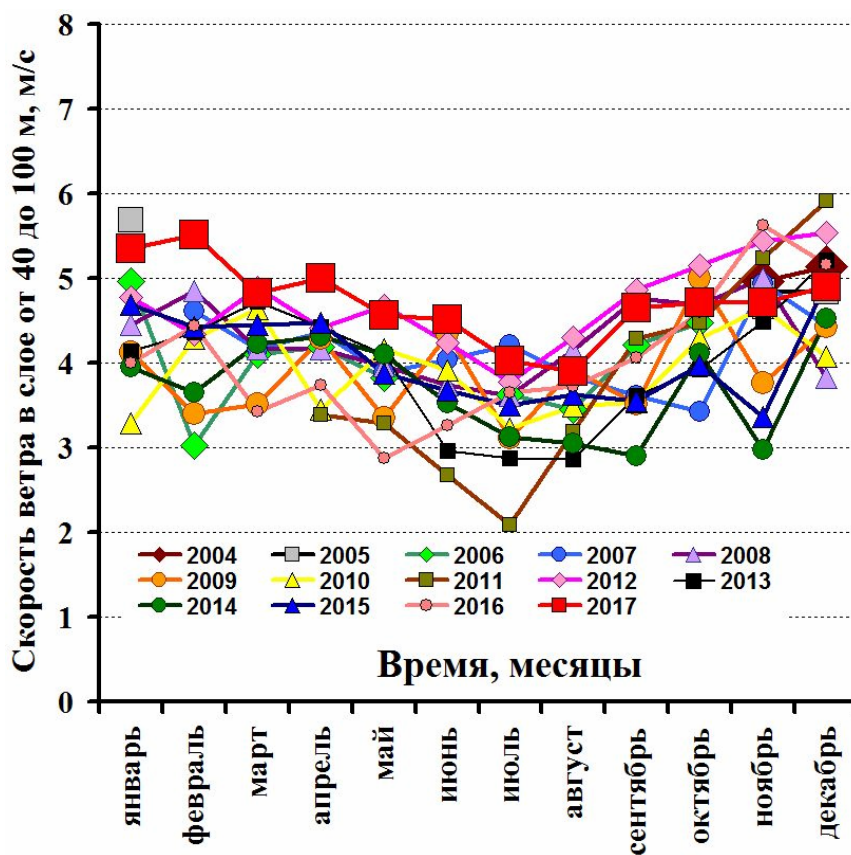
Общее число отдельных измерений скорости и направления ветра по данным содара «MODOS» за весь 2017 год во всём диапазоне зондирования – на всех высотах и в среднем за каждые 10 мин – составило после осуществления критического контроля 452508. Среднемесячные значения $V_{\text{ср}}$ в слое воздуха от 40 до 200 м за каждый месяц 2017 года приведены в Таблице 6.3, а также, в графическом виде, – на рис. 6.2 и 6.3 (значения в 2017 г. – красные квадраты). На рис. 6.2 б), помимо слоя от 40 до 200 м, приведены также данные, отдельно рассчитанные для слоя от 40 до 100 м. Расчёты средней скорости в том или ином слое производятся с послойным нормированием: значениям V на каждой высоте при осреднении придаётся одинаковый вес (Локощенко, 2014). Это позволяет избежать систематического смещения оценок из-за разной обеспеченности данными на разных высотах.

Таблица 6.3. Среднемесячная $V_{\text{ср}}$ и наибольшая V_{max} скорость ветра по данным содара «MODOS» в отдельные месяцы 2017 г. в слое воздуха от 40 до 200 м (наибольшая – в слое от 40 до 500 м), м/с

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год:
$V_{\text{ср}}$	6,9	6,9	6,1	6,2	5,6	5,6	5,1	5,1	6,1	6,3	5,8	6,6	6,0
V_{max}	27,0	24,3	23,7	21,5	32,6	23,5	24,8	23,3	24,1	26,4	19,1	22,0	32,6



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 2017 году и в другие годы. Верх – в слое воздуха от 40 до 200 м; низ – в слое воздуха от 40 до 100 м. По горизонтали – время, месяцы; по вертикали – скорость ветра, м/с

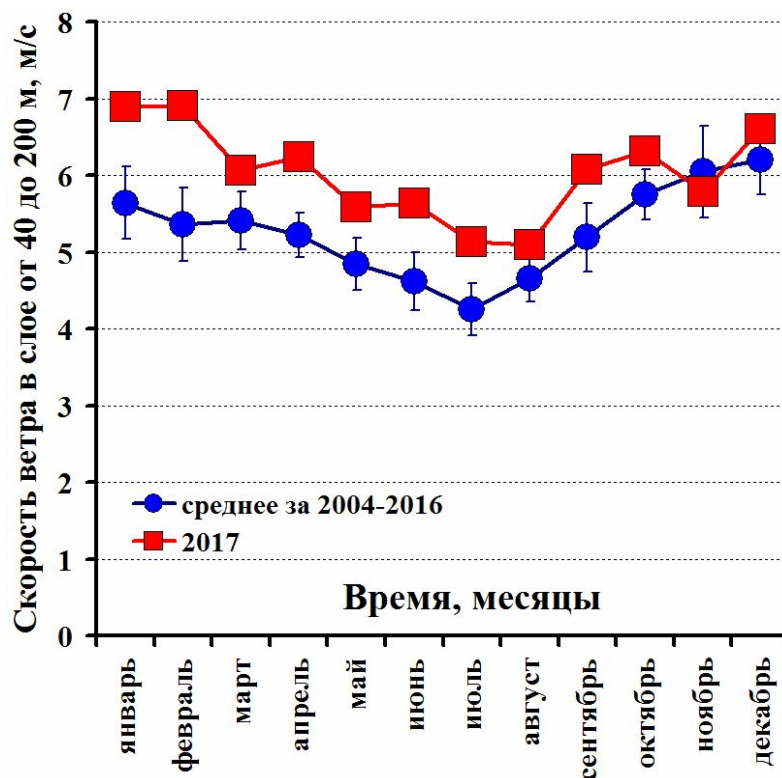
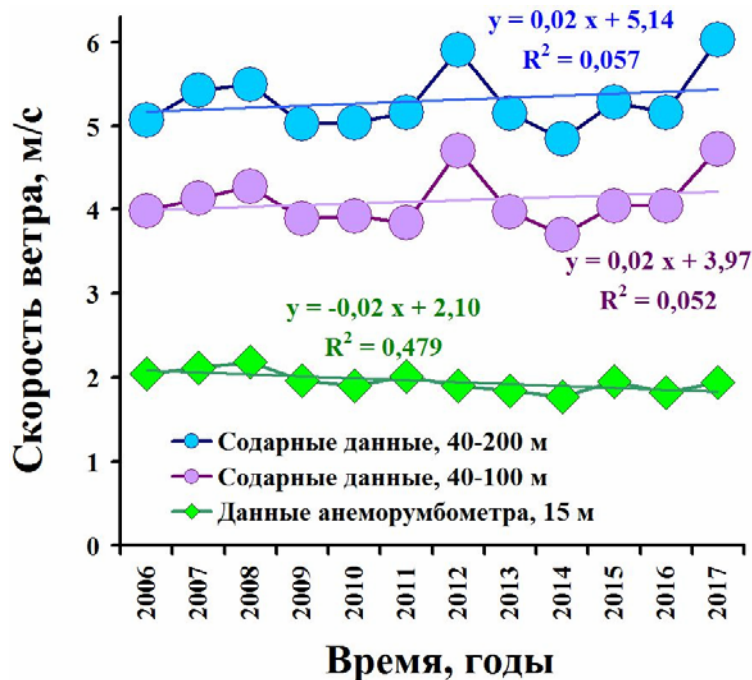


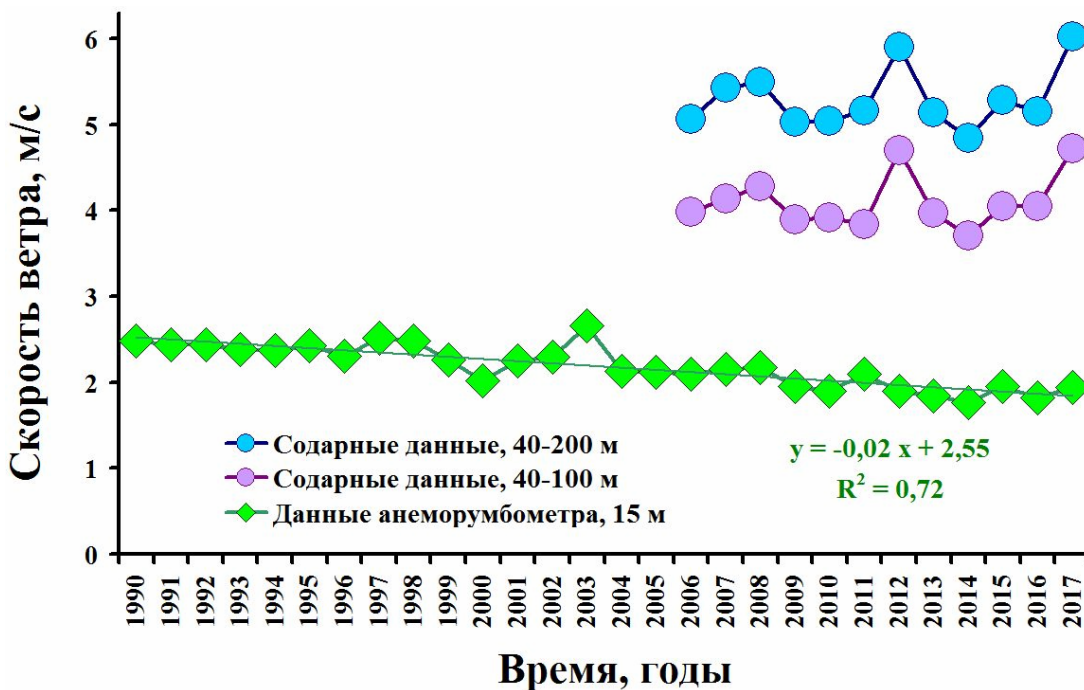
Рисунок 6.3. Годовой ход среднемесячных значений скорости ветра в слое воздуха от 40 до 200 м в 2017 году и в среднем за все предыдущие годы (2004–2016 гг.) по данным содара «MODOS». По горизонтали – время, месяцы; по вертикали – скорость ветра, м/с. Доверительные интервалы построены с уровнем значимости 5 %

Как видим, в целом 2017 год по содарным данным выдался очень ветреным: в 11 из 12 месяцев, кроме только ноября, среднемесячные значения V_{cp} в слое от 40 до 200 м были больше средних многолетних за предыдущие 12 лет. Примечательно, что в 10 из 12 месяцев превышение по сравнению со средними многолетними значениями оказалось даже статистически значимым (значения V_{cp} с января по октябрь вышли за пределы доверительных интервалов с доверительной вероятностью 0,95). Особенно ветреными в 2017 г. оказались январь и февраль, когда V_{cp} достигла почти 7 м/с. Заметим, что в январе, апреле и июне V_{cp} оказалась больше не только средних многолетних значений, но и значений для любого из этих месяцев в другие годы (рис.6.2), причём в обоих слоях. Самыми тихими месяцами в 2017 г. оказались июль и август, однако и они были ветренее этих месяцев в среднем за период 2004–2016 гг. Как правило, наибольшая скорость ветра в нижнем 200-метровом слое воздуха наблюдаются зимой, а наименьшая – в середине лета. Причиной служит общее ослабление летом западного переноса и более частые в это время застои воздуха в умеренных широтах (Локощенко, 2014). Как видим, данная закономерность отмечена и в 2017 году.

На рис.6.4 приведён ряд среднегодовых значений скорости ветра за весь период регулярного зондирования содаром «MODOS» в МО МГУ, начиная с 2006 г. (в 2004 и 2005 гг. в зондировании были перерывы, так что рассчитать среднегодовое значение скорости ветра для этих лет нельзя).



а) за период 2006–2017 гг.;



б) за период 1990–2017 гг.

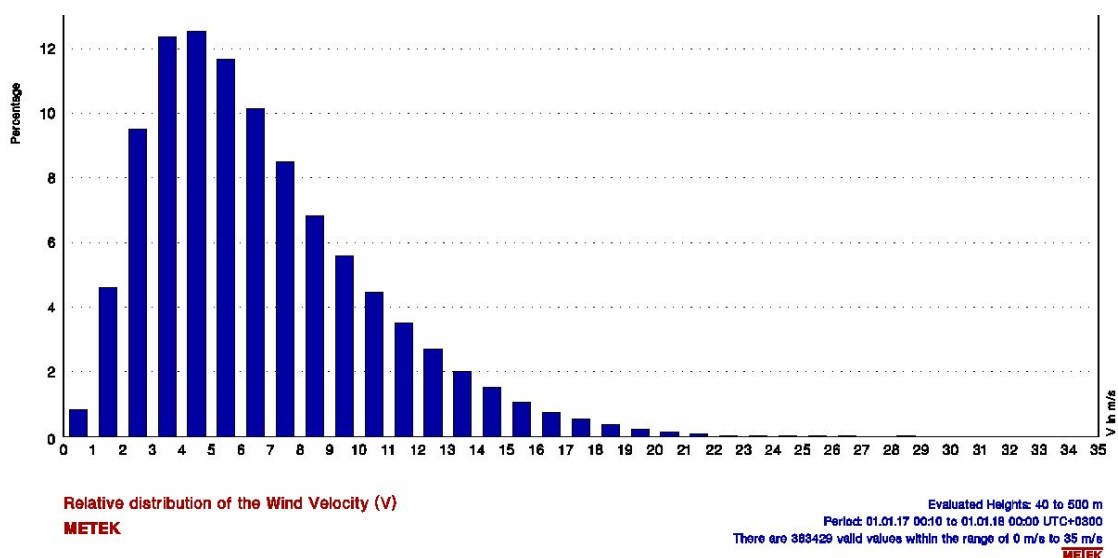
Рисунок 6.4. Многолетние изменения скорости ветра по данным содара «MODOS» в МГУ в слоях воздуха от 40 до 100 и от 40 до 200 м, а также по данным стационарного анеморумбометра М-63М на высоте 15 м. По горизонтали – время, годы; по вертикали – скорость, м/с

Как видим, 2017 год по содарным данным оказался самым ветреным в ряду всех предшествующих лет: среднегодовое значение V в слое от 40 до 200 м составило 6,0 м/с (второе по счёту значение в порядке их убывания – 5,9 м/с в 2012 году). Для слоя от 40 до 100 м среднегодовые значения в 2017 и 2012 гг. совпали с точностью до десятых долей м/с, составив 4,7 м/с. Видно также, что среднегодовые значения скорости ветра в нижней атмосфере над Москвой (рис.6.4 а) не испытывают заметных изменений за последнее десятилетие. Для обоих высотных промежутков линейные тренды V по содарным данным слабоположительные: коэффициент линейной регрессии составляет в обоих случаях $+0,02$ м/(с · год). Однако знак линейного тренда при столь малой его величине, очевидно, незначимый и сильно зависит от последнего значения в ряду. Так, годом ранее (Локощенко и Богданович, 2017) аналогичные тренды при рассмотрении периода 2006–2016 гг. были, напротив, слабоотрицательными с коэффициентами линейной регрессии от 0 до $-0,01$ м/(с · год) для обоих слоёв. Заметим также, что тренд среднегодовых значений скорости ветра по данным стационарного анеморумбометра М-63М на высоте 15 м (подробнее о стационарных измерениях скорости ветра в МО МГУ читатель может прочесть в разделе 8) за тот же период, с 2006 по 2017 гг., является слабоотрицательным. Малая абсолютная величина коэффициентов линейной регрессии (т.е. величин линейного тренда) и их разнонаправленность для разных приборов говорят об отсутствии статистически достоверных изменений ветрового режима над Москвой за последнее десятилетие. Подтверждают этот вывод и очевидно незначимые величины показателя достоверности R^2 обоих трендов по содарным данным.

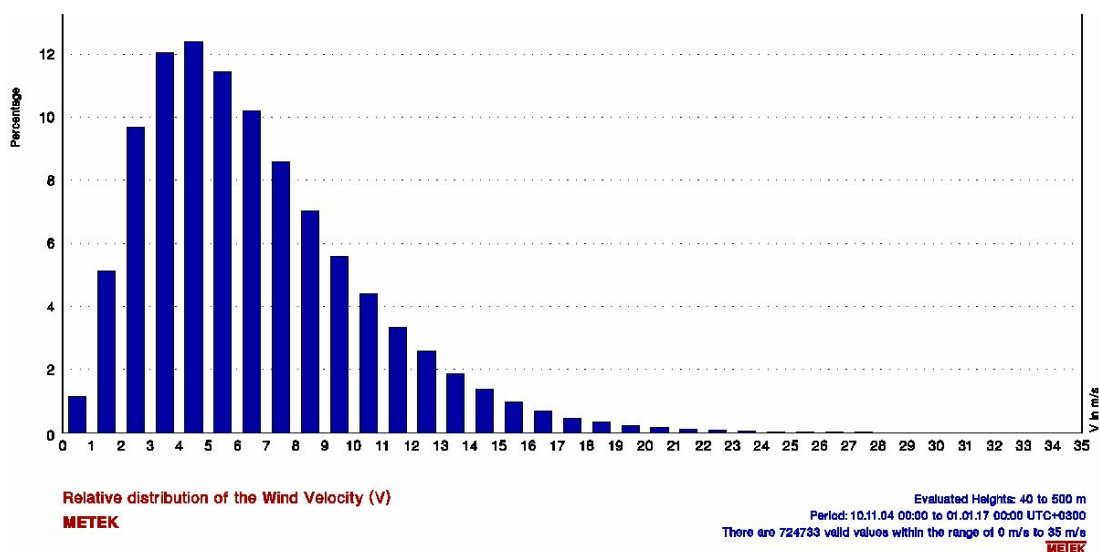
Рассматривая изменения скорости ветра в более отдалённом прошлом, нужно учесть особенности застройки в окрестностях станции. Как показано в (Локощенко, 2005), ряд среднегодовых значений V по данным измерений в МО МГУ является кусочно-однородным: данные сравнимы между собой лишь на отдельных промежутках времени, ограниченных годами постройки соседних с Обсерваторией зданий. Последнее из них, Оранжевый корпус биологического факультета МГУ, был возведён в 1987 г. Таким образом, корректное сравнение среднегодовых значений V по стационарным данным возможно лишь начиная с 1988 года. На рис.6.4 б) они приведены с 1990 по 2017 гг. Как видно, за последние 28 лет отмечается постепенное ослабление ветра. Величина тренда по данным измерений прибором М-63М на 15 м в 1990–2017 гг. столь же невелика, как и за меньший период 2006–2017 гг.: $-0,02$ м/(с · год), однако достоверность этого тренда с учётом большей длины ряда и сравнительно малого разброса значений очень высокая: $R^2 = 0,72$.

Помимо средних, в таблице 16.3 приведены также наибольшие значения скорости ветра по содарным данным во всём диапазоне зондирования вплоть до 500 м. Как видим, максимальное значение в среднем за 10 мин составило 32,6 м/с в 4.10 29 мая 2017 г. на высоте 480 метров. Метеорологические условия этого дня, отмеченного прохождением шквала, подробно рассмотрены ниже, в разделе 8. Здесь только заметим, что значения скорости ветра $V \geq 30$ м/с в среднем за 10 мин отмечаются по содарным данным в нижнем 500-метровом слое воздуха крайне редко – в среднем, лишь один раз в год (Локощенко, 2014).

Гистограммы скорости ветра в слое от 40 до 500 м над Москвой в целом за весь 2017 год и, для сравнения, в среднем за 12 предыдущих лет приведены на рис.6.5.



а) 2017 год;



б) 2004–2016 гг.

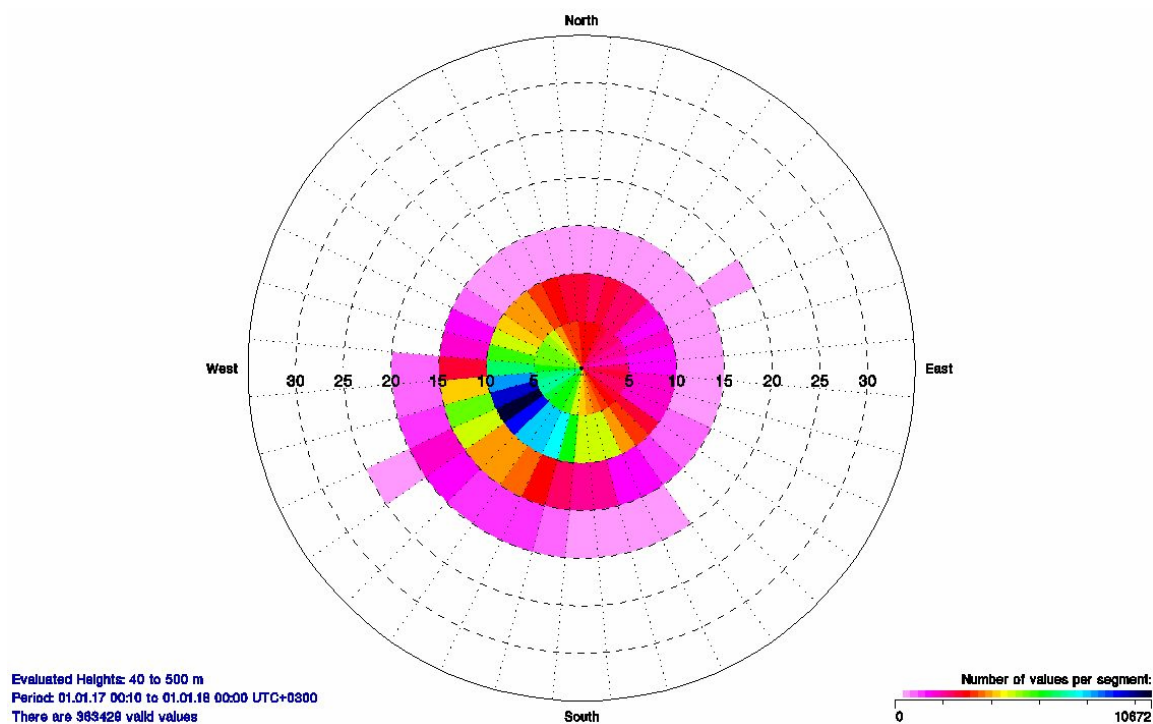
Рисунок 6.5. Распределение значений скорости ветра по содарным данным в МО МГУ в слое воздуха от 40 до 500 м за 2017 год и в среднем за предыдущий период.

Как и обычно в другие годы, распределение в 2017 г. отмечено одной модой в промежутке значений 4–5 м/с и заметной положительной асимметрией. В дополнение к сказанному выше, ещё одним следствием очень ветреного 2017 года явилось смещение оценок в отдельных градациях по сравнению со средними многолетними значениями. Так, штили или очень слабый ветер со скоростью менее 1 м/с отмечались в 2017 г. реже обычного: повторяемость первой градации 0–1 м/с на рис.6.5 а) составляет лишь 0,8 %, тогда как в среднем за период 2004–2016 гг. она достигала 1,1 %. Меньше обычного оказались повторяемости и в границах от 1 до 2 и от 2 до 3 м/с. В модальном интервале 4–5 м/с в 2017 г. содержится 12,5 % всех полученных значений, тогда как в соседней градации 3–4 м/с их чуть меньше: 12,4 %. Более сильный ветер со скоростью свыше 5 м/с отмечается реже: повторяемость значений V в градации 5–6 м/с составляет 11,7 % и далее, с ростом V , последовательно уменьшается, образуя протяжённое правое крыло распределения. Очень сильный ветер со скоростью от 26 до 27 м/с наблюдается чрезвычайно редко (в 0,01 % всех случаев); при ещё больших значениях $V > 27$ м/с повторяемость значений в каждой из градаций с шагом 1 м/с составляет менее 0,005 %.

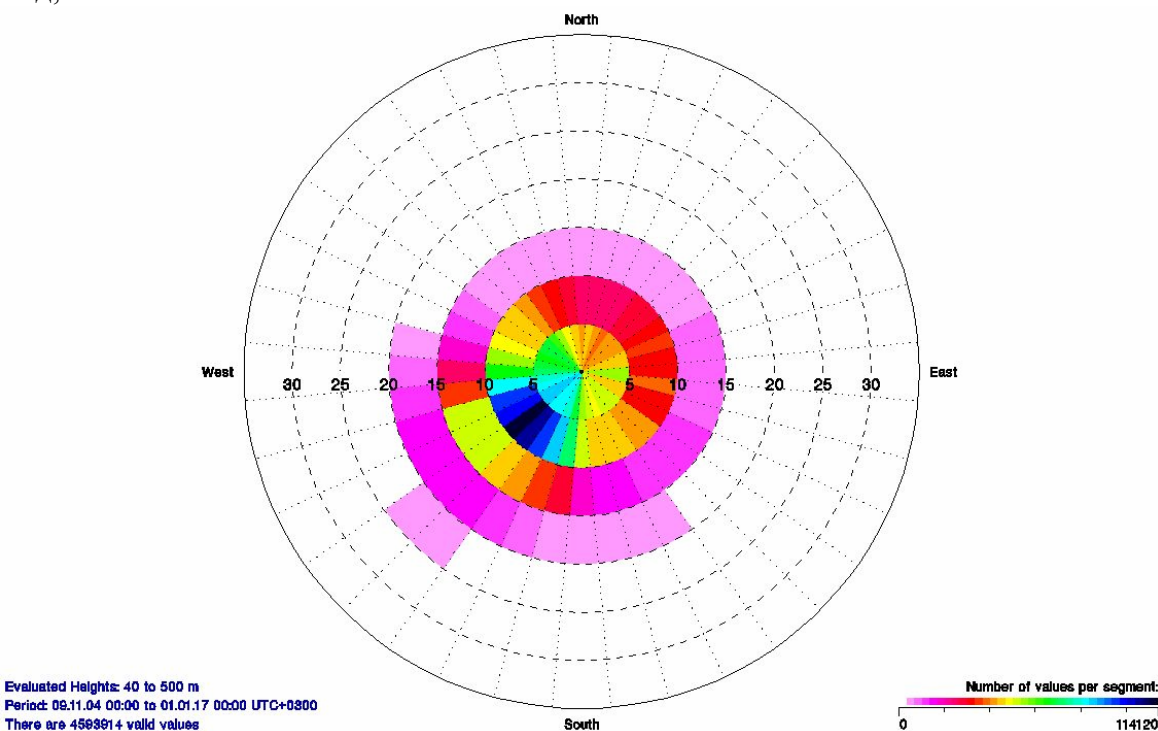
6.3. Направление ветра

На рисунке 6.6 приведена роза ветров за 2017 год и, для сравнения, – сводная роза ветров за все 12 лет зондирования содаром «MODOS» в МО МГУ. Заметим, что антенная система содара «MODOS» ориентирована по стрелке компаса, так что в данные о направлении следует вводить поправку (приблизительно $+11^\circ$ с учётом восточного, т.е. положительного магнитного склонения Москвы в 2017 г.).

Как видим, в целом за весь 2017 год роза ветров очень близка к средним многолетним значениям. Как и всегда прежде при осреднении за год или за более долгое время, самым частым направлением ветра в слое воздуха до 500 м над Москвой в 2017 г. было западно-юго-западное в промежутке от 225 до 255° ; с учётом магнитного склонения – приблизительно от 235 до 265° (Локощенко, 2015). При этом чаще всего (чёрный и синий цвет в цветовой шкале повторяемостей) отмечается умеренный ветер со скоростью от 5 до 10 м/с. Главным отличием розы ветров за 2017 год от средней многолетней явилась дополнительная мода восточно-северо-восточного направления при скорости ветра от 15 до 20 м/с (фиолетовый цвет на рис.6.6 а). В средних данных за 12 предыдущих лет эта мода не проявилась (белый цвет означает ничтожно малый размер выборки данных).



а) 2017 год;



б) 2004–2016 гг.

Рисунок 6.6. Роза ветров по данным содара «MODOS» в МО МГУ в слое воздуха от 40 до 500 м за 2017 год и в среднем за предыдущий период без учёта магнитного склонения.

Реже всего над Москвой, как и в другие годы, отмечались ветры северных и восточных румбов. Более подробный анализ преобладающих направлений ветра в отдельные месяцы приведён по наземным станционным данным в разделе 5.

6.4. Примеры изменений ветрового режима и стратификации нижней атмосферы по содарным данным

В завершение данного раздела, рассмотрим наиболее интересные примеры кратковременных изменений ветрового режима и температурной стратификации в нижнем 500-метровом и 800-метровом слоях воздуха по данным обоих содаров – «MODOS» и «ЭХО-1». Подборки подобных примеров применительно к данным о стратификации ранее были опубликованы в (Локощенко, 2006; Локощенко и Богданович, 2017), к данным о ветровом режиме – в (Локощенко, Алексеева, Ахиярова, 2016; Локощенко и Богданович, 2017). Как известно, структуры эхо-сигнала содара на его высотно-временной развёртке («содарной записи») не только отражают мелкомасштабную термическую турбулентность, но и тесно связаны с типом стратификации нижней атмосферы (Красненко, 1986). Говоря о содарных данных о стратификации, следует отметить их высокую степень подробности. Особенно успешно прослеживаются задерживающие слои инверсий. Однако визуальный анализ стратификации ограничен чрезвычайной трудоёмкостью подобного распознавания. Автоматизация определения стратификации по содарным данным возможна на основе использования методов нейронных сетей, однако эта задача пока не решена. Многолетние данные содара «ЭХО-1» о стратификации нижнего 800-метрового слоя воздуха над Москвой за период 1988–2003 гг. приведены в (Локощенко, 2007); впоследствии такой анализ проводился лишь эпизодически за отдельные промежутки времени – например, за летние месяцы 2016 г. его результаты опубликованы в (Локощенко и Богданович, 2017).

Рассмотрение 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. Полученные данные обоих содаров в день шквала 29 мая 2017 г. приведены и подробно рассмотрены ниже, в разделе 8.

6.4.1. Повороты ветра во времени

Резкие изменение направления ветра во времени обычно связаны с синоптическими процессами – прохождением либо фронтов, либо осей гребней или ложбин (Локощенко, Алексеева, Ахиярова, 2016). Так, на рисунке 6.7 показана высотно-временная развёртка данных содара «MODOS» о ветре. Здесь результат каждого отдельного измерения показан

в виде вектора, длина которого пропорциональна скорости ветра, а направление соответствует направлению ветра. Белыми стрелками отмечены моменты двух резких правых (по часовой стрелке) поворотов ветра, произошедших один за другим ночью 17 апреля 2017 г. Оба они были связаны с прохождением над Москвой двух атмосферных фронтов вблизи точки окклюзии циклона. В первом случае, приблизительно в 2 ч, направление ветра изменилось с юго-восточного на юго-западное. Затем, в 04.30–04.40, юго-западный ветер резко сменился северо-западным. Среднее направление ветра во всём диапазоне зондирования вплоть до 500 м ещё в 04.20 составляло без учёта магнитного склонения 241° и оставалось стабильным (в среднем за время с 02.10 до 04.20 – 233°). Однако уже в 04.30 оно составило 284° , а ещё через 10 мин достигло 315° и далее не менялось (в среднем за период с 04.40 до 07.00 – тоже 315°). В это же время, около 04.30, на стационарной барограмме в МО МГУ отмечено начало быстрого роста атмосферного давления, связанное с прохождением холодного атмосферного фронта, которое подтверждается и начавшимся похолоданием, и выпадением ливневых осадков. Таким образом, правый поворот ветра во времени в узкой зоне холодного фронта составил более 70° всего за 20 минут.

Ещё более резкий поворот ветра составил днём 30 июня всего за восемь часов (с 14 до 22 ч) два полных оборота (показаны стрелками), т.е. достиг около 720° (рис.6.8). Столь сильные повороты ветра за короткое время обычно наблюдаются вблизи центров барических образований при их прохождении над местом зондирования. Действительно, Москва в эти часы находилась вблизи центра вторичного циклона, в условиях ярко выраженных фронтальных процессов (в МО МГУ отмечались гроза и сильный ливневый дождь).

6.4.2. Поворот ветра с высотой

Яркий пример классического правого поворота ветра с высотой приведён на рис. 6.9. Как видим, юго-восточное направление ветра в нижнем 200-метровом слое воздуха сменяется на вышележащих высотах южным с небольшой западной составляющей. Как показано в (Локощенко, 2015), средняя величина правого поворота ветра с высотой в нижнем 500-метровом слое воздуха составляет в Москве по многолетним содарным данным около 20° .

6.4.3. Однородный поток

На рисунке 6.10 в данных содара «MODOS» наглядно виден однородный поток с почти постоянным северным направлением ветра в слое воздуха до 400 м и северо-восточным на вышележащих высотах (т.е. также наблюдается правый поворот с высотой).

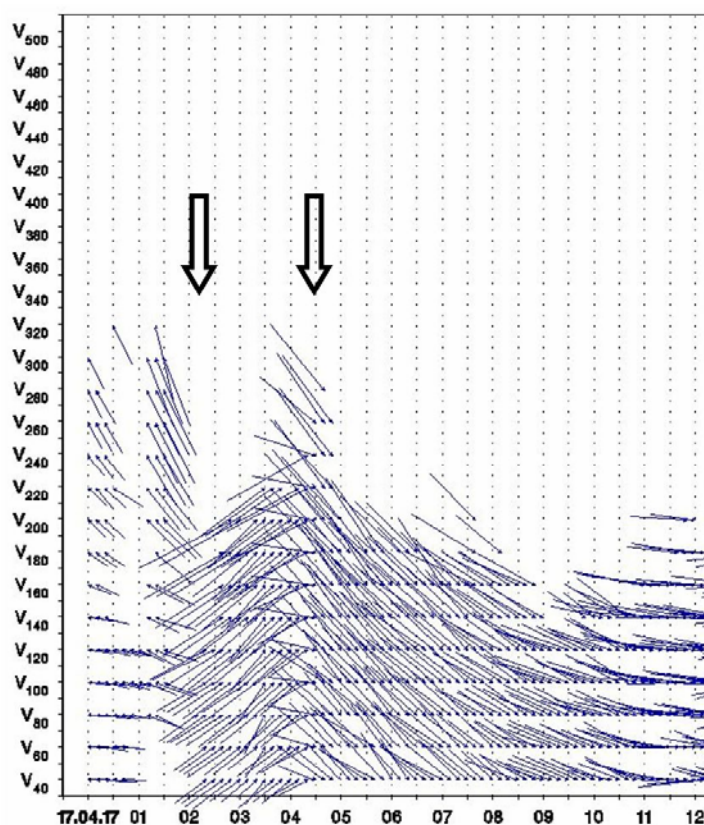


Рисунок 6.7. Правые повороты ветра во времени при прохождении атмосферных фронтов 17 апреля 2017 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ

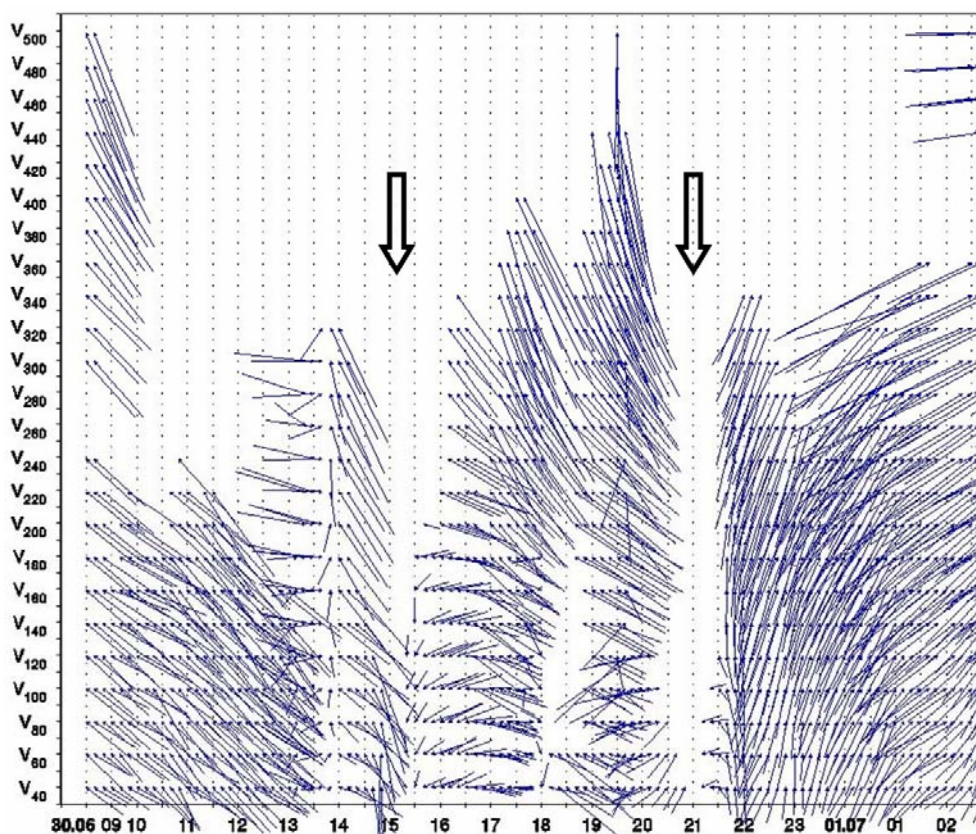


Рисунок 6.8. Правые повороты ветра во времени 30 июня 2017 г. вблизи центра вторичного циклона по данным содара «MODOS» в МО МГУ

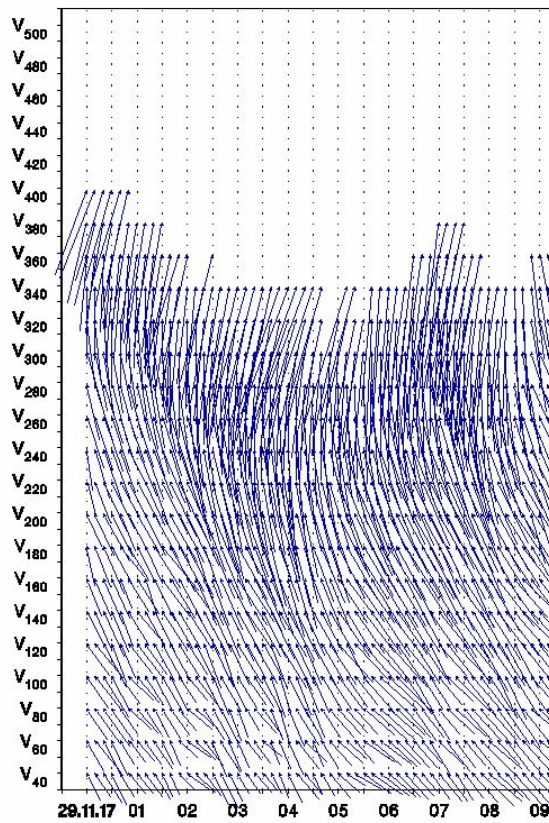


Рисунок 6.9. Правый поворот ветра с высотой 29 ноября 2017 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ

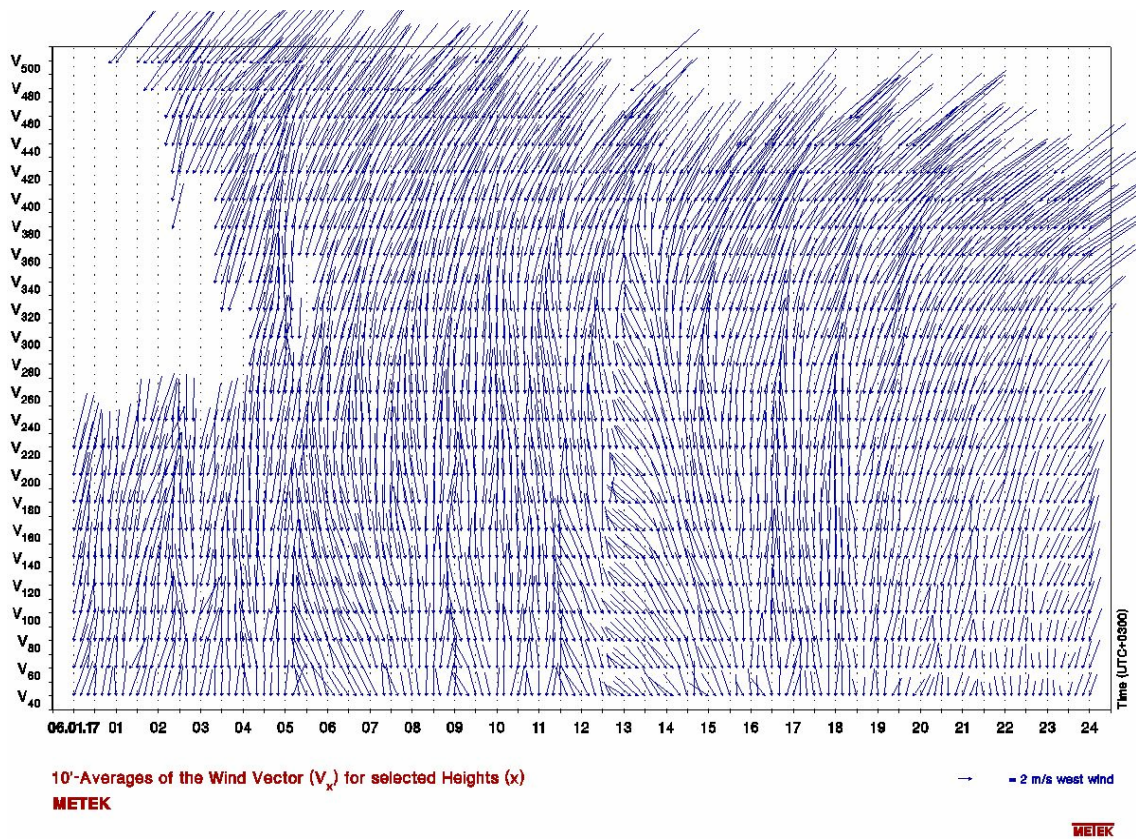


Рисунок 6.10. Северный и северо-восточный ветер при вхождении арктической воздушной массы 06 января 2017 г. по данным содара «MODOS» в МО МГУ.

Среднее направление ветра в слое воздуха от 40 до 200 м составило с 18 до 24 ч 06 января 11° (т.е. 22° с учётом магнитного склонения). Данный пример интересен тем, что следствием ультраполярного вхождения холодной арктической воздушной массы явилась самая низкая в 2017 году температура воздуха T , отмеченная в МО МГУ на следующий день: $-27,4^\circ\text{C}$ (см. разделы 1 и 2).

6.4.4. Приподнятые инверсии

Следствием вхождения морозного арктического воздуха на рис.6.10 явилась приподнятая инверсия, отчётливо проявившаяся в данных содара «ЭХО-1» в виде слоя сильного эхо-сигнала (чёрный цвет на рис.6.11) на высотах от 180 до 380 м. Подобные инверсии характерны для крупных городов при сильных морозах и являются, видимо, следствием интенсивного отопления; сходный пример в условиях аномально холодной зимы 2006 г. приведен в (Локощенко и др., 2008). Связь турбулентной структуры с нижней границей приподнятой инверсии подтверждается профилем T по данным радиозондирования на ближайшей аэрологической станции в г. Долгопрудном.

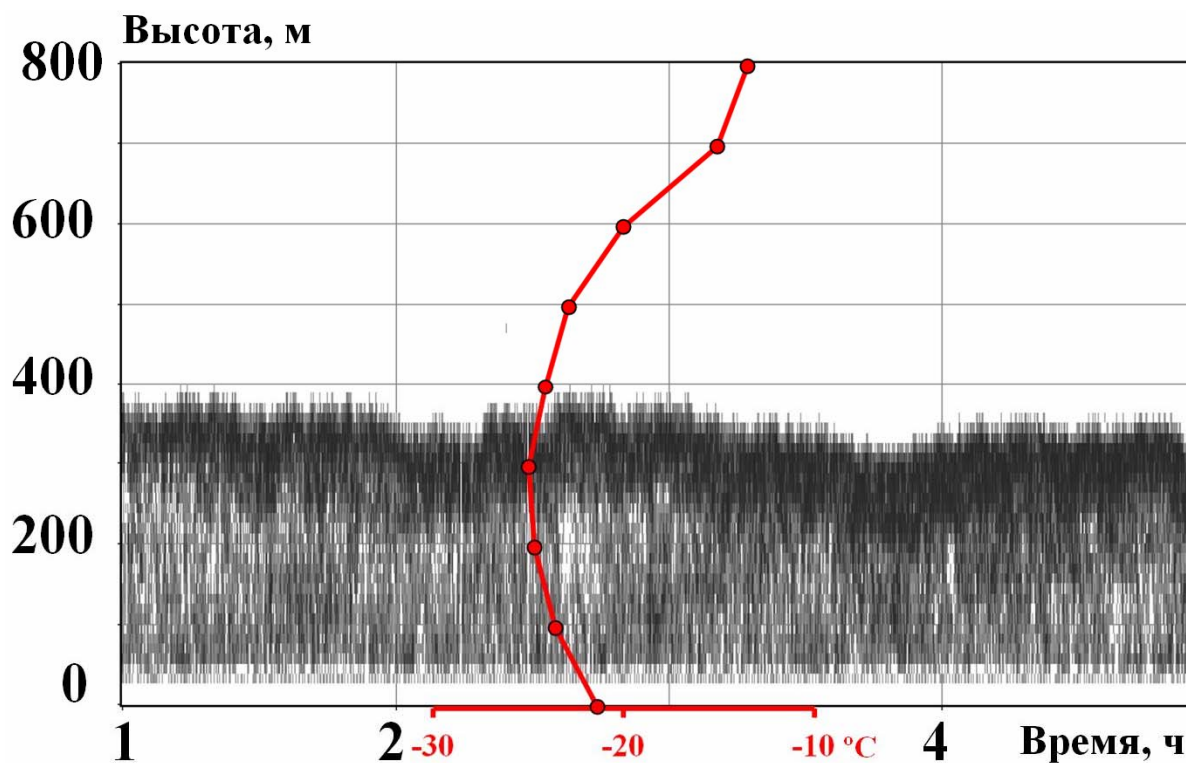


Рисунок 6.11. Турбулентная структура городской приподнятой инверсии при сильном морозе по данным содара «ЭХО-1» 07 января 2017 г. Красным цветом показан профиль температуры воздуха по данным радиозондирования в г. Долгопрудном.

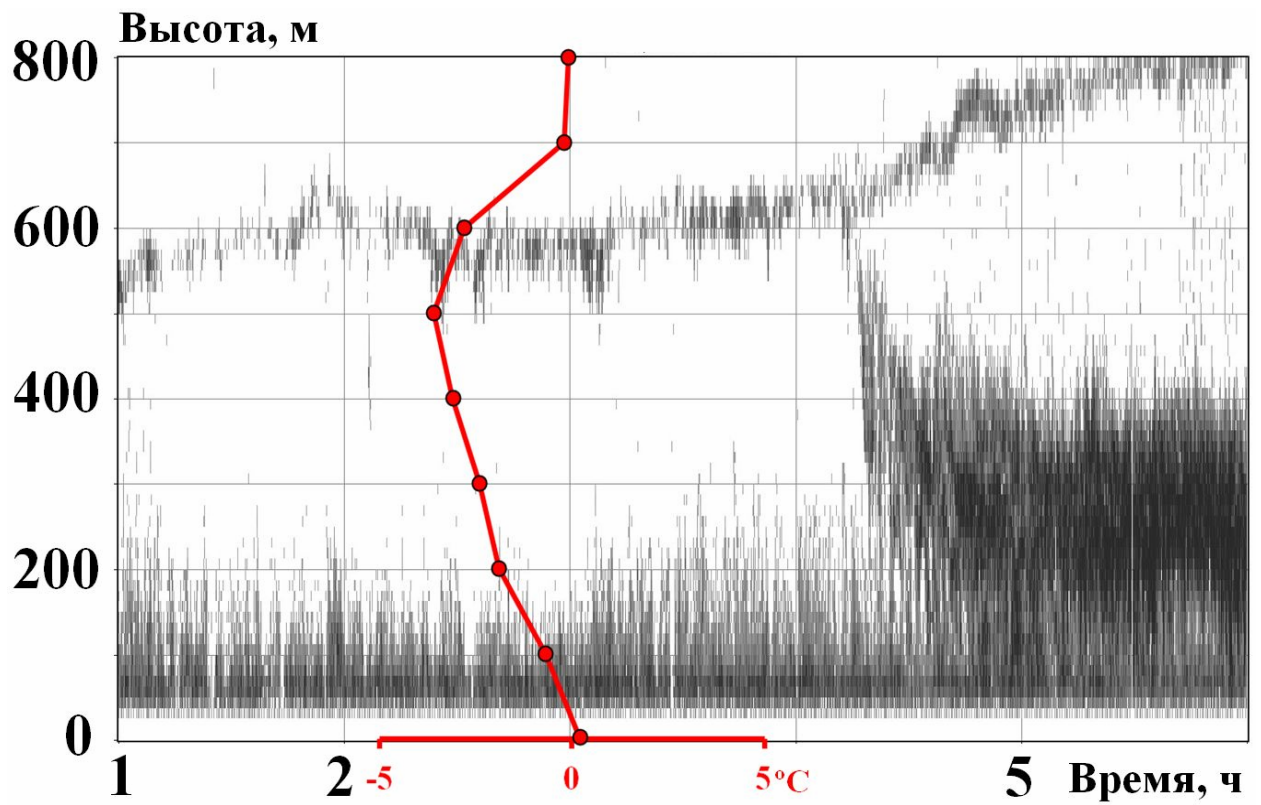


Рисунок 6.12. Турбулентная структура приподнятой инверсии оседания по данным содара «ЭХО-1» 29 декабря 2017 г. Красным цветом показан профиль температуры воздуха по данным радиозондирования в г. Долгопрудном.

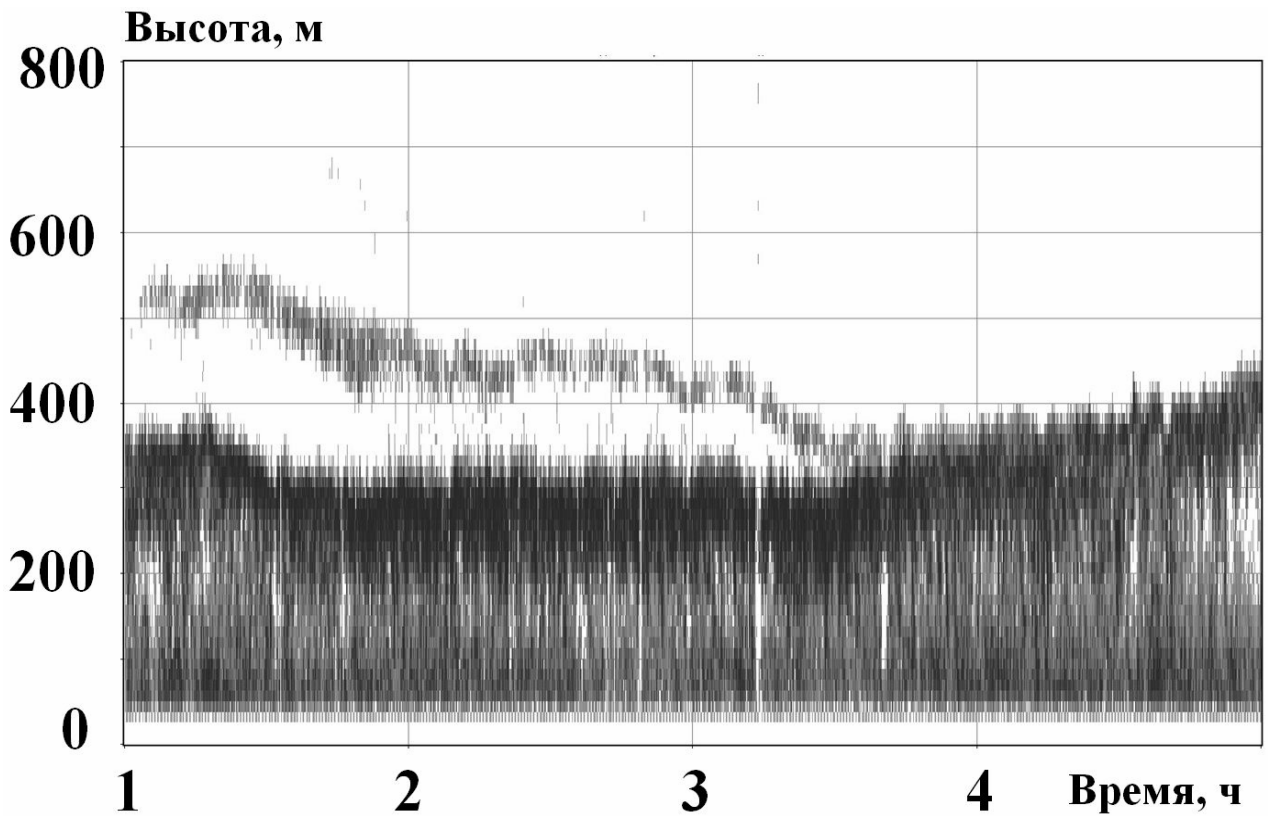


Рисунок 6.13. Турбулентная структура долгоживущей приподнятой инверсии оседания по данным содара «ЭХО-1» 26 ноября 2017 г.

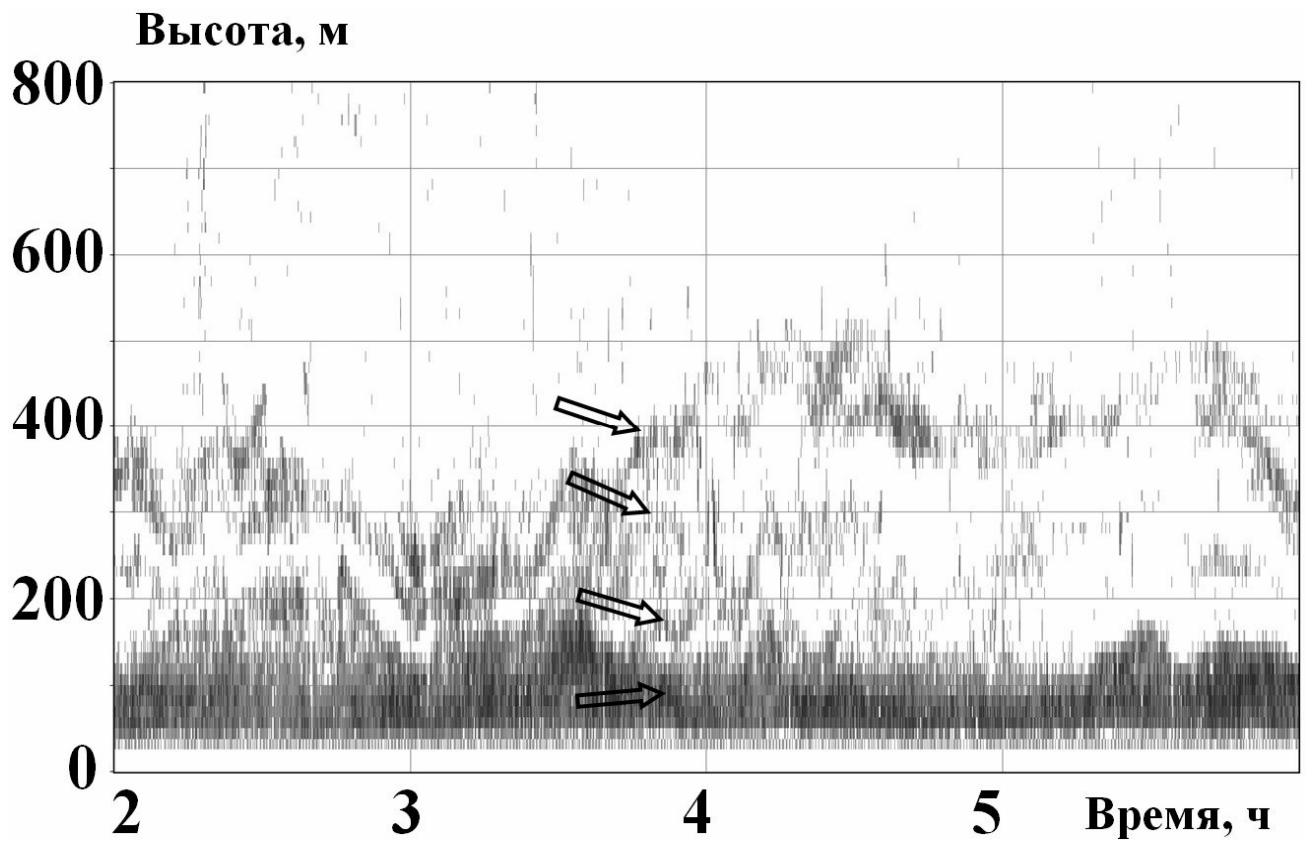


Рисунок 6.14. Турбулентные структуры четырёх слоёв инверсий (приземной и трёх приподнятых, показаны стрелками) по данным содара «ЭХО-1» 11 июня 2017 г.

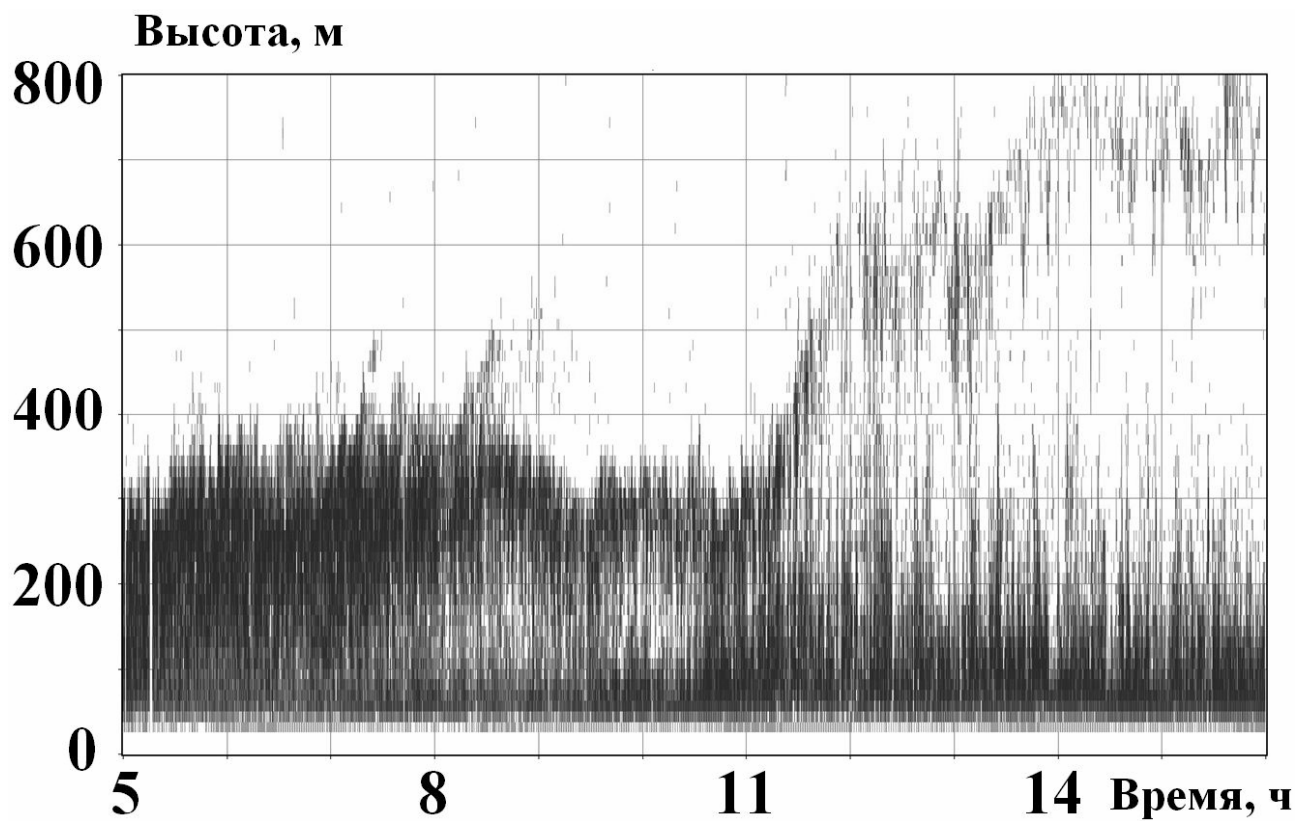


Рисунок 6.15. Турбулентная структура необычно долгой утренней приподнятой инверсии по данным содара «ЭХО-1» 22 марта 2017 г.

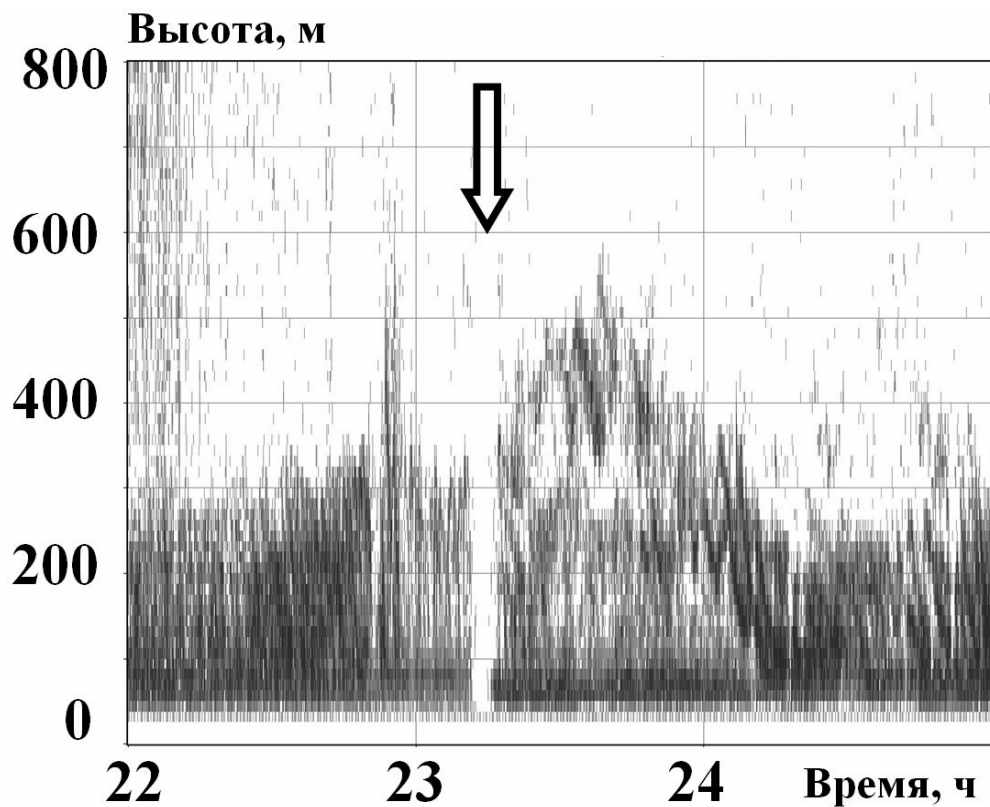


Рисунок 6.16. Проявление в турбулентной структуре динамического перемешивания при сильном ливне по данным содара «ЭХО-1» 15 июля 2017 г.

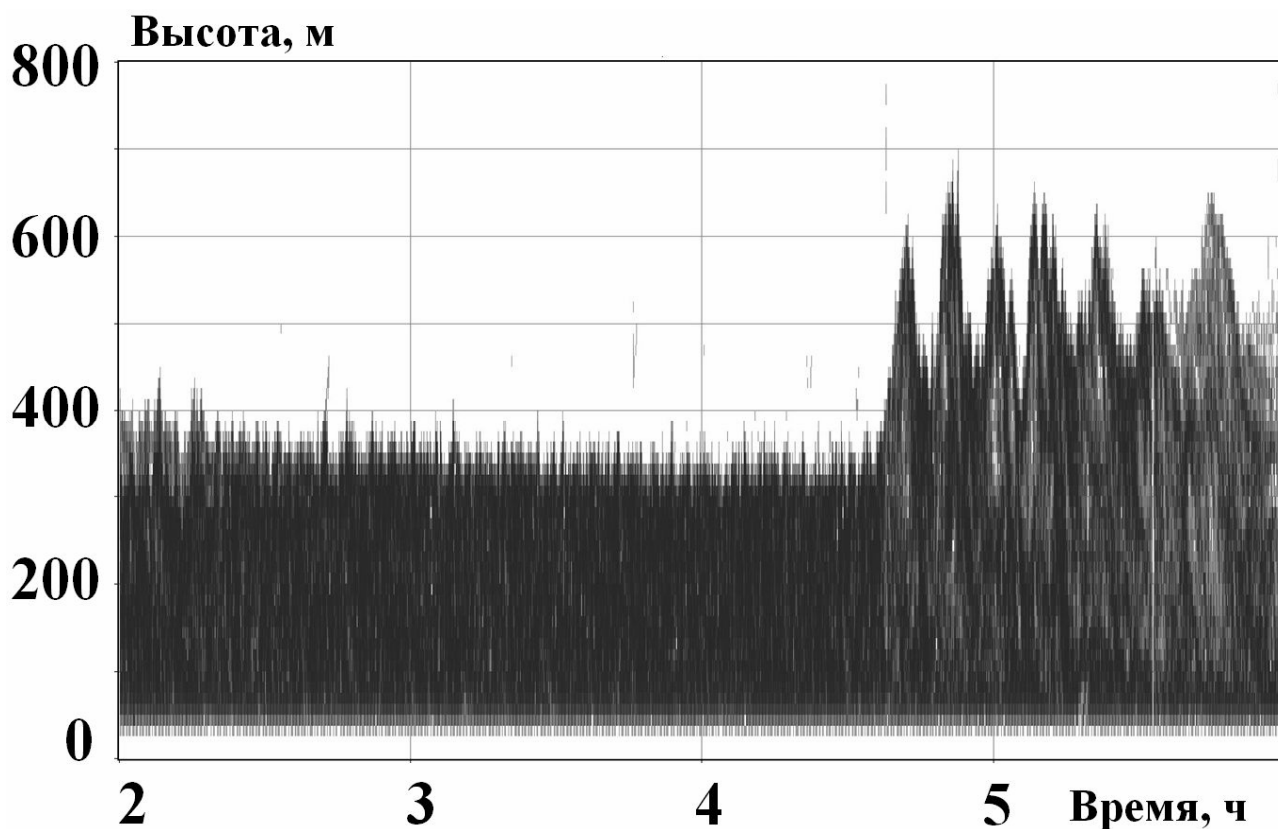


Рисунок 6.17. Прохождение гравитационных волн в турбулентной структуре приземной инверсии по данным содара «ЭХО-1» 18 сентября 2017 г.

Интересный пример сложной структуры приподнятой инверсии оседания приведён на рис.6.12. Как видим, после 4 ч эта приподнятая инверсия разделяется на две ветви, причём нижняя её ветвь вскоре сливается с приземной инверсией, верхняя же поднимается и вскоре выходит за пределы «потолка» зондирования. Как и в предыдущем случае, наличие приподнятой инверсии по содарным данным в виде слоя сильного эхо-сигнала в верхней части диапазона подтверждается результатами радиозондирования в г. Долгопрудном.

Ещё один пример приподнятой инверсии оседания показан на рис.6.13. Здесь, напротив, две отдельные ветви инверсии приблизительно в 03.30 сливаются, образуя единый слой. Данная инверсия оказалась одной из самых долгоживущих за всю тридцатилетнюю историю зондирования в МО МГУ содаром «ЭХО-1»: она непрерывно прослеживалась на содарной записи в течение 88 ч с 24 по 28 ноября 2017 года. Заметим, что самая долгая приподнятая инверсия непрерывно отмечалась с 16 ч 21-го до 23 ч 25-го ноября 2005 г., то есть в течение 103 часов.

На рис.6.14 приведён редкий пример четырёх слоёв инверсий, одной приземной и сразу трёх приподнятых (все они показаны стрелками), существовавших ночью 11 июня 2017 г. одновременно одна поверх другой. Заметим, что именно акустическое зондирование в своё время открыло перед исследователями сложную и подчас многослойную структуру устойчиво стратифицированной нижней атмосферы.

Пример утренней (инерционной) приподнятой инверсии показан на рис.6.15. Подобные инверсии являются остатками ночных приземных инверсий радиационного происхождения (Локощенко, 1994) и обычно существуют по инерции в течение нескольких часов, постепенно разрушаясь. В данном случае утренняя приподнятая инверсия существовала необычно долго: она отчётливо прослеживалась на содарной записи с 5 до 19 ч.

6.4.5. Динамическое перемешивание и прохождение волн

Яркий пример резкого усиления вертикального перемешивания, связанного с выпадением ливневых осадков, приведён на рис.6.16. Как видно, турбулентная структура приземной инверсии внезапно исчезла на содарной записи в 23.11 (это показано стрелкой) и проявилась вновь спустя пять минут, в 23.16. Очевидной причиной столь резкого исчезновения эхо-сигнала во всём диапазоне зондирования явился сильнейший ливень, отмеченный в стационарных наблюдениях МО МГУ с 23.12 до 23.15. Примечательно совпадение до минут времени начала и окончания этого метеорологического явления и промежутка на

записи с отсутствием эхо-сигнала. Восстановление структуры приземной инверсии после окончания сильного ливневого дождя, скорее всего, объясняется его локальным характером и приходом со стороны объёмов воздуха с не разрушенными осадками приземной инверсией.

Наконец, ещё один пример содарной записи (рис.6.17) показывает прохождение предположительно гравитационных волн в толще приземной инверсии. Как видно, начиная с 04.36, слой этой инверсии оказался сильно возмущённым волновыми движениями, проявившимися в характерном периодическом опускании отдельных порций более сильного эхо-сигнала.

Таким образом, содарные данные представляют собой ценный источник сведений о структуре нижней тропосферы и происходящих в ней процессах.

6.5. Выводы

1. Среднегодовая скорость ветра в нижнем 200-метровом слое воздуха в 2017 году оказалась по содарным данным самой высокой за все годы работы содара «MODOS» в МО МГУ. Статистически достоверных тенденций в изменениях скорости ветра по содарным данным, начиная с 2006 г., не прослеживается. Вместе с тем, данные стационарного анеморумбометра за последние 28 лет показывают постепенное ослабление ветра над Москвой.
2. Поворот ветра во времени в нижнем 500-метровом слое воздуха может достигать 720° в течение нескольких часов.
3. Приподнятые инверсии оседания могут отмечаться в нижнем 800-метровом слое воздуха несколько дней подряд.
4. В отдельных случаях в нижнем 800-метровом слое воздуха возможно существование четырёх слоёв инверсий одновременно.

Авторы благодарят А.В.Кочина за предоставленные данные радиозондирования ЦАО. Работа выполнена при частичной поддержке РФФ, проект № 16–17–10275, а также АО «Газпромнефть–МНПЗ».

Литература

- Красненко Н.П. Акустическое зондирование атмосферы. Новосибирск, издательство Наука, 1986, 168 с.
- Локощенко М.А. Акустическое зондирование приподнятых инверсий. М., Метеорология и гидрология, 1994, № 7, стр.24-38.
- Локощенко М.А. О метеорологических наблюдениях в обсерватории МГУ и их показательности с учётом местных условий. М., Вестник МГУ – Серия 5 География, 2005, № 6, стр.25-31.
- Локощенко М.А. Динамика термической турбулентности в нижней атмосфере Москвы по данным сонарного 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., Богданович А.Ю. Ветровой режим и температурная стратификация нижнего 800-метрового слоя воздуха (раздел 6 части I, стр.59–104). В сб.: Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2016 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В.Ломоносова. Под редакцией Е.И.Незваль, И.В.Сошинской. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 245 с. ISBN: 978-5-317-05711-4.
- Локощенко М.А., Еланский Н.Ф., Маляшова В.П., Трифанова А.В. «Динамика приземного содержания двуокиси серы в Москве». Оптика атмосферы и океана, 2008, том 21, № 5, стр.441-449.

7. Особенности облачного покрова и продолжительности солнечного сияния

Горбаренко Е.В.

Метеорологическая обсерватория, Географический факультет МГУ

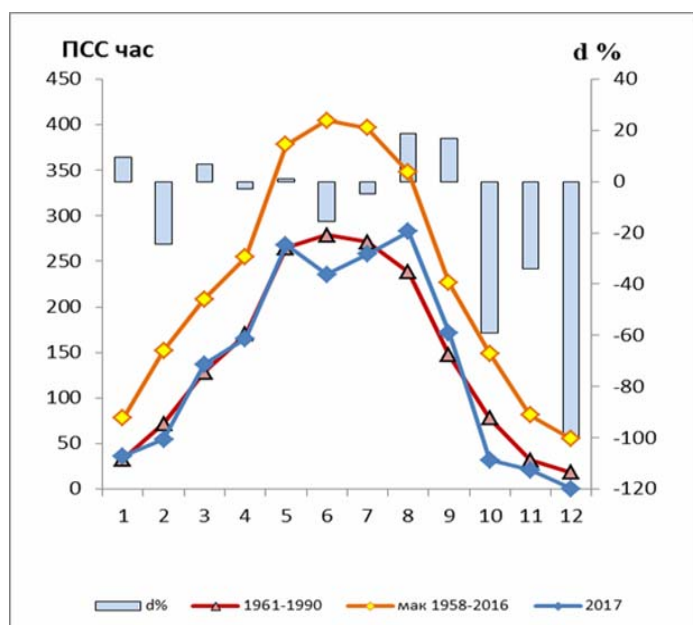
Информация о продолжительности солнечного сияния получена на основе записей гелиографа универсальной модели Кэмпбелла—Стокса. Дополнительная проверка проводится путем сопоставления значений ПСС и данных прямой солнечной радиации, наблюдения за которой ведутся в режиме непрерывной регистрации (с дискретностью 1 мин.). Анализ режима облачности представлен по ежечасным наблюдениям актинометрического отдела, проводимым в светлое время суток (с 6 до 21 ч), а также по наблюдениям в основные метеорологические сроки 00 и 03 ч.

Сравнительный анализ изменения метеорологических и радиационных параметров в 2017 году произведен относительно текущего (1981-2010 гг.) и исторического (1961-1990 гг.) базовых периодов. Данные сравнения приведены в таблицах, на рисунках представлены средние значения за исторический период.

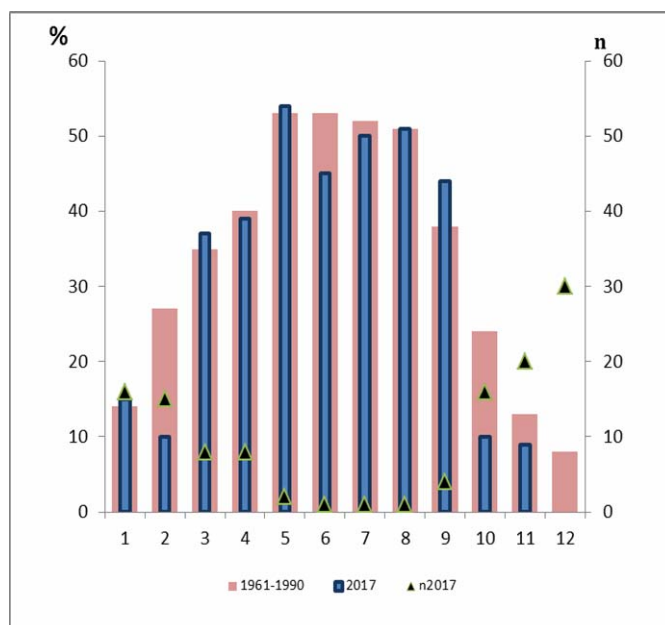
Продолжительность солнечного сияния (ПСС) в 2017 году составила 1661 час, это на 4,0% меньше исторической нормы и на 4,4 % меньше текущей. Годовое значение ПСС составило 37% от возможной ПСС (табл.7.1). Всего было отмечено 122 дня, когда в Москве Солнце в течение всего дня было закрыто облаками. Год можно отнести к «темным» годам. В ранжированном ряду по значениям годовой ПСС, он занимает 15 место из 64 с конца. Только пять месяцев в году значения ПСС превысили историческую норму и три месяца текущую (рис. 7.1). В годовом ходе максимальное значение ПСС сдвинулось с июня (по средним многолетним данным) на август. При этом июньское значение ПСС на 43 часа меньше исторической нормы, а в августе ПСС на 44 часа превысило норму. В августе наибольшее в году положительное отклонение ПСС от норм. Ясным, с продолжительным периодом «бабьего лета» был и сентябрь. Выше обеих норм и январское значение ПСС. Световой дискомфорт испытали Москвичи в декабре 2017 года. Солнце светило в городе меньше десяти минут. Декабрь 2017 года оказался вторым в рейтинге самых «темных» месяцев за период с 1954 года, ПСС составила 6 минут. В декабре 1968 года Солнце так и не показалось на небосводе Москвы, в декабре 1960 и 2000 гг. Солнце светило 3,1 и 3,4 часа соответственно. В два с лишним раза ниже нормы была ПСС в октябре, значительно ниже норм также ноябрьские и февральские значения ПСС. Месячные суммы ПСС не перекрыли экстремумы предыдущих лет.

Таблица 7.1. Продолжительность солнечного сияния

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
ПСС, часы													
2017	36,1	54,5	136,7	165,2	267,9	235,6	257,6	282,4	171,6	32	21,1	0,1	1661
1961-1990	33	72	128	170	265	279	271	238	147	78	32	18	1731
d%	9	-24	7	-3	1	-16	-5	19	17	-59	-34	-99	-4
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%	38,2	-11,5	-1,8	-6,4	-1,5	-13,5	-6,8	18,4	17,4	-59,0	-30,9	-99,5	-4,4
мин													
1958-2016	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													
1958-2016	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													
2017	15	10	37	39	54	45	50	51	44	10	9	0	37
1961-1990	14	27	35	40	53	53	52	51	38	24	13	8	38
Δ%	1	-17	2	-1	1	-8	-2	0	6	-14	-4	-8	-1
1981-2010	11	22	39	43	55	52	55	51	39	24	12	9	39
Δ%	4	-12	-2	-4	-1	-7	-5	0	5	-14	-3	-9	-2
число дней без Солнца													
n 2017	16	15	8	8	2	1	1	1	4	16	20	30	122
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



а)



б)

Рисунок 7.1. Годовой ход продолжительности солнечного сияния: а – продолжительность солнечного сияния в часах; б - % от возможного и число дней без Солнца (n)

Суточные суммы ПСС для 141 дней в году превысили средние многолетние значения (рис.7.2). Максимальные суточные значения ПСС ни в один из дней в 2017 году не превысили максимальных суточных значений за весь период наблюдений.

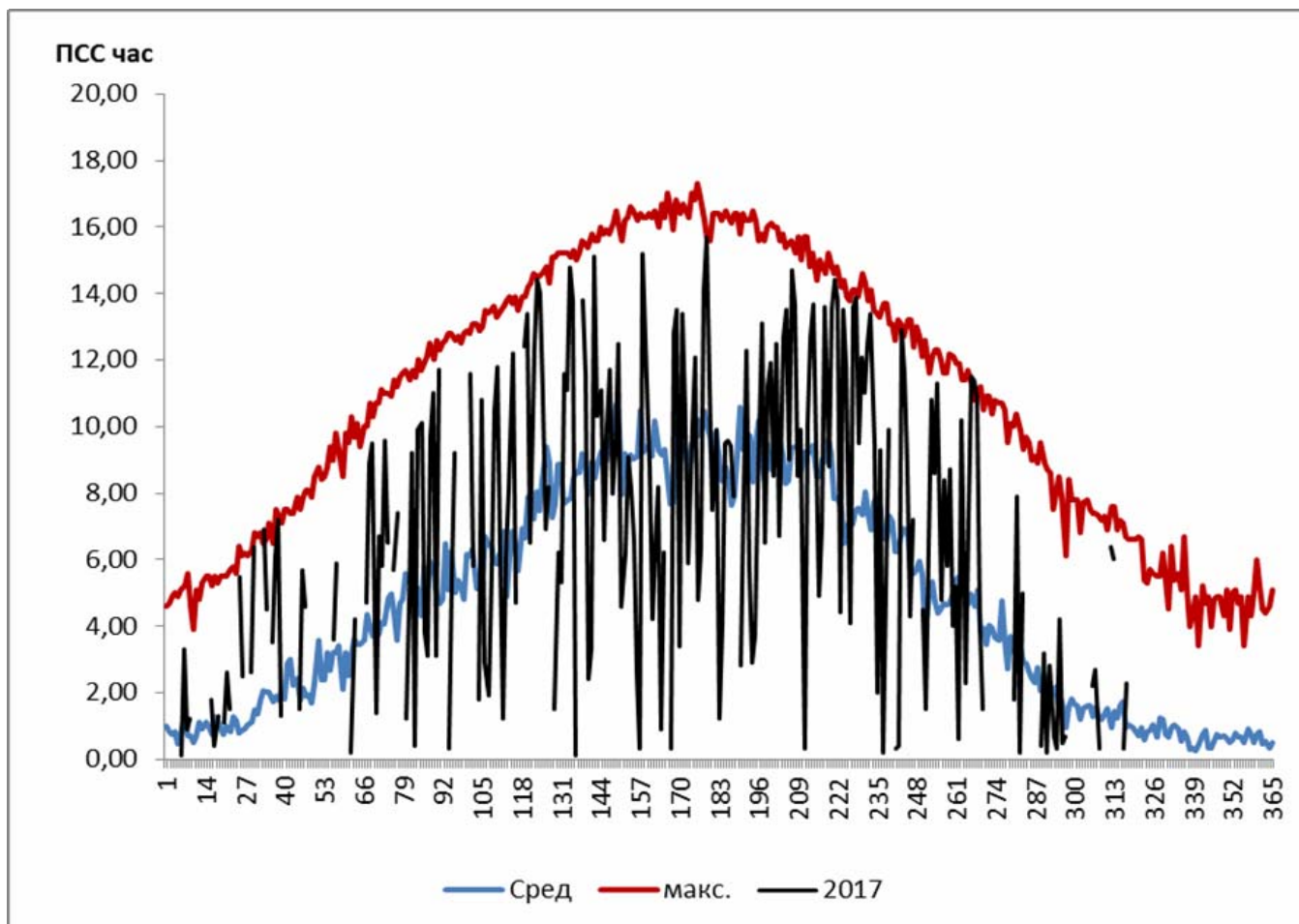


Рисунок 7.2. Годовой ход суточных значений ПСС за все дни года

Закономерности внутригодовой изменчивости продолжительности солнечного сияния обусловлены астрономическими факторами, определяющими длину дня. В реальных условиях ПСС зависит помимо астрономических факторов от метеорологических условий. Особенности изменчивости ПСС каждого года обусловлены, прежде всего, режимом облачности. Год 2017 был «пасмурным», среднее годовое количество как общей, так и нижней облачности превысило нормы (табл.7.2, рис.7.3). Положительная аномалия ПСС в августе связана с малооблачной погодой; балл общей и нижней облачности в августе наименьший в году. Количество общей облачности оказалось меньше норм (применительно к ежечасным данным облачности – средних значений за периоды 1965-1990 и 1981-2010 гг.)

только в августе, нижней – в августе и сентябре. В декабре количество общей облачности в течение всего месяца достигло 10 баллов, повторив рекорд 2000 года.

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, допустимых 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.

Таблица 7.2. Облачность

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
балл общей облачности за светлую часть суток													
2017	8,8	8,8	8,7	8,9	7,6	8,6	8,3	6,7	8,2	9,6	9,5	10	8,6
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	0,4	0,9	0,7	1,1	0,4	1,3	1,1	-0,4	0,2	0,9	0,4	0,9	0,7
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	0,2	0,7	0,7	1,0	0,3	1,3	1,0	-0,4	0,1	1,0	0,5	1,0	0,3
мин 1965-2016	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 1965-2016	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													
2017	7,3	7,3	5,7	6,2	5,3	6,2	5,8	4,3	5,6	8,7	8,7	9,6	6,7
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	0,8	1,6	0,2	0,9	0,8	1,2	0,8	-0,6	-0,3	1,7	0,7	1,9	0,8
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	0,4	1,3	0,2	0,8	0,6	1,2	0,7	-0,7	-0,4	1,7	0,7	1,8	0,7
мин 1965-2016	3,6	1,7	2,8	3,2	2,8	2,9	2,3	3,2	3,3	4,4	5,3	5,3	4,8
год	1973	1969	1969	2014	1967	1972	1996, 2010	1974	1974	1987	1967	2002	1967
макс 1965-2016	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 2017													
общ. обл.	8,8	8,9	8,5	8,7	7,5	8,4	8	6,9	7,9	9,6	9,2	10	8,5
ниж. обл.	7,5	7,4	5,6	5,8	5,3	5,9	5,3	4,1	5,4	8,6	8,5	9,6	6,6

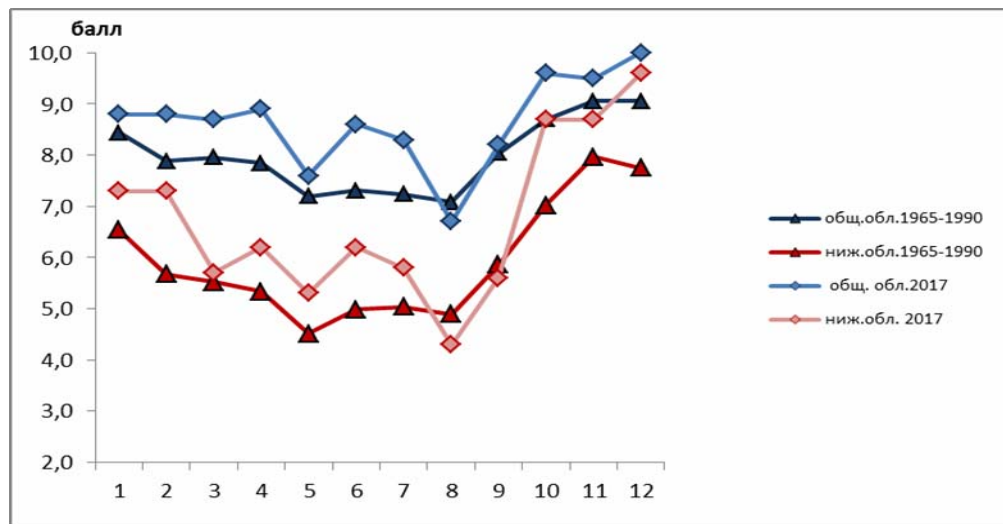
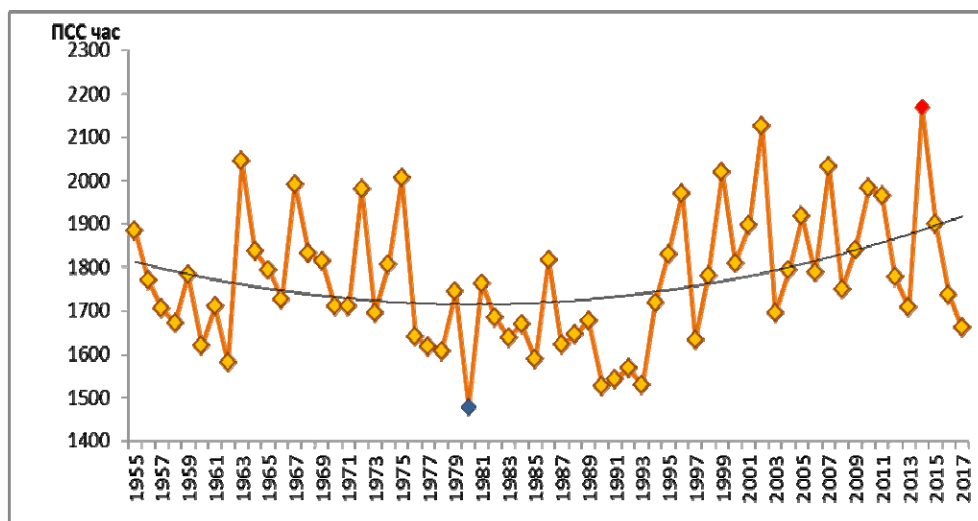
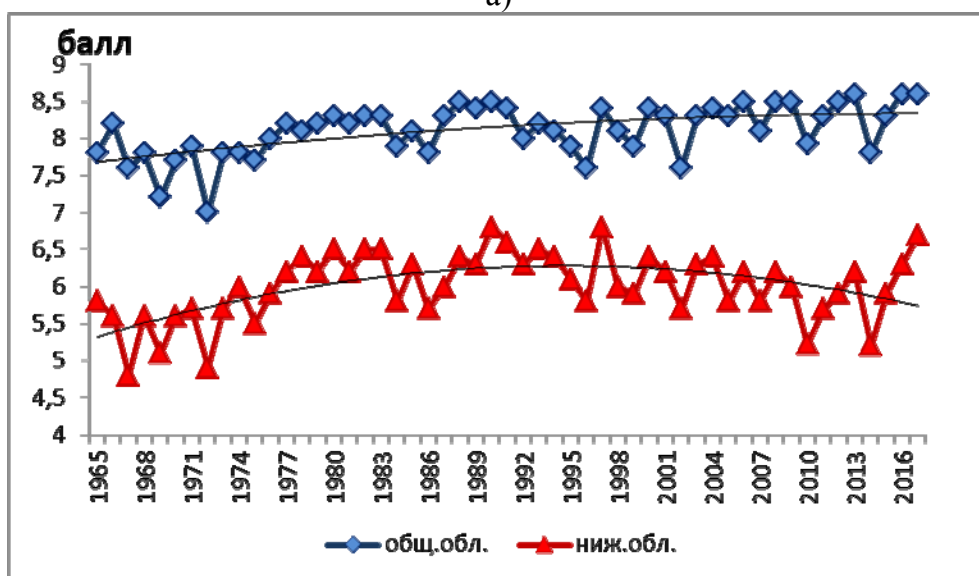


Рисунок 7.3. Годовой ход балла облачности в сравнении с нормой (полученного за светлое время суток)



а)



б)

Рисунок 7.4. Многолетние изменения: а – ПСС, б – общей и нижней облачности за светлое время суток. Сплошные чёрные линии – параболические тренды

В многолетней изменчивости ПСС, как видно на рис. 7.4 а, в соответствии с ростом балла нижней облачности в последние 3 года отмечается её уменьшение. Таким образом, данные трёх последних лет не подтверждают отмечавшуюся прежде, начиная с начала 1990-х гг., многолетнюю тенденцию к росту этого показателя, отражённую на рисунке параболическим трендом. Для количества общей облачности, так же как и для нижней, продолжился рост (рис. 7.4 б).

Подытоживая сказанное выше, заметим, что 2017 год, кроме только августа, выдался в целом пасмурным и тёмным годом. Декабрь же явился аномально тёмным месяцем – вторым в ряду всех месяцев за 64 года наблюдений в МО МГУ.

8. Метеорологические условия разрушительного шквала в Москве 29 мая 2017 г.

Локощенко М.А.

*Метеорологическая обсерватория, Географический факультет МГУ
Институт физики атмосферы имени А.М.Обухова РАН*

8.1. Шквалы в Москве

Опасные метеорологические явления и связанные с ними стихийные бедствия нередко приводят к массовым разрушениям и даже к гибели людей. Сравнительная редкость в средних широтах явлений, связанных с особо сильным развитием термической конвекции (ураганов, шквалов, торнадо и т.п.) часто не позволяет осуществить их полноценный статистический анализ ввиду малой выборки данных наблюдений. К числу подобных явлений относят и разрушительные шквалы или «шквальные бури», означающие резкое усиление ветра в течение короткого времени (Природные опасности России, 2001; Хромов и Мамонтова, 1974). Шквалы часто связаны с прохождением вихрей с горизонтальной осью вращения (Природные опасности России, 2001) вблизи поверхности холодных атмосферных фронтов. Обычно они сопровождаются грозами, но могут наблюдаться и как самостоятельное явление в отсутствие гроз (Природные опасности России, 2001), соответственно, – «грозовые» и «дуговые» шквалы в терминах (Наливкин, 1969). Шквалы относятся к локальным явлениям погоды: они кратковременны (в одном месте обычно наблюдаются несколько минут) и охватывают площади порядка десятков или сотен км (Рубинштейн, Сорочинский, 1964). Возникают они обычно в тёплое время года – летом или в мае.

В Московском регионе особо сильные шквалы в прошлом наблюдались 18 июня 1900 г. (в селе Быково), 29 июня 1904 г. и 28 мая 1937 г. (Наливкин, 1969). В последние десятилетия они были отмечены 25 июня 1984 г., 20–21 июня 1998 г. (подробный анализ этого случая приведён в (Природные опасности России, 2001)), 24 июля 2001 г. (в северной части столицы (Локощенко, Семёнова, 2003)), 20 июля 2010 г. (на юго-востоке города), а также 29 мая 2017 г. и 21 апреля 2018 г. Все эти события сопровождались падением деревьев, строительных конструкций и прочими разрушениями, а в 1998, 2017 и 2018 гг. – даже человеческими жертвами. Задачей данного раздела явилось подробное обсуждение метеорологических условий шквала в Москве 29 мая 2017 года по данным измерений в МО МГУ и других местах.

8.2. Измерения скорости ветра и температуры воздуха в МО МГУ

В МО МГУ, помимо традиционных восьмисрочных наблюдений, работает автоматический комплекс АМК, ежеминутно регистрирующий значения основных метеорологических величин, включая скорость V и направление ветра по данным датчика 05103 производства компании R. M. Young (США). Помимо этого датчика, для измерений ветра в МГУ используются традиционный отечественный анеморумбометр М-63М с автоматической регистрацией максимального порыва ветра между сроками, а также флюгеры Вильда с лёгкой и тяжёлой досками. Все эти средства измерений установлены на анемометрической вышке на высоте 15 м. Стандартной высотой ветровых измерений является 10 м, однако допускается её увеличение в зависимости от местных условий (Наставление, 1984). Помимо точечных наблюдений за ветром в приземном слое воздуха, здесь также работает первый в России серийный доплеровский акустический локатор (сонар) «MODOS» производства фирмы МЕТЕК (Германия), измеряющий средние за каждые 10 минут скорость и направление ветра в слое воздуха от 40 до 500 м с шагом 20 м по высоте. Высокое качество данных о ветре этого сонара было проверено в ходе эксперимента, проведённого на полигоне высотной метеорологической мачты в г. Обнинске, что подтверждено актом НПО «Тайфун». Помимо сонара «MODOS», в МГУ работает также вертикальный одноканальный сонар «ЭХО-1» производства ГДР, дающий подробные сведения о термической и турбулентной структуре атмосферного пограничного слоя, а также о некоторых характеристиках ветрового режима (вертикальной составляющей скорости W и её среднеквадратическом отклонении σ_W). Профили W и σ_W доступны и по данным сонара «MODOS».

Заметим, что в фирменном программном обеспечении сонара «MODOS» предусмотрен автоматический контроль достоверности исходных данных. Этот контроль носит комплексный характер и осуществляется с учётом отношения сигнала к шуму (не менее 3), а также дополнительных особенностей: наличия не слишком широкого и не слишком узкого основного максимума в спектре эхо-сигнала, его значительного превышения над вторичными максимумами в этом спектре, а также над основным максимумом в спектре шума и пр. Прошедшие этот контроль данные подвергаются однократному автоматическому сглаживанию с учётом соседних отсчётов как в пространстве, так и во времени.

Порог чувствительности (трогания) по скорости датчика (четырёхлопастного винта) составляет 0,8 м/с для М-63 и 0,6 м/с для усовершенствованной модели М-63М; погрешность измерения как мгновенной, так и максимальной скорости ветра V составляет для М-

63М: $\pm(0,5+0,05V)$ м/с (Справочник, 1971). Порог чувствительности 05103, согласно описанию фирмы-производителя, равен 1 м/с (видимо, в реальности он меньше), а точность измерений V этим датчиком составляет $\pm 0,3$ м/с. Точность измерений V содаром "МО-DOS" в соответствии с сертификатом этого локатора: $\pm 0,24$ м/сек при $V \leq 6$ м/с и $\pm 4\%$ при $V > 6$ м/с. Точность измерений направления ветра: $\pm 3-4^\circ$ для $V > 5$ м/с (Локощенко, 2014).

Температура воздуха в МО МГУ измеряется традиционным стационарным психрометром Августа (т.е. термометром ТМ-4) в английской жалюзийной будке, биметаллическим датчиком стационарного термографа и датчиком HMP45D производства фирмы Vaisala (Финляндия) в составе автоматической станции АМК. Все эти три средства измерений установлены на одинаковой стандартной высоте 2 м и снабжены радиационной защитой. Погрешность измерений T ртутным термометром ТМ-4 в жалюзийной будке не превышает $\pm 0,2$ °С при температуре от 0 до +50 °С и $\pm 0,3$ °С при температуре ниже 0 °С (Справочник, 1971). HMP45D представляет собой общий блок измерений температуры и влажности; датчиком температуры воздуха в нём служит металлический термометр сопротивления (платиновая проволока) Pt100. Абсолютная погрешность измерений T этим датчиком находится в пределах $\pm(0,2+0,01 \cdot \Delta T)$, где ΔT – разность между температурой воздуха и значением +20 °С. Таким образом, при обычных летних значениях температуры воздуха точность её традиционных и автоматических измерений практически совпадает.

8.3. Шквал 29 мая 2017 года в данных о ветре

Днём 29 мая 2017 г. в Москве произошло особо опасное метеорологическое явление разрушительного шквала, приведшее к гибели 16 человек и многочисленным разрушениям в столице и её окрестностях (примеры падения деревьев приведены на рис.8.1). В Метеорологической обсерватории МГУ шквал был отмечен в период с 15.39 до 15.50 (здесь и далее указано Московское зимнее время, т.е. время 2-го часового пояса +1 ч).

Ночью, утром и в начале дня Москва находилась в тёплом секторе циклона, смещавшегося в юго-восточном направлении; центр этого циклона в начале ночи находился над Карелией, а к середине дня – над Ярославской областью севернее Москвы. Господство воздушной массы, вероятно, тропического происхождения (частично трансформированной в температурном режиме) определило сравнительно высокий фон значений температуры воздуха в первой половине дня 29 мая в Москве: так, максимальная температура достигла в МО МГУ к 15 часам 26,4 °С.

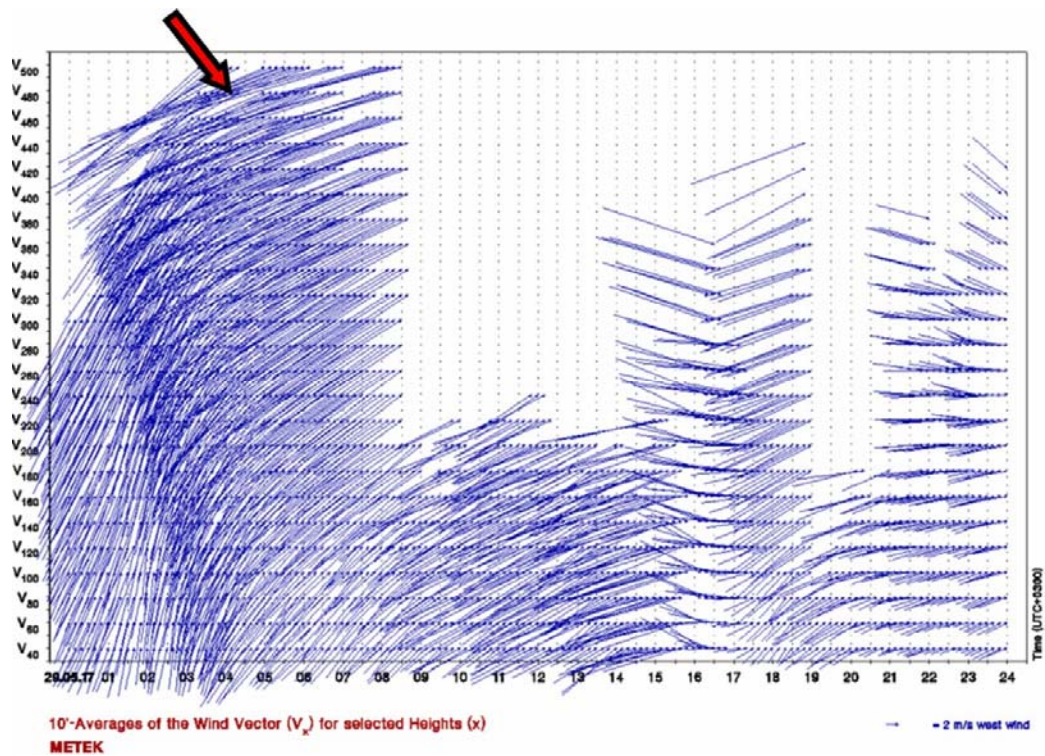


Рисунок 8.1. Разрушения после прохождения шквала 29 мая 2017 г. в районе МГУ: у второго корпуса Метеорологической обсерватории на обочине Мичуринской аллеи (слева) и на улице академика Хохлова (справа). Москва, МГУ. *Фотографии автора*

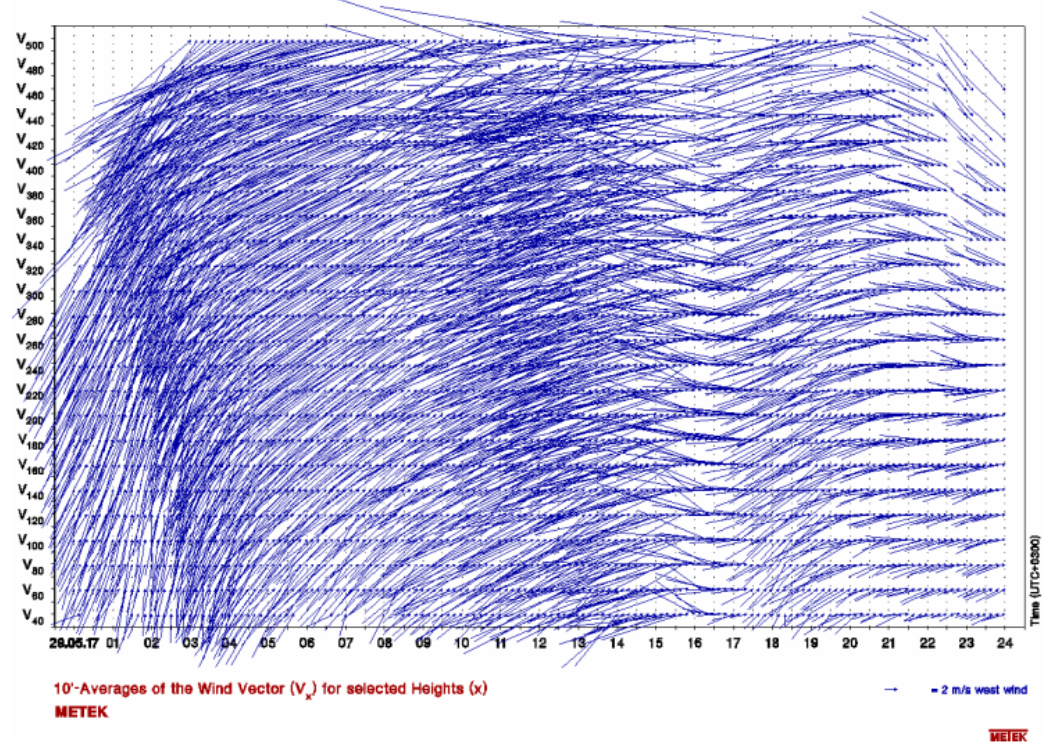
В ряду предпосылок шквала следует отметить высокий фон значений скорости ветра уже в ночные часы: так, в 4.10 на высоте 480 м скорость по содарным данным достигла значения 32,6 м/с (это значение показано красной стрелкой на рисунке 8.2, на котором приведена высотнo-временная развёртка содарных данных о скорости и направлении ветра в течение всего дня 29 мая). Для сравнения на этом же рисунке приведены и исходные (не сглаженные и не прошедшие автоматический контроль) данные содара о ветре за тот же день. Согласно этим исходным данным, в 4.10 на высоте 480 м скорость ветра достигла даже большего значения: 33,7 м/с. Если бы данное значение было отмечено в приземном слое воздуха, оно знаменовала бы собой явление урагана (12-й балл по шкале Бофорта). Для большей наглядности динамика V в продолжение этого часа (с 4 до 5 ч) показана более подробно на рисунке 8.3.

Заметим, что ураган в московском регионе в обозримом прошлом не отмечался ни разу ни на одной наземной станции. Но даже на высотах около 500 м столь большие значения скорости ветра, исходя из опыта многолетнего акустического зондирования в МГУ, наблюдаются крайне редко, в среднем – лишь один раз в год (Локощенко, 2014). Данный результат отражает усиление крупномасштабного потока уже ночью 29 мая в градиентной зоне между циклоном на севере ЕТС (над Карелией и Ленинградской областью) и антициклоном над Румынией, что подтверждается также картами приземного анализа. Очевидно, усиление фоновых значений скорости ветра послужило одной из причин аномально большой скорости ветра во время явления шквала. Высокий фон значений V подтверждается и ночным выпуском радиозонда в ЦАО в г. Долгопрудном в 24 км от МГУ: в 02.30 скорость

ветра составила там по этим данным 19 и 22 м/с на высотах соответственно 400 и 500 м (по данным содара «MODOS» в МГУ в 02.30 на высотах 400 и 440 м отмечены очень близкие значения: соответственно 19,3 и 22,9 м/с).



а) прошедшие программный контроль достоверности;



б) исходные данные.

Рисунок 8.2. Данные содара «MODOS» о ветре в нижнем 500-метровом слое воздуха 29 мая 2017 года в МО МГУ. Красной стрелкой показано наибольшее сглаженное значение 32,6 м/с

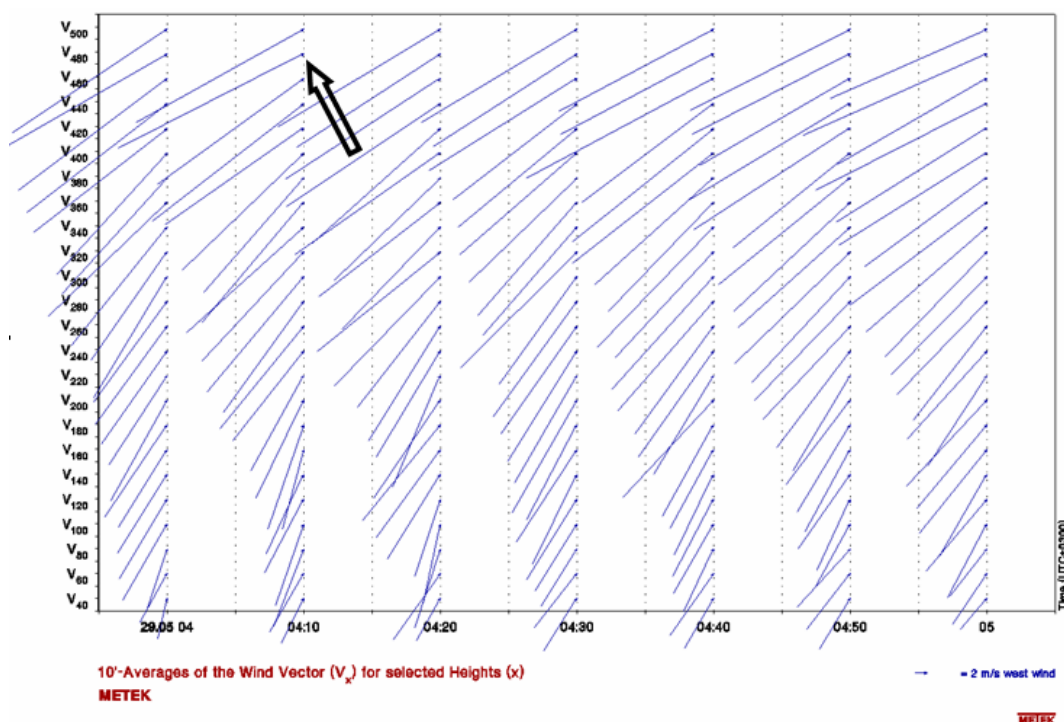
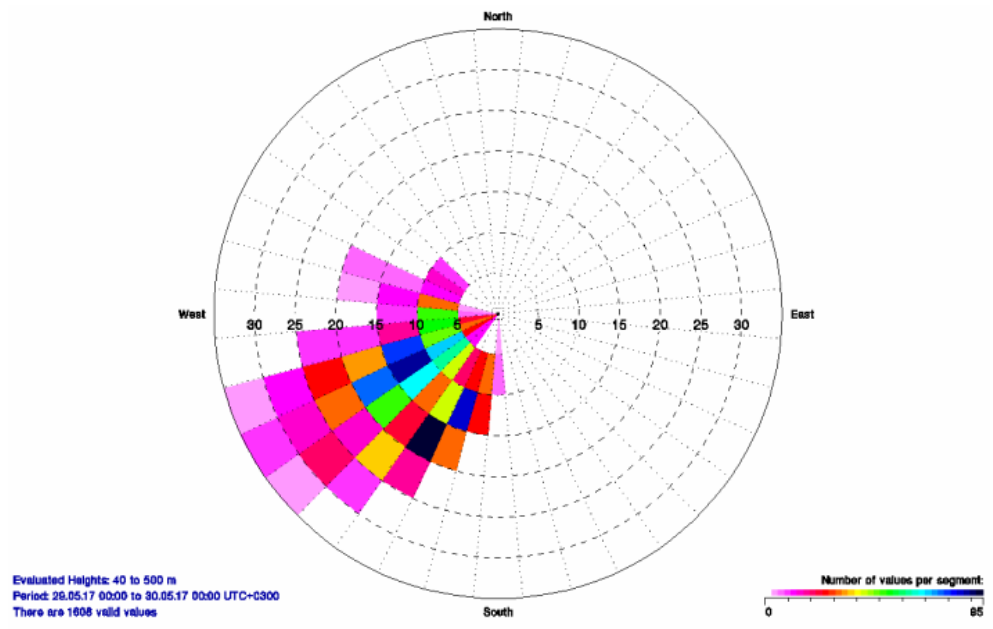


Рисунок 8.3. Исходные данные содара «MODOS» о ветре в нижнем 500-метровом слое воздуха с 4 до 5 ч 29 мая 2017 г. в МО МГУ. Белой стрелкой показано наибольшее исходное значение 33,7 м/с

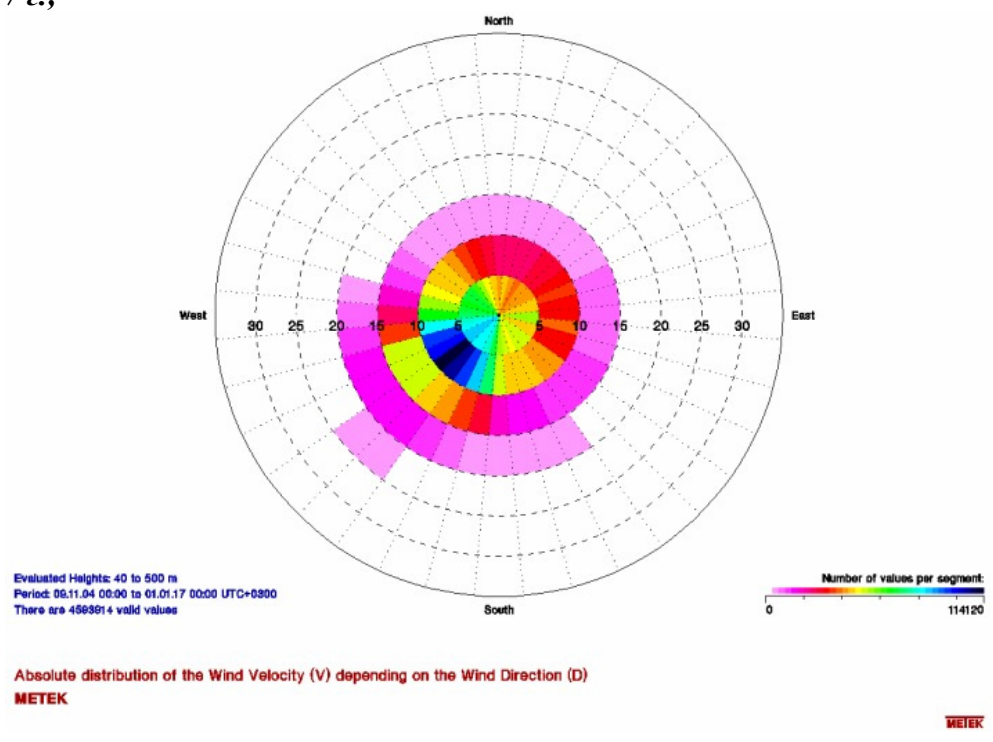
В Метеорологической обсерватории МГУ за всю историю регистрации максимального порыва скорости ветра как отдельного показателя с 1975 г. (т.е. со времени внедрения анеморумбометров серии М-63) его максимальное значение составляет 28 м/с и было отмечено 25 июня 1984 г. Нечего и говорить, что оно сопровождалось шквалом. Этот и другие случаи столь больших значений V получили в широком обиходе названия «ураганов», хотя на самом деле были вызваны резкими шквалистыми усилениями ветра. Так, максимальный порыв ветра V_{\max} в МО МГУ по данным М-63М составил 20 м/с ночью 20-21 июня 1998 г., 17 м/с 24 июля 2001 г. и лишь 6 м/с 20 июля 2010 г. (тогда разрушениям подверглась только юго-восточная часть города). Днём 29 мая 2017 г. при прохождении шквала стационарный прибор М-63М показал максимальный порыв 24 м/с, тогда как более чувствительный датчик 05103 комплекса АМК, обладающий меньшей инерцией, зарегистрировал значение максимального порыва 28,3 м/с. Оба прибора работают одновременно на одной высоте, однако датчик 05103 пока не сертифицирован и не внесён в государственный реестр средств измерений, хотя сам по себе комплекс АМК, в состав которого он входит, стандартизован Росгидрометом.

Таким образом, возникла методическая неопределённость в отношении величины отмеченного максимального порыва. Формально, без учёта различий в характеристиках М-

63М и 05103, можно считать, что в МГУ наблюдалось повторение рекордно большого значения максимального порыва, отмеченного в 1984 г. Заметим, что наибольшее среди всех станций Москвы и Подмосковья значение V_{max} днём 29 мая 2017 г. по данным тех же датчиков 05103 составило 30 м/с во Внуково – возможно, вследствие более открытого там характера местности в районе аэропорта.



а) 29 мая 2017 г.;



б) за период 2004-2016 гг.

Рисунок 8.4. Роза ветров в нижнем 500-метровом слое воздуха над Москвой по данным содара «MODOS» в МГУ

Примечательно близкое соответствие содарных данных о ветре данным радиозондирования в ЦАО в 14.30, согласно которым скорость ветра в слое воздуха от 100 до 400 м возрастала от 13 до 16 м/с, а в вышележащем слое от 400 до 1000 м достигала 16-17 м/с. Согласно данным содара «MODOS» в МО МГУ, средняя за 10 мин V составила в 14.30 14,6 м/с на высоте 100 м. Таким образом, высокий фон значений скорости ветра наблюдался и в середине дня, непосредственно перед шквалом. В среднем за весь этот ветреный день 29 мая средняя за 10 мин V в слое от 40 до 200 м составила по данным «MODOS» 10,0 м/с. Это – вдвое больше среднего многолетнего (за период 2004–2016 гг.) значения для данного слоя воздуха в мае, которое составляет по содарным данным лишь 4,8 м/с.

На рисунке 8.4 приведены розы ветров по содарным данным в целом за весь день 29 мая 2017 г. и, для сравнения, – за многолетний период 2004-2016 гг. Как видно, в течение всего дня 29 мая отмечалось абсолютное преобладание западно-юго-западного направления ветра. В цветовой шкале повторяемостей очевидно заметное превышение скорости ветра по сравнению с её обычными значениями – так, в продолжение всего дня было отмечено 16 исходных отсчётов со значениями скорости даже более 30 м/с. Если в среднелетних данных модальный интервал значений скорости ветра составляет от 5 до 10 м/с (синий и чёрный цвет в цветовой шкале), то 29 мая этот интервал сильно смещён в сторону более высоких значений. При анализе обеих роз ветров нужно учесть магнитное склонение, поскольку антенная система содара ориентирована по магнитной стрелке компаса.

8.4. Шквал 29 мая 2017 года в данных стационарных метеорологических измерений

Данный случай шквала 29 мая 2017 г. был нетипичным, поскольку не сопровождался ни грозой, ни аномально высокими значениями верхней границы облаков по данным радиолокаторов. Очевидно, он был вызван в первую очередь обострённым холодным фронтом, прошедшим Москву днём, и очень быстрой скоростью его прохождения. В этом убеждают данные автоматического комплекса АМК с поминутной регистрацией основных метеорологических величин на рисунке 8.5. Как видим на рис.8.5 а), резкое уменьшение температуры воздуха составило в МГУ 10 °С всего за 12 минут: с 25,0 °С в 15.39 до 15,2 °С в 15.51 и 14,9 °С в 15.52. Именно в эти минуты произошло явление шквала, отражённое в резком увеличении средних минутных значений скорости ветра: с 5,9 м/с в 15.38 до 10,2 м/с в 15.48. Максимальный порыв скорости ещё в 15.38 составлял хоть и большое, но вполне обычное значение: 19,4 м/с. Минуту спустя (в 15.39) он возрос до 27,9 м/с, а ещё через минуту (в 15.40) достиг аномально высокого значения 28,3 м/с.



а) Температура воздуха на 2 м и скорость ветра на 15 м;



б) Относительная влажность и упругость водяного пара;



в) Атмосферное давление.

Рисунок 8.5. Ход метеорологических величин в МО МГУ 29 мая 2017 г.

Заметим, что во время прохождения шквала (за период 15.40-15.50) средняя за 10 мин скорость ветра на высоте 40 м составила по содарным данным 11,5 м/с, а на высоте 60 м – 11,9 м/с. В менее надёжных исходных и не сглаженных содарных данных значение средней скорости на высоте 40 м с 15.40 до 15.50 достигло даже 21,2 м/с.

Примечательна тесная связь времени наблюдения шквала с прохождением холодного фронта. Заметим, что сам по себе контраст температуры воздуха по обе стороны фронта (около 10 °С) вполне обычен, однако уменьшение её при прохождении фронта произошло чрезвычайно быстро (со скоростью ~ 1 °С/мин). Очевидно, главной причиной шквала явилось резкое усиление энергии неустойчивости в условиях очень узкой зоны холодного фронта и быстрого его прохождения.

Со временем прохождения фронта связаны и резкие скачкообразные изменения в характеристиках влажности, а также в ходе атмосферного давления. Как видно на рис.8.5 б), относительная влажность по данным АМК увеличилась с 27% в 15.39 (в минуту начала шквала) до 86% в 15.50 и, затем, до 90% в 15.51 и 98% в 15.56. Упругость (парциальное давление) водяного пара возросло с 8,8 гПа в 15.39 до 15,4 гПа в 15.50 и 16,0 гПа в 15.54. Резкий рост относительной влажности связан с выпадением в зоне фронта осадков (ливневого дождя), а упругости водяного пара – с изменением её фоновых значений в холодной воздушной массе в тылу циклона. Что касается резкого роста атмосферного давления непосредственно за холодным фронтом (см. рис.8.5 в), то он вполне логичен и ожидаем.

8.5. Шквал 29 мая 2017 года в структуре мелкомасштабной турбулентности

Помимо скорости и направления ветра, содар «MODOS» измеряет также среднеквадратическое отклонение вертикальной составляющей скорости σ_w – показатель, характеризующий интенсивность вертикальных движений и связанный как с ветровым режимом, так и с турбулентной структурой нижней атмосферы. Как видно на рис.8.6, уже ночью, в промежутке от 4 до 6 ч, значения σ_w резко возросли до 1,5–2,0 м/с (красный цвет в цветовой шкале величин). Вероятно, это усиление было связано с прохождением над Москвой тёплого атмосферного фронта, что подтверждает характерный нисходящий сдвиг наибольших значений σ_w во времени: в верхней части диапазона они отмечены раньше, чем в приземном слое воздуха. Направление сдвига соответствует классическому профилю тёплого фронта, последовательно проходящему над местом зондирования сверху вниз на отдельных высотах. Затем, утром и в начале дня, наблюдалось ослабление вертикальных

движений: зелёный цвет соответствует значениям от 0,8 до 1,0 м/с. Наконец, с приближением холодного фронта и шквала, с 13 до 16 ч, были отмечены аномально большие значения σ_w : от 2,0 до 3,5 м/с (розовый и фиолетовый цвет). Столь сильные вертикальные токи в среднем за 10 мин нехарактерны для условий Москвы и отмечаются крайне редко.

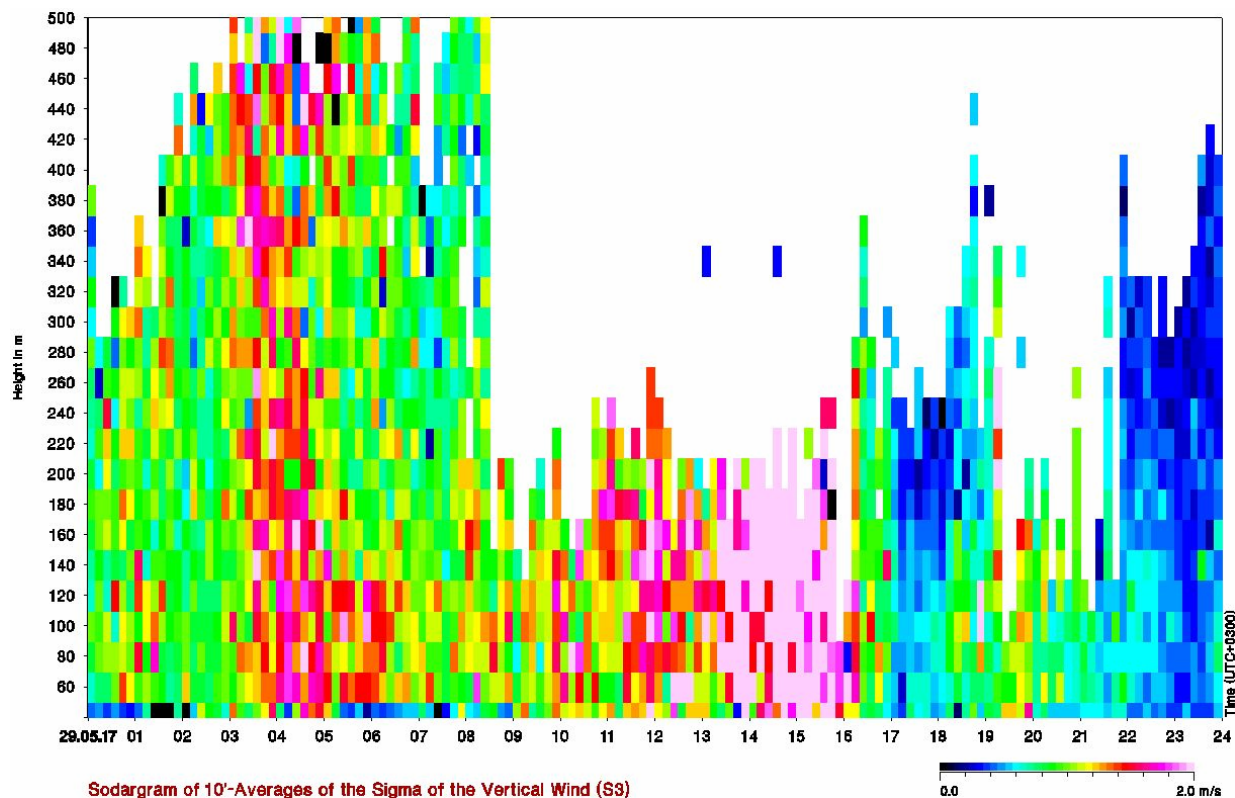


Рисунок 8.6. Данные содара «MODOS» о среднеквадратическом отклонении вертикальной составляющей скорости ветра σ_w в нижнем 500-метровом слое воздуха 29 мая 2017 г. в МО МГУ

Рассмотрим также на рис.8.7 высотнo-временную развёртку эхо-сигнала (содарную запись) содара «ЭХО-1» в МО МГУ во время прохождения шквала 29 мая. Как известно, турбулентные структуры эхо-сигнала на этой записи отражают степень развития мелко-масштабной термической турбулентности, поскольку рассеяние звука происходит преимущественно на турбулентных флуктуациях температуры воздуха инерционного интервала. Вместе с тем, общий вид турбулентной структуры тесно связан также с температурной стратификацией атмосферного пограничного слоя и может служить надёжным индикатором её вида с точностью до знака вертикального градиента температуры.

Как видно, непосредственно перед началом шквала, в условиях натекающих облаков Cd, на содарной записи видны турбулентные структуры переходного типа и неопределённой морфологии, характеризующиеся сравнительно небольшой мощностью эхо-сигнала и

отсутствием отдельных, отчётливо выраженных конвективных термик. Такой вид содарной записи характерен для слабоустойчивой стратификации, когда потенциальная температура Θ с высотой растёт, но обычная термодинамическая температура T уменьшается, причём $\gamma = -\partial T/\partial z < 0,98$ °C/100 м. Примечательно резкое усиление динамического перемешивания, связанное с интенсивными вертикальными движениями воздуха, которое проявилось в полном исчезновении эхо-сигнала в нижней части высотного диапазона в 15.39, т.е. как раз в момент начала шквала. Образовавшаяся после 17 ч турбулентная структура приземной инверсии (горизонтальный в данных координатах слой сильного эхо-сигнала), вероятно, отражает образование инверсии испарения в результате выпавших осадков. Заметим, что приземные инверсии в дневные часы в тёплое время года образуются крайне редко и обычно связаны с выпадением перед этим обильных ливневых осадков. Примечательна здесь тесная связь динамических процессов в атмосфере и изменений температурной стратификации со временем регистрации явления шквала.

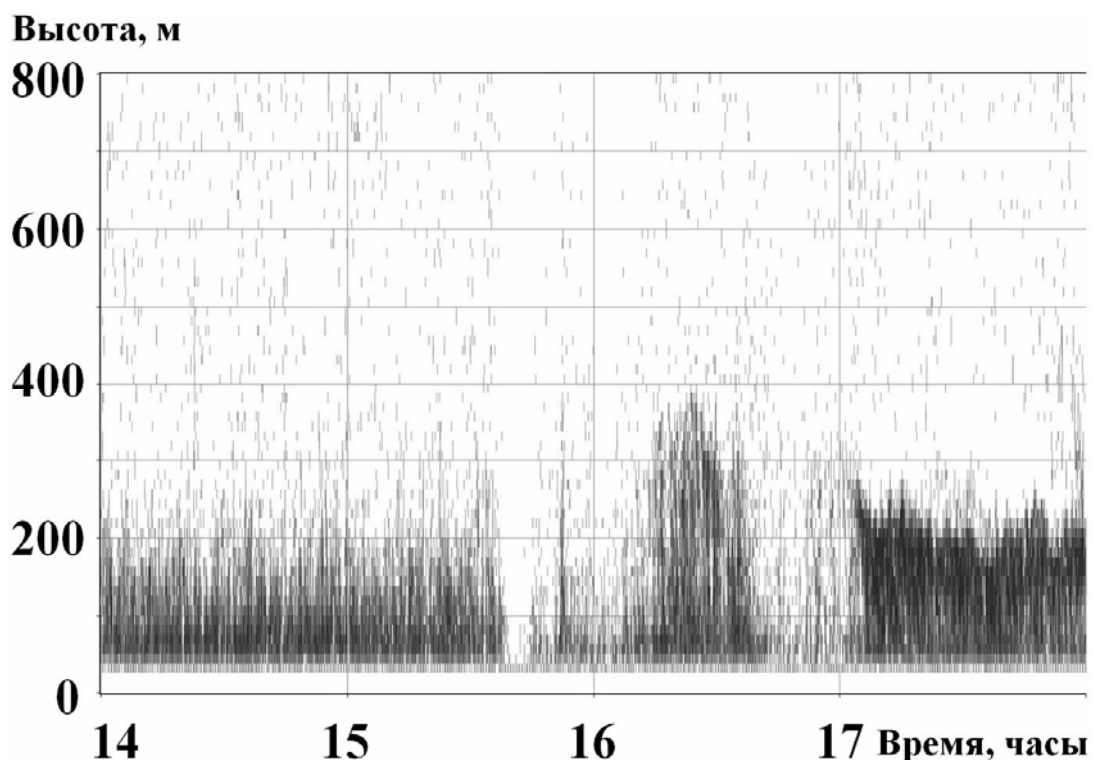


Рисунок 8.7. Термическая и турбулентная структура нижнего 800-метрового слоя воздуха с 14 до 18 ч 29 мая 2017 г. в МО МГУ по данным содара «ЭХО-1»

Заметим, что сходная динамика термической турбулентности была отмечена ранее в данных содара «ЭХО-1» и при прохождении шквала 24 июля 2001 г. (Локощенко, Семёнова, 2003).

8.6. Шквал 29 мая 2017 года в режиме солнечной радиации

Наконец, явление шквала нашло своё отражение и в динамике потоков солнечной радиации по данным их ежеминутной регистрации актинометрическими приборами в Метеорологической обсерватории МГУ. Как видно на рисунке 8.8, вплоть до 15.23 отмечались вполне обычные для дневных часов в конце мая значения и прямой, и суммарной солнечной радиации. Резкие кратковременные уменьшения значений обоих потоков связаны с переменной облачностью и с периодическим затенением облаками солнечного диска.

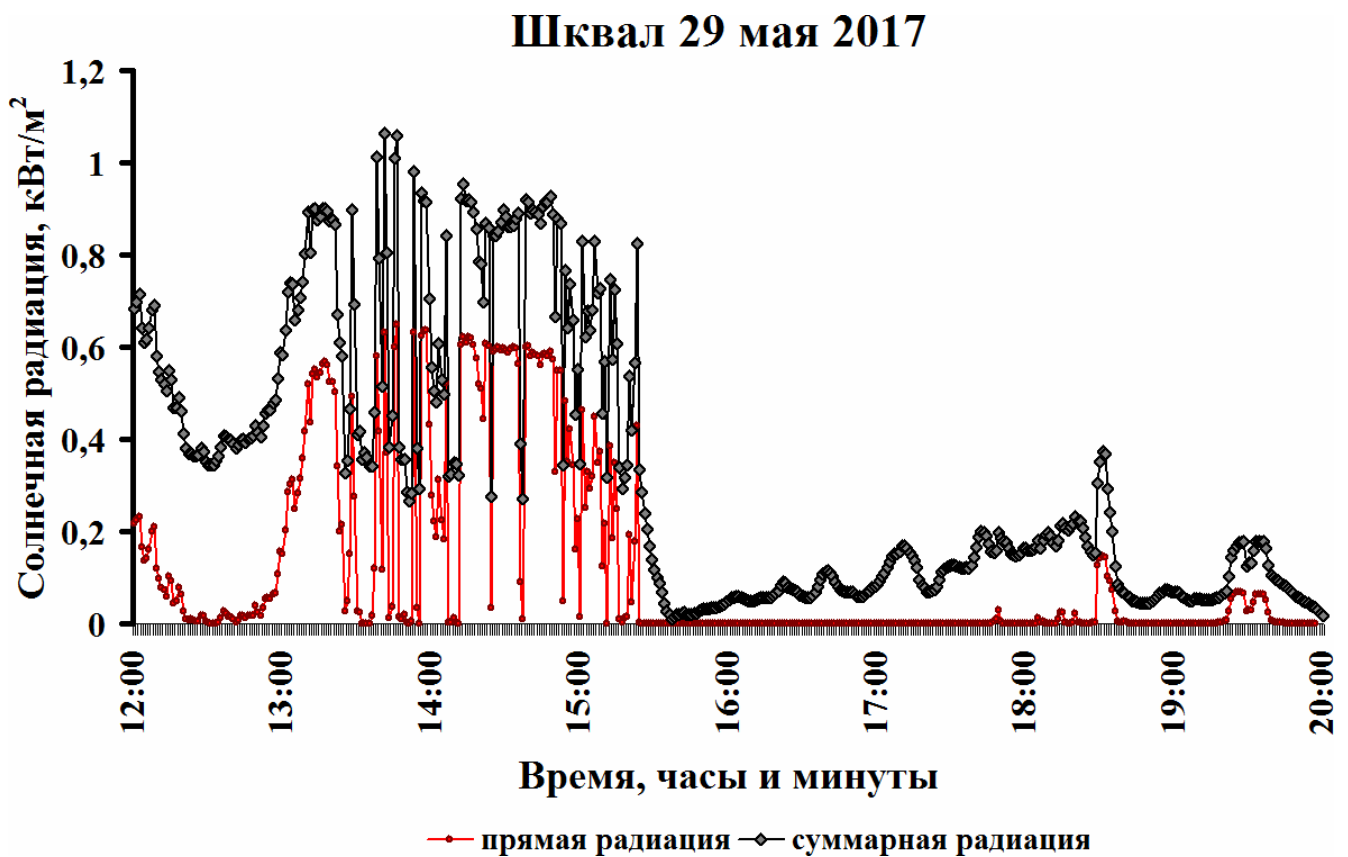


Рисунок 8.8. Ход величин потоков солнечной радиации в МО МГУ 29 мая 2017 г.

Однако после 15.23 вследствие натекания плотного облака Сб (непосредственно перед прохождением фронта и шквала) солнечная радиация начала стремительно уменьшаться. Прямая солнечная радиация практически сошла на нет спустя уже две минуты: она составляла 430 Вт/м^2 в 15.23 и менее 1 Вт/м^2 в 15.25. Суммарная же радиация сократилась до предельно малых значений $0,01 \text{ кВт/м}^2$, не типичных для светлого времени суток в тёплое время года, в 15.37 – за две минуты до начала шквала.

8.7. Сравнение с условиями Индии

Для понимания особенностей шквалов в Московском регионе и, в целом, в средних широтах представляется интересным и важным сравнить наиболее общие закономерности этого опасного явления с условиями тропиков – например, Индии. По данным индийской метеорологической службы, любезно предоставленным профессором Крушной Ч. Гоудой, в Индии в 2013–2015 гг. было отмечено 160 шквалов, сопровождавшихся грозами, из них для 132 случаев известны значения максимального порыва скорости ветра. В среднем по всей выборке этих событий максимальный порыв ветра составил 17,6 м/с (возможно, впрочем, что в ряде случаев шквал как явление среднего масштаба проходил в стороне от ближайшей наземной станции). Наибольшее достоверно измеренное значение максимального порыва ветра составило 33,3 м/с во время шквала в Западной Индии в штате Гуджарат 13 марта 2015 г. Очевидно, это значение соответствует ураганной скорости, т.е. 12-му баллу по шкале Бофорта. Ещё только четыре раза, в апреле 2013 и в мае 2014 гг., максимальный порыв ветра превысил значение 30 м/с, и ещё в восьми случаях достигал 25 м/с или более. Данное явление в Индии, по имеющимся данным за трёхлетний период, отмечается лишь с середины марта до третьей декады июня, т.е. в предмуссонный период, что неудивительно с учётом сильного в это время развития термической конвекции (Ramaswamy, 1956).

По более ранним данным 22 индийских станций за 1940-е – 1960-е гг., обобщённым в (Alvi and Punjabi, 1966), на 10 из 22 станций шквалы чаще всего отмечались в июне, на четырёх – в мае, на пяти – с приблизительно одинаковой повторяемостью в мае и июне, на двух станциях – в июле, и ещё на одной, в Мадрасе, – одинаково часто в июле и августе. В зимнем сезоне, с ноября по февраль, случаи шквалов на всех станциях крайне редки и даже единичны. Чаще всего, по данным последних лет, шквалы наблюдаются в Восточной и Северо-Западной Индии, реже всего – в западной и центральной частях этой страны. По данным (Alvi and Punjabi, 1966), в середине прошлого века шквалы чаще всего отмечались на юге Индии – в штате Керала. Максимальные значения скорости ветра V по этим данным, так же, как и в последние годы, очень редко достигали больших значений: так, в Пенджабе V превышала 60 узлов (30,9 м/с) лишь в 2 % случаев шквалов (Alvi and Punjabi, 1966), а в Бомбее, по отдельным данным (Dekate and Vajaj, 1966), V достигла 91 и более км/ч (т.е. $\geq 25,3$ м/с) лишь в 1 % шквалов.

В суточном ходе повторяемость шквалов в Индии по данным всех источников наименьшая утром, а наибольшая – во второй половине дня или вечером, что вполне законо-

мерно с учётом наиболее сильного в это время развития термической конвекции. Так, по данным К.Ч.Гоуды, от 80 до 90% всех шквалов в Индии в последние годы отмечались в вечерние и дневные часы.

Очевидно, таким образом, что основные различия в условиях Московского региона и Индии заключены в календарных границах периода наблюдений этого явления в годовом ходе. В Московском регионе эти границы во времени шире: шквалы, как уже отмечено выше, наблюдались здесь в разные годы с конца апреля до конца июля, но возможны в течение всего тёплого и даже переходного времени года. В условиях же Индии они отмечаются обычно лишь перед началом муссона – весной или в начале лета. Что касается значений наибольшего порыва скорости ветра, связанного со шквалами, очевидных климатических различий не видно: как в центральной части Европейской России, так и в Индии значения максимального порыва скорости ветра 30 м/с и более очень редки.

8.8. Общий вывод

Таким образом, наиболее вероятной основной причиной разрушительного шквала в Москве 29 мая 2017 г. явилось быстрое прохождение обострённого холодного фронта и связанное с этим усиление энергии неустойчивости. Дополнительному развитию этой энергии способствовало прохождение шквала в послеполуденные часы, а также усиление прогрева поверхности в суточном ходе тёплой адвекцией, поскольку ночью, утром и в начале дня Москва находилась в тёплом секторе циклона. Ещё одной предпосылкой шквала стал общий высокий фон значений скорости ветра в это день, связанный с особенностями крупномасштабной атмосферной циркуляции.

Данный раздел написан при частичной поддержке РФФИ, проект № 18-55-45012, и РФФИ, проект № 16-17-10275. Автор благодарит А.В. Кочина, Н.С. Николаева и Н.А. Бунину за предоставленные данные, А.Ю. Богдановича за помощь в их обработке, а также проф. К.Ч. Гоуду за предоставленные данные о наблюдении шквалов в Индии.

Литература

- 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., Семёнова Н.В. Акустическое зондирование атмосферного пограничного слоя – глава 4 в сб.: *Летопись погоды, климата и экологии Москвы (по наблюдениям Метеорологической обсерватории МГУ)*. 2001 год. СПб., Гидрометеиздат, 2003, стр. 57-62.
- Наливкин Д.В. Ураганы, бури и смерчи. Географические особенности и геологическая деятельность. Л., Наука, Ленинградское отделение, 1969, 488 с.
- Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3, часть 1. Л., Гидрометеиздат, 1969.
- Природные опасности России. Под общей редакцией В.И. Осипова и С.К. Шойгу. Гидрометеорологические опасности (Том 5). Под редакцией Г.С. Голицына и А.А. Васильева. М., Издательская фирма «Крук», 2001, 296 с.
- Рубинштейн М.В., Сорочинский М.А. Аэросиноптический анализ случаев сильных шквалов. Главное управление Гидрометеорологической службы при Совете министров СССР. Управление служб прогнозов. Информационное письмо № 57. М., Гидрометеиздат (отделение), 1964, 20 с.
- Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам. Л., Гидрометеиздат, 1971, 372 с.
- Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. Л., Гидрометеиздат, 1974, 568 с.
- Almi S.M.A. and Punjabi K.G. Diurnal and seasonal variations of Squalls in India. *Indian Journal of Meteorology & Geophysics (Quarterly)*, 1966, Vol.17, No.2, pp.207–216.
- Dekate M.V. and Bajaj K.K. A study of Squalls at Santacruz Observatory, Bombay. *Indian Journal of Meteorology & Geophysics (Quarterly)*, 1966, Vol.17, No.2, pp.217–224.
- Ramaswamy C. On the Sub-tropical Jet Stream and its Role in the Development of Large-scale Convection. *Tellus*, 1956, Vol.8, No.1, pp.26–60.

9. Изучение гравитационных волн в Москве посредством регистрации пульсаций давления

Перепелкин В.Г.

Институт физики атмосферы имени А.М.Обухова РАН

9.1. Введение

Внутренние гравитационные волны, наблюдаемые у поверхности Земли, имеют периоды колебаний от нескольких минут до нескольких часов (Грачев и др., 1997). Значительный объем наблюдений относится к периодам 1-30 мин. Диапазон амплитуд регистрируемых колебаний меняется от 10 до 100 Па и более. Фазовые скорости наблюдаемых волн находятся в пределах 20-80 м/с.

Интерес к ВГВ связан в первую очередь с тем, что ВГВ порождаются во время самых различных метеорологических явлений и атмосферных процессов (смерчи, торнадо, грозы, прохождение теплых и холодных атмосферных фронтов и т.д.) и могут служить индикатором этих явлений, а также материалом для анализа и разработки механизмов их возникновения.

9.2. Сеть микробарометров для регистрации ВГВ на территории г. Москвы

Регулярные наблюдения флуктуаций атмосферного давления и ВГВ на территории г. Москвы были организованы в 2015-м году. Для этого на территории г. Москвы были установлены 3 микробарометра конструкции ИФА (Бовшеверов и др., 1979), а именно:

1. Микробарометр МГУ на территории Метеорологической обсерватории МГУ (по соглашению с администрацией МО МГУ).
2. Микробарометр ИФА в здании ИФА им А.М. Обухова РАН,
3. Микробарометр Мосрентген на территории филиала Института физики земли в поселке Мосрентген (по соглашению с администрацией ИФЗ).

Все пункты измерений оснащены компьютерами типа нетбук и АЦП для записи данных и соединены между собой посредством сети интернет в единую сеть. Каждый микробарометр способен работать автономно (при наличии электропитания) в течение длительного времени (1 неделя и больше).



Рисунок 9.1. а) Фотография пункта измерений МГУ, виден микробарограф, АЦП, компьютер и ящик с контрольным термостатированным баллоном, б) карта (Google maps) размещения измерительных микробарографов на территории г. Москвы

Результаты регистрации удаленно копируются по сети Интернет на центральный пункт, расположенный в здании ИФА им. А.М. Обухова. Расстояния между пунктами измерений составляют от 7-ми до 16-ти км.

На рис. 9.1 а) показана фотография микробарографа МГУ и сопутствующих ему компьютера и АЦП. В основе конструкции микробарометра лежит сравнение давления в атмосфере и в контрольном термостатированном объеме. Внутри микробарометра имеются две секции, одна из которых соединена непосредственно с атмосферой, вторая с термостатированным баллоном (≈ 10 литров), который соединяется с атмосферой через капилляр. Таким образом, микробарометр измеряет не абсолютное давление, а флуктуации давления. Нижний предел частоты определяется объёмом баллона и толщиной капилляра. Для мик-

робарометра МГУ постоянная времени составляет примерно 150 сек. Более подробную информацию о конструкции прибора см. (Бовшеверов и др., 1979). На рис. 9.1 б) приведена карта (источник её основы – Google maps) размещения измерительных микробарографов на территории г. Москвы.

По результатам регистрации опубликованы две работы (С.Н. Куличков и др., 2017, И.П. Чунчузов и др., 2017), а также сдана в печать третья (С.Н. Куличков и др., 2018).

9.3. Пример обработки ВГВ, зарегистрированных во время шквала в Москве 29 мая 2017-го года

На рисунке 9.2 показан временной ход флуктуаций давления, по данным регистрации с 28-го по 30-е мая 2017-го года. Обозначения «теплый фронт» и «предвестник» условные и именованы, исходя из дополнительного анализа синоптической и метеорологической ситуации, не вошедшей в данный раздел.

Как видно на рис.9.2, «теплый фронт» и «предвестник» означают резкие усиления более высокочастотных колебаний в записях микробарографов, связанные с прохождением друг за другом с интервалом 12-13 ч двух гравитационных волн. Первое из этих событий в начале ночи предположительно связано с тёплым фронтом, в зоне которого тогда находился Московский регион, а второе (так наз. «предвестник») было отмечено непосредственно перед шквалом, проявившимся в записи во всех трёх местах в виде резко выраженного узкого пика (максимума) в ходе давления. Этот пик отражает характерный «грозовой нос», который часто наблюдается при прохождении шквалов и на обычных стационарных барограммах (Хромов и Мамонтова, 1974). Примечательно, что, как и собственно «грозовой нос», так и оба резких усиления флуктуаций давления были отмечены микробарометрами во всех трёх точках сети, включая и МО МГУ.

Временной ход показаний микробарометров, однако, недостаточен для определения таких важных параметров волны, как направление и фазовая скорость прихода, поэтому для дальнейшей интерпретации полученных данных использовалась методика РМСС (Cansi, Y, 1995) Несколько модифицированная версия этого метода была реализована мной в программе “тройка”, а именно:

Записи сигналов микробарометров предварительно пропускаются через набор полосовых фильтров. В данном случае использовался набор из 10-ти фильтров, в диапазонах частот $0,005 \div 0,05$ Гц. Далее записи каждого микробарометра по каждой частотной полосе

делятся на кадры. Для каждого частотного поддиапазона и соответствующих по времени кадров вычисляются максимумы парных корреляционных функций, задержки между приходами сигнала на микробарометры, соответствующие положению этих максимумов, а также, по трем парным задержкам, азимуты прихода и фазовые скорости приходящих сигналов.

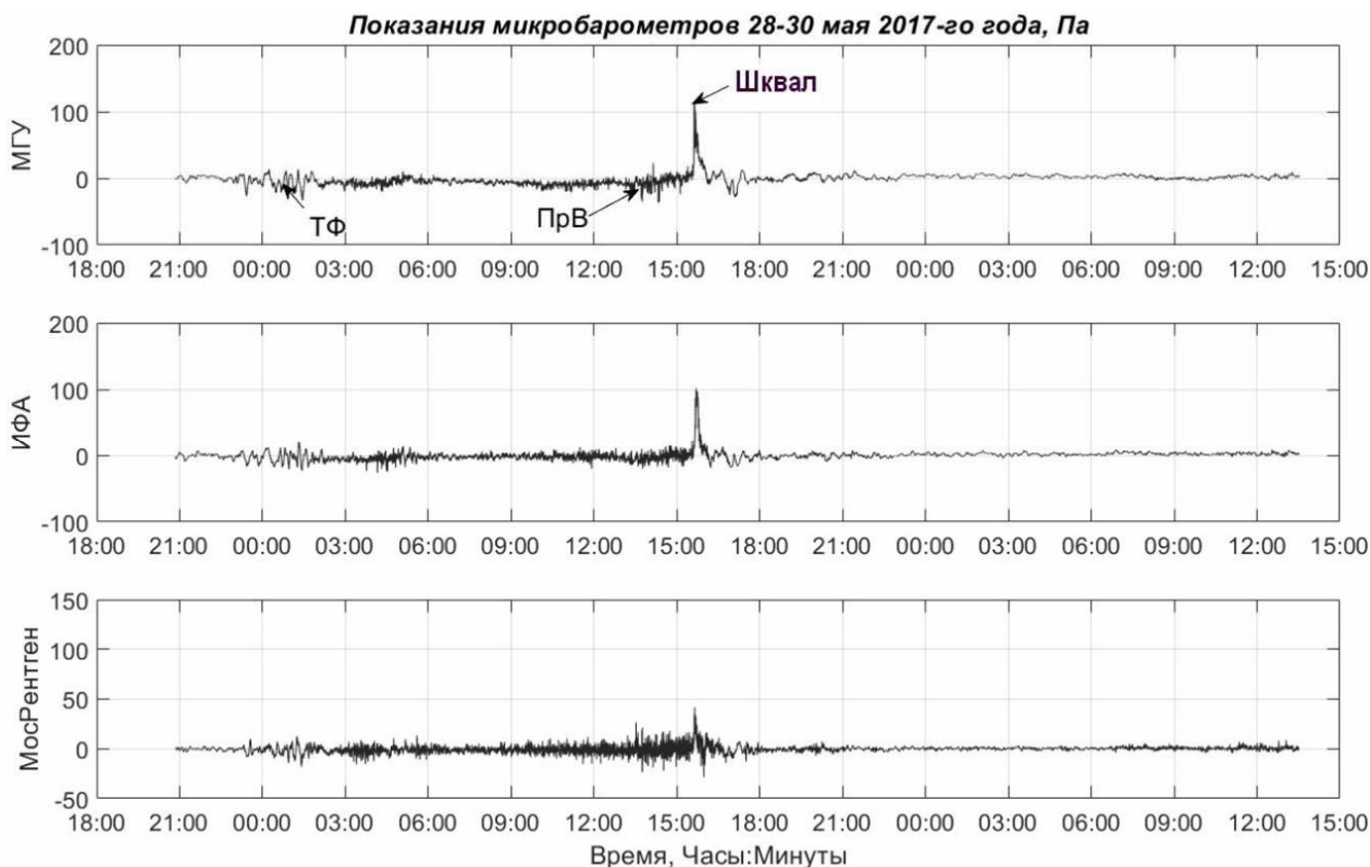


Рисунок 9.2. Показания микробарометров 28-30 мая 2017-го года, в паскалях. Сверху-вниз: микробарометр МГУ, микробарометр ИФА и микробарометр МосРентген. Стрелками обозначены ТФ – теплый фронт (29.05.17 00:56), ПрВ – предвестник (29.05.17 13:35) и Шквал – основной пик (29.05.17 15:38)

В процессе разработки программы “тройка” мы сформулировали три критерия отбора данных:

1. Согласованность данных (consistency), определяемая по близости к нулю суммы задержек на трех парах микробарометров, что является признаком прохождения волны через треугольную антенну микробарометров. На практике задавалось граничное значение

параметра $consistency = \frac{|t_{12} + t_{23} + t_{31}|}{\sqrt{t_{12}^2 + t_{23}^2 + t_{31}^2}}$ от 0,1 до 0,3, где t_{12} , t_{23} и t_{31} временные задержки

сигналов на трех парах микробарометров, соответствующие максимумам их взаимных корреляционных функций.

2. Граничные значения для рассчитанной фазовой скорости. В приведенных расчетах мы использовали значения от 10 м/с до 60 м/с.
3. Граничные значения азимута прихода, которые позволяют выделить приходы ВГВ только с интересующих нас направлений.

Отмечу, что данная методика обработки показала хорошие результаты при обработке более высокочастотных инфразвуковых сигналов. Для ВГВ она, по-видимому, не вполне достаточна, поскольку пропускает большое количество ложных приходов, хорошо различимых на рисунке 9.3, на котором представлен результат обработки описанным методом показаний микробарометров, изображенных на рисунке 9.2.

На левой панели рисунка сверху вниз изображены временной ход микробарометра МГУ, средний максимум трех парных корреляционных функций, средняя амплитуда, азимут и фазовая скорость, справа показана зависимость фазовой скорости (ρ) от направления прихода волны (θ). Легенда в левом нижнем углу правой панели показывает центральные частоты частотных диапазонов приходов. Наконец, цифры справа вне графиков показывают граничные значения параметра согласованности (consistency), времени, фазовой скорости и азимута, ниже выведены средние значения скорости, азимута, частоты и амплитуды для данных условий отбора.

На данном полном графике отдельные артефакты (такие, как «теплый фронт», «предвестник» да и сам «шквал») едва различимы, поскольку на графиках данные за примерно 1,5 суток наблюдений, однако, если рассмотреть отдельные участки, соответствующие по времени, отмеченным артефактам, получим более информативные результаты.

На рисунке 9.4 показаны результаты обработки части реализации (рис.9.2), соответствующей шквалу (15:33-15:42 29 мая). В отличие от случая обработки полной реализации здесь мы видим, что приходы ВГВ указывают на вполне определенное направление ($\approx 289^\circ$, если исключить несколько, видимо, случайных приходов сигнала с направления 130°).

Аналогичным образом рассмотрим два других отмеченных случая, а именно «теплый фронт» (рисунок 9.5) и «предвестник» (рисунок 9.6).

На рис.9.5 показаны результаты обработки части реализации, соответствующие времени нахождения Москвы в зоне теплого фронта (00:51-01:01 29 мая). Опять же хоро-

шо видно, что приходы ВГВ в этот период имеют вполне определенное направление ($\approx 303^\circ$, без учета нескольких приходов отраженного сигнала).

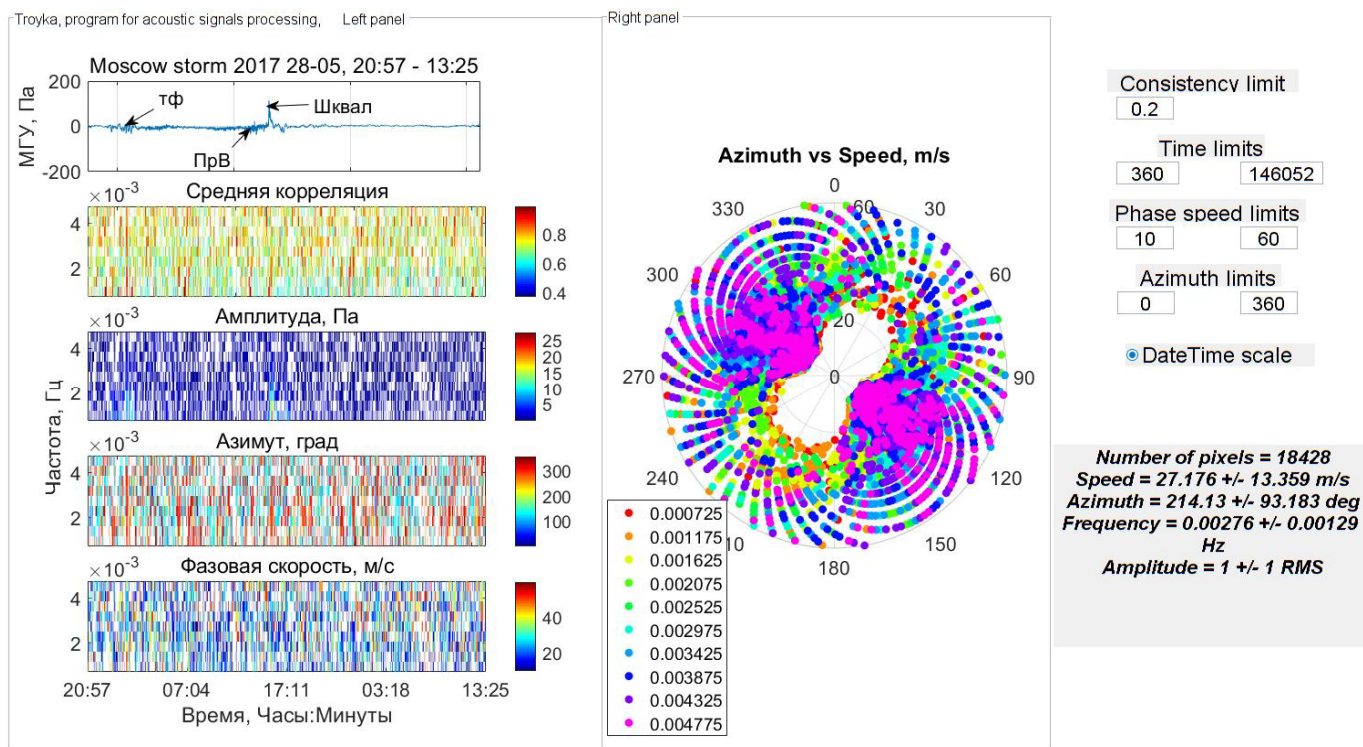


Рисунок 9.3. Результат обработки методом РМСС (troyka) показаний микробарометров, соответствующих рис.2, на диаграммах слева показаны (сверху вниз): временной ход микробарометра МГУ, средний максимум трех парных корреляционных функций, средняя амплитуда, азимут и фазовая скорость, на верхнем графике ось ординат значения флуктуаций давления в Па, на остальных по оси ординат отложена частота, Гц, по оси абсцисс время (Часы:Минуты), значения параметров передаются цветом в соответствии с цветовой шкалой с правой стороны. Справа показана зависимость фазовой скорости (ρ) от направления прихода волны (θ). Легенда в левом нижнем углу правой панели показывает центральные частоты частотных диапазонов приходов. Цифры справа вне графиков показывают граничные значения параметра consistency, времени, фазовой скорости и азимута, ниже выведены средние значения скорости, азимута, частоты и амплитуды для данных условий отбора

Наконец, на рисунке 9.6 показаны результаты обработки «предвестника» (13:30-13:39 29 мая). И снова вполне отчетливо видно направление прихода ($\approx 310^\circ$ в азимутальном диапазоне 270° - 330°).

9.4. Заключение

В данном обзоре представлена схема сети микробарометров для обнаружения внутренних гравитационных волн (ВГВ), а также пример обработки некоторых результатов регистрации в день прохождения шквала над Москвой 29 мая.

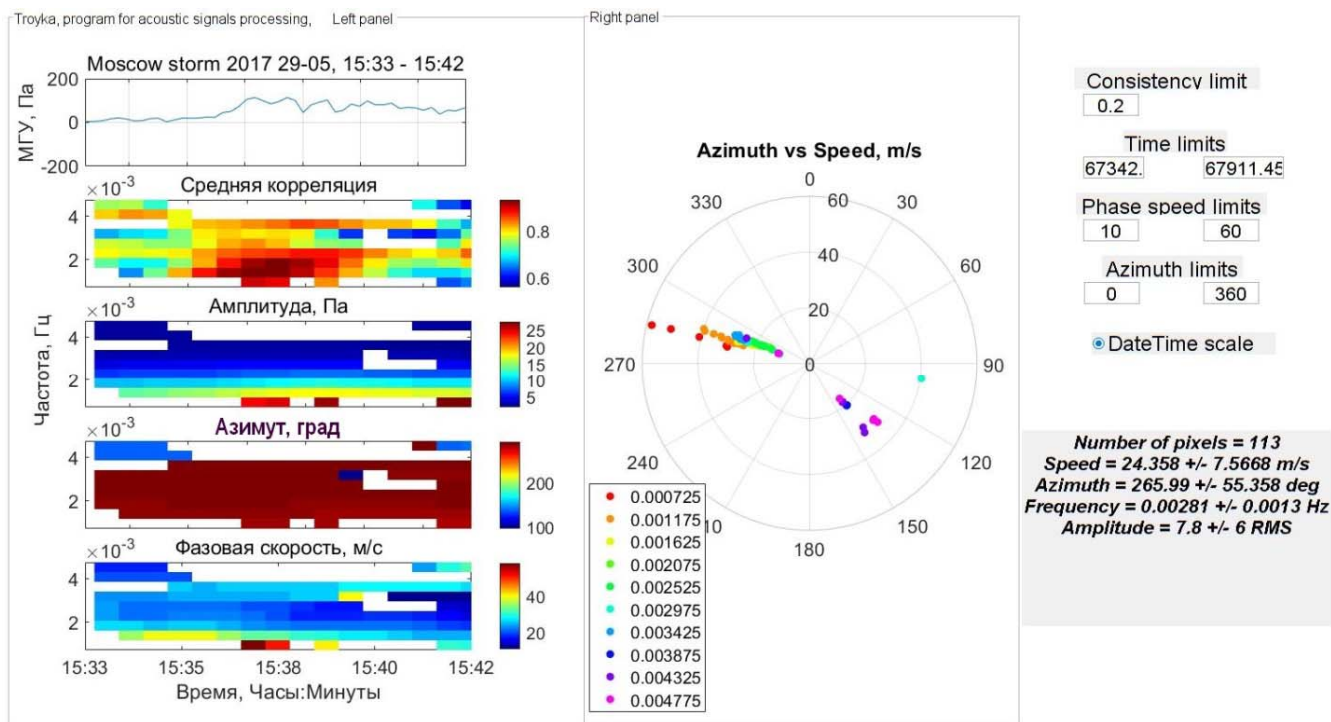


Рисунок 9.4. То же, что и на рис. 9.3, за период 29.05.17 15:33-15:42 – Шквал. Направление приходов в диапазоне азимутов от 270-330° примерно 289°.

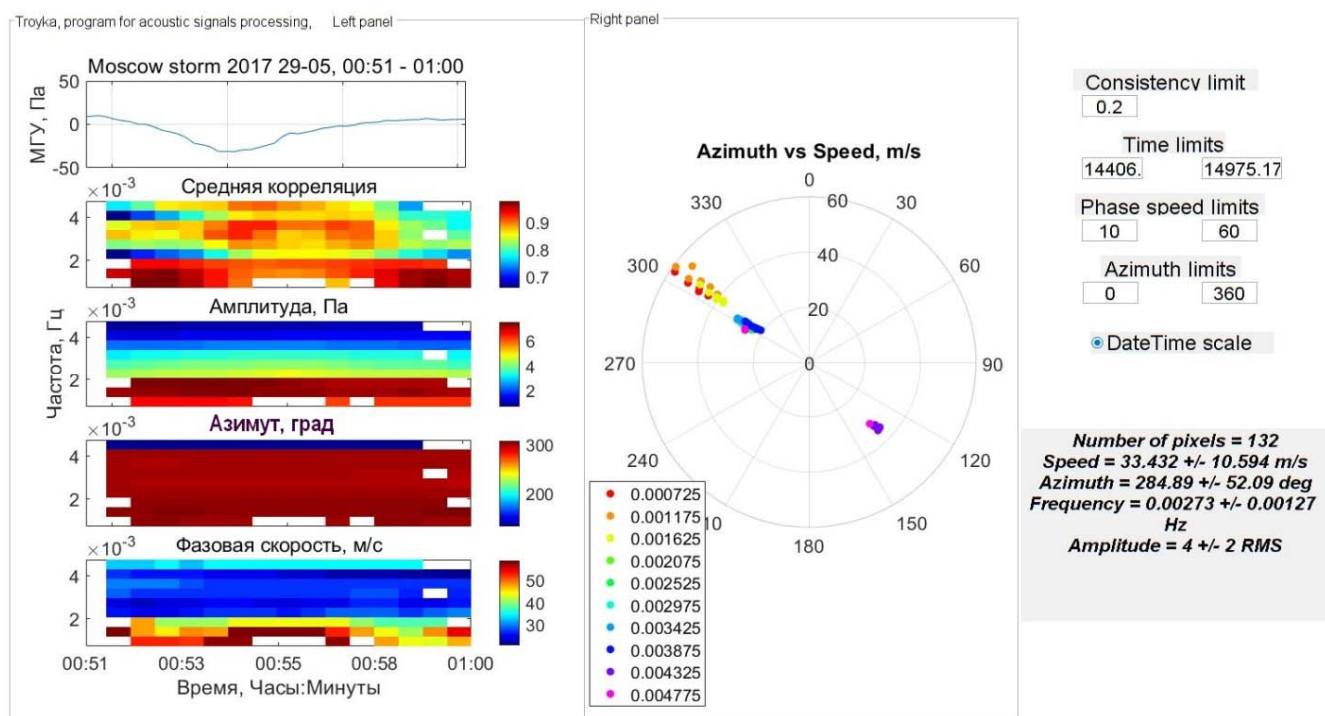


Рисунок 9.5. То же, что и на рис. 9.3, за период 29.05.17 00:51-01:01 – прохождение теплого фронта. Направление приходов в диапазоне азимутов от 270-330° примерно 303°

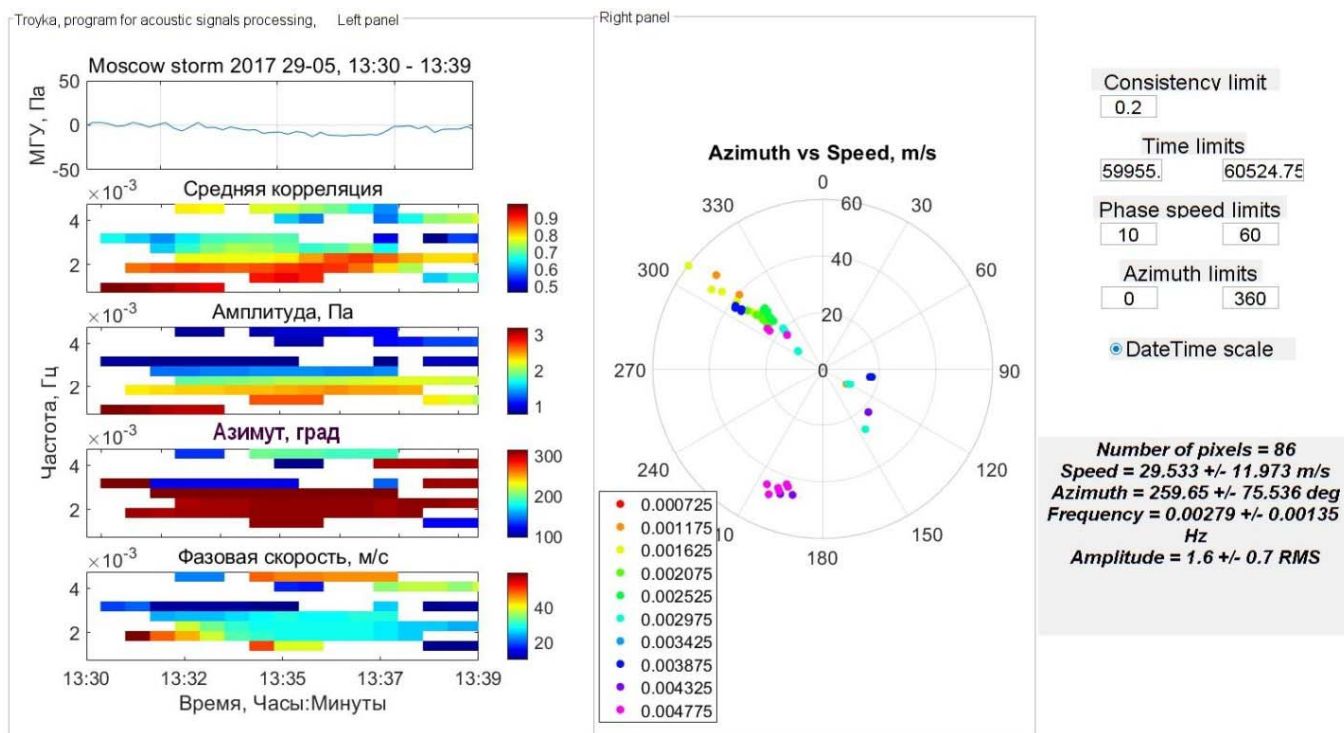


Рисунок 9.6. То же, что и на рис. 9.3, за период 29.05.17 13:30-13:39 – предвестник шквала. Направление приходов в диапазоне азимутов от 270-330° примерно 310°.

Названия артефактов («теплый фронт», «предвестник»), обнаруженных на записях акустического давления микробарографами сети, носят условный характер, однако, анализ характера изменения основных параметров сигналов в отмеченные промежутки времени, показывает прохождение волнового сигнала типа ВГВ в зоне тёплого фронта, а также непосредственно перед шквалом.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проект № 18-05-00576.

Литература

Грачев А.И., Куличков С.Н., Отрезов А.И. Свойства спектров внутренних гравитационных волн во время гроз // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 1997, том 33, № 5, с. 631–639.

Бовшеверов В.М., Грачев А.И., Ломадзе С.О., Матвеев А.К. Жидкостный микробарограф // Изв.АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1979, т.15, № 11, с. 1215-1217.

Куличков С.Н., Цыбульская Н.Д., Чунчuzов И.П., Гордин В.А., Быков Ф.Л., Чуличков А.И., Перепелкин В.Г., Буш Г.А., Голикова Е.В. Некоторые результаты регистрации внутренних

гравитационных волн от атмосферных фронтов в московском регионе // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2017, том 53, № 4, с. 455–469.

Чунчuzов И.П., Перепелкин В.Г., Куличков С.Н., Горчаков Г.И., Каллистратова М.А., Джола А., Лу Джун, Пенсяо Тэнг, Ичун Янг, Ву Лин, Килонг Ли, Ели Сан. Влияние внутренних гравитационных волн на метеорологические поля и газовые примеси вблизи городов Москва и Пекин // Известия РАН, Физика атмосферы и океана Т. 53, No. 5, С. 597–611, 2017.

Куличков С.Н., Чунчuzов И.П., Попов О.Е., Перепелкин В.Г., Голикова Е.В., Буш Г.А., Репина И.А., Цыбульская Н.Д., Горчаков Г.И. Внутренние гравитационные и инфразвуковые волны во время урагана в Москве 29 мая 2017 года // Известия РАН, Физика атмосферы и океана, 2018 (в печати).

Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. Л., Гидрометеиздат, 1974, 568 с.

Cansi, Y., An automatic seismic event processing for detection and location: the PMCC method, Geophys. Res. Lett., 22, 1021-1024, 1995.

10. Температура поверхности Московского региона по данным спутников

Енукова Е.А.
Государственный университет «Дубна»

10.1. Используемые данные

Для Москвы наличие «острова тепла» – давно доказанный факт. Его существование хорошо прослеживается по данным сети метеорологических станций (Lokoshchenko, 2014). Но, к сожалению, наземная сеть в районе столицы слишком редка (вплоть до последнего времени она насчитывала всего 5 станций в городе и 13 в области) для получения подробного пространственного распределения температуры внутри города и во всем регионе. Здесь нам на помощь приходят спутниковые данные.

Для изучения пространственного поля температуры необходимы снимки в тепловом диапазоне длин волн. В «сыром» виде на пост приема спутниковых данных приходит цифровой поток характеристик спектральной яркости в различных каналах (диапазонах длин волн) для каждого отдельного пиксела снимка. Значения такой яркости в инфракрасном канале можно перевести непосредственно в значения температуры. Так как радиометр видит только поверхность, а не насыщенный водяным паром воздух для него прозрачен, в результате мы при отсутствии облаков имеем дело с температурой именно поверхности (открытых мест, крыш зданий, кроны деревьев, асфальтовых покрытий и т.д.).

В нашей работе использовались данные со спутников серии EOS (Earth Observing System) TERRA и AQUA, а именно данные измерений температуры поверхности, полученные радиометром MODIS. Использование данных этих спутников вместе целесообразно, так как на них установлена однотипная аппаратура. Они имеют достаточное пространственное и временное разрешение для наиболее полного изучения поля температуры поверхности в регионе. Каждый из этих спутников пролетает над территорией Московской области два раза в сутки: поздним утром или в начале дня, а также ночью. Стоит отметить, что ночные снимки в анализе не использовались из-за их радиометрической искаженности. Московский регион на них находится на краю полосы съемки, что приводит к неточности измерения показателей в этой области. С другой стороны, днем данные доступны, и чаще всего Москва на них находится в центре. Спутники TERRA и AQUA пролетают друг за другом с разницей в 1 час 50 минут приблизительно с 11 до 12 ч и с 13 до 14 ч Московского времени соответственно. Данные о температуре поверхности имеют пространственное

разрешение 1 км, что позволяет наиболее полно охватить территорию не только города, но и всей области. Точность измерений температуры поверхности составляет $\pm 1^\circ\text{C}$ (Steitz, 1999).

Главным недостатком тепловых снимков является то, что их невозможно использовать при сплошной облачности. Как известно, 2017 год был дождливым и пасмурным (см. разделы 3 и 7), что повлекло за собой дефицит пригодных для анализа снимков. За весь год Москву и область можно было разглядеть сквозь облачный покров лишь на 78 снимках из 730. Но и они не все подходят для наших целей. По результатам экспериментов, описанных в (Локощенко, Енукова), снимок можно считать пригодным для анализа, если не менее 80% города и не менее 50% области оставались свободными от облаков и индустриальной дымки. В результате за весь год доступными для анализа оказались всего 25 космических снимков. Так как спутника два и пролетают они друг за другом, несколько снимков оказались получены в один и тот же день. Таким образом, выборка отдельных дней с имеющимися спутниковыми данными составила всего 18 дней. По отдельным сезонам снимки распределились следующим образом: зимой – 1 снимок (в январе), весной – 8 снимков за 6 дней (в марте – 2, в апреле – 3 снимка за 2 дня, в мае – 3 снимка за 2 дня), летом – 8 снимков за 6 дней (все в августе) и осенью – 8 снимков в течение 5 дней (в сентябре – 6 снимков за 4 дня, в ноябре – 2 снимка за один день).

10.2. Поле температуры поверхности в Московском регионе

По полученной выборке снимков в стандартном программном пакете Surfer 10.1 была построена карта, отображающая поле температуры поверхности в Московском регионе в среднем за 2017 год (рис. 10.1). Для ее построения рассчитывалось среднее значение температуры поверхности в каждом отдельном квадрате площадью 15×15 км. Поскольку расчёт произведён по выборке всех отдельных снимков, а большинство их получены в тёплое время года, то оценки среднегодовой температуры поверхности, очевидно, смещены в сторону более высоких значений.

Как показывает рисунок, температура поверхности в среднем по всем имеющимся случаям повышается от $+12^\circ\text{C}$ на северо-западе до $+21^\circ\text{C}$ на юго-востоке, что вполне соответствует общей климатической зональности. Заметим, что температура поверхности $T_{\text{П}}$ меняется в бóльшем диапазоне, нежели температура воздуха. Общая картина распределения температуры поверхности в целом схожа с представленной ранее в (Сорокина, Локо-

щенко, 2017). Общее направление изолиний $T_{\text{п}}$ с юго-запада на северо-восток может быть связано, помимо общей климатической зональности, также и с изменениями в растительном и почвенном покрове. Так, например, карта лесистости Подмосковья по отдельным районам показывает, что доля площади земель лесного фонда наименьшая как раз к юго-востоку от столицы (Атлас, 1964), а поверхность безлесных территорий в целом теплее за счёт меньших затрат тепла на транспирацию древостоем. Что касается сгущения изолиний на восточном краю карты, то, скорее всего, это связано с ошибками автоматической программной интерполяции.

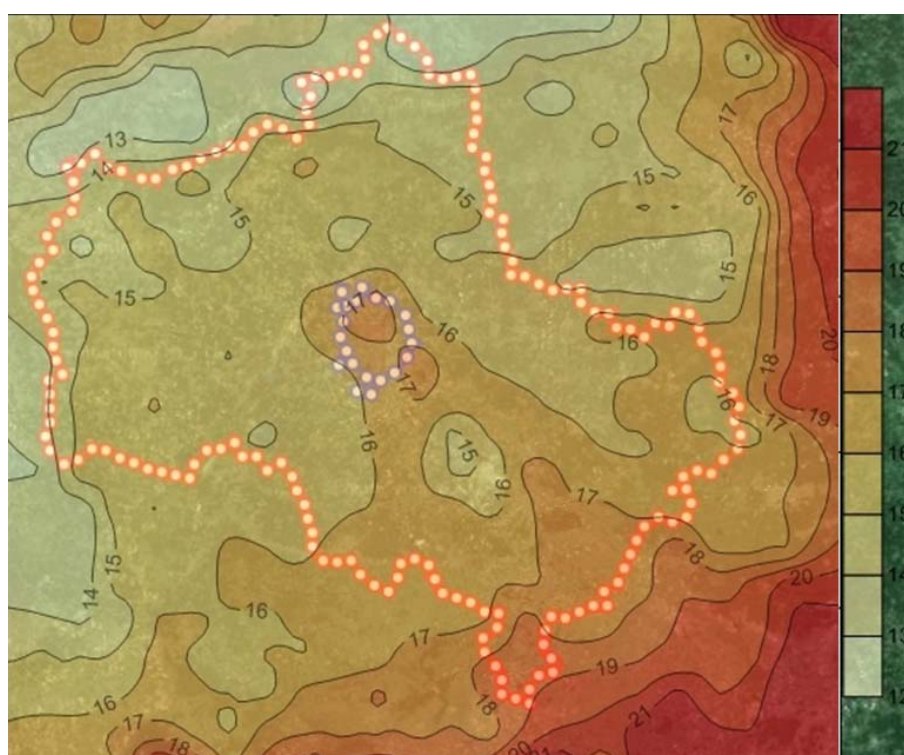


Рисунок 10.1. Карта температуры поверхности в Московского региона по данным спутников TERRA и AQUA за 2017 г. Кружками показаны традиционные (до 2011 г.) границы Москвы и границы Московской области. Цветовая шкала значений в °С приведена справа

В районе города Москва можно наблюдать повышение температуры по сравнению с ближайшими окрестностями. Оно представлено разделенной на два близких ареала изолинией 17 °С. Такое «поведение» изотерм может быть связано как с программным пересчетом температуры, так и с локальными особенностями температуры поверхности по имеющимся данным, так как центр города зачастую был закрыт индустриальной дымкой и, следовательно, значения температуры поверхности по спутниковым данным в отдельные дни для нас недоступны .

Таким образом, карта поля температуры поверхности отражает как общую климатическую зональность, так и существование «острова тепла» в Москве в виде тепловой аномалии.

10.3. Интенсивность «поверхностного острова тепла»

Интенсивность «острова тепла» – это его главный показатель. В большинстве случаев в городской климатологии ее значением считается разность между температурой воздуха на одной из городских станций (желательно в центре города) и на второй станции в фоновой сельской местности за пределами города. Но это не всегда показательно, так как городские станции могут находиться в парковых зонах, в то время как загородные станции, с другой стороны, часто расположены в малых городах или посёлках, и их измерения не полностью отражают фоновые условия. В случае с космическими снимками мы имеем возможность использовать значения температуры поверхности по всему городу и по всему региону и, таким образом, определить этот показатель (интенсивность «поверхностного острова тепла») наиболее точно.

В данной работе интенсивность «поверхностного острова тепла» (ΔT) вычислялась как разность между средней температурой поверхности внутри административных границ города без учета «новой Москвы» и средней температурой внутри области сравнения. Область сравнения в данном случае принималась как прямоугольник, в который вписана Московская область. Причина такого выбора границ области сравнения описана в (Сорокина, Локощенко, 2017).

По данным отдельных снимков значения ΔT изменялись в пределах от 0,1 °C 12 сентября до 4,6 °C 16 августа. Следует отметить, что минимальное значение было единственным из 25 случаев, когда ΔT оказалась близкой к нулю. С другой стороны, значения, превышающие 4 °C, наблюдались в четырёх случаях, причем все они были отмечены в августе – единственном летнем месяце с пригодными для анализа снимками. Заметим, что именно в августе по данным наблюдений в МО МГУ (см. раздел 7) облачность была наименьшей среди всех прочих месяцев 2017 г. Оценка средней за год интенсивности ΔT в наших расчётах, в отличие от рис.10.1, является несмещённой, поскольку она нормируется на среднесезонные значения (рассчитывается как среднее их четырёх средних значений в разные сезоны, а не как среднее из 25 снимков). Таким образом, каждому сезону, независимо от количества снимков, в расчётах придаётся одинаковый вес.

Как видно в таблице 10.1, средняя ΔT по имеющимся данным составила за 2017 год 1,8 °С. Годовой ход интенсивности «поверхностного острова тепла» за 2017 год по отдельным месяцам построить не удалось из-за малой обеспеченности снимками или полного их отсутствия в некоторые месяцы, но были рассчитаны средние значения по всем четырём сезонам года. Для выявления случайностей проведено сравнение с результатами вычислений ΔT за более длительный период 2008-2015 гг.

Таблица 10.1. Среднее значение интенсивности «острова тепла» в Москве по сезонам года

Сезон года	Среднее значение в 2017 г., °С	Среднее значение в 2008-2015 гг., °С
Зима	0,4*	2,7
Весна	2,2	2,8
Лето	3,7	3,8
Осень	0,8	1,1
Среднее	1,8**	2,6

*Значение непоказательно из-за крайне малой выборки данных (лишь один снимок).

**Оценка, очевидно, занижена из-за малой выборки данных зимой.

Как показывает таблица, в годовом ходе интенсивность «острова тепла» максимальна в летний период, что верно как для 2017 года, так и для более длительного периода. Это связано, видимо, с наиболее активной вегетацией летом, усиливающей различия в температуре поверхности между городом и сельской местностью. Зимнее значение интенсивности, очевидно, непоказательно, поскольку условия зимы представлены лишь одним случайным снимком. Как следствие этого, сильно смещённой в сторону занижения оказалась и средняя за год интенсивность. Корректное сравнение в этой таблице возможно лишь для значений весной, летом и осенью, поскольку выборки из восьми снимков в первом приближении можно условно считать достаточными для сравнения. Как видим, летом 2017 году интенсивность «поверхностного острова тепла» оказалась близкой к средней многолетней оценке, тогда как весной и осенью она была меньше обычных для этих сезонов значений. Видимо, сравнительно слабо выраженный «поверхностный остров тепла» весной 2017 г. можно объяснить поздним началом вегетации в Московском регионе вследствие холодного апреля и мая, как показано в разделе 1. Примечательно, что в Ботаническом саду МГУ весной 2017 г. также были отмечены поздние сроки в наступлении всех фенологических фаз растений (см. разделы 19–21).

10.4. Общие выводы

В заключении можно сделать следующие выводы:

1. В поле температуры поверхности Московского региона по радиометрическим данным спутников в 2017 году проявилась обычная климатическая зональность: общее увеличение значений в направлении с северо-запада к юго-востоку.

2. Наряду с общей зональностью, в районе Москвы отчётливо выражена температурная аномалия, отражающая стабильно существующий «остров тепла» в поле температуры поверхности внутри города.

3. Среднее значение интенсивности «поверхностного острова тепла» по спутниковым данным в 2017 году весной, летом и осенью составило соответственно 2,2, 3,7 и 0,8 °С. По данным отдельных снимков значения интенсивности менялись в диапазоне от 0,1 °С до 4,6 °С.

4. В годовом ходе максимальное значение интенсивности «поверхностного острова тепла» ΔT отмечено в 2017 г. летом, как и в другие годы.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проект № 18–55–45012.

Литература

Атлас Московской области. М., ГУГиК, 1964.

Локощенко М.А. и Енукова Е.А. Остров тепла в Москве по данным спутников. М., Метеорология и гидрология, в печати

Сорокина (Енукова) Е.А., Локощенко М.А. Поверхностный «остров тепла» в Москве по данным спутников. — Вестник Международного университета природы, общества и человека «Дубна» Серия «Естественные и инженерные науки», 2017, № 1 (37), стр.32-38.

Lokoshchenko M.A. Urban 'heat island' in Moscow. — Urban Climate, 2014, Vol.10, part 3, pp.550-562.

Steitz D. et al. Terra: flagship of the Earth Observing System. — NASA press kit, release No. 99-120, 1999, 26 p.

Часть II. Радиационные параметры атмосферы

11. Характеристика прозрачности атмосферы и составляющих радиационного баланса

Горбаренко Е.В.

Метеорологическая обсерватория, Географический факультет МГУ

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; М., Росгидромет, 1997). В сентябре 2017 года была проведена поверка актинометров №70, №48 по Российскому эталону Главной Геофизической Обсерватории им. А.И.Воейкова (ГГО). Оба прибора признаны актинометрами 1 разряда.

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 для солнечных лучей в 2017 году была самая высокая за весь период наблюдений с 1954 года. В течение всего 2017 года коэффициент прозрачности атмосферы оказался выше средних значений (табл.11.1), его годовое значение на 8% выше нормы. Такое повышение интегральной прозрачности определяется значительным снижением аэрозольной составляющей. Годовое значение АОТ550 (0,08) в 2017 году стало наименьшим за весь период наблюдений, более чем в два раза меньше текущей нормы и в три раза меньше исторической. В течение всего года значения АОТ550 были существенно ниже средних значений, месячные значения с апреля по июль стали абсолютными минимумами (рис.11.1). В годовом ходе проявились характерные для Москвы весенний и летний максимумы, но их значения АОТ550 в два раза меньше исторической нормы. Уменьшению весеннего максимума АОТ550 способствовало залегание устойчивого снежного покрова до середины марта, повторные образования снежного покрова в апреле и даже в мае (см. раздел 4) и быстрый рост травяного покрова после его схода, что привело к уменьшению периода попадания в атмосферу естественного аэрозоля. Очищению атмосферы в летние месяцы способствовала пасмурная, дождливая погода, количество выпавших осадков намного превысило норму во все весенние и летние месяцы.

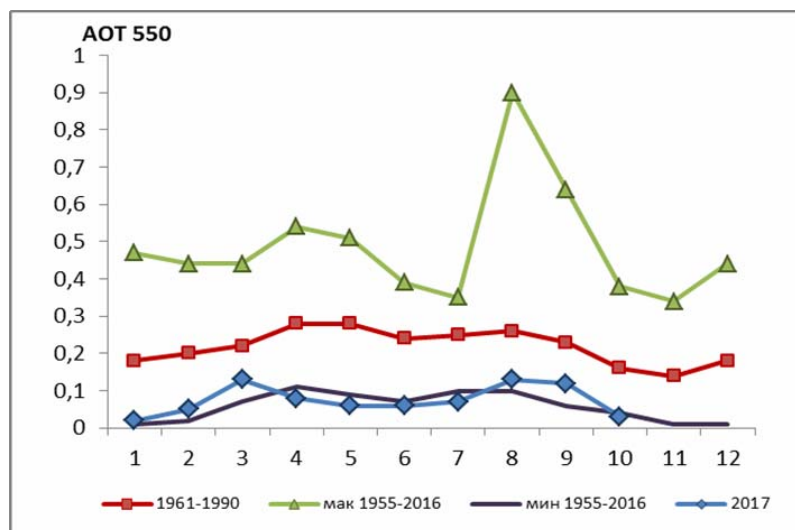


Рисунок 11.1. – Годовой ход аэрозольной оптической толщины на длине волны 550 нм. В ноябре и декабре 2017 г. не было условий для определения параметров прозрачности атмосферы

В 2017 году продолжилась тенденция увеличения прозрачности атмосферы в Москве, которая отмечается с середины 1980–х годов, нарушенная в 1991 году в период действия вулкана Пинатубо. С 1994 года, после полного очищения атмосферы от вулканического аэрозоля, все средние годовые значения последующих лет ниже исторической нормы, в 2017 это отклонение максимально (рис.11.2).

Таблица 11.1. Характеристики прозрачности атмосферы

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Коэффициент прозрачности атмосферы													
2017	0,817	0,806	0,766	0,787	0,791	0,782	0,771	0,741	0,751	0,81	-	-	0,782
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%	8	8	5	14	15	12	11	7	5	7			8
АОТ 550													
2017	0,02	0,05	0,13	0,08	0,06	0,06	0,07	0,13	0,12	0,03	-	-	0,08
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%	-89	-75	-41	-71	-79	-75	-72	-50	-48	-81	-100	-100	-69
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%	-81	-64	-29	-69	-73	-70	-67	-45	-40	-78	-100	-100	-58
мин 1955-2016	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 1955-2016	0,01	0,02	0,07	0,09	0,09	0,07	0,1	0,08	0,06	0,03	0,01	0,01	0,10
год	2009	1989	1997	2012	1997	2004, 1994	1980	2015	2003	2013	2003	>3	2015

Примечание: $d\% = (Y_{2017} - Y_{норма}) / Y_{норма} * 100\%$; красным цветом выделены значения соответствующие максимальным значениям коэффициента прозрачности и минимальным значениям АОТ 550 за весь период наблюдений

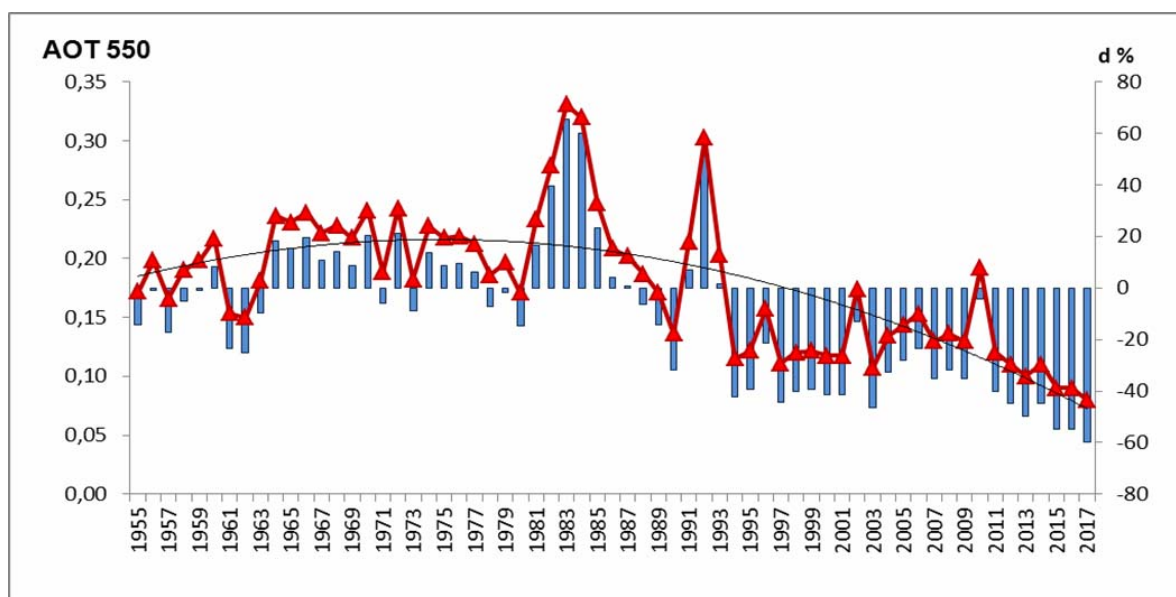


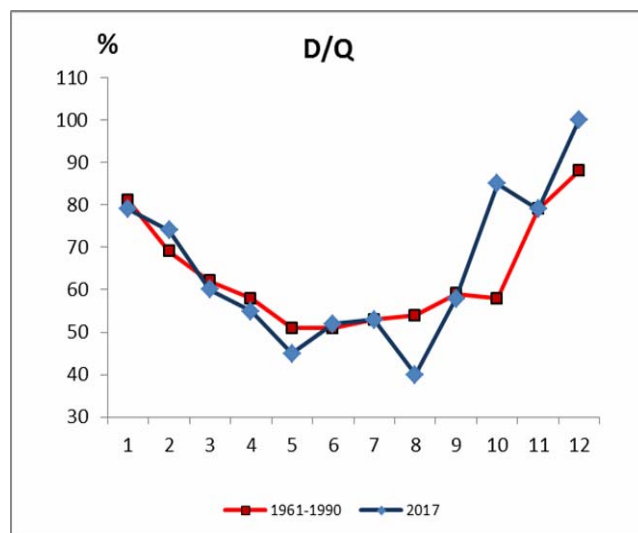
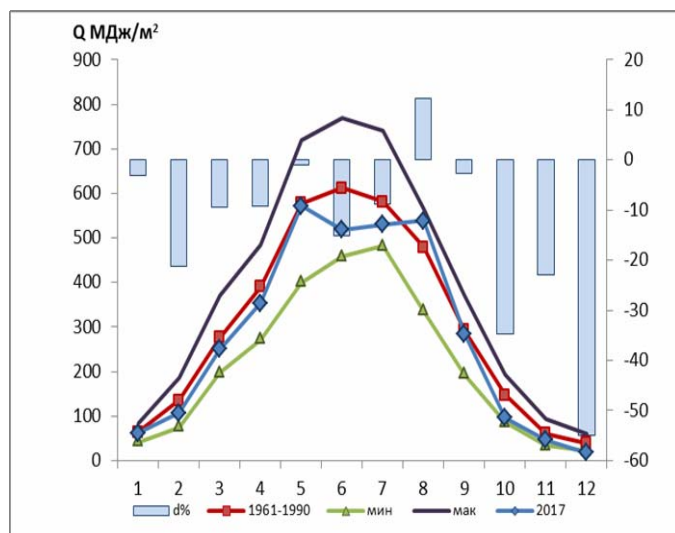
Рисунок 11.2. Многолетняя изменчивость аэрозольной оптической толщины на длине волны 550 нм (левая шкала) и её отклонения от нормы (правая шкала)

Основными факторами, регулирующими приход солнечной радиации, являются длительность светового дня, продолжительность солнечного сияния, главным регулятором которой является облачность. Увеличение общей облачности и облачности нижнего яруса в 2017 году привело к снижению прихода суммарной интегральной радиации: среднее годовое значение ниже и исторической, и текущей норм на 8% и 7% соответственно. Практически в течение всего года месячные значения Q ниже норм. Только в августе приход Q превысил историческую и текущую нормы на 12% и 14% соответственно. В мае значение Q не превысило нормы, но за счет существенного уменьшения прихода суммарной радиации в июне и июле, оно стало максимумом в годовом ходе суммарной радиации (табл.11.2, рис.11.3а). В пасмурном декабре отмечено минимальное значение Q не только в годовом ходе, это наименьшее декабрьское значение за весь период наблюдений в МО МГУ. Весь месяц приход суммарной радиации формировался только рассеянным потоком, соотношение D/Q составило 100%. Количество прямой радиации в течение 6 мин было настолько мало, что при часовом осреднении (при котором определяется D/Q) не проявилось. Рассеянная радиация вносила основной вклад в суммарный поток в течение всего года. Только в мае и августе, когда отмечено уменьшение балла нижней облачности, поток прямой радиации ненамного превысил поток рассеянной (см. табл. 11.2 и рис.11.3 б).

Таблица 11.2. Составляющие радиационного баланса

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Месячные суммы суммарная радиация Q (МДж/м²)													
2017	62	107	251	354	572	519	531	539	285	96	47	18	3381
1961-1990	64	136	277	390	578	612	582	480	293	147	61	40	3660
d%	-3	-21	-9	-9	-1	-15	-9	12	-3	-35	-23	-55	-8
1981-2010	55	125	280	396	587	595	598	472	288	145	57	37	3636
d%	12	-14	-10	-11	-3	-13	-11	14	-1	-34	-17	-51	-7
мин 1958-2016	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 1958-2016	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 (%)													
2017	79	74	60	55	45	52	53	40	58	85	79	100	53
1961-1990	81	69	62	58	51	51	53	54	59	58	79	88	57
Δ	-2	5	-2	-3	-6	1	0	-14	-1	27	0	12	-4
1981-2010	84	74	59	57	50	52	51	53	60	68	81	87	48
Отраженная радиация Rk (МДж/м²)													
2017	36	69	80	64	115	116	121	124	66	20	12	11	834
1961-1990	40	87	131	68	117	126	117	96	58	32	24	22	918
d%	-10	-21	-39	-6	-2	-8	3	29	13	-37	-50	-50	-9
1981-2010	33	76	127	70	117	116	114	88	54	29	21	19	865
d%	9	-10	-37	-9	-1	0	6	40	22	-30	-43	-42	-4
мин 1958-2016	22	30	51	37	73	90	92	67	31	14	8	5	682
год	1971	2002	2003	1986	1980	2003	2007	2006	1990	1970	1996	2008	2008
макс 1958-2016	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
Альbedo*, %													
2017	59	64	32	18	20	22	23	23	23	21	25	61	25
1961-1990	63	64	46	17	20	21	20	20	20	21	39	56	25
Δ	-4	0	-14	1	0	2	3	3	3	0	-14	5	0
1981-2010	60	61	45	18	20	20	19	19	19	20	37	52	24
мин 1958-2016	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 1958-2016	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/м²)													
2017	-14	-9	56	152	273	261	251	230	97	19	-9	-6	1301
1961-1990	-34	-26	30	159	267	299	284	212	99	19	-20	-31	1258
d%	59	65	87	-4	2	-13	-12	8	-2	0	55	81	3
1981-2010	-21	-16	35	165	278	297	303	215	105	24	-15	-23	1347
d%	-11	56	61	-8	-2	-12	-17	7	-7	-22	-39	61	-3
мин 1958-2016	-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 1958-2016	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: *- Альbedo рассчитано по месячным суммам



а)

б)

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

Средние суточные значения суммарной радиации (ΣQ_c) в январе приблизительно равны средним многолетним значениям, в декабре в 2 раза ниже (табл. 11.3). Для 143 дней в году суточные суммы суммарной радиации выше средних. Для 3 дней в году отмечен абсолютный максимум, для 14 дней суточные суммы меньше минимальных суточных сумм интегральной радиации в эти дни за весь период наблюдений (рис.11.4).

Таблица 11.3 – 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												
1958-2016	1,97	4,08	8,94	12,92	18,29	20,57	19,20	16,28	8,57	3,88	1,80	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
2017	1,99	3,84	8,57	11,80	18,30	17,54	17,14	17,24	9,06	3,04	1,55	0,59
σ*	1,09	1,84	4,45	6,73	6,87	6,42	5,50	6,10	4,39	1,85	1,37	0,31
2. Максимальная суточная сумма												
1958-2016	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
2017	5,08	8,15	18,57	23,53	28,12	27,91	26,07	24,45	15,30	8,73	5,04	1,33
3. Минимальная суточная сумма												
1958-2016	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
2017	0,65	1,77	0,93	1,89	2,25	5,20	5,34	2,31	1,55	0,64	0,29	0,23

Примечание: * σ- стандартное отклонение

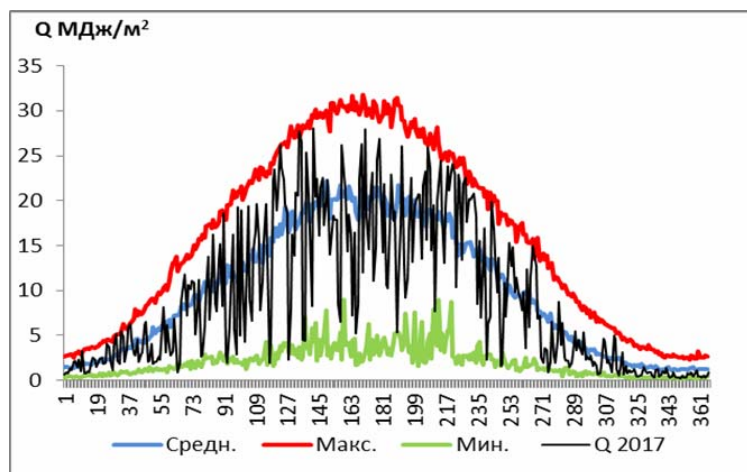
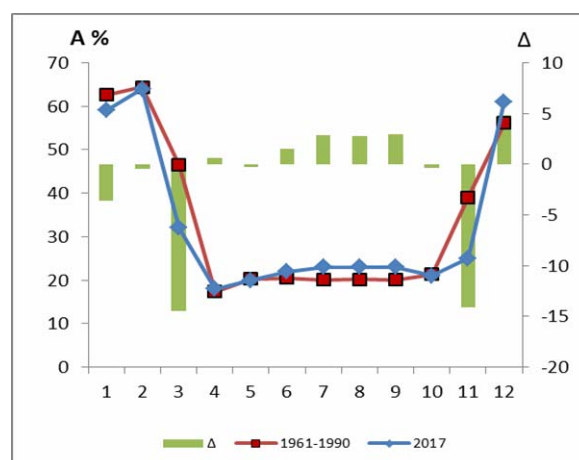
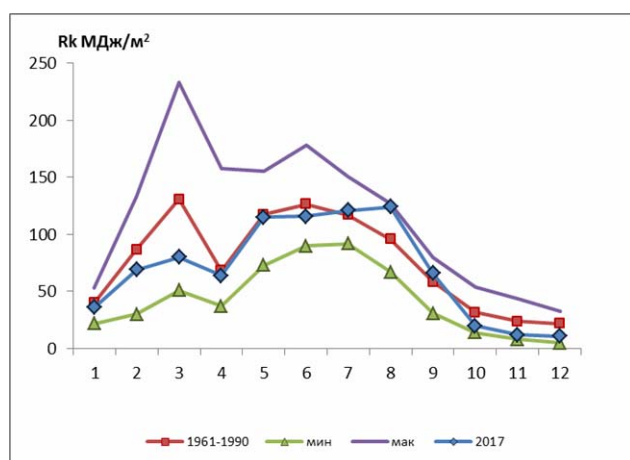


Рисунок 11.4. Суточные суммы суммарной радиации за каждый день года

Изменчивость отраженной радиации R_k связана как с приходом суммарной радиации, так и с состоянием подстилающей поверхности, прежде всего с ее отражающими свойствами. Снежный покров лежал 143 дня, из них 53 дня не наблюдались оттепели. Вслед за уменьшением прихода суммарной радиации уменьшились годовое значение отраженной радиации и месячные значения для 9 месяцев 2017 года. В годовом ходе R_k сохранились характерные для нашего региона два максимума, приходящиеся на март и июнь (табл.11.2, рис.11.5 а). Мартовские значения R_k и альbedo ниже норм, основной максимум сместился на август. В декабре отражающие свойства поверхности высоки, альbedo превысило норму, но существенное снижение общего прихода солнечной радиации привело к снижению декабрьских значений R_k на 50% относительно среднего значения за период 1961-1990 гг. (табл.11.2, рис.11.5.б).



а)

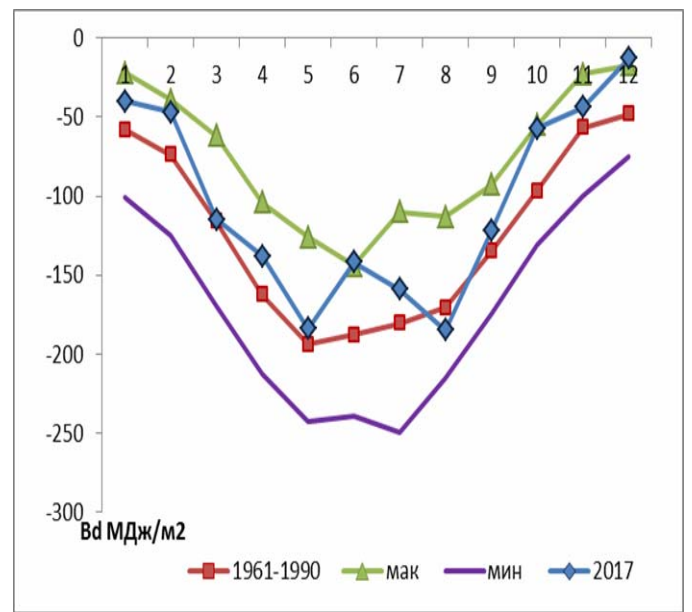
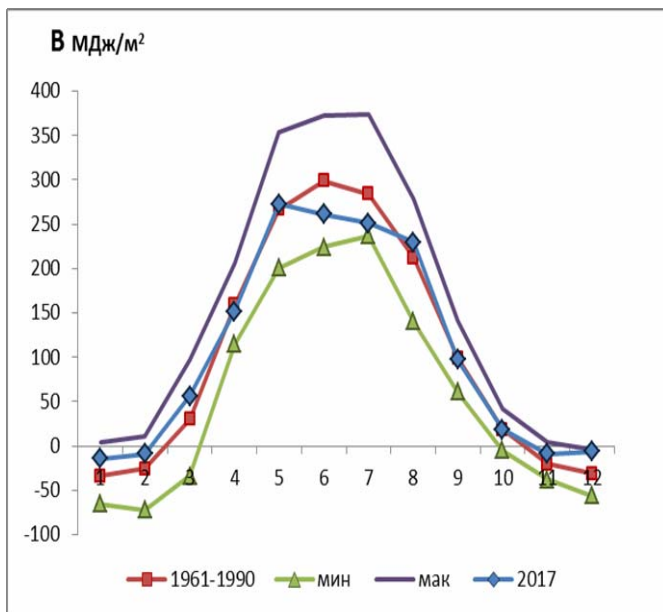
б)

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

.Годовое значение радиационного баланса (В) в 2017 году составило 1301 МДж/м², что на 3% выше исторической и на 3% ниже текущей норм (табл.11.4, рис.11.6а). Интересно, что длинноволновая часть радиационного баланса продолжала существенно расти, годовая сумма В_д на 16% выше исторической и на 12% выше текущей норм (табл.11.4 рис.11.6б). В июне значение длинноволнового баланса стало абсолютным максимумом за весь период наблюдений в этом месяце. В зимние месяцы возрастает роль В_д в радиационном балансе, поэтому наибольшие положительные отклонения радиационного баланса от норм наблюдались в зимние месяцы. Уменьшение коротковолновой части радиационного баланса произошло за счет уменьшения суммарной солнечной радиации. Большую часть года земная поверхность больше получала тепла, чем отдавала. Только 86 дней в 2017 году суточное значение радиационного баланса было отрицательным.

Таблица 11.4 – 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 Вк (МДж/м²)													
2017	26	38	171	290	457	403	410	415	219	76	35	7	2547
1961-1990	24	48	147	321	461	487	465	383	234	115	37	17	2738
d%	9	-21	17	-10	-1	-17	-12	8	-6	-34	-4	-59	-7
1981-2010	22	49	153	326	471	479	484	383	234	117	36	18	2771
d%	17	-22	12	-11	-3	-16	-15	8	-6	-35	-2	-61	-8
мин 1958-2016	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 1958-2016	36	81	224	406	567	598	612	458	301	155	68	33	3164
год	1973	1972	2014	1960	2002	1999	2010	2005	1974	1987	1967	2002	2002
Месячные суммы длинноволнового баланса Вд (МДж/м²)													
2017	-40	-47	-115	-138	-184	-142	-159	-185	-122	-57	-44	-13	-1246
1961-1990	-58	-74	-116	-163	-194	-188	-181	-171	-135	-97	-57	-48	-1482
d%	31	36	1	15	5	24	12	-8	10	41	22	73	16
1981-2010	-43	-64	-117	-160	-191	-180	-180	-168	-129	-91	-51	-41	-1415
d%	7	27	2	14	4	21	11	-10	6	38	13	69	12
мин 1958-2016	-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 1958-2016	-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



а)

б)

Рисунок 11.6 – Годовой ход : а- общего радиационного баланса, б- длинноволнового баланса

При рассмотрении всего периода наблюдений, вопреки общей многолетней тенденции роста радиационного баланса, его годовое значение стало наименьшим с 1999 года (рис. 11.7). Сохраняется тенденция уменьшения числа дней в году с отрицательной суточной суммой B . Период, когда земная поверхность получает тепла больше, чем отдает, продолжил увеличиваться (рис. 11.8).

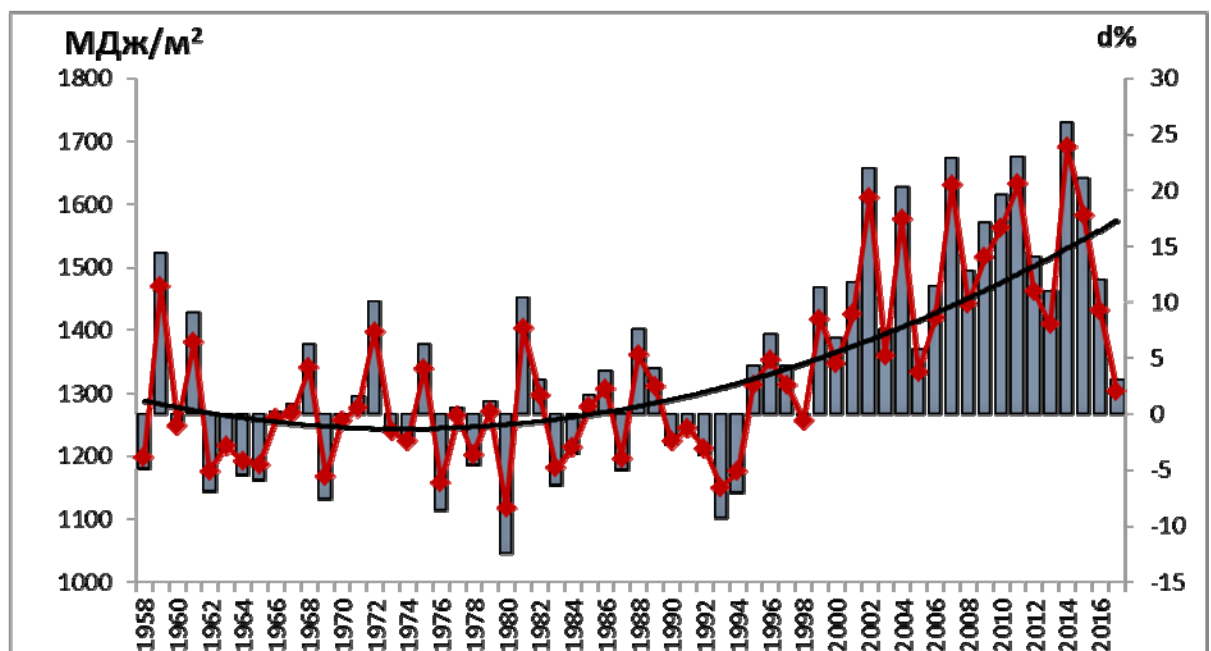


Рисунок 11.7. Многолетние изменения радиационного баланса и отклонения годовых значений от нормы

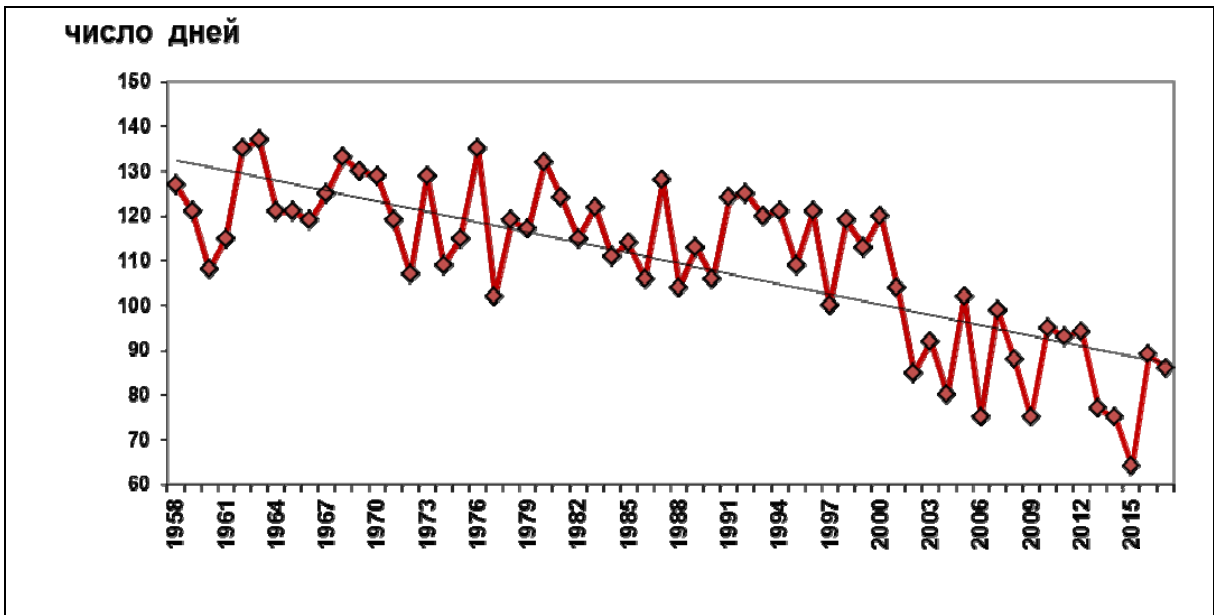


Рисунок 11.8. Межгодовая изменчивость числа дней с отрицательной суточной суммой радиационного баланса

Для 225 дней в 2017 году суточные суммы V превысили средние многолетние значения за это же число. Для 5 дней значения суточных сумм V превысили максимальные значения для этих дней (рис.11.9).

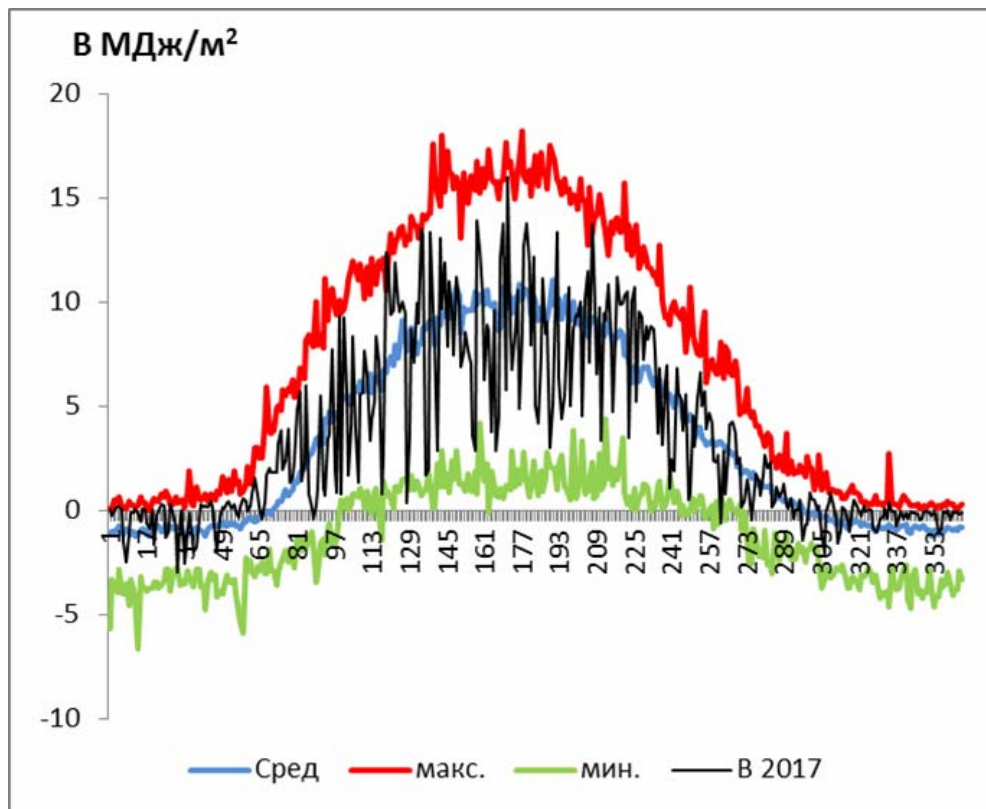


Рисунок 11.9. Суточные суммы общего радиационного баланса за каждый день года

Таблица 11.5. Годовые значения характеристик прозрачности атмосферы и составляющих радиационного баланса

	Q	S_{гор}	D	D/Q	R_к	А_к,%	АОТ	B
2017	3381	1577	1804	53	834	25	0,08	1301
1961-1990	3660	1584	2073	57	918	25	0,24	1258
d%	-8	0	-13	-7	-9	0	-67	3
1981-2010	3636	1619	2016	53	865	24	0	1347
d%	-7	-3	-11	-1	-4	4	-56	-3

Таким образом, в целом за 2017 год коротковолновые составляющие радиационного баланса уменьшились, длинноволновая часть выросла относительно текущей и исторической норм. Радиационный баланс оказался больше исторической нормы, однако уменьшился относительно текущей (табл.11.5).

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.

12. Режим естественной освещенности земной поверхности

Горбаренко Е.В.

Метеорологическая обсерватория, Географический факультет МГУ

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 – килолюксах (клк). Естественная освещенность является одним из важных экологических факторов, обеспечивающих благоприятность среды для проживания человека, жизнедеятельности животных и растений.

Метеорологическая обсерватория МГУ является первой и единственной станцией на территории Российской Федерации, где с 1964 г. проводятся регулярные непрерывные световые наблюдения. До 2012 года непрерывная регистрация проводилась приборами, разработанными инженерами МО МГУ (регистратор естественного освещения – РЕО). С 2012 г. контрольным прибором служит фотометр LI-210SL фирмы "LI-COR" (США) (www.licor.com). Наблюдения за освещенностью и обработка результатов производятся строго по Наставлению гидрометеорологическим станциям и постам, Выпуск 5, принятому на актинометрических станциях сети Росгидромета. В течение всего 2017 года на записи суммарной освещенности стоял прибор LI-210SL №8917. Контроль регистрирующего прибора проводился ежемесячно по фотометру LI-210SL № 9498.

В сентябре 2017 года контрольный датчик освещенности МО МГУ (LI-210SL № 9498) проходил поверку по рабочему эталону первого разряда в соответствии с ГОСТ 8.023-2003 (измеритель естественной освещенности №5801/9-2Б), предоставленным ФБГУ ГГО, чувствительность прибора сохранила свое паспортное значение.

Количество освещения (E_Q) в Метеообсерватории МГУ (МО МГУ) оценивается в килолюкс-часах или мегалюкс-часах (клк·ч или Млк·ч= 10^3 клк·ч, люкс-час – такое количество освещения, которое получает земная поверхность в течение часа при освещенности в 1 люкс).

Так как в МО МГУ непрерывная регистрация суммарной освещенности (E_Q) проводится с 1964 года, за климатический период в качестве нормы взят период 1964-2013 гг. Традиционно сравнение данных за каждый год сопоставляется с этим периодом.

Световой режим территории формируется под влиянием тех же факторов, что и радиационный режим. 2017 год, как сказано выше (см. раздел 7), был облачным, «темным»

годом. Годовое количество освещения суммарным светом в 2017 году составило 102,27 Млк•ч, что на 7% меньше нормы. Повторяемость градаций 102-103 Млк•ч или менее, куда попала сумма E_Q , составляет всего 8% при рассмотрении всего ряда наблюдений за освещенностью (рис. 12.1). 2017 год стал третьим годом в ряду самых малых значений годового количества освещения земной поверхности за весь период наблюдений за этим показателем.

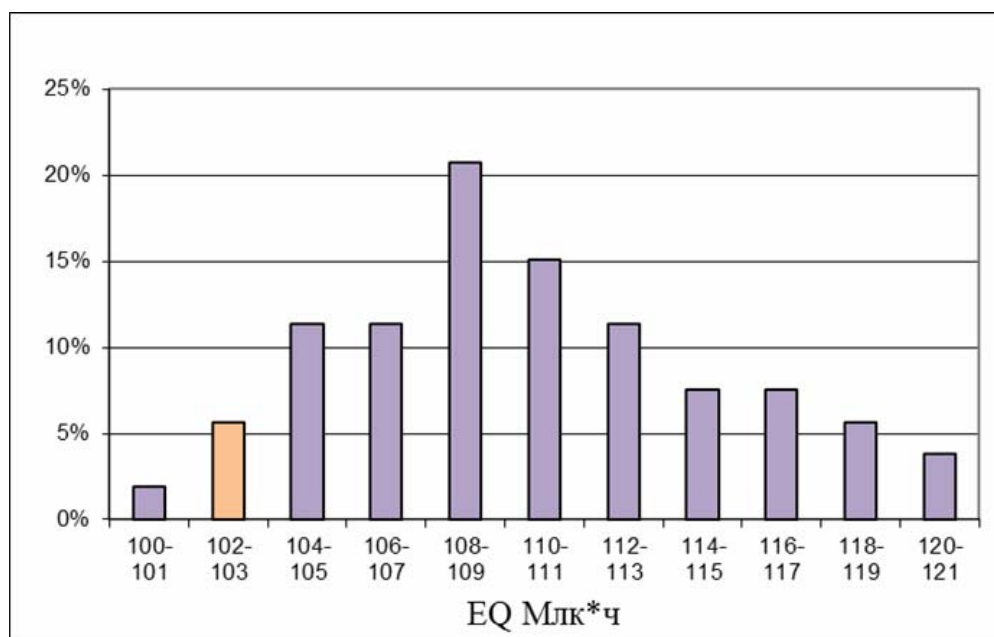


Рисунок 12.1. Повторяемость годовых сумм освещенности за период наблюдений с 1964 года, Млк•ч

Годовой ход E_Q аналогичен годовому ходу суммарной солнечной радиации, с максимальной освещенностью в малооблачном мае (см. раздел 11). В течение года суммы E_Q за месяц изменялись от 0,61 Млк•час в декабре до 17,56 Млк•час в мае. Поступление суммарного освещения в течение 9 месяцев было ниже нормы (табл. 12.1, рис.12.2, рис.12.3). Наибольшее положительное отклонение месячной суммы E_Q от нормы наблюдалось в августе +13%. Световой дискомфорт испытали Москвичи в декабре, когда Солнце светило в городе лишь шесть минут. Декабрь 2017 года стал не только самым «темным» месяцем в году, но и самым «темным» декабрем за весь период наблюдений. В декабре 2017 года практически в 2 раза выпало больше осадков, чем в декабре 1968 года, когда продолжительность солнечного сияния была равна нулю. Т.е повторяемость оптически самой плотной, «темной» дождевой облачности в декабре 2017 года была больше, чем в декабре 1968 года, чем и объясняется рекорд 2017 года. Существенно ниже нормы была освещенность и

в октябре. При рассмотрении освещенности по сезонам надо отметить, что во все сезоны освещенность ниже нормы. Наибольшее отклонение от нормы на 11% произошло, как и в 2016 году, осенью.

Таблица 12.1. Количество освещения суммарным светом E_Q за месяц (Мкл·час) в 2017 году

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
2017	1,72	3,02	7,24	10,39	17,56	15,36	16,82	16,48	8,67	2,94	1,47	0,61	102,27
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	110,01
d, %	4	-17	-11	-12	0	-18	-8	13	-1	-30	-12	-39	-7
макс	2,21	4,99	10,77	14,57	22,39	22,38	22,73	17,43	11,35	5,62	2,68	1,67	120,32
год	2010	1969	1969	2014	2002	1968	2014	2015	2014	1987	1967	2002	2002
мин	1,11	2,22	5,67	8,35	12,54	14,51	15,04	11,57	5,07	2,33	1,02	0,69	100,78
год	1989	1990	1979	1986	1974	2003	2000	1998	2013	1970	2003	1965	1974

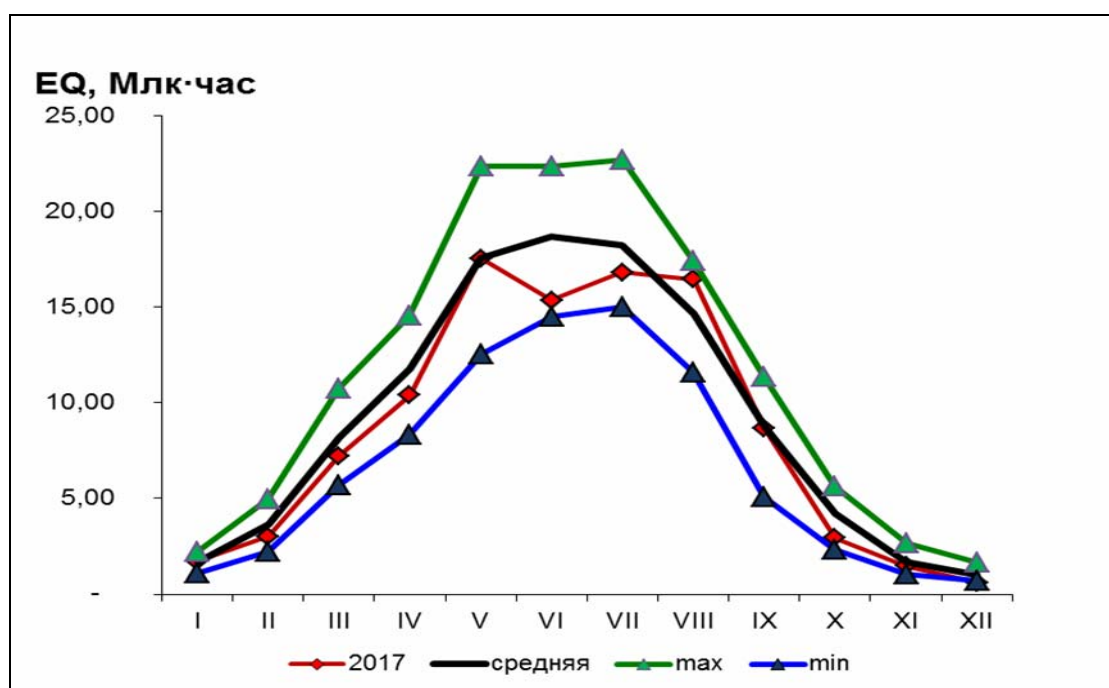


Рисунок 12.2. Количество освещения суммарным светом в 2017 году, в среднем за период 1964-2013, экстремальные значения за 1964-2016 гг.

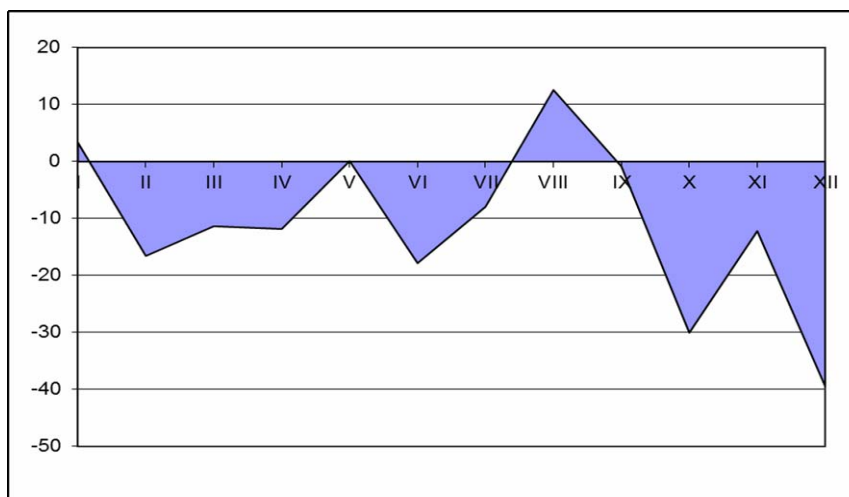


Рисунок 12.3. Отклонение суммарного количества освещенности в 2017 году (%) от нормы 1964-2013 гг. по месяцам

Отношение фактического количества освещения к возможному его количеству (E_Q при отсутствии облаков) показывает, что к земной поверхности в 2017 году поступало от 29% в декабре до 70% в августе от возможной суммы. В период со снежным покровом, при больших значениях альбедо возрастает доля отраженного света в суммарной освещенности. Этот фактор значителен в марте, когда высота солнца растет, увеличивается приход суммарной радиации и сохраняется снежный покров. В этом месяце по многолетним данным отмечается вторичный максимум в годовом ходе отношения фактического количества освещения к возможному. В течение года это отношение было выше нормы только в январе и августе (рис.12.4). Менее 50% от наибольшего возможного значения освещенности приходится на октябрь, ноябрь, декабрь (табл.12.2).

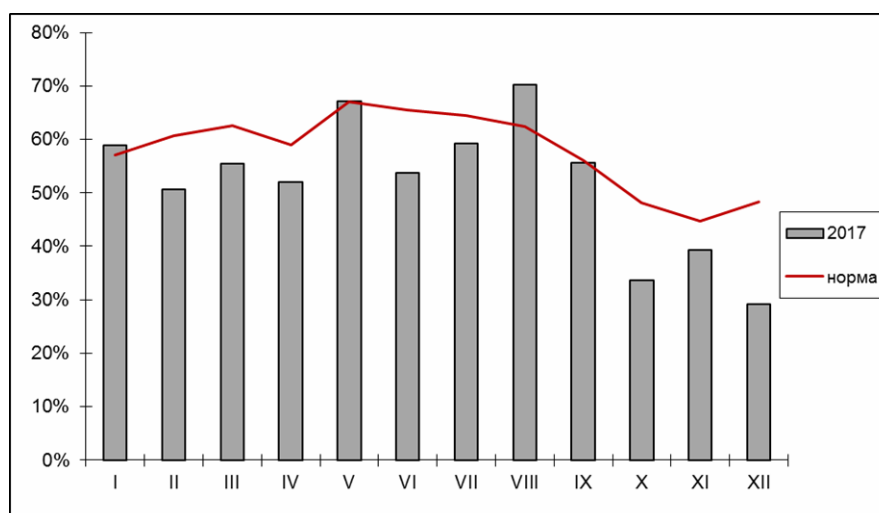


Рисунок 12.4. Сравнение отношения фактического количества освещения к возможному в 2017 году с наблюдавшейся нормой этого отношения 1964-2013 гг.

Таблица 12.2. Отношение фактического освещения за месяц к возможному и световой эквивалент в 2017 году и в среднем за период 1964-2013 гг.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Доля фактической освещенности от возможной, %												
2017	59	51	56	52	67	54	59	70	56	34	39	29
1964-2013	57	61	63	59	67	65	64	62	56	48	45	48
Световой эквивалент, лм/Вт												
2017	101	105	95	100	114	89	102	111	139	109	107	58
1964-2013	99	101	106	107	109	110	111	111	109	106	105	97

Для возможности использования стандартной актинометрической информации при расчете освещенности, в МО МГУ определяется переходный коэффициент от суммарной интегральной радиации к освещенности - световой эквивалент (LEQ). LEQ - отношение освещенности к солнечной радиации, имеет размерность люмен на ватт (лм/Вт), а световой эквивалент количества освещения – клм/МДж, $\text{лм/Вт} = 3,6 \cdot \text{клм/МДж}$. Световые эквиваленты средней за месяц интегральной суммарной радиации в 2017 году менялись в больших пределах от 58 лм/Вт в декабре до 139 лм/Вт в сентябре (табл.12.2).

Средние суточные значения E_Q ($\sum E_Q$) изменяются ото дня ко дню в соответствии с ПСС и облачностью, межсуточная изменчивость освещенности земной поверхности велика (рис. 12.5). Средние суточные значения освещенности 9 месяцев в 2017 году ниже средних многолетних. В марте минимальное значение $\sum E_Q$ (6 марта) стало абсолютным минимумом в этом месяце за весь период наблюдений (30,4 клк·час, табл. 12.3). В 2017 году 150 дней $\sum E_Q$ были ниже средних значений. 31 мая суточное значение оказалось больше максимального за этот день для всего периода наблюдений, 11 дней в году $\sum E_Q$ были ниже соответствующих минимальных значений.

Закономерности многолетней изменчивости освещенности земной поверхности происходят в соответствии с изменением режима облачности, продолжительности солнечного сияния, суммарной радиации. Годовое количество E с середины 1960-х годов до середины 1970-х годов уменьшилось от 105-120 Млк·ч до 100-115 Млк·ч. С конца 1980-х гг. прослеживается общая для суммарной радиации и освещенности тенденция к постепенному увеличению годового количества освещения до уровня 1960-х годов. Последние три года наблюдается снижение освещенности, связанное с повышением балла общей и нижней облачности. При анализе всего периода наблюдений отмечается квазипериодическая изменчивость, тенденция к росту сохранилась (рис.12.6).

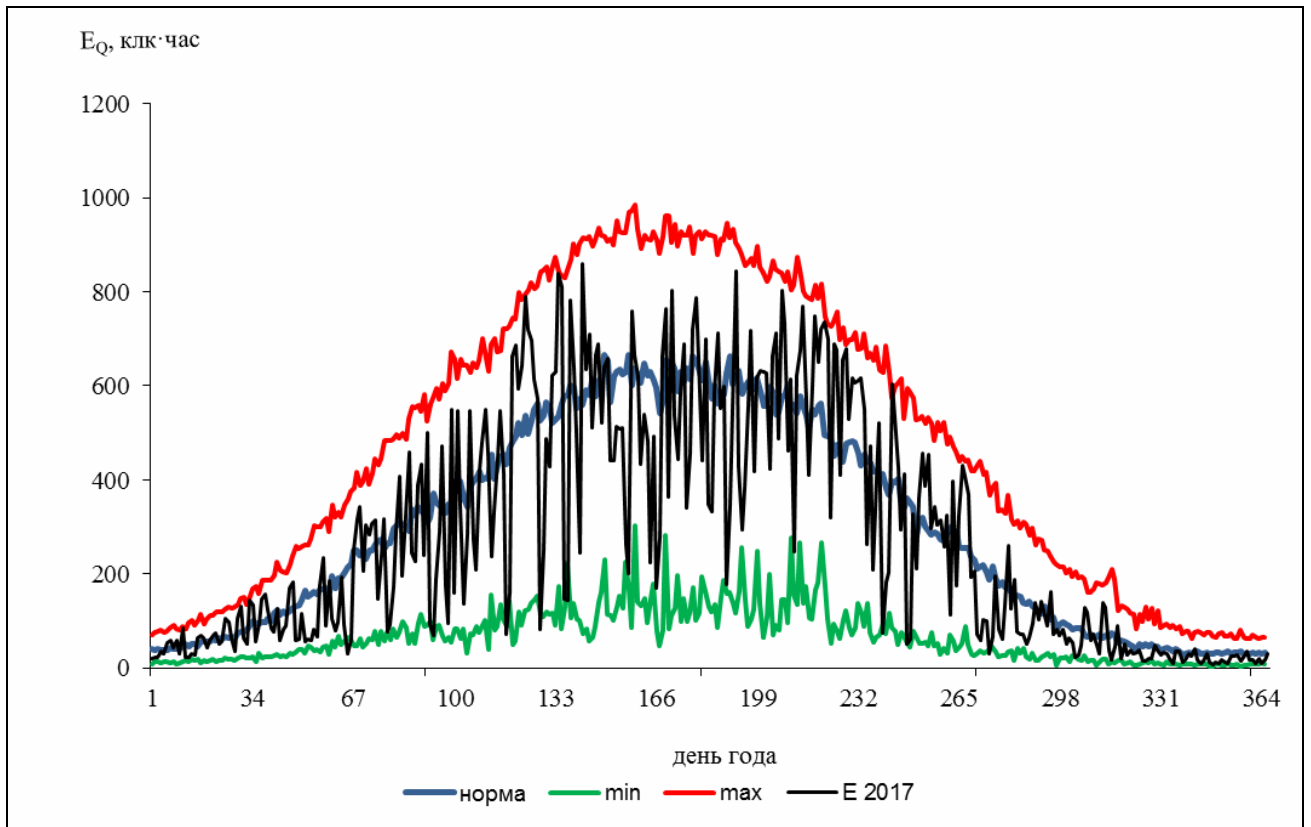


Рисунок 12.5. Освещенность земной поверхности за каждый день, клк·ч

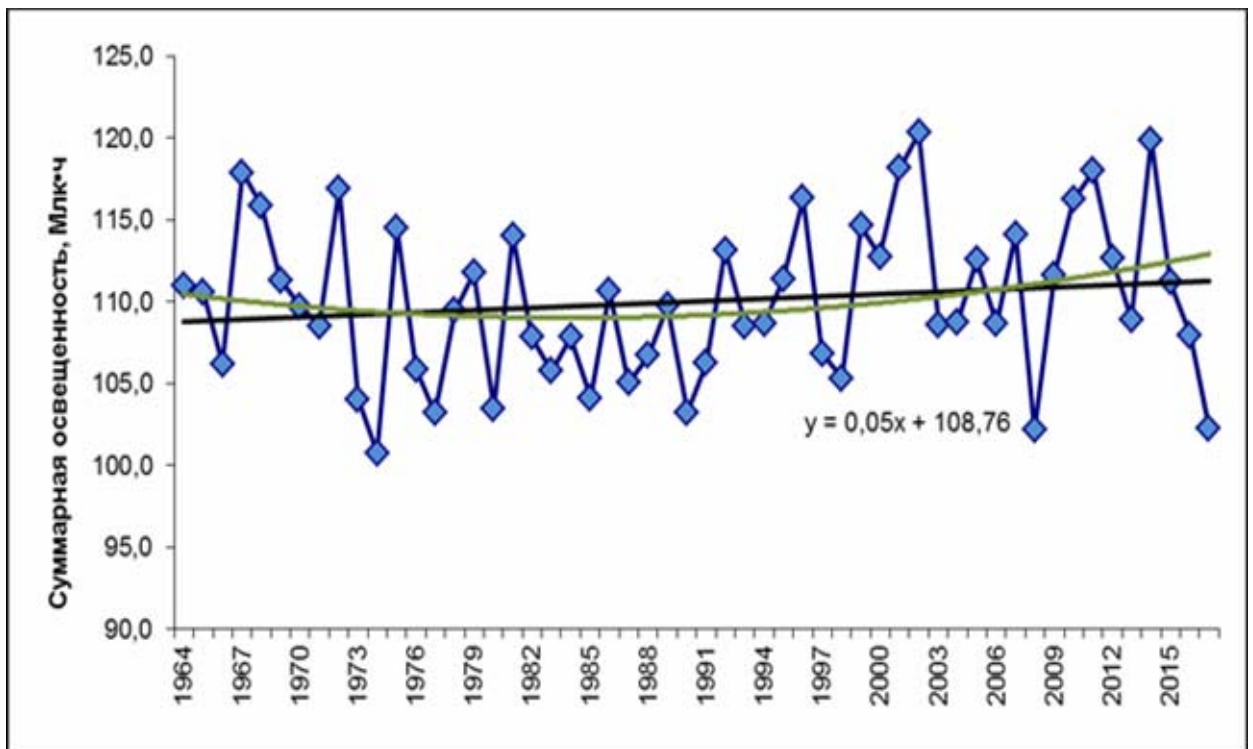


Рисунок 12.6. Многолетнее изменение годового количества естественного суммарного освещения в Москве за период наблюдений с 1964 года, Млк·ч .
 Чёрная линия – линейный тренд, зелёная линия – параболический тренд.

Таблица 12.3. Характеристики количества освещения за сутки по месяцам, клк-час

Период (годы)	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1. Средняя суточная освещенность												
1964-2016	53,7	126,6	263,3	393,5	566,4	623,8	592,8	475,2	291,5	135,1	53,3	32,2
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
σ	9,3	22,5	31,3	42,9	63,1	62,0	58,3	44,2	40,7	22,0	11,1	6,4
2017	55,4	108,0	233,6	346,5	566,5	511,9	542,6	531,4	288,8	94,7	47,4	19,6
2. Максимальная суточная освещенность												
1964-2016	151,0	319,3	582,6	744,5	934,8	1024,6	946,4	847,1	616,4	417,6	211,1	91,1
2017	131,1	233,7	459,3	685,8	860,2	802,8	843,0	768,8	533,0	259,5	140,1	41,1
3. Минимальная суточная освещенность												
1964-2016	7,9	14,7	39,0	31,7	58,5	46,0	64,8	52,7	27,2	6,4	6,4	2,3
2017	19,5	50,4	30,4	68,5	81,1	170,2	178,1	74,8	49,9	21,4	13,9	7,9

Таким образом: 2017 год был одним из самых «темных» годов. Годовое значение освещенности на 7 % ниже нормы, что вызвано увеличением облачности и соответственно уменьшением продолжительности солнечного сияния и прихода суммарной радиации. Освещенность земной поверхности в декабре 2017 года была наименьшей за весь период наблюдений.

13. Особенности прихода ультрафиолетовой радиации 300-380 нм

Незваль Е.И.

Метеорологическая обсерватория, Географический факультет МГУ

13.1. Введение

В Метеорологической обсерватории МГУ имени М. В. Ломоносова на протяжении 50-лет (с ноября 1967 г.) проводится мониторинг суммарной ультрафиолетовой (УФ) радиации в области спектра 300-380 нм* (Q380). За это время использовались различные широкополосные приборы: до декабря 2008 г. уфиметр МО МГУ, разработанный и сконструированный в МО МГУ (Ультрафиолетовые измерительные приборы, 1977; Chubarova, Nezval, 2000), с декабря 2008 г. по настоящее время УФ пиранометры UVA-1 фирмы Yankee Environmental Systems LTD (www.yesinc.com/products/data/uvb1/index/html), а в последние годы и приборы 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 предназначены для измерения радиации в УФ-А области спектра (в диапазоне длин волн 320-400 нм и 315-400 нм соответственно). Возможность их использования для измерения суммарной радиации в области спектра 300-380 нм при сохранении однородности ряда наблюдений в МО МГУ была показана в работах (Nezval', and Chubarova 2007; Nezval', and Chubarova 2008; Незваль, Чубарова, 2011; Незваль, 2014). Контрольные приборы МО МГУ были градуированы в Медицинском университете г. Инсбрука по спектрорадиометру Bentham DTM-300, входящему в группу приборов, по которым осуществляется градуировка УФ приборов в Европе (уфиметр МО МГУ - в июле 2005 г., УФ пиранометр UVA-1 YES № 060902 в июле 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.

*УФ радиация в диапазоне длин волн 300-380 нм соответствует УФ радиации в области спектра с длинами волн ≤ 380 нм, так как в Москве вклад радиации с длинами волн короче 300 нм ничтожно мал).

13.2. Методические аспекты работы мониторинга

Как и в предыдущие годы, для контроля работы УФ пиранометра UVA-1 № 031201, используемого в МО МГУ для проведения мониторинга суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм, периодически проводились сопоставления его данных с данными контрольного прибора UVA-1 № 0609020. Такие сопоставления были проведены: с 23 марта по 5 мая, с 31 мая по 21 июня и с 31 июля по 20 октября 2017 г. (рис. 13.1). В 2017 г. средние за периоды сравнений различия между значениями Q380 по регистратору и контрольному приборам ($d\%$) лежат в пределах $+1,2 \div -1,7\%$ при пасмурном небе и $+0,9 \div -1,0\%$ при наличии прямой радиации.

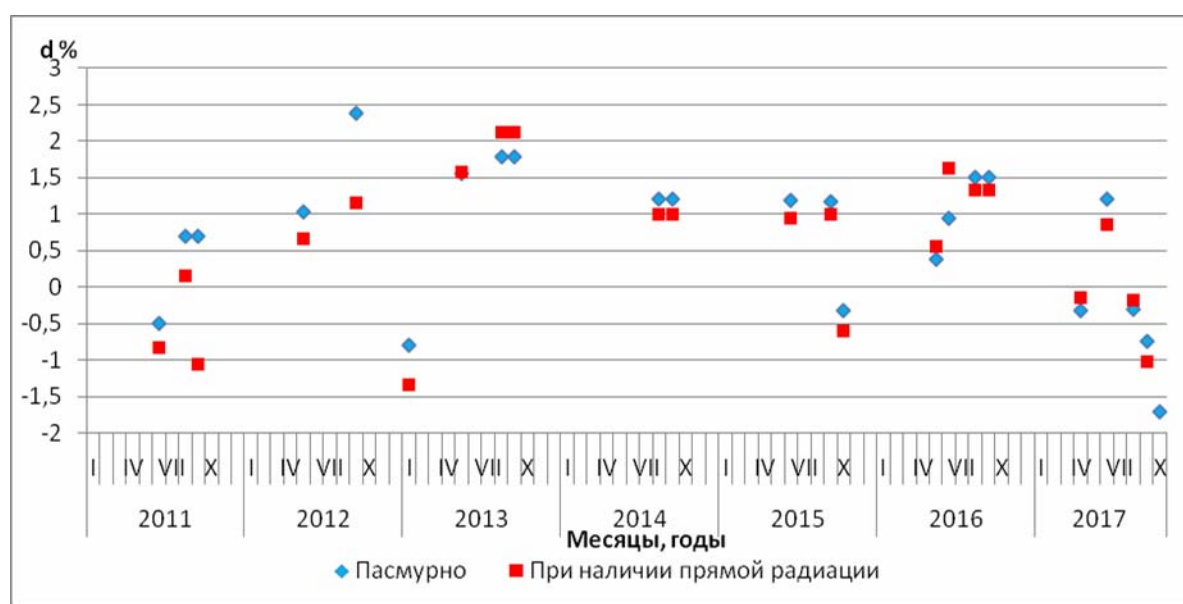


Рисунок 13.1. Отклонения ($d\%$) показаний прибора UVA-1 № 031201 от показаний контрольного прибора UVA-1 № 060902 за период 2011-2017 гг.

Небольшие расхождения с разным знаком в показаниях регистратора и контрольного прибора позволили при анализе данных не учитывать эти расхождения.

Параллельные измерения суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм приборами UVS-A-T фирмы Kipp&Zonen №№ 110061, 110062 и УФ пиранометрами UVA-1 фирмы Yankee Environmental Systems (YES) LTD позволили получить переводные множители для приборов UVS-A-T фирмы Kipp&Zonen и их суммарные (спектральные + косинусные) погрешности (Незваль, 2015). Данные, полученные по приборам UVS-A-T, использовались в случаях неисправностей в работе прибора UVA-1 № 031201.

13.3. Результаты

13.3.1. Месячные, сезонные и годовые суммы $\Sigma Q380$

Годовой приход суммарной УФ радиации Q380 в 2017 г. на 2,5% ниже средней за 40 лет наблюдений (1968-2007 гг.) и на ~3% ниже новой нормы за 1981-2010 гг., а также средней величины за весь предыдущий период (табл. 13.1). В 2017 г. максимальный месячный приход сместился с июня на май, хотя и не намного. Из-за низкого прихода суммарной УФ радиации в июне месячные суммы Q380 практически одинаковы за период с мая по июль. В 2017 г. только в январе и в августе имеют место значимые положительные аномалии относительно всех указанных выше периодов осреднения; в мае значимые положительные аномалии отмечаются только относительно 30-летнего, 40-летнего и всего предшествовавшего периодов наблюдений. В августе аномалии превышают 10%. Однако, месячная сумма в августе 2017 г. является лишь девятой по величине за 50 лет наблюдений.

В течение 8 месяцев отмечены отрицательные аномалии по сравнению с указанными выше периодами, причем для 7-8 месяцев (в зависимости от периода) они значимы. В октябре и декабре отклонения от норм достигают соответственно -24-26% и -33-35%. Отметим, что месячная сумма в декабре является самой низкой величиной за весь период наблюдений, а сумма в октябре занимает 4-ое место от минимальной величины.

Доли месячных сумм Q380 в месячных суммах суммарной коротковолновой (интегральной, $\lambda \leq 4$ мкм) радиации (QIR) изменялись в течение года от 3,7% в мае (при норме 3,8%) до 5,7% в декабре (при норме 4,1%). Резкое увеличение доли Q380/QIR в декабре 2017 г. определяется практически полным отсутствием прямой УФ радиации; при этом продолжительность солнечного сияния (ПСС) составила всего 0,1 часа.

Приход суммарной УФ радиации в целом за сезоны 2017 года представлен в табл. 13.2. За счет очень низких сумм Q380 в октябре приход суммарной УФ радиации осенью 2017 г. оказался на 7-9% ниже средних значений за периоды, указанные в табл.13.2. Это 12-ая величина от абсолютного минимума, отмеченного в 2013 г. В целом за зиму (XII 2016 г. - II 2017 г.) имела место отрицательная аномалия Q380, составившая ~4-5% в зависимости от выбранной нормы. Напомним, что в эту величину не вошла сумма за декабрь 2017 г., являющаяся самой низкой величиной за все 50 лет наблюдений.

Таблица 13.1. Месячные и годовые суммы суммарной УФ радиации 300-380 нм за 2017 год и за периоды 1968-1997 гг., 1968-2007 гг., 1981-2010 гг., 1968-2013 гг. *, 1968-2016 гг. МО МГУ

Пара-Метры	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Месячные и годовые суммы суммарной УФ радиации 300-380 нм, МДж/м ²													
2017 г.	2,51	4,42	9,82	14,4	23,1	23,0	23,0	21,4	11,4	4,23	2,12	1,02	140,4
1968-1997 гг.	2,36	4,99	10,5	14,6	22,1	24,4	23,7	19,3	11,2	5,61	2,28	1,57	142,5
Д.И.	0,12	0,30	0,52	0,62	0,74	0,80	0,71	0,68	0,52	0,33	0,13	0,08	2,54
1968-2007 гг.	2,35	5,03	10,7	14,8	22,3	24,5	24,0	19,4	11,4	5,60	2,33	1,56	144,0
Д.И.	0,10	0,23	0,44	0,50	0,69	0,75	0,59	0,57	0,42	0,27	0,14	0,08	2,24
1981-2010 гг.	2,34	5,00	10,9	15,0	22,8	24,3	24,5	19,1	11,4	5,72	2,38	1,57	145,0
Д.И.	0,11	0,26	0,43	0,56	0,68	0,89	0,74	0,72	0,50	0,33	0,16	0,11	2,65
1999-2013 гг.	2,38	4,90	11,1	15,8	23,1	25,3	25,2	19,3	11,7	5,49	2,27	1,46	148,1
Д.И.	0,17	0,26	0,61	0,48	1,25	1,42	1,14	1,04	0,82	0,35	0,24	0,17	3,61
1968-2016 гг.	2,37	4,93	10,7	15,1	22,5	24,8	24,3	19,4	11,4	5,58	2,30	1,54	144,8
Д.И.	0,08	0,20	0,36	0,44	0,57	0,63	0,59	0,52	0,39	0,23	0,11	0,07	2,01
Отклонения месячных и годовой сумм УФ радиации за 2017 г. (d%) от средних многолетних величин													
1968-1997 гг.	6,6	-11,5	-6,3	-0,9	4,3	-5,7	-2,8	10,9	2,2	-24,5	-6,8	-34,8	-1,4
1968-2007 гг.	7,1	-12,1	-8,4	-2,7	3,3	-6,3	-4,0	10,5	0,2	-24,4	-8,7	-34,6	-2,5
1981-2010 гг.	7,4	-11,7	-9,8	-3,7	1,3	-5,6	-6,1	12,0	0,3	-26,0	-10,7	-34,9	-3,1
1999-2013 гг.	5,5	-9,9	-11,7	-8,9	0,0	-9,3	-8,7	10,7	-2,5	-22,9	-6,2	-30,0	-5,2
1968-2016 гг.	6,1	-10,4	-8,3	-4,3	2,7	-7,3	-5,5	10,3	0,5	-24,1	-7,7	-33,4	-3,1
Максимальные и минимальные месячные и годовые суммы за период 1968-2016 гг., МДж/м ²													
Q _{макс}	2,93	6,22	13,6	18,0	27,3	30,4	30,1	22,9	13,4	7,19	3,62	2,22	159,5
Год	2010	1986	1996	2014	2002	1999	2010	1971	1994	1994	1998	2002	1999
Q _{мин}	1,81	3,43	7,58	11,1	16,5	20,2	21,1	15,5	7,41	3,39	1,48	1,16	132,1
Год	1989	1974	1979	1986	1980	2003	1984	2008	2013	1982	1976	2006	1980
Доли месячных и годовых сумм суммарной УФ радиации в месячных и годовых суммах суммарной интегральной радиации, %													
2017 г.	4,1	4,1	3,9	4,1	3,7	4,4	4,3	4,0	4,0	4,4	4,5	5,7	4,2
1968-2007 гг.	3,9	3,9	3,8	3,8	3,8	4,0	4,1	4,0	3,9	3,9	4,1	4,1	4,0

Примечание: Д.И. – доверительный интервал с уровнем значимости $\alpha=0,05$ средних за 1968-1997 гг., 1968-2007 гг., 1981-2010 гг., 1999-2013 гг. и 1968-2016 гг. Красным и синим цветом отмечены соответственно положительные и отрицательные значимые аномалии. Период 1999-2013 гг. используется в качестве нормы для эритемной радиации.

Таблица 13.2. Суммы суммарной УФ радиации за сезоны 2017 г., за периоды 1968-1997 гг., 1968-2007 гг., 1981-2010 гг., 1999-2013 гг. и 1968-2016 гг. (МДж/м²) и отклонения Q380 за сезоны 2017 г. от соответствующих величин за указанные периоды (d%).

Период	Характеристики	Зима	Весна	Лето	Осень
2017 г.		8,51	47,30	67,37	17,79
1968-1997 гг.	Средняя	8,92	47,13	67,33	19,08
	Д.И.	0,41	1,17	1,39	0,63
	d %	4,6	0,4	0,1	-6,7
1968-2007 гг.	Средняя	8,95	47,86	67,83	19,34
	Д.И.	0,32	1,05	1,16	0,55
	d %	-5,0	-1,2	-0,7	-8,0
1981-2010 гг.	Средняя	8,91	48,62	67,94	19,51
	Д.И.	0,38	1,00	1,45	0,67
	d %	-4,5	-2,7	-0,8	-8,8
1999-2013 гг.	Средняя	8,78	50,02	69,84	19,49
	Д.И.	0,36	1,56	2,00	1,00
	d %	-3,0	-5,4	-3,5	-8,7
1968-2016 гг.	Средняя	8,84	48,22	68,52	19,26
	Д.И.	0,27	0,91	1,09	0,50
	d %	-3,8	-1,9	-1,7	-7,6
	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 с декабря 2016 по февраль 2017 гг. Синим цветом отмечены отрицательные значимые аномалии. Д.И. – доверительный интервал с уровнем значимости $\alpha=0,05$ средних за различные периоды наблюдений.

Особенности годового хода месячных сумм суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм в 2017 году, а также изменения прихода УФ радиации по сезонам в основном хорошо согласуются с характером облачности и с продолжительностью солнечного сияния (рис. 13.2).

Как было показано в работе (Незваль, 2016), наиболее высокая корреляция отмечается между приходом Q380 и продолжительностью солнечного сияния (ПСС). Так, в де-

кабре 2017 г. потери ПСС составили 99% по отношению к средней величине за период 1968-2007 гг., а при наибольшей положительной аномалии Q380 в августе (10,5%) рост ПСС составил 17%.

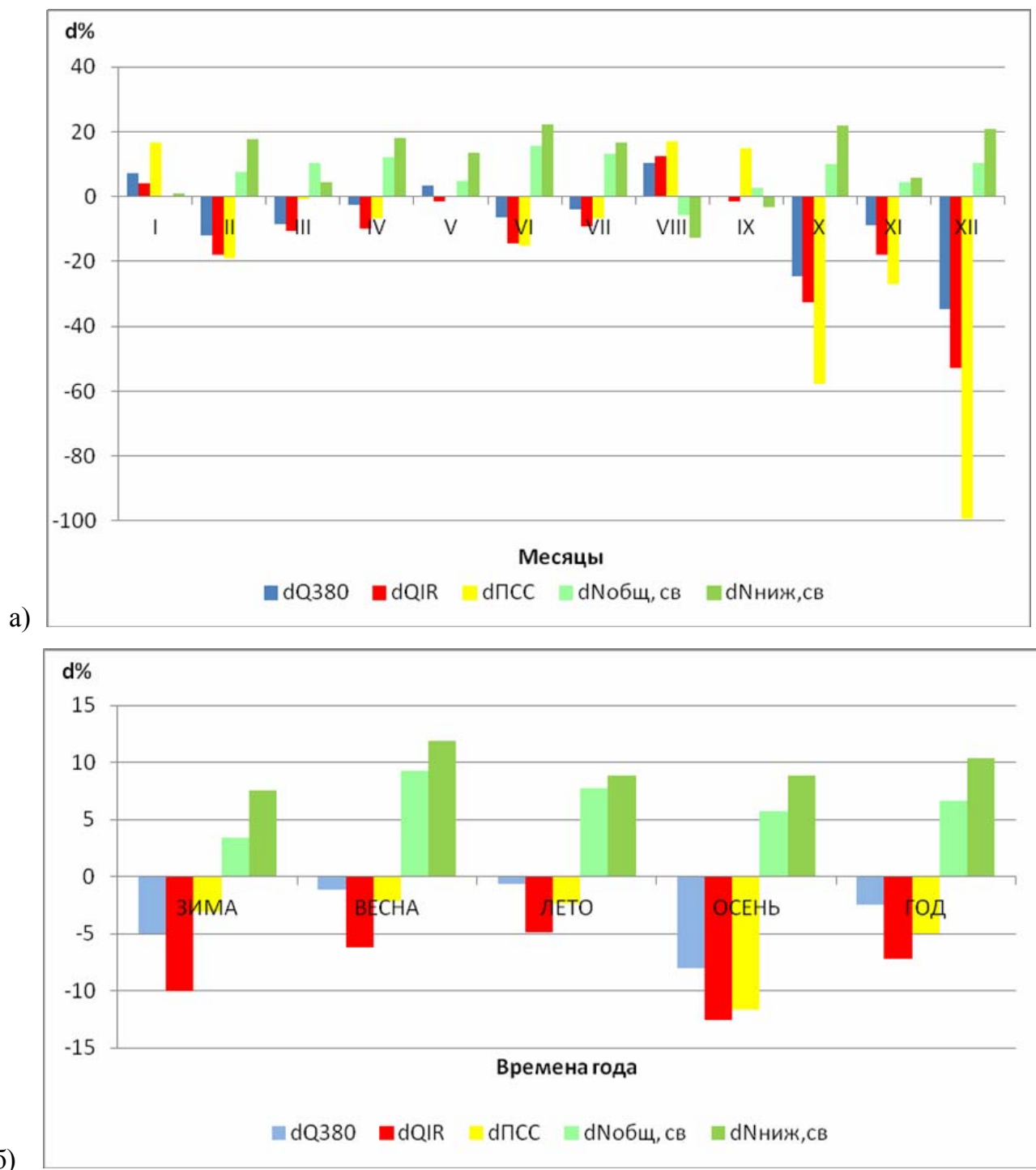


Рисунок 13.2. Отклонения от средних значений за период 1968-2007 гг. значений суммарной УФ (dQ380), интегральной (dQIR) радиации, балла общей (dНобщ, св) и нижней (dНниж, св) облачности за светлую часть суток и продолжительности солнечного сияния (dПСС) за 2017 г.: а – для месяцев года; б – для сезонов года и года в целом

13.3.2. Суточные суммы

6 марта 2017 г. отмечен абсолютный минимум суточных сумм Q_{380} для марта за весь период наблюдений, оказавшийся почти на 11% ниже абсолютного минимума за период с 1968-по 2016 гг., наблюдавшегося 5 марта 1992 г. (табл. 13.3, рис.13.3). Кроме того в 2017 г. наблюдалось довольно много экстремально низких сумм для отдельных дней года (табл. 13.4, рис. 13.4).

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

	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средние, максимальные, минимальные суточные суммы за 2017 г., средние квадратические отклонения (σ), кДж/м ² и коэффициенты вариации (V),%												
$Q_{\text{средн}}$	81	159	317	481	690	766	742	690	381	137	71	33
$Q_{\text{макс}}$	164	306	571	855	965	1137	1060	965	663	329	162	64
Число	30	26	26	30	22	20	11	2	1	8	2	3
$Q_{\text{мин}}$	33	84	46	122	133	318	315	133	88	37	24	14
Число	1	1	6	3	8	15	8	28	5	30	21	14
σ	34	57	141	219	216	228	196	216	158	65	41	15
V	42	36	45	46	31	30	26	31	41	48	57	46
Средние суточные суммы за 1968-1997 гг., 1968-2007 гг., 1999-2013 гг., 1980-2010 гг., кДж/м ² и коэффициенты вариации V%.												
1968-1997 гг.												
$Q_{\text{средн}}$	76	179	338	485	713	812	764	622	373	181	76	51
V	40	41	39	39	30	29	30	32	43	53	55	44
1968-2007 гг.												
$Q_{\text{средн}}$	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
1999-2013 гг.												
$Q_{\text{средн}}$	77	175	359	528	744	845	812	623	391	177	76	47
V	43	41	40	36	31	28	26	32	42	53	53	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
Средние, максимальные и минимальные суточные суммы за период 1968-2016 гг., кДж/м ²												
$Q_{\text{средн}}$	76	176	345	502	724	826	785	624	379	181	77	50
V	41	42	40	38	31	28	28	32	41	53	54	43
$Q_{\text{макс}}$	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

Как было сказано выше, в течение большей части года имели место отрицательные месячные аномалии. В 2017 г. для 9 дней в году отмечены абсолютные минимумы суточных сумм Q380. Отклонения минимальных суточных сумм для отдельных дат от минимальных суточных сумм за предыдущие годы могут достигать существенных значений. Так, 2 октября эта величина составила -30%, а 6 марта -50%. Даже в теплое время года в мае и августе отклонения от предыдущих минимумов достигали почти -10% (см. табл.13.4).

Однако, при отрицательной аномалии за июнь, 20 июня 2017 г, наблюдалась самая высокая суточная сумма Q380 за все 50 лет наблюдений, превысившая суточный максимум для этого числа, наблюдавшийся в 1975 г., на 2,1%. В январе 2017 г. при значительной положительной аномалии месячной суммы Q380 были отмечены наибольшие значения за 50 лет 8 и 30 января: соответственно на 3,3 и 1,2 % выше наблюдавшихся ранее (см. табл. 13.4).

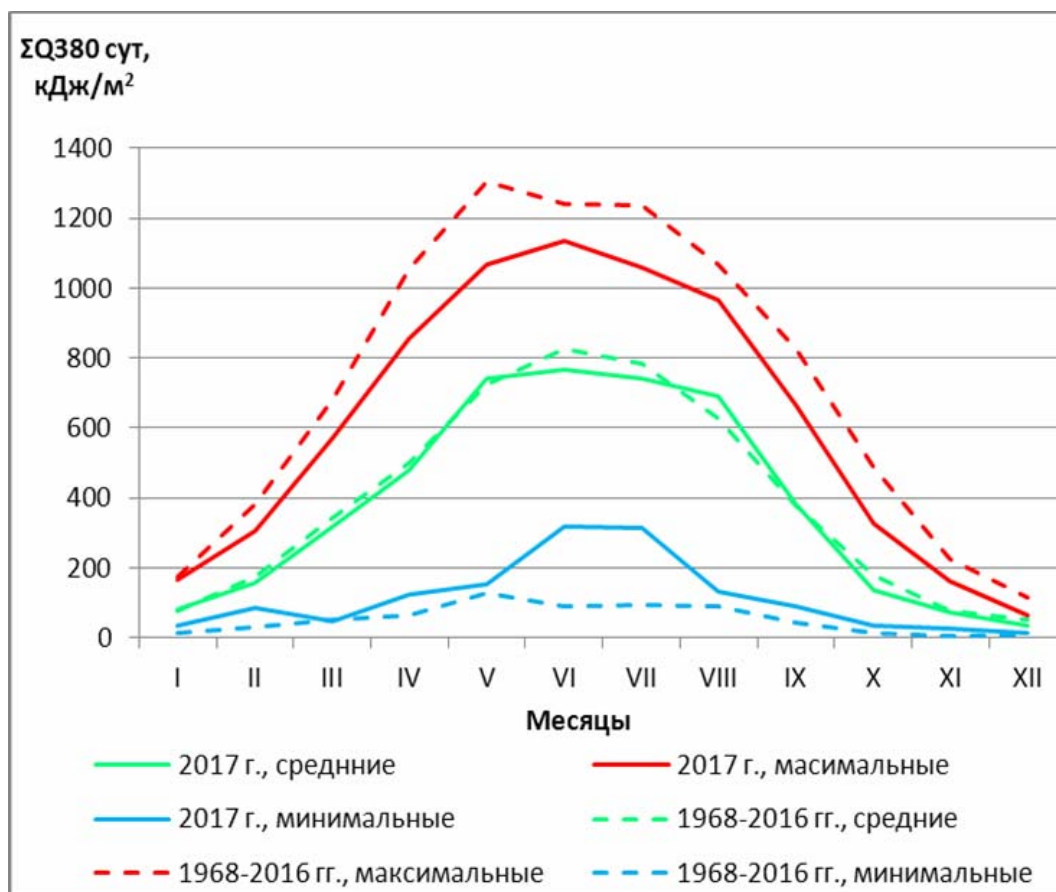


Рисунок 13.3. Годовой ход средних, максимальных и минимальных суточных сумм УФ радиации 300-380 нм за 2017 г. и за период 1968-2016 гг.

Таблица 13.4. Экстремальные суточные суммы Q380 для отдельных дней 2017 года, экстремальные суточные суммы Q380 для тех же чисел за период 1968-2016 г. и их различия Δ %, кДж/м²

2017 г.		1968-2016 гг.		Δ кДж/м ²	Δ %
Дата	Q380	Год	Q380		
Максимальные суточные суммы					
8.01	94	1981	91	3	3,3
30.01	164	1987	162	2	1,2
20.06	1137	1975	1114	23	2,1
Минимальные суточные суммы					
6.03	46	1989	93	-47	-50,5
8.05	154	1988	171	-17	-9,9
17.05	240	2016	241	-1	-0,4
28.08	133	2012	147	-14	-9,5
5.09	88	1990	91	-3	-3,3
2.10	46	1970	66	-20	-30,3
30.10	37	1974	43	-6	-14,0
28.12	17	1993	18	-1	-5,6
30.12	15	2004	18	-3	-16,7
		1980	18	-3	-16,7

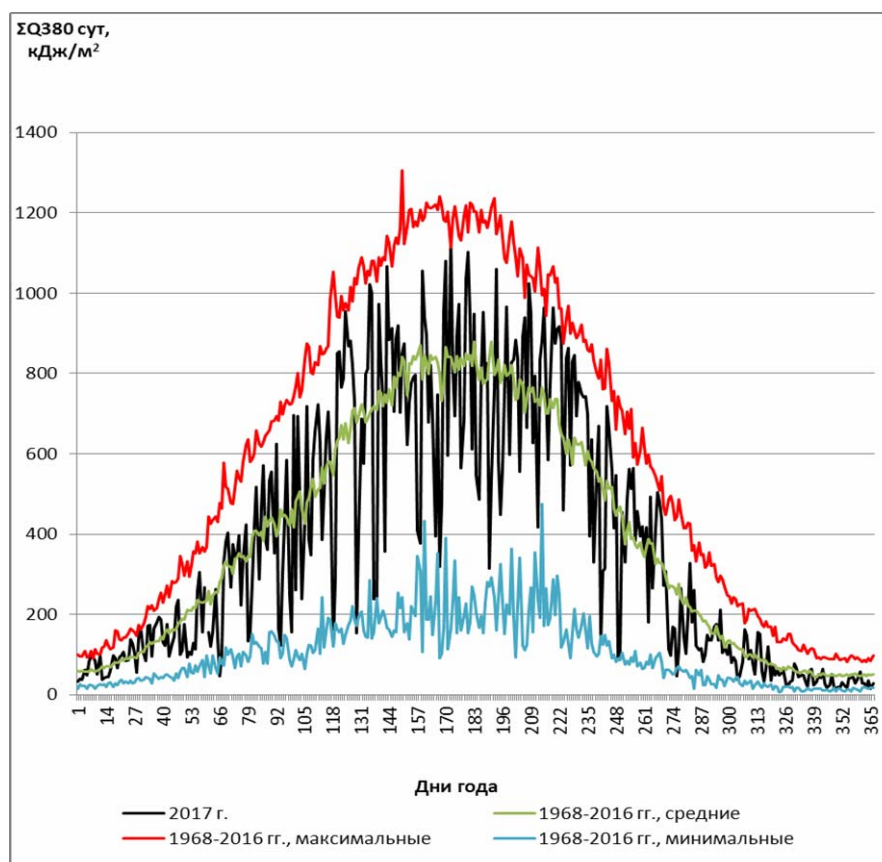


Рисунок 13.4. Годовой ход суточных сумм за 2017 г. и средних, максимальных и минимальных суточных сумм за весь предшествующий период (1968-2016 гг.)

В отличие от 2016 г. изменчивость суточных сумм суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм в 2017 г. незначительно отличается от изменчивости в среднем за периоды 1968-2007 гг. и 1981-2010 гг. (рис. 13.5). Она на несколько процентов выше весной (до ~7% в апреле) и ~ на 5,5% ниже в октябре.

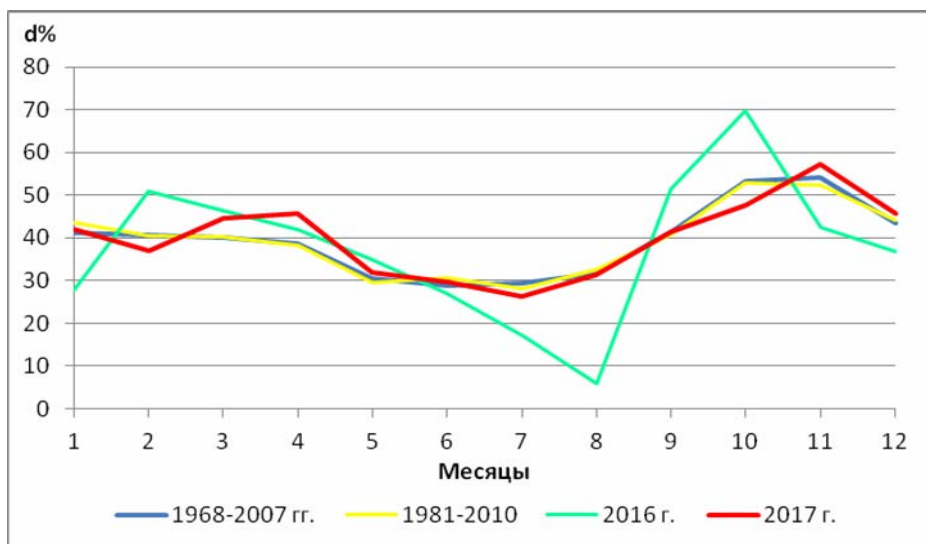


Рисунок 13.5. Изменчивость суточных сумм за 2016 г., 2017 г. и за различные периоды наблюдений

13.3.3. Многолетние изменения

Изменения суммарной УФ радиации за 50-летний период наблюдений в целом за год, за теплый (май-сентябрь) и за холодный (ноябрь-март) периоды года представлены на рис. 13.6. Можно видеть, что для года в целом и для теплого периода в 2017 г. продолжилось уменьшение в приходе суммарной радиации, начавшееся после 2014 г. Оно отмечается как для суммарной УФ (Q380), так и для коротковолновой солнечной (QIR) радиации. С 2014 г. по 2017 г. годовой приход суммарной УФ радиации снизился на 10,6%, годовой приход коротковолновой солнечной радиации – на 14,2%. Для холодного периода постепенное снижение в приходе радиации отмечается с 2011 г. Как уже было показано ранее (Незваль, 2016), имеет место довольно высокая корреляция между приходом Q380 и QIR. За период 1968-2017 гг. для года в целом и для различных его периодов коэффициенты корреляции между Q380 и QIR представлены в табл. 13.5.

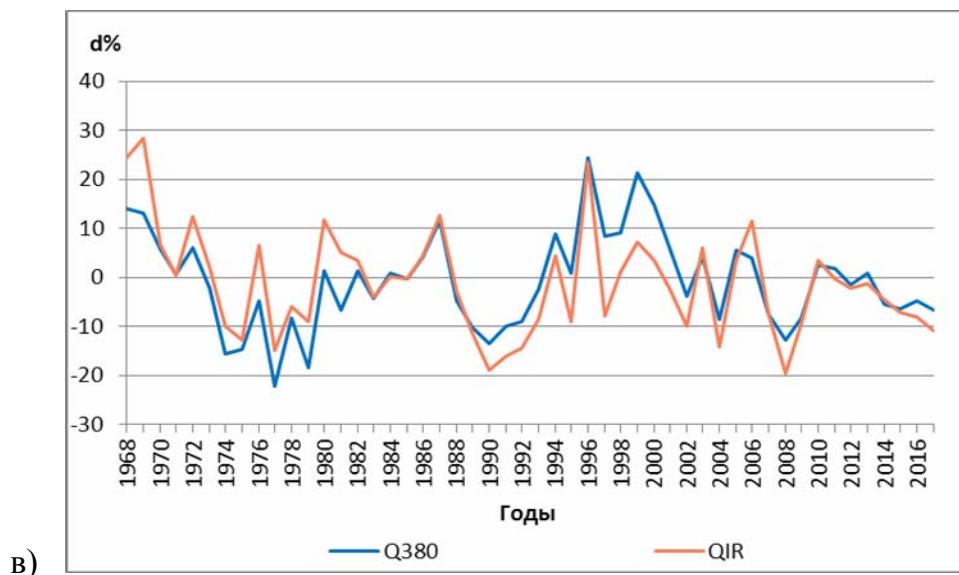
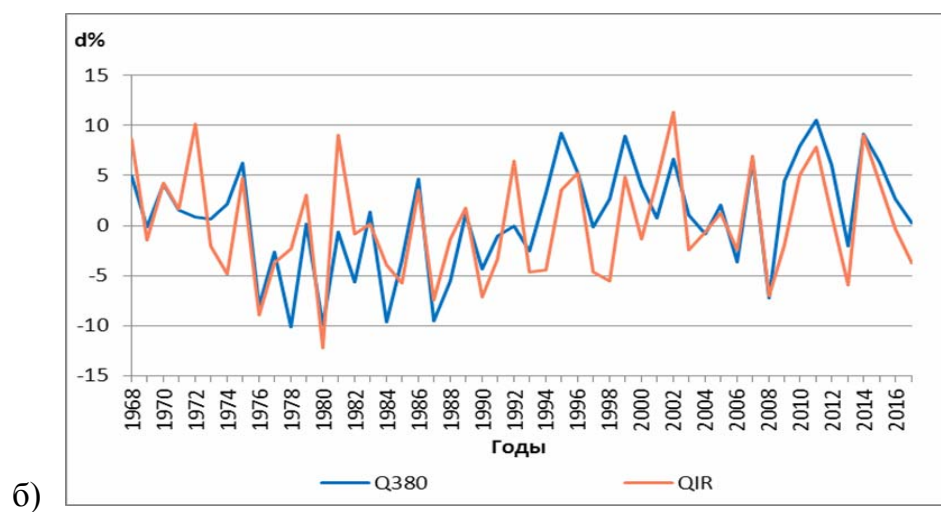
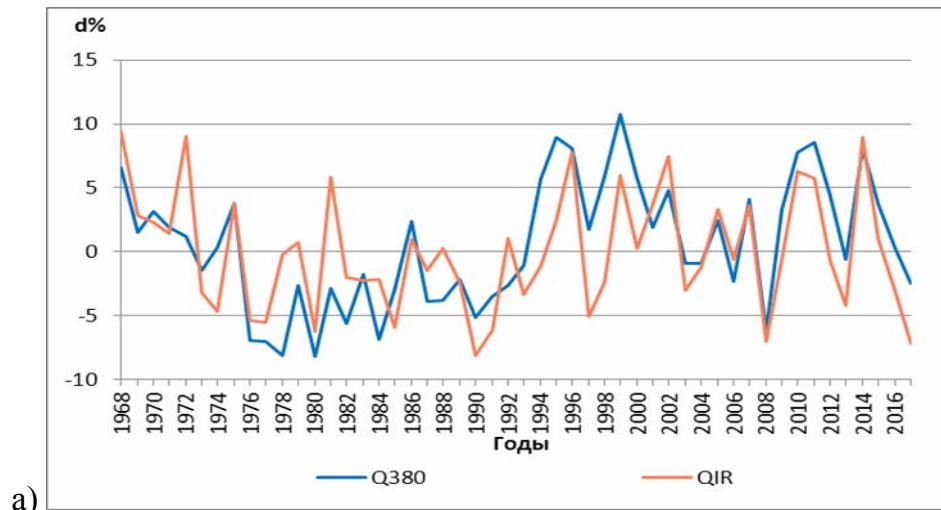


Рисунок 13.6. Многолетние изменения суммарной УФ радиации Q380 и коротковолновой (интегральной) суммарной радиации QIR в целом за год и за различные периоды года относительно средней величины за 40 лет (1968-2007 гг.): а – год, б – теплый (май-сентябрь) период, в – холодный (ноябрь-март) период

Таблица 13.5. Коэффициенты корреляции между приходом суммарной УФ (Q380) и коротковолновой солнечной (QIR) радиацией.

Периоды	Коэффициент корреляции
ГОД	0,68
ЗИМА	0,72
ВЕСНА	0,81
ЛЕТО	0,73
ОСЕНЬ	0,82
МАЙ-СЕНТЯБРЬ	0,70
НОЯБРЬ-МАРТ	0,79

Наибольшие коэффициенты корреляции отмечаются для весны и осени, наименьший коэффициент корреляции - для года в целом.

13.4. Заключение

- В целом за 2017 год приход суммарной УФ радиации в области спектра 300-380 нм был на 2,5% ниже нормы за 40 лет наблюдений (1968-2007 гг.) и ~ на 3% ниже по сравнению с периодами 1981-2010 гг. и 1968-2016 гг. Наибольшие положительные аномалии (выше 10%) относительно указанных периодов имели место в августе. Наибольшие отрицательные аномалии отмечались в октябре (-24-26%) и в декабре (-33-35% – абсолютный минимум за 50 лет). За счет низких значений в октябре приход Q380 в целом для осени 2017 г. на ~7-9% ниже прихода за все указанные в работе периоды осреднения.

- 6 марта 2017 г. отмечена самая низкая суточная сумма для марта за все 50 лет наблюдений; она оказалась на 11% ниже предыдущего минимума, наблюдавшегося 5 марта 1992 г. Кроме того, для 9 календарных дней в 2017 г, отмечались самые низкие суточные суммы за весь период измерений, а для трех календарных дней - самые высокие.

- За период с 2014 г. по 2017 г. годовой приход суммарной УФ радиации снизился на 10,6%.

Работа выполнялась при частичной поддержке РФФИ, проект № 18-05-00700.

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. Особенности прихода УФ радиации 300-380 нм. «Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2014 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ» под редакцией О.А. Шиловцевой и Е.И. Незваль. М., МАКС Пресс, 2015, CD-ROM 978-5-317-05113-6, с.15-128.

Незваль Е.И. Особенности прихода УФ радиации 300-380 нм. «Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2015 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ» под редакцией О.А. Шиловцевой. М., МАКС Пресс, 2016, CD-ROM 978-5-317-05424-36, с.146-166.

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» под редакцией Н.Е. Чубаровой. 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

14. Особенности режима и методические аспекты измерений биологически активной эритемной ультрафиолетовой радиации

Жданова Е.Ю., Чубарова Н.Е.

Метеорологическая обсерватория, Географический факультет МГУ

14.1. Краткая характеристика приборов и методических аспектов измерений

Измерения эритемной УФ радиации в 2017 году проводились широкополосными приборами фирмы KIPP&Zonen UV-S-E-T с серийными номерами №120056 (до 20 июня) и №120057 (с 20 июня до конца года). С января 2017 года переводный множитель для прибора №120056 был увеличен на 5% относительно ранее использованных переводных множителей согласно результатам калибровки прибора, проведенной летом 2017 года в Обсерватории физической метеорологии, Мировом радиационном центре, в Давосе, которая включала в себя определение спектральной кривой прибора и косинусной погрешности. Несмотря на смену прибора, однородность многолетнего ряда данных об эритемной УФ радиации в МО МГУ в целом сохранена благодаря регулярным сравнениям с контрольным прибором и вводом соответствующих поправок.

По результатам проведенной в Давосе калибровки прибора №120056 было выявлено, что его переводный множитель увеличился на 10% при высоте Солнца 30 градусов относительно заводского значения. Стоит отметить, что в период использования прибора №120056 как основного регистратора в МО МГУ по результатам ежегодных сравнений его параллельных измерений с контрольным прибором, переводный множитель прибора №120056 уже был увеличен на 5% при высоте Солнца 30 градусов к 2017 году относительно своего первоначального значения.

Изменения в спектральной кривой прибора показаны на рис.14.1, чувствительность прибора №120056 в диапазоне длин волн 300-320 нм в среднем уменьшилась на 9%. Наибольшее уменьшение спектральной чувствительности прибора наблюдается в диапазоне длин волн 340-360 нм (в среднем 42%), который вносит малый вклад в величину плотности потока эритемной УФ радиации.

Сравнения измерений нескольких приборов, имеющих кривую спектральной чувствительности, близкую к кривой эритемного действия, проведенные в мае 2018 года, показали, что при высоте Солнца 30 градусов относительные изменения измеренных плотностей потока эритемной УФ радиации приборами друг относительно друга (Q (№ прибо-

ра)/Q(№ прибора)-1)*100%) составляют для Q(№120056)/Q(№060904) — в среднем 8%, для Q(№120056)/Q(№120057) — 12%, для Q(№120057)/Q(№060904) — -3%.

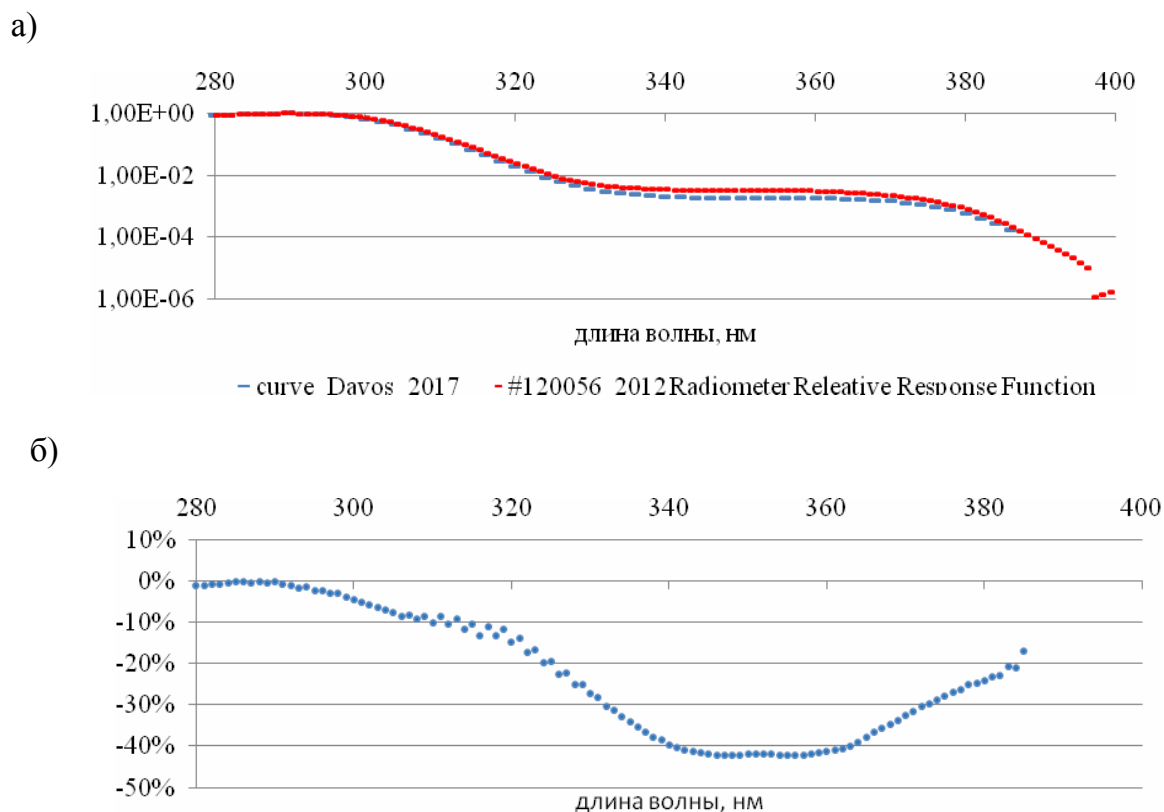


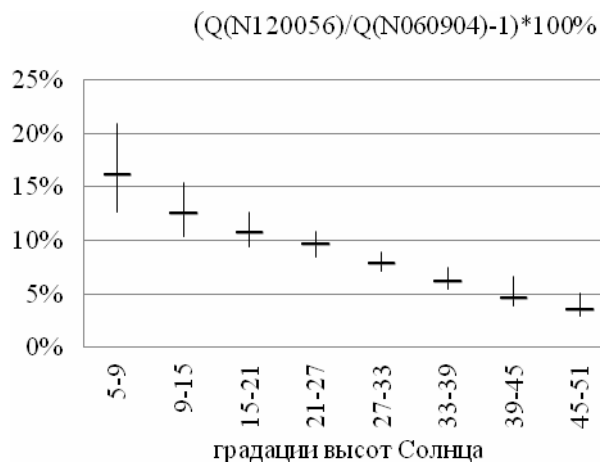
Рисунок 14.1. а) Спектральные кривые прибора №120056 - исходная и после калибровки в Давосе; б) относительные изменения новой спектральной кривой относительно исходной.

Сравнения с модельными расчетами при безоблачных условиях показали, что приборы №060904 и №120057 занижают действительные значения эритемной радиации при низких высотах Солнца. При высоте Солнца 30 градусов относительные изменения измеренных плотностей потока эритемной УФ радиации прибором №120057 относительно модельных оценок занижены на 8%. Таким образом, измерения регистрирующего во второй половине года прибора №120057 являются заниженными, причем занижение измерений увеличивается с уменьшением высоты Солнца.

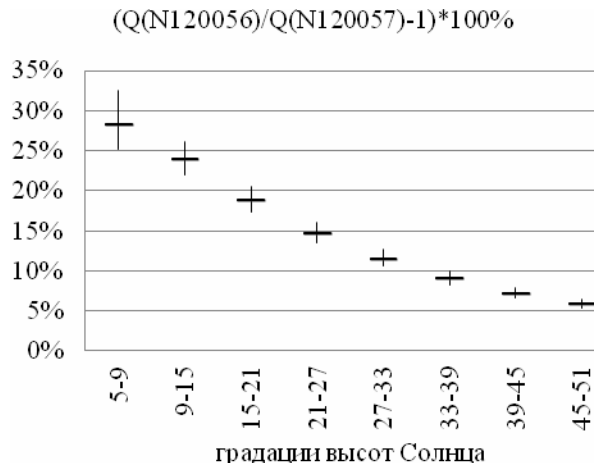
На рис.14.2 приведены зависимости относительные изменения измеренных плотностей потока эритемной УФ радиации приборами друг относительно друга в зависимости от градаций высот Солнца. По результатам модельных расчетов в безоблачных условиях значения переводного множителя регистрирующего прибора №120057 при высоте Солнца 30 градусов были уточнены и дополнительно увеличены с учетом линейной интерполяции с

2 до 5% для периода с июня по декабрь 2017 года. Это уточнение было получено относительно измерений прибора №120056, прошедшего калибровку.

а)



б)



в)

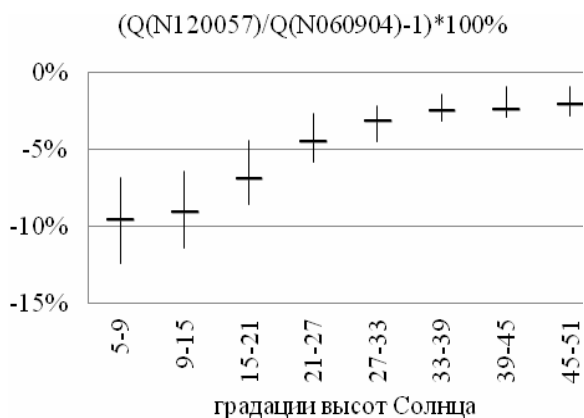


Рисунок. 14.2. Относительные изменения измеренных плотностей потока эритемной УФ радиации приборами друг относительно друга в зависимости от высоты Солнца (25, 50 и 75-перцентили).

14.2. Анализ данных измерений биологически активной эритемной радиации в 2017 г.

Годовая сумма эритемной УФ радиации (Q_{er}) в 2017 году составила 420 кДж/м²(эфф), что на 3% ниже среднего значения за 15-летний период 1999-2013 гг. (432.5 кДж/м²(эфф)). Месячные суммы радиации в 2017 году были ниже средних в марте-апреле, июне-июле, октябре и декабре, выше в августе и близки к средним значениям в январе, феврале, мае, сентябре и ноябре. На рис.14.3 показан сезонный ход средних за месяц суточных сумм Q_{er} в 2017 году, средние многолетние суточные суммы Q_{er} за период 1999-2013 гг, а также относительная разница между среднесуточными суммами в 2017

году и средними многолетними значениями. Из рис.14.3 видно, что относительные изменения эритемной УФ радиации в 2017 году относительно средних многолетних значений варьировались от -27% в октябре до +24% в августе. Третий год подряд наибольшие положительные аномалии эритемной УФ радиации относительно среднего значения за период 1999-2013 гг. наблюдались в августе.

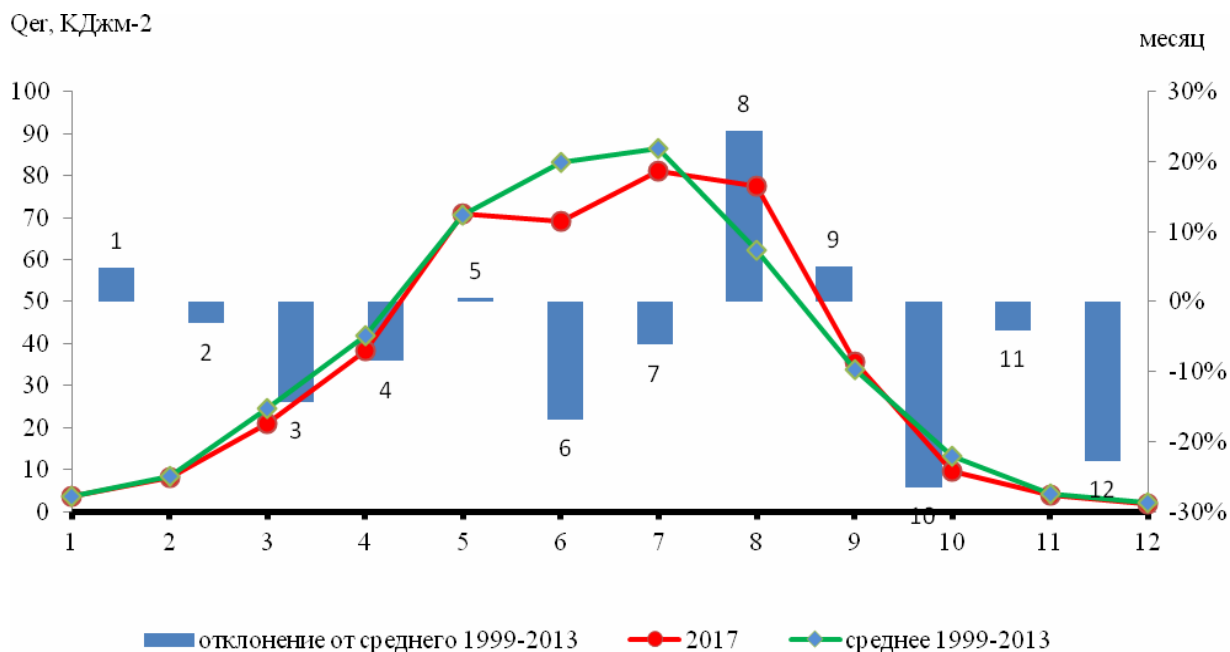


Рисунок 14.3. Сезонный ход средних за месяц суточных сумм Qer в 2017 году, среднее многолетнее значение за период 1999-2013 гг. (левая ось) и относительные изменения Qer по сравнению со средними значениями (правая ось).

Основными факторами, определяющими приход УФ радиации к поверхности Земли, является режим облачности, которая неразрывно связана с условиями общей циркуляции атмосферы, а также общее содержание озона в атмосфере. Анализ условий облачности и особенностей атмосферной циркуляции представлен в разделах 5 "Особенности облачного покрова и продолжительности солнечного сияния" и 7 "Атмосферное давление и ветер в приземном слое". Продолжительность солнечного сияния в 2017 году составила около 37% от возможного значения. В декабре было отмечено 30 дней без Солнца, что привело к значительному уменьшению эритемной УФ радиации относительно многолетнего среднемесячного значения. Самым солнечным месяцем года стал август, в результате в этом месяце наблюдалась положительная аномалия эритемной УФ радиации.

Среднегодовое общее содержание озона (ОСО) в 2017 году составило 325 единиц Добсона по данным спутникового радиометра OMI, что на 3% ниже среднего многолетнего значения (1999-2013 гг.).

Относительные изменения эритемной УФ радиации за счет поглощения озоном показаны на рис.14.4. Наибольшая положительная среднемесячная аномалия эритемной УФ радиации наблюдалась в феврале (+14%), наибольшие отрицательные аномалии эритемной УФ радиации за счет ОСО большего, чем средние многолетние значения, наблюдались в октябре-ноябре (-8%).

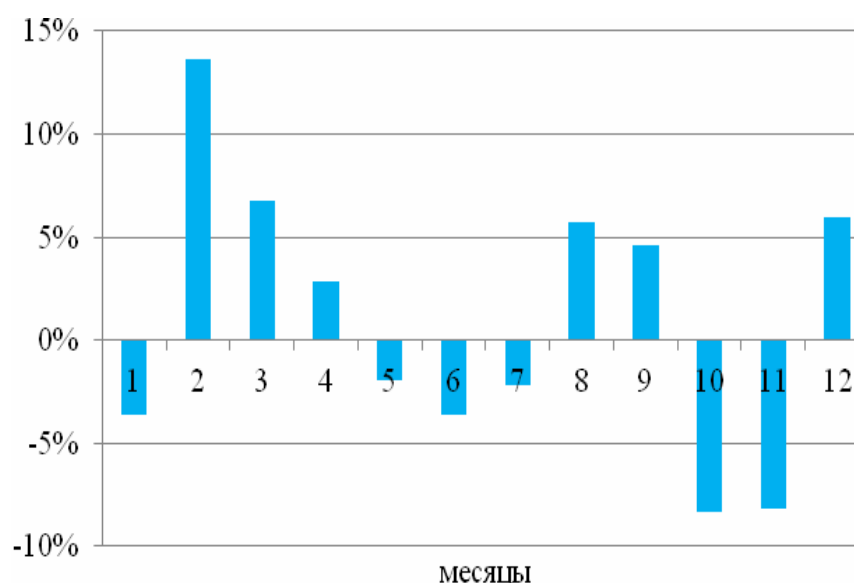


Рисунок 14.4. Относительные изменения эритемной УФ радиации в 2017 году за счет поглощения озоном [Booth and Madronich, 1994].

В таблице 14.1 показаны статистические характеристики суточных сумм эритемной УФ радиации, а также максимальные УФ индексы в 2017 году. Близко к абсолютному максимуму за период наблюдений УФ индекс был в апреле (29 апреля 2017, УФ индекс = 4,8), а в августе максимальный УФ индекс 2017 года повторил абсолютный максимум за период 1999-2013 гг (2 августа 2017, УФ индекс = 6,2). В обоих случаях максимальные УФ индексы в августе и апреле 2017 года наблюдались в околополуденное время при практически сплошном покрове верхней облачности и низком для апреля общем содержании озона (320 единиц Добсона), а 2-ого августа дополнительно наблюдалась облачность нижнего яруса (5 баллов).

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

Уровень эритемной радиации по данным измерений в 2017 году, как показано в разделе 14.2, был несколько ниже, чем в среднем за 15-летний период 1999-2013 гг. Для выявления причины были проведены расчеты с применением модели УФ реконструкции (Chubarova et al., 2008), в которой были сделаны некоторые изменения. В частности, в ней был модернизирован блок, в котором рассчитываются изменения УФ радиации за счет оптической толщины облаков. В старом варианте расчет проводился путем инвертирования оптической толщины, рассчитанной по коротковолновой радиации в величину пропускания в УФ диапазоне спектра. Метод получения оптических толщин был разработан только для бесснежного периода и многочисленные коррекции и параметризации могли приводить к погрешностям. Хотя само влияние этого фактора невелико, однако было интересно оценить влияние изменчивости оптических толщин облаков другим, более простым способом. Для этого выбирались случаи при сплошном покрове облаков без прямого Солнца в течение не менее 3-х часов и при высоте Солнца более 5 градусов. Рассчитывались величины пропускания коротковолновой радиации, которая затем по заранее полученной параметризации пересчитывалась напрямую в облачное пропускание в УФ диапазоне спектра. При оценке суммарной коротковолновой радиации при ясном небе учитывались вариации влагосодержания и АОТ для выбранного периода. Таким образом, была получена непосредственная изменчивость УФ радиации за счет вариаций в величине облачного пропускания при сплошном покрове облаков, которая является, главным образом, функцией оптической толщины облаков. При этом эффекты альбедо были уже учтены, что дает возможность использовать полученную схему для всего года. Сравнение старой и новой схемы (для июля) выявило несколько большие вариации эритемной радиации за счет оптической толщины (среднеквадратичное отклонение для старой схемы равно 0,013 по сравнению с 0,015 - в новой схеме). Корреляция между изменчивостью УФ радиации за счет оптической толщины облаков в старой и новой схемах составляет 0,7.

Результаты расчетов по модели реконструкции приведены на рис. 14.5. В 2017 году отмечалось заметное уменьшение рассчитанных годовых значений эритемной радиации (до -8%). В целом это соответствует результатам измерений, однако там это уменьшение не так выражено. Как видно из рис. 14.5, уменьшение эритемной радиации связано, главным образом, с резким увеличением эффективного балла облаков (-7,8%) и в некоторой

степени – ростом оптической толщины облачности (-1,7%). За счет заметного сокращения аэрозольного загрязнения в 2017 году, приведшего к небольшому росту УФ радиации (до 1,6%) наблюдается некоторая компенсация потерь эритемной УФ радиации. В среднем общее содержание озона по спутниковым данным ОМІ было практически таким же, как за период 1999-2013 гг. , поэтому его влияние в изменчивости эритемной радиации не прослеживалось.

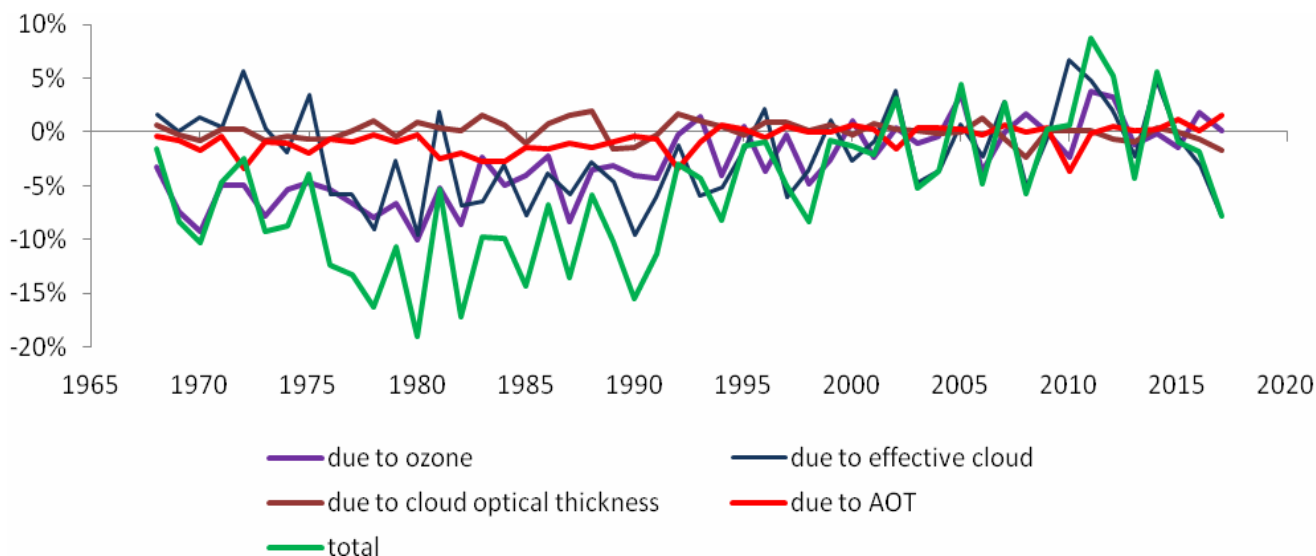


Рисунок 14.5. Вариации годовых значений эритемной УФ радиации за счет различных факторов (due to ozone - за счет поглощения озоном; due to cloud optical thickness - ослабление за счет облачной оптической толщины; due to effective cloud - ослабление за счет эффективного балла облачности; due to AOT - ослабление за счет аэрозольной оптической толщины) и в целом (total) за счет суммы всех факторов относительно среднего за период 1999-2013 гг. по данным модели реконструкции. Москва

Таким образом, годовая сумма эритемной УФ радиации в Москве в 2017 году была ниже средней многолетней на 3%. Наибольшая положительная аномалия эритемной УФ радиации наблюдалась в августе, что объяснялось как более ясными условиями, так и меньшим общим содержанием озона. Наибольшая отрицательная аномалия эритемной УФ радиации наблюдалась в октябре и была связана, как с большим содержанием озона, так и большей облачностью по сравнению со средними условиями. Согласно результатам модели реконструкции, меньшая относительно среднего многолетнего значения годовая сумма эритемной УФ радиации в 2017 году объяснялась увеличением эффективного балла облаков, ростом оптической толщины облачности и уменьшением аэрозольного загрязнения.

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

Booth C. R., Madronich S. Radiation amplification factors : improved formulation accounts for large increases in ultraviolet radiation associated with Antarctic ozone // *Ultraviolet radiation in Antarctica: measurements and biological effects Antarctic research series.* — 1994. — Vol. 62, no. 2. — P. 39–42.

Работа поддержана грантом РФФ № 17-77-10132, расчеты по модели реконструкции проведены при поддержке гранта РФФИ №18-05-00700.

Таблица 14.1. Средние, минимальные, максимальные, максимальные суточные суммы Q_{er} (Дж/м²эфф) в 2017 году, в период 1999-2013 гг. и максимальные УФ индексы в 2017г, 1999-2013гг; относительные изменения Q_{er} в 2017 году

	Месяцы												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Q_{er} , 2017 Среднее Мин Макс	119 50 301	287 145 613	677 97 1281	1276 262 2821	2292 373 3332	2302 835 3769	2614 1003 3943	2498 369 3805	1189 243 2238	311 66 801	131 36 338	54 23 112	
Q_{er} (среднее) 1999-2013	113	293	791	1394	2278	2770	2786	2008	1132	424	137	70	
Q_{er} (максимум) 1999-2013	155	378	975	1635	2710	3332	3308	2471	1267	501	205	115	
Q_{er} (минимум) 1999-2013	89	245	643	1222	1949	1890	2177	1658	625	351	105	51	
УФ-индекс, 2017 (максимум)	0.7	1.4	2.4	4.8	5.4	5.8	6	6.2	4	1.7	0.9	0.3	
УФ-индекс (максимум) 1999-2016	0.8	2.7	3.8	4.9	6.4	7.7	7.3	6.2	4.5	2.5	1.2	0.5	
$Q_{er2017}/Q_{er1999-2013}$ -1, %	5	-3	-14	-9	1	-17	-6	24	5	-27	-4	-23	

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

15. Основные характеристики аэрозоля по данным солнечно-небесного фотометра CIMEL сети AERONET и оценка качества новой третьей версии данных измерений

Вольперт Е.В., Чубарова Н.Е.

Метеорологическая обсерватория, Географический факультет МГУ

В метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ), начиная с августа 2001 года, проводятся регулярные измерения аэрозольных свойств атмосферы с использованием солнечно-небесных фотометров с углом зрения 1.2° CIMEL CE 318-2 в рамках международной программы AERONET. Измерения прямой солнечной радиации ведутся на 8 длинах волн – 340, 380, 440, 500, 675, 870, 940 и 1020 нм. Канал 940 нм используется для восстановления влагосодержания атмосферы W , остальные каналы – для определения спектральной аэрозольной оптической толщины атмосферы АОТ. Измерения диффузного излучения проводятся в 4 спектральных каналах: 440, 670, 870 и 1020 нм. Погрешность измерений не превышает 0,01 в видимом и ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне и 0,02 в ультрафиолетовой (УФ) области спектра.

Данные наблюдений проходят автоматический контроль качества, в результате которого измерения, искаженные влиянием облаков, отбраковываются, а оставшимся данным присваивается уровень 1.5. После вторичной калибровки фильтров и дополнительного контроля, данным присваивается уровень 2.0.

В настоящий момент на официальном сайте программы AERONET представлена база данных версии 2, где в дополнение к процедуре фильтрации облачных случаев введена коррекция на воздействие нескольких оптически эффективных малых газовых примесей (NO_2 , O_3 , CO_2 , H_2O , CH_4). Впоследствии контроль качества данных выявил необходимость дополнительной коррекции NO_2 и улучшения алгоритма фильтрации случаев тонкой однородной облачности и высокой концентрации дымового и пылевого аэрозоля. В новой версии 3 была введена обновленная ежемесячная климатология NO_2 и новый алгоритм учета влияния облачности.

В настоящем анализе были использованы данные уровня 2.0 версии 2 и версии 3 для периода с 2001 по 2017 гг. В дополнение к основному алгоритму, принятому на сети AERONET, была использована принятая в МО МГУ технология дополнительной фильтрации

данных, основанная на визуальных наблюдениях за облачностью (Chubarova et al., 2016) для версий данных 2 и 3.

15.1. Временная изменчивость характеристик аэрозоля в 2017 году

На Рис.15.1 показаны сезонные среднемесячные значения АОТ на разных длинах волн, полученные по данным измерений в 2017 г., в Таблице 15.1 приведены основные статистические показатели для некоторых АОТ в УФ, видимом и ближнем ИК диапазоне спектра, а также для параметра Ангстрема и содержания водяного пара. Для всех месяцев прослеживается закономерное уменьшение АОТ с увеличением длины волны от УФ (340 нм) до ближней ИК (1020 нм) областей спектра, связанное с преобладанием рассеяния на мелкодисперсном аэрозоле.

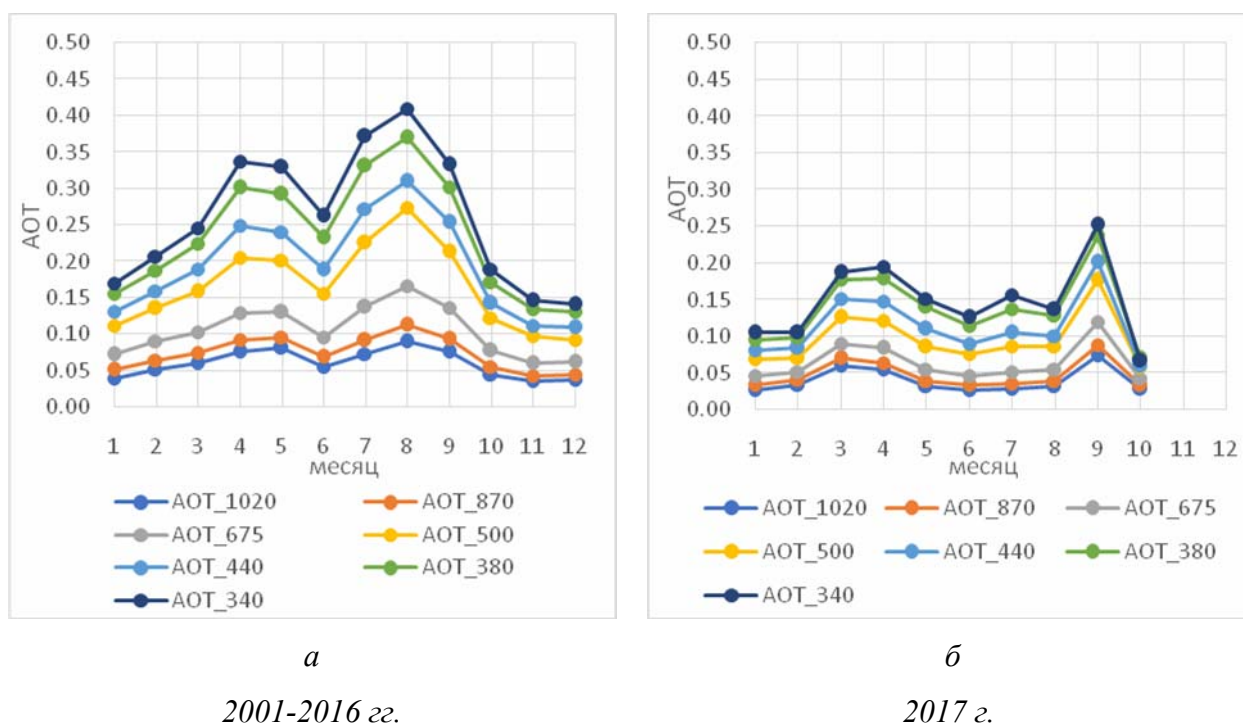


Рисунок 15.1. Вариации среднемесячных значений аэрозольной оптической толщины на разных длинах волн по данным AERONET в среднем за период 2001-2016 (а) и в 2017 году (б). Уровень 2.0. Версия 3 с дополнительной фильтрацией облачности. Москва

Отметим, что для 2017 г. характерно нетипичное распределение экстремумов с ярко выраженным максимумом в сентябре и слабым локальным максимумом в июле, который проявляется на длинах волн в УФ и видимом диапазоне спектра, что связано с преобладанием мелкодисперсного аэрозоля в летний период и подтверждается максимальными значениями параметра Ангстрема (см Таблица 15.1). Июньский локальный минимум АОТ также выражен очень слабо, заметно проявляясь только в АОТ на коротких длинах волн (340 – 380 нм).

Таблица 15.1. Средние, минимальные, максимальные месячные значения и коэффициенты вариации (Cvar, %)* аэрозольных оптических толщин на 500 нм, 340 нм и 1020 нм, влагосодержания атмосферы (W, см), параметра Ангстрема**, в 2017 году и их относительные разницы (R, %) со средними многолетними значениями за период 2001-2016 гг. Москва, МО МГУ. Уровень 2.0. Версия 3 с дополнительными фильтрами. Общее число дней измерений - 99

Месяц	Число дней	АОТ 500					АОТ 340					АОТ 1020					W, см					Параметр Ангстрема, АЕ					
		Среднее	Сvar, %	Min	Max	R, %	Среднее	Сvar, %	Min	Max	R, %	Среднее	Сvar, %	Min	Max	R, %	Среднее	Сvar, %	Min	Max	R, %	Среднее	Сvar, %	Min	Max	R, %	
1	5	0,07	27	0,05	0,09	-39%	0,10	27	0,08	0,14	-39%	0,03	30	0,02	0,04	-34%	0,27	28	0,15	0,36	2%	1,30	4	1,26	1,39	-9%	
2	5	0,07	37	0,05	0,10	-48%	0,10	44	0,06	0,16	-48%	0,03	32	0,02	0,04	-34%	0,25	42	0,14	0,39	-19%	1,01	35	0,42	1,37	-19%	
3	12	0,13	71	0,04	0,33	-21%	0,19	72	0,06	0,51	-24%	0,06	73	0,02	0,16	-1%	0,53	30	0,25	0,71	8%	1,11	15	0,76	1,33	-18%	
4	12	0,12	54	0,05	0,24	-41%	0,19	51	0,08	0,39	-42%	0,05	72	0,02	0,15	-28%	0,69	51	0,28	1,44	0%	1,30	26	0,73	1,65	-7%	
5	21	0,09	42	0,05	0,20	-57%	0,15	44	0,08	0,37	-54%	0,03	33	0,02	0,06	-60%	0,92	40	0,51	1,84	-32%	1,46	19	0,83	1,88	6%	
6	17	0,08	37	0,05	0,15	-51%	0,13	38	0,07	0,25	-52%	0,03	41	0,02	0,06	-51%	1,44	27	0,67	2,31	-13%	1,49	13	1,10	1,80	-1%	
7	10	0,09	23	0,05	0,11	-62%	0,16	24	0,09	0,20	-58%	0,03	34	0,02	0,05	-61%	1,78	17	1,42	2,34	-15%	1,62	14	1,27	1,95	1%	
8	10	0,09	26	0,06	0,13	-67%	0,14	25	0,09	0,19	-67%	0,03	23	0,02	0,04	-65%	1,57	24	1,01	2,33	-18%	1,38	17	1,01	1,85	-10%	
9	6	0,18	90	0,06	0,49	-17%	0,25	84	0,09	0,65	-24%	0,07	102	0,02	0,22	-3%	1,45	39	0,81	2,16	-4%	1,26	20	0,83	1,51	-13%	
10	1	0,06				-52%	0,07				-65%	0,03				-37%	0,91				-1%	0,93				-33%	
11	0																										
12	0																										
Среднее за год		0,10	45	0,04	0,16	-45%	0,15	45	0,06	0,24	-47%	0,04	49	0,02	0,07	-37%	0,98	33	0,51	1,23	-9%	1,29	18	0,76	1,30	-10%	

*Cvar – определяется как средняя из суточных вариаций АОТ

**Параметр Ангстрема определяется как $AE = -\ln(AOT) / \ln$. 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

При сравнении Рис.15.1.а и Рис.15.1.б хорошо заметны более низкие значения АОТ на протяжении всего 2017 года по сравнению с предшествующим периодом в среднем на 45% для АОТ_500 (Табл.15.1). Практически весь 2017 год характеризовался экстремально пониженными значениями АОТ от -17% в сентябре до -67% в августе (для длины волны 500 нм), что связано как с преобладанием адвекции арктических холодных воздушных масс с характерным для них низким аэрозольным содержанием, так и с интенсивным влажным осаждением аэрозоля из-за продолжительного периода дождей в весенне-летний период.

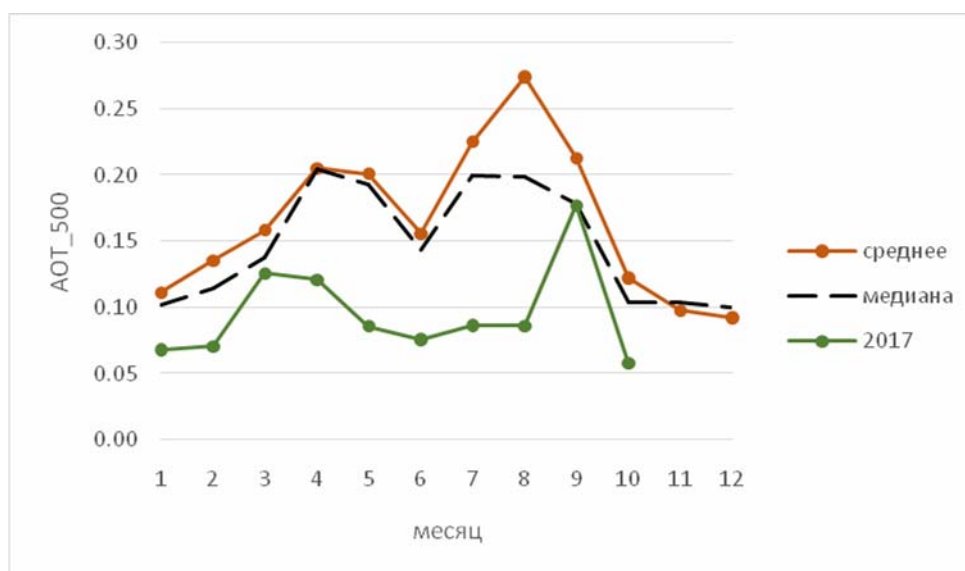


Рисунок 15.2. Среднемесячные значения АОТ_500 в 2017 году, а также средние многолетние и медианные значения АОТ_500 за период 2001-2016 гг.

На Рис.15.2 представлены среднемесячные значения АОТ_500 в 2017 году и за весь период наблюдений с 2001 по 2016 гг.. Отметим, что на вид функции распределения последних сильное влияние оказало аномальное содержание дымового аэрозоля в 2002 и 2010 гг. Вследствие этого сравнение месячных значений АОТ 2017 года проводилось и с медианными оценками, полученными в 2001-2016 гг.

В целом среднемесячные оценки за 2017 год согласуются с данными за многолетний период, однако весенний и условно летний (август-сентябрь) максимумы выражены не так ярко и лучше соотносятся с медианными оценками месячных значений АОТ за весь период наблюдений. В частности, в сентябре они практически совпадают.

Особенности спектрального хода АОТ в разные месяцы года в линейно и логарифмическом масштабе показаны на Рис.15.3.

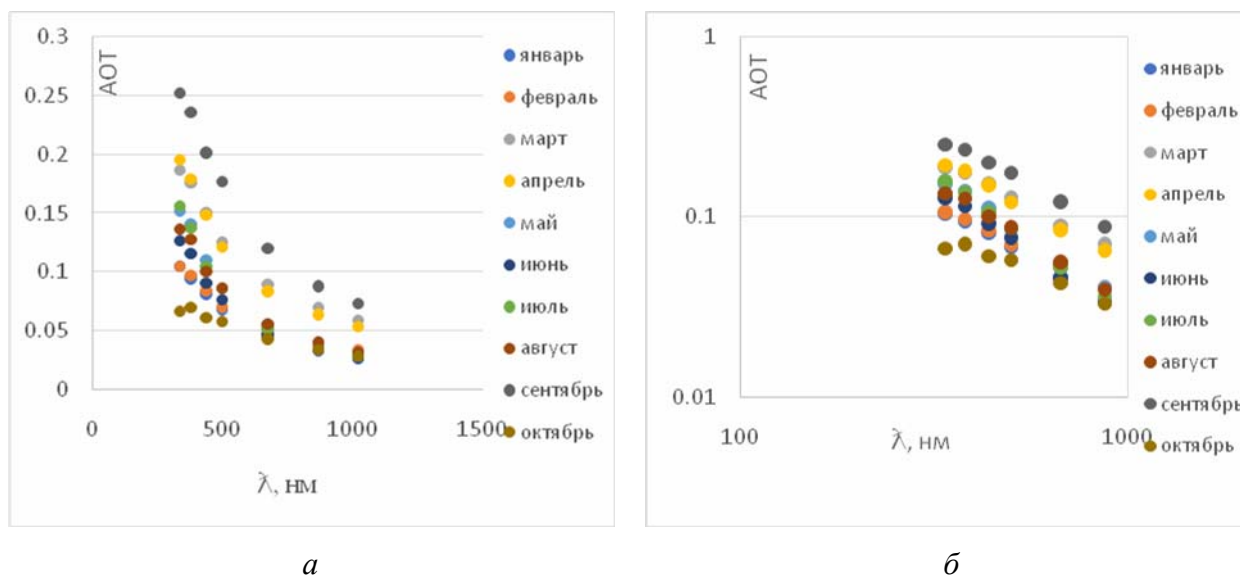


Рисунок 15.3. Зависимость АОТ в 2017 году от длины волны для каждого месяца в линейном (а) и логарифмическом (б) масштабах

На Рис.15.3.б видно, что для большинства месяцев характерна нелинейная зависимость АОТ от длины волны, что особенно ярко выражено в октябре, это связано с более сложным распределением частиц по размерам, чем в законе Юнге, который лежит в основе формулы расчета параметра Ангстрема.

Из Рис.15.3.а видно, что для октября спектральный ход АОТ практически не выражен и данный месяц характеризуется наименьшим значением параметра Ангстрема (см Таблица 15.1), что обусловлено, вероятно, ростом влияния грубодисперсной моды, присутствие которой ведет к сглаживанию спектральных различий АОТ.

На Рис.15.4 приведена межгодовая изменчивость средних и медианных значений АОТ₅₀₀ за весь период наблюдений, 2001 год не учитывался, поскольку измерения начались только в августе, вследствие чего годовые оценки могут быть смещены. Хорошо видно продолжение тенденции уменьшения аэрозольного загрязнения в Москве в последние годы, которые проявляются как в средних, так и в медианных оценках.

Таким образом, 2017 год характеризовался наиболее низким уровнем аэрозольного содержания по сравнению со средними многолетними значениями. В среднем АОТ₅₀₀ составило 0,10 по сравнению с АОТ₅₀₀ для всего периода наблюдений равного 0,17. Медианные значения соответственно равны 0,09 и 0,15.

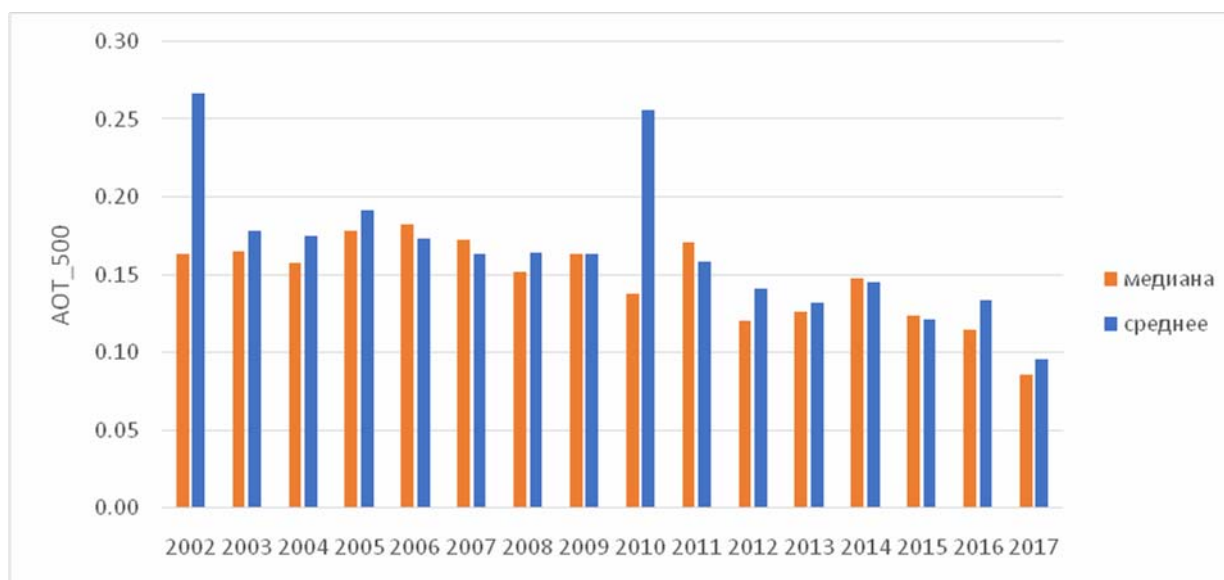


Рисунок 15.4. Межгодовая изменчивость среднегодовых и медианных оценок AOT₅₀₀

15.2. Сравнение двух версий данных AERONET

Стандартные фильтры, используемые во второй версии AERONET, прекрасно работают в условиях тонкой облачности нижнего яруса, характеризующейся большой неоднородностью, которая лежит в основе алгоритма выявления облачных случаев. Однако, если облако, закрывающее солнечный диск, имеет однородную структуру, то триплетные вариации могут быть малы и не распознаваться как случаи, искаженные влиянием облаков. В основном такими свойствами обладают перистые и перисто-слоистые облака, то есть облака верхнего яруса. Вследствие этого основной проблемой данных является разделение случаев влияния перистых облаков на AOT и случаев сильного загрязнения атмосферы пылевым или дымовым аэрозолем. Для этого в МО МГУ применяются дополнительные критерии отбора данных, основанные на ежечасных наблюдениях за облачностью. Используется общий балл облачности. Так для летнего периода с марта по октябрь отбраковываются случаи с $N < 9$, а для холодного времени года (с ноября по февраль), для которого характерна большая статистика наличия тонкой однородной облачности, применяется более жесткий критерий $N < 6$. (Chubarova et al., 2016).

Основная проблема данных версии 2 – ручная коррекция данных и часто искусственное субъективное уменьшение числа случаев, прошедших автоматическую корректировку. В новой версии 3, в которой применяются более гибкие автоматические фильтры, заметным отличием от второй версии является увеличение количества данных (вследствие использования критерия №3 (Таблица 15.2)). По версии 2 за весь период с 2001 по 2016 гг.

было 2306 дней, по версии 3 – 2537 дней (увеличилось на 35,5%). Применяется новый критерий триплетных вариаций ($\text{triplet} = \tau_{\text{max}} - \tau_{\text{min}}$) с более низким пороговым значением, проверяемым по трем каналам – 675 нм, 870 нм и 1020 нм (№4). Также была введена новая ежемесячная климатология NO_2 , поскольку предыдущая занижала значения содержания диоксида азота в атмосфере в 2 – 3 раза (Chubarova et al., 2016).

Таблица 15.2. Основные изменения в алгоритме облачной фильтрации версии 3 по сравнению с версией 2. (V2: Smirnov et al. 2000, V3: AERONET Version 3, 2018)

Алгоритм/ Параметер	№	Версия 2	Версия 3
Восстановление больших значений АОТ	1	N/A	$\tau_{870} > 0.5$ $\alpha_{675-1020} > 1.2$ или $\alpha_{870-1020} > 1.3$ восстановить, если было удалено в результате облачной фильтрации
Диапазон Воздушных Масс	2	1 до 5	1 до 7
Число предполагаемых измерений (N)	3	$N < 3$ – отбрасываемый этот день	После всех проверок отбраковываем день, если число оставшихся наблюдений $N_{\text{remain}} < \text{MAX} \{3 \text{ or } < 10\% \text{ of } N\}$
Критерий триплетных вариаций	4	Облачный случай, если при всех длинах волн: $\text{AOD range} > \text{MAX} \{0.02 \text{ or } 0.03 * \tau_a\}$	Облачный случай, если при длинах волн $\lambda = 675, 870, 1020 \text{ нм}$: $\text{AOD range} > \text{MAX} \{0.01 \text{ or } 0.015 * \tau_a\}$
Ограничение Параметра Ангстрема (AE)	5	N/A	Если $\alpha \leq -1.0$ или $\alpha > 4.0$, тогда забраковываем измерение
Проверка гладкости	6	$D < 16$	Для АОТ _{500 нм} (или 440 нм) : $\Delta \tau_a > 0.01$ в минуту, удаляем высокие значения АОТ в паре. Повторяем, пока нельзя будет ничего больше удалить.

Из Рис.15.5 видно, что значения АОТ на длине волны 500 нм в стандартной версии 3 выше, чем значения АОТ за аналогичный период в версии 2 и в версии 3 с учетом дополнительной фильтрации.

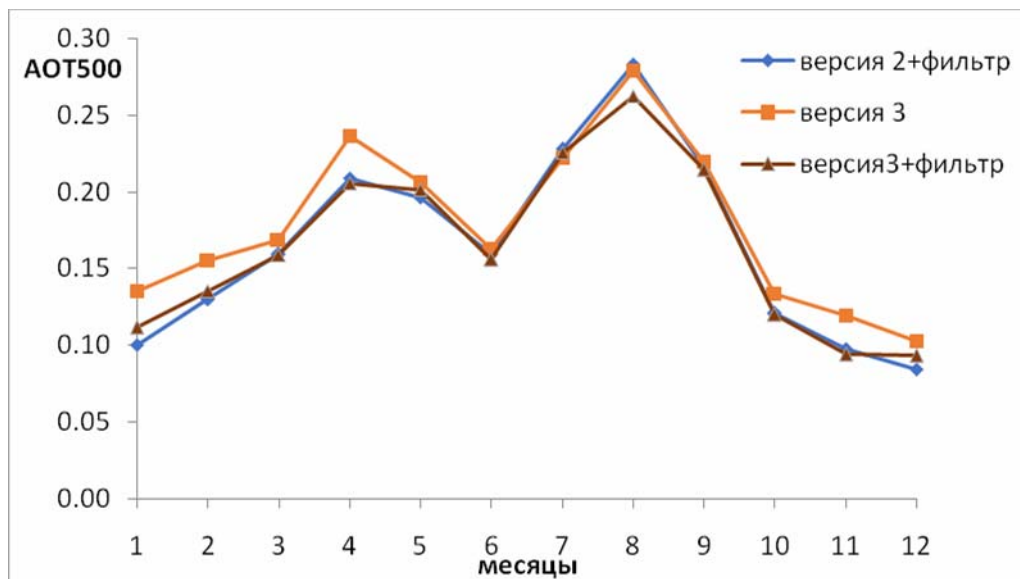


Рисунок 15.5. Вариации среднемесячных значений АОТ_500 версии 2 с учетом дополнительной фильтрации, версии 3 и версии 3 с дополнительной фильтрацией облачности за период с 2001 по 2016 гг. Уровень данных 2.0. МО МГУ

По данным Таблицы 15.3 видно, что такая тенденция характерна и для других спектральных каналов. Завышение значений АОТ в версии 3 в зимний сезон особенно ярко выражено в период с ноября по февраль. Вероятно в новой версии все же недостаточно хорошо бракуются облачные случаи и с учетом расширенной выборки из-за более «мягких» порогов и увеличения диапазона высот Солнца (см. Таблица 15.2) значения АОТ существенно возрастают. Уменьшение различий в теплый период вероятно связано с улучшением алгоритма определения случаев воздействия тонкой однородной облачности на величину АОТ при больших высотах Солнца.

Следуя данным, представленным на Рис.15.6 б), можно отметить, что параметр Ангстрема (АЕ) почти не изменился. Отрицательная разница АЕ может служить индикатором устранения частично облачных случаев, поскольку исчезает эффект близкого к нейтральному рассеяния на больших облачных каплях. По сравнению с версией 2 он существенно ниже в декабре, что свидетельствует о недостаточно хорошей фильтрации данных в этом месяце в стандартной версии 3.

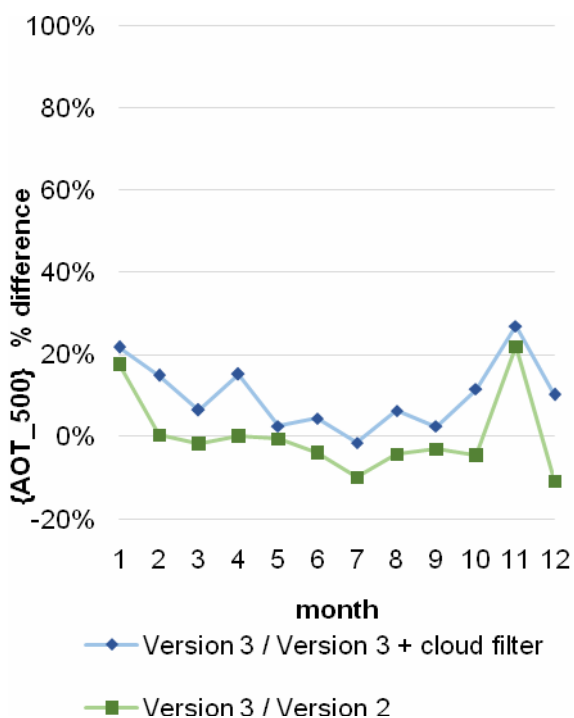
Таблица 15.3. Относительная разница среднемесячных значений 2001-2016 гг. по версии 3 и по версии 3 с учетом дополнительной фильтрации данных AERONET уровня 2.0. для всех длин волн. МО МГУ.

Версия3/Версия3ф										
Месяц	АОТ_10 20	АОТ_87 0	АОТ_67 5	АОТ_50 0	АОТ_44 0	АОТ_38 0	АОТ_34 0	W	AE	Число дней
1	41%	38%	34%	22%	23%	19%	18%	57%	-14%	54%
2	24%	24%	22%	15%	19%	17%	17%	32%	-4%	43%
3	14%	12%	9%	6%	6%	6%	6%	15%	-7%	14%
4	29%	26%	22%	15%	16%	15%	14%	16%	-6%	24%
5	8%	8%	7%	3%	6%	6%	6%	5%	-3%	18%
6	12%	11%	10%	4%	8%	8%	8%	3%	-2%	12%
7	3%	3%	3%	-1%	2%	2%	2%	4%	-2%	9%
8	9%	10%	9%	6%	8%	7%	7%	3%	-2%	16%
9	7%	8%	6%	2%	5%	4%	4%	3%	-3%	20%
10	15%	15%	14%	11%	13%	12%	11%	9%	-4%	26%
11	42%	39%	32%	27%	22%	20%	19%	11%	-5%	65%
12	17%	18%	15%	10%	10%	9%	8%	27%	-13%	88%
среднее	18%	18%	15%	10%	11%	10%	10%	15%	-5%	32%

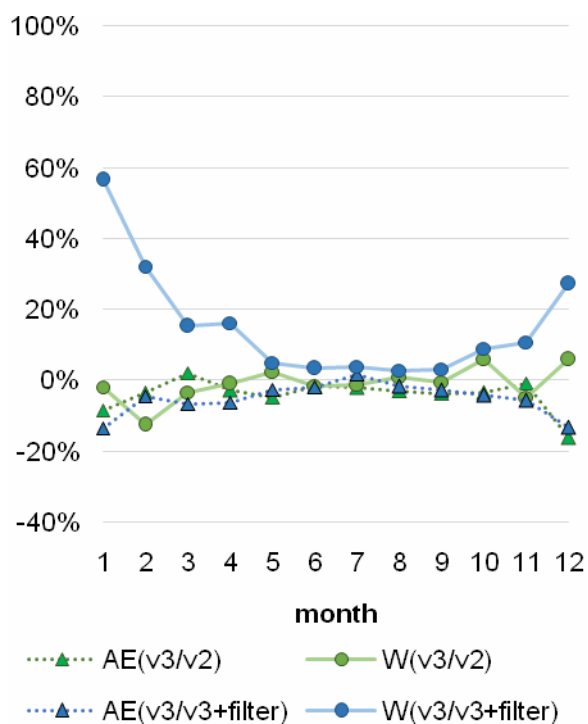
После дополнительной фильтрации данных с использованием специального облачного фильтра, основанного на данных ежечасных наблюдений за баллом облаков в МО МГУ, видно, что влагосодержание атмосферы в условиях наличия облачности в зимний период в стандартной версии 3 сильно переоценивается (Рис.15.6.б ($W(v3/v3+filter)$)), что, возможно, происходит благодаря дополнительному поглощению ледяными и водными частицами.

На Рис.15.7 приведена межгодовая изменчивость средних и медианных оценок АОТ_500. В среднем в стандартной версии 3 значения АОТ переоцениваются на 9%. Наименее точный результат в 2016 году (+18%) и в 2006 (+15%) возник вследствие высоких значений АОТ в холодный период года (см Рис.15.8), что объясняется возможным наличием в данной базе облачных случаев.

На это указывает и отсутствие значимых различий АОТ версии 2 и 3 после применения дополнительной облачной фильтрации в 2016 году. В 2006 процент отличия был равен 7% за счет неполного учета облачности в мае и июле во второй версии и занижения АОТ в марте, что впоследствии было исправлено в версии 3. В остальные месяцы версия 2 и версия 3 с дополнительными фильтрами хорошо согласуются.



a



б

Рисунок 15.6. Относительная разница: а – среднемесячных значений АОТ_500, б – параметра Ангстрема (АЕ) и влагосодержания атмосферы. Данные измерений по версии данных 2, версии 3 с и без дополнительного критерия на облачность. Уровень данных 2.0. МО МГУ 2001-2016 гг.

В целом версия 2 с дополнительным облачным фильтром совпадает с версией 3 после дополнительной фильтрации, занижая значения АОТ в среднем на 3% (см. Рис.15.7а – 2002, 2003, 2005, 2011, 2012, 2014 и 2017 гг.). Преимущественно недооценивались значения АОТ_500 в марте, январе и декабре. В остальные годы версия 2 переоценивала среднегодовые значения в среднем на 5% с максимальной ошибкой в 2013 году (+8%).

Таким образом, детальный анализ 3 версии данных выявил систематические отклонения от выборки с применением дополнительного облачного фильтра, что свидетельствует о необходимости в дальнейшем продолжения дополнительной коррекции данных измерений.

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

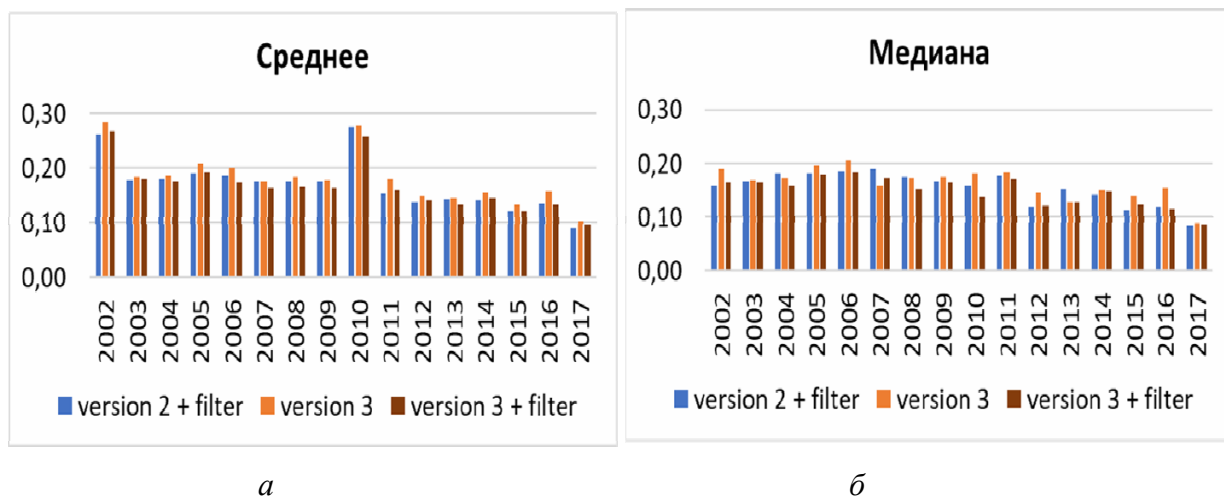


Рисунок 15.7. Межгодовая изменчивость среднегодовых (а) и медианных (б) оценок АОТ₅₀₀. Уровень данных 2.0. Версия 3 и Версии 2 и 3 с дополнительными фильтрами. МО МГУ 2002-2017 гг.

Медианные оценки выборки (см. Рис.15.7 б) в версии 2 после введения облачного фильтра и в версии 3 в среднем сдвинуты в сторону уменьшения значений АОТ, что определяется улучшением алгоритма отбрасывания облачных случаев в итоговой версии данных (версия 3 с дополнительными фильтрами).

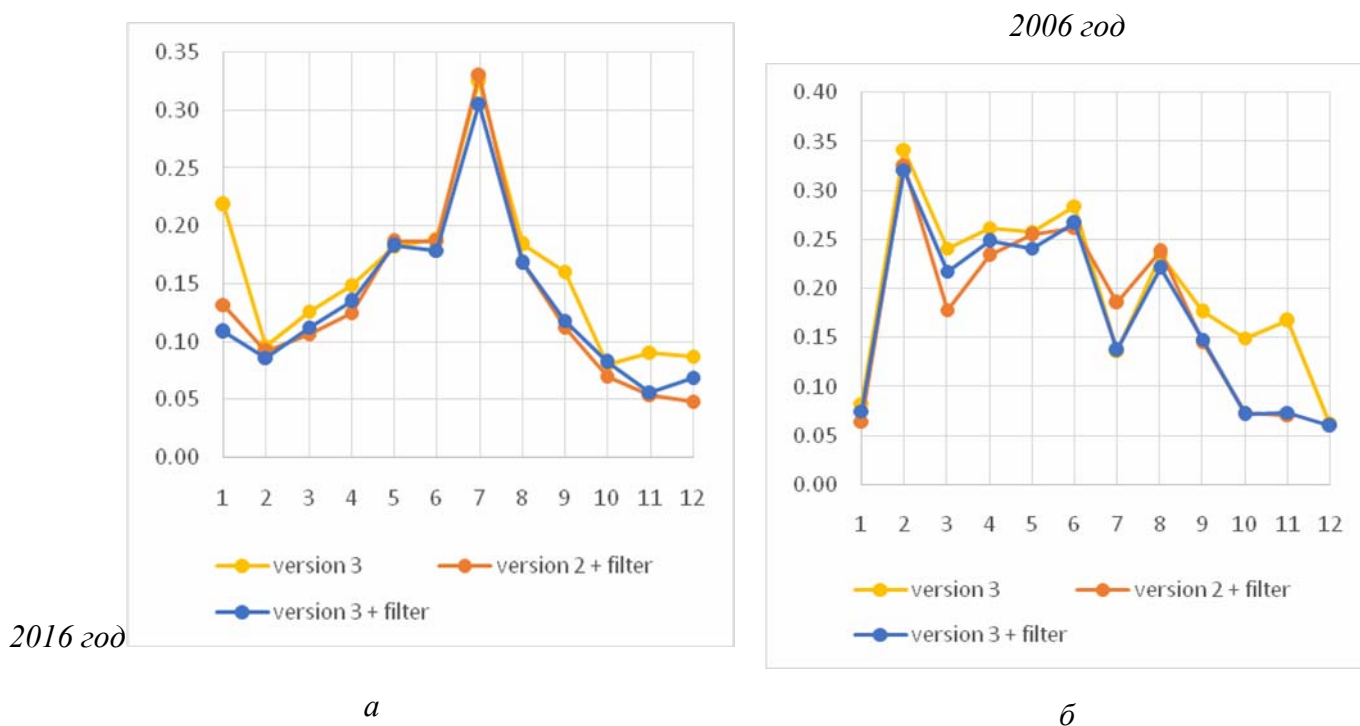


Рисунок 15.8. Годовой ход АОТ₅₀₀ по версии 3 и по версии 2 и 3 с дополнительной облачной фильтрацией в 2006 году (а) и в 2016 году (б). Уровень данных 2.0. МО МГУ

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 NO₂ correction // *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 313-334, 2016.

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

AERONET Version 3 AOD Algorithm Quality Control Technical Description, 2018.

16. Химический состав атмосферных осадков в 2017 году

Еремина И.Д.

Метеорологическая обсерватория, Географический факультет МГУ

В 2017 г. были продолжены наблюдения за химическим составом осадков и их кислотностью. Собрано и проанализировано 158 проб твердых и жидких осадков, подвергнутых полному химическому анализу. Из них 84 пробы дождя, 41 – снега и 33 пробы смешанных осадков. Кроме этого, собрано 22 пробы, в которых было определено только значение рН (из-за малого количества образца). Общее количество полностью проанализированных осадков составило 98,8 % от всех выпавших в этом году.

16.1. Кислотность осадков

Среднее годовое значение рН в 2017 г. составило 5,20 – при среднем многолетнем значении 4,88 рН. Второй год подряд среднее значение рН осадков за год превышает 5,0 рН (точка отсчета кислотных осадков). Благодаря содержанию в атмосфере углекислого газа рН даже очень чистых атмосферных осадков, собранных вдали от источников загрязнений, будет близким к 5,6 рН. Однако, помимо CO_2 , в незагрязненной атмосфере может присутствовать целый ряд других кислотообразующих веществ естественного происхождения: сероводород, двуокись серы, соляная кислота, окислы азота, органические кислоты. Поэтому большинство ученых считают, что нижней границей естественного закисления осадков можно считать значение рН не 5,6, а 5,0 (Galloway, 1982).

Предыдущие 10 лет (с 2006 по 2015 гг.) средние значения в МО МГУ были кислыми ($\text{pH} < 5,0$) и менялись в пределах 4,48 – 4,95 рН. Вообще за весь период наблюдений за кислотностью осадков (с 1980 до 2017 гг.) средние годовые значения были кислыми 20 лет (53 %). Наибольшая кислотность отмечена в 1987 и 2009 гг. (средние 4,22 и 4,48 рН соответственно). А самое высокое среднее годовое, совсем не кислое, а нейтральное (6,25 рН) было получено в 2002 г.

Экстремальные значения кислотности осадков 2017 г. Самое кислое значение, полученное в 2017 г., равно 4,20 рН (дождь 14 августа 2017 г.). Он выпал после 9 дней без осадков, количеством 1,5 мм, и был самым грязным дождем года – минерализация составила 125 мг/л. Максимальное значение 7,75 рН получено для пробы снега 28 ноября 2017 г. тоже после недели без осадков. И хотя количество осадков тоже мало (1,3 мм), проба не грязная, минерализация всего 28,4 мг/л. Напомним, что абсолютный максимум кислотного

выпадения (самое низкое значение рН) за весь период наблюдений с 1980 г. был получен для дождя в июле 1987 г. и составил 3,20 рН. А самое высокое значение (9,65 рН) наблюдалось для пробы снега 17-18 ноября 1983 г.

Среднее значение рН осадков для *холодных месяцев* 2017 года составило 5,81 рН (среднее многолетнее 5,52 рН), а за *теплый период* этого года оно равно 5,08 рН (среднее многолетнее 4,78 рН). Последний раз среднее значение рН>5 для дождей было получено в 2005 г., когда заканчивался период без кислотных осадков. Да и в прежние годы обычно средне-сезонные значения для теплого периода были кислыми. Такое впечатление, что кислотных осадков стало меньше. Для подтверждения этого рассмотрим распределение осадков 2017 г. в разных диапазонах рН по сравнению с прошлым годом (табл. 16.1).

Таблица 16.1. Распределение проб осадков по градациям рН в 2017 и 2016 гг.(%)

интервал рН	3-4 кислые	4-5 слабо- кислые	5-6 равно- вес-ные	6-7 ней- траль- ные	7-8 сла- боще- лочные	>8 щелоч- ные
сезон	2017					
все осадки	0,0	17,8	28,3	39,4*	14,5	0,0
теплый период	0,0	31,6	36,8	25,3	6,3	0,0
хол. месяцы	0,0	2,4	18,8	55,3	23,5	0,0
	2016					
все осадки	1,1	23,0	28,4	36,0	11,5	0,0
теплый период	2,1	39,8	36,6	20,4	1,1	0,0
хол. месяцы	0,0	5,6	20,0	52,2	22,2	0,0

*Жирным шрифтом выделены максимальные доли для каждого типа осадков

Видно, что в 2017 г. действительно осадков с рН<5,0 выпало меньше, а нейтральных и слабощелочных (рН>6,0) немного больше. Особенно заметна эта разница в теплый период – в 2017 г. кислотных осадков выпало на 10 % меньше, чем в 2016 г., а осадков в интервале 6-8 рН –на 10% больше. Отметим, что кислых осадков стало меньше и в холодные месяцы - и по сравнению с прошлым годом, и со средним многолетним значением (5,3%).

На рис.16.1 показано изменение количества кислотных осадков за весь период наблюдений с 1980 г. Видно, что после периода 1999-2004 гг., когда практически не было

проб с $pH < 5,0$, с 2005 г. наблюдалось резкое увеличение доли кислотных осадков. Достигнув отметки 34 % кислых проб в 2009 г., эти значения стали постепенно снижаться. В 2017 г. выпало почти в 2 раза меньше кислотных проб (17,8 %), чем в 2009 г.

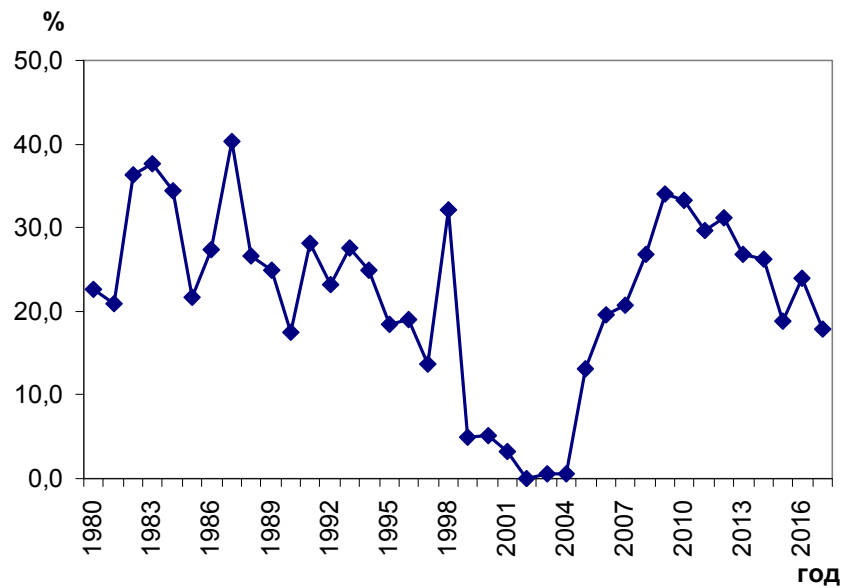


Рисунок 16.1. Доля кислотных проб осадков за все годы наблюдений

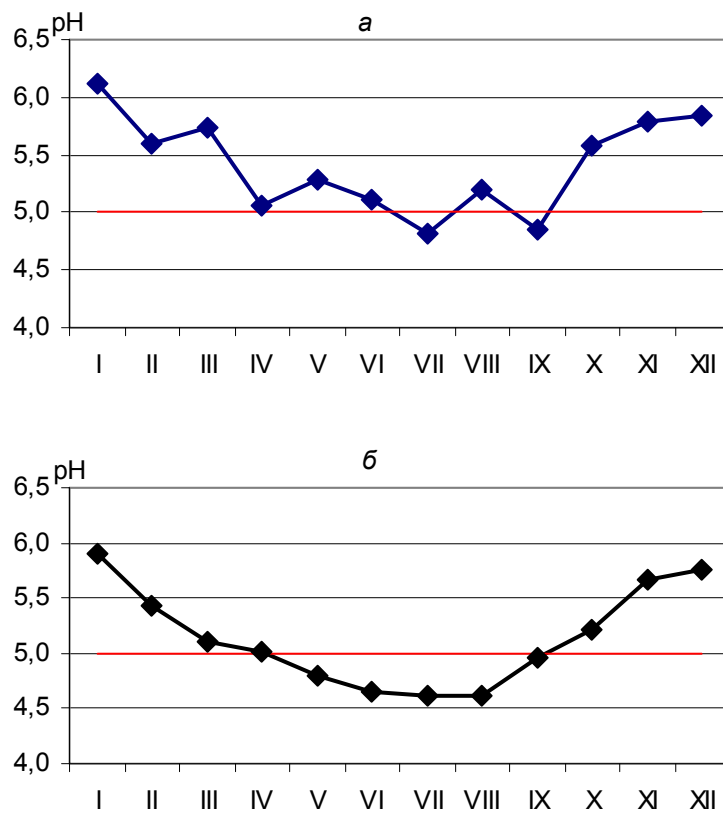


Рисунок 16.2. Годовой ход кислотности осадков: *a* – 2017 г., *б* – многолетние данные (1982-2016 гг.)

Годовой ход рН осадков 2017 г. хотя и похож на многолетний (рис. 16.2а и б) тем, что минимальные значения наблюдаются, как всегда, в теплые месяцы, однако не такой гладкий. Только для проб двух месяцев (июль и сентябрь) в этом году среднее значение $pH < 5,0$. Как правило, таких месяцев бывает 4-5 в году. Это тоже подтверждает, что кислотных осадков в этом году было меньше, чем обычно. В холодные месяцы средние месячные значения, как всегда, близки к нейтральным значениям.

16.2. Ионный состав осадков

В таблице 16.2 приведены осредненные данные химического состава осадков за 2017 г. по сравнению с прошлым годом и средними многолетними значениями. Видно, что годовые значения суммы всех ионов (минерализация) в 2016 г. и в 2017 г. практически одинаковы. Это понятно, поскольку годовые суммы выпавших осадков очень близки (939,5 и 910,1 мм соответственно). А вот минерализация дождевых и снежных проб различается. Особенно это касается проб осадков, собранных в холодные месяцы. И это тоже объясняется существенной разницей количества осадков в эти сезоны. Так, в 2016 г. минерализация снежных проб была минимальной за все годы наблюдений (11,6 мг/л) благодаря максимальной сумме количества осадков за холодные месяцы (341,1 мм). А в 2017 г. выпало только 271,1 мм в эти месяцы, поэтому минерализация проб была заметно выше (16,2 мг/л). Отметим, что все средние значения минерализации осадков – и сезонные, и годовые – в последние годы заметно ниже, чем соответствующие многолетние значения (табл. 16.2), что говорит о том, что в 80-90-х гг. прошлого века осадки были больше загрязнены, чем сейчас.

Что касается концентрации отдельных ионов в осадках, то сразу надо сказать, что для сульфата средняя годовая концентрация и средняя за теплый период 2017 г. являются минимальными за все годы наблюдений (1,5 и 1,3 мг/л соответственно). Эти содержания сульфатов этого года в 3 раза меньше соответствующих многолетних значений. Как и в прошлом году, получены более высокие по сравнению с многолетними средние концентрации хлоридов – во всех сезонах, а концентрация натрия – только в холодные месяцы 2017 г.

Экстремальные значения минерализации осадков 2017 г. Самая чистая проба дождя с минерализацией 2,2 мг/л была собрана 31 октября 2017 г., с количеством осадков 28,2 мм. Это были смешанные осадки, и перед этим в течение недели осадки выпадали каждый

день. Естественно, что атмосфера была хорошо очищена, да и само выпадение было обильным, поэтому проба осадков по своему составу и получилась близкой к дистиллированной воде! В этой пробе также отмечены минимальные концентрации за 2017 г. хлоридов и нитратов (0,4 и 0,2 мг/л соответственно). Но заметим, что абсолютный минимум минерализации дождя зафиксирован 31 мая 2001 г., и составил он 1,2 мг/л!

Таблица 16.2. Средние значения концентраций ионов в осадках в 2017 г. по сравнению с 2016 г. и многолетними данными

Сезон	Концентрация ионов, мг/л										
	pH	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Сумма ионов
2017 г.											
Год	5,20	1,5	1,5	4,3	1,48	2,5	0,14	0,40	0,21	0,80	12,8
Тепл. (IV-X)	5,08	1,0	1,3	4,2	1,26	2,4	0,15	0,13	0,22	0,71	11,3
Хол. (I-III, XI-XII)	5,81	2,6	2,0	4,5	2,01	2,7	0,11	1,04	0,21	0,99	16,2
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
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

Самый загрязненный дождь (минерализация 125,0 мг/л) выпал 14 августа 2017 г., количество осадков было 1,5 мм. Перед этим было 8 дней без осадков. В этом же дожде обнаружены максимальные за год концентрации хлоридов (65,8 мг/л), кальция (26,9 мг/л) и магния (4,0 мг/л). Но это был единственный дождь в году, минерализация которого превышала 100 мг/л. Для сравнения напомним, что максимально загрязненные осадки наблюдались, например, в 1991 г (сумма ионов 363,5 мг/л), в 2012 г. (353,9 мг/л). Так что в этом 2017 г., можно сказать, очень грязных осадков и не было.

Распределение проб осадков этого года по разным диапазонам минерализации показано на рис. 16.3. Как обычно, максимальное число проб всех осадков без разделения по агрегатному состоянию имеет значение минерализации от 10 до 20 мг/л (рис.16.3а). Много проб и очень чистых, до 10 мг/л (26 %). Загрязненных проб осадков (с минерализацией более 50 мг/л), как и по многолетним данным, выпало около 12 %. Распределение проб дождей 2017 г. (рис.16.3 б) несколько иное – по 33% проб с минерализацией 0-10 и 10-20 мг/л, а проб дождей в интервале 30-50 мг/л на 5 проб больше, чем в предыдущем интервале 20-30 мг/л. Распределение снежных проб обычное (рис.16.3 в), и похоже на все годовые

осадки. Вообще, в 2017 г. выпало больше чистых осадков – проб с минерализацией до 30 мг/л (граница «урбанизированных» осадков). Их было собрано 78 %, а по многолетним данным таких осадков в МО значительно меньше – 59 %. Отметим еще, что в 2017 г. 50% проб имеют минерализацию до 15 мг/л, которая соответствует границе загрязненности осадков региональных фоновых станций (Свистов и др., 2014). И среднее годовое значение минерализации проб как 2017 г. (12,8 мг/л), так и 2016 г. (12,9 г/л) – ниже этой точки отсчета в 15мг/л (табл.16.2). Таким образом, в 2016 и 2017 г. осадки, собранные в МО МГУ, в среднем близки к осадкам «регионального фона».

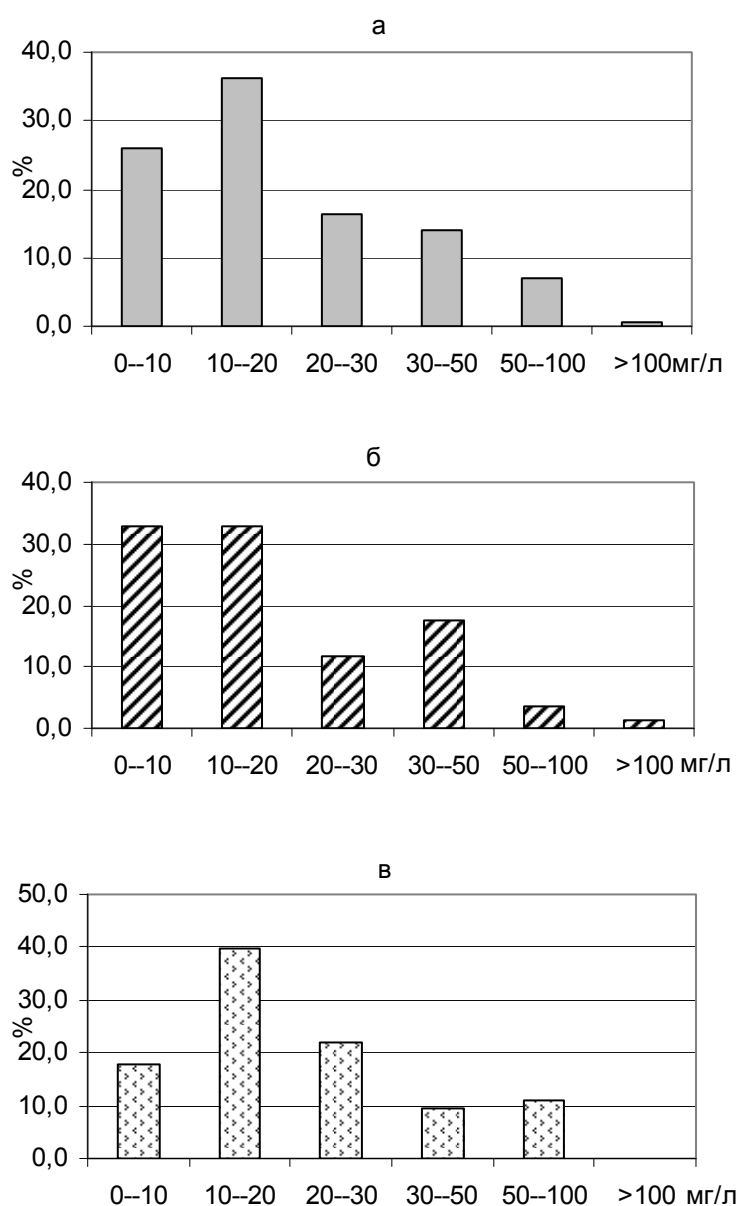


Рисунок 16.3. Распределение проб осадков 2017 г. по градациям минерализации: а – все осадки, б – осадки теплого периода, в – осадки холодных месяцев

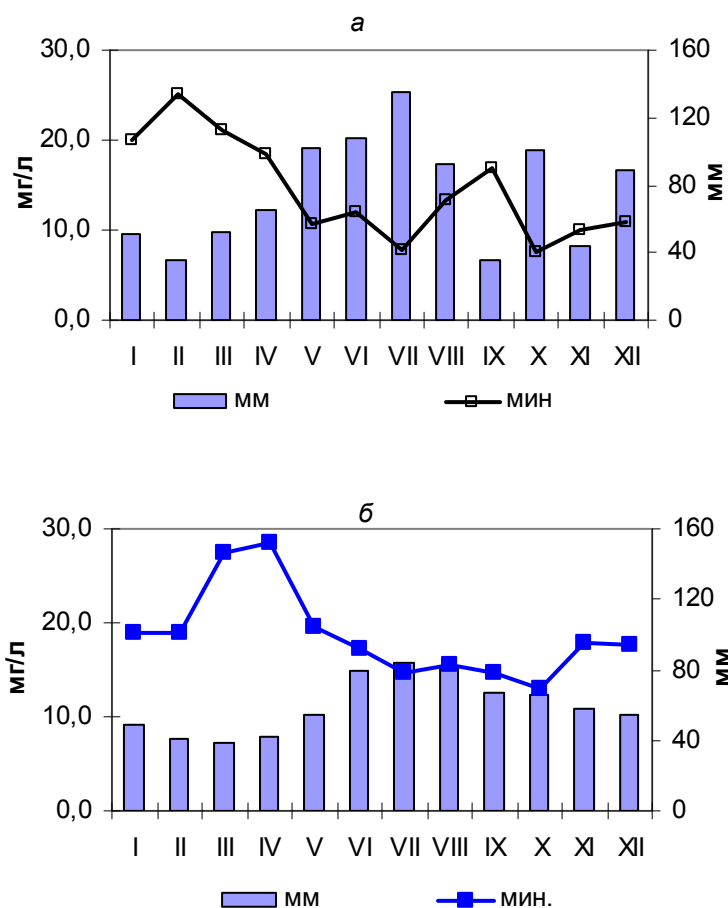


Рисунок 16.4. Годовой ход минерализации (мин.) и количества осадков (мм) в 2017 г. (а) и средний многолетний (б)

Годовой ход минерализации осадков 2017 г. по сравнению с многолетним представлен на рис.16.4. Традиционный весенний максимум в этом году сместился на февраль, благодаря минимальному количеству осадков в этом месяце. По этой же причине есть вторичный максимум в сентябре, когда выпало всего 36 мм осадков при норме 63 мм. Наименьшие значения минерализации получены в месяцы с наибольшим количеством осадков (с мая по август, а также в октябре и декабре). Интересно, что и в ноябре, хотя количество осадков было невелико, загрязненность проб увеличилась незначительно. Вероятно, сказались то, что осадки выпадали часто (в ноябре собрано 14 проб).

Среднее сравнительное содержание всех ионов в осадках (в мк-экв/л) показано на рис.16.5. Содержание катионов не претерпевает больших изменений в течение всего периода наблюдений. Больше всего в осадках кальция. И далее средние годовые значения катионов убывают в следующем порядке: $Ca^{2+} > NH_4^+ > Na^+ > Mg^{2+} > H^+ > K^+$, мало отличаясь от многолетнего порядка. Различия в содержании катионов в осадках теплого и холодного

периодов небольшие: в дождях больше иона водорода H^+ (кислотные дожди), а в холодные месяцы гораздо больше натрия Na^+ , вероятно, из-за применения противогололедных реагентов. Из всех 158 проб, собранных в 2017 г., в 146 пробах (92%) преобладал кальция, в 8 – натрия и в 4 – ион аммония.

Что касается относительного содержания анионов, то, начиная с 2005 г. всегда в осадках больше всего содержится хлорид-ионов (кроме 2008 г., когда как в 80-90 гг. в основном преобладал сульфат-ион). На рис.16.5 видно, что в 2017 г. в теплый период хлоридов больше в 4-5 раз, чем остальных анионов (HCO_3^- , SO_4^{2-} и NO_3^-), а в холодный – в 3-4 раза. В 2017 г. из всех проб в 88% случаев преобладающим анионом был хлорид, в 15 пробах преобладал гидрокарбонат-ион и только в 4 – сульфат.

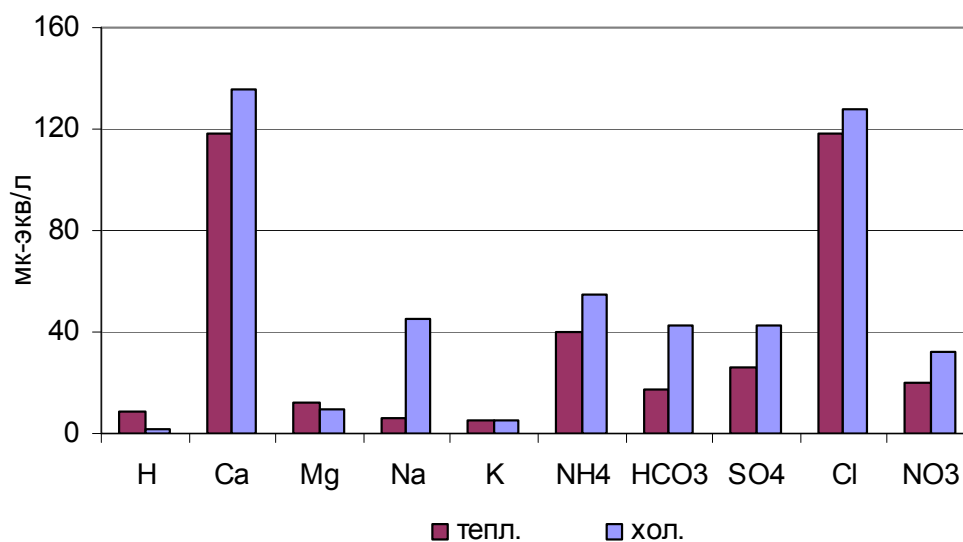


Рисунок 16.5. Сравнительное содержание всех ионов в осадках теплового и холодного периодов 2017 г.

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. Иногда данные приводят в t/km^2 , изменив соответствующий коэффициент. В 2017 г. на поверхность земли вместе с атмосферными осадками в МО МГУ выпало 116,4 кг/га минеральных солей (многолетнее годовое значение составляет 124,9 кг/га*год) (табл.16.3). Это примерно в 3 раза больше, чем, например, в Приокско-Тerrasном заповеднике, где эта величина составляет 4 t/km^2 (или 40 кг/га в год) (Свистов и др., 2015)

Таблица 16.3. Выпадение минеральных солей с атмосферными осадками

	ИОНЫ										
	H	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Сумма
<i>Выпадение ионов в 2017 г.</i>											
<i>кг/га</i>	0,06	13,7	13,5	39,1	13,5	22,5	1,2	3,6	1,9	7,3	116,4
<i>%</i>	0,05	11,8	11,6	33,6	11,6	19,3	1,1	3,1	1,7	6,2	
<i>Многолетние данные (1982-2016 гг.)</i>											
<i>кг/га</i>	0,09	19,8	31,9	25,7	12,9	22,6	1,2	2,8	1,2	6,7	124,9
<i>%</i>	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 с осадками в этом году выпало хлоридов (39,1 кг/га или 33,6 %), всех других анионов – почти в 3 раза меньше (примерно по 11% гидрокарбонатов, сульфатов и нитратов). По сравнению с многолетними данными в 2017 г. существенно увеличилось выпадение хлоридов, а выпадение сульфатных солей заметно уменьшилось. Изменения выпадения с осадками всех остальных ионов невелики.

16.3. Выводы

Средние значения кислотности осадков 2017 г. (годовые и сезонные) имеют значения pH>5,0, т.е. относятся к равновесным, а не кислым значениям, как в предыдущие годы.

Количество кислотных осадков, начиная с 2009 г., постепенно уменьшается. В 2017 г. из всех 180 проб кислотными были 17,8% садков (среднее многолетнее значение 21,3%).

Минерализация проб осадков 2017 г. как годовых, так и сезонных, меньше многолетних. 78 % проб имели минерализацию до 30 мг/л (граница «урбанизированных» осадков). А среднее годовое значение (12,8 мг/л) находится даже в диапазоне минерализации «регионального фона».

Сульфатов в осадках становится все меньше, и в 2017 г. получено минимальное среднее годовое значение за весь период наблюдений (1,5 мг/л). Концентрация хлоридов, увеличиваясь с начала 2000-х гг., в 2017 г. составила 4,2 мг/л, превысив содержание сульфатов почти в 3 раза.

Таким образом, 2017 г. может быть отмечен, как год с меньшим количеством кислотных осадков по сравнению с предыдущими и с меньшей загрязненностью проб.

Более подробно с результатами многолетних изменений химического состава атмосферных осадков по наблюдениям метеорологической обсерватории МГУ можно ознакомиться в работах (Еремина, 2013 и 2019).

Литература

Еремина И.Д. Мониторинг химического состава атмосферных осадков по наблюдениям метеорологической обсерватории МГУ// Альтернативная энергетика и экология. 2013. №6 (часть 2). С.80-87.

Еремина И. Д. Химический состав атмосферных осадков в Москве и тенденции его многолетних изменений // Вест. Моск.Ун-та. Сер.5. География. 2019. *(в печати)*

Свистов П.Ф., Полищук А.И. Атмосферные осадки над городами и регионами России // Природа. 2014. № 3. С. 28-36

Свистов П.Ф., Першина Н.А., Павлова М.Т.. Атмосферные осадки: Химический состав и кислотность// Природа. 2015. № 6. С. 28-36

Galloway, J.N., Likens, G.E., Kneen, W.C., Miller, J.M. 1982. The composition of precipitation in remote areas of the world. J. Geophys. Res. 87, (11). P.8771-8786.

17. Особенности аэропалинологического состава атмосферы в 2017 году

Северова Е.Э., Волкова О.А., Полевова С.В.
Биологический факультет МГУ

Наблюдения за аэропалинологическим составом атмосферы проводили с 1 марта по 1 октября при помощи воллюметрического пыльцеуловителя 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 зарегистрированы пыльцевые зерна ольхи (*Alnus*) и орешника (*Corylus*) – для обоих таксонов было отмечено очень раннее начало пыления по сравнению с многолетними данными (с 1993 г.), что, возможно, связано с очень тёплым мартом и ранним сходом снежного покрова в 2017 г. (см. разделы 1 и 4). Первые пыльцевые зерна появились в воздухе 5-6 марта, а сезон пыления начался 11-15 марта. Такое раннее начало пыления отмечалось и прежде, самый ранний старт пыления был зафиксирован в 2002 и 2016 годах.

Интенсивность пыления – величина непостоянная, значительно варьирующая из года в год и зависящая как от метеорологических условий в момент формирования цветков (весна-лето предшествующего сезона) и во время пыления, так и от эндогенных ритмов самого растения. Пыльцевая продукция ольхи в 2017 году была в пределах средних многолетних значений и составила 3579 пыльцевых зерен (пз), пик пыления пришелся на 24 марта (1120 пз/м³). Пыльцевая продукция орешника за последние годы в целом возрастает, однако значимость выявленного тренда сравнительно невысока ($p = 0,011$) (рис. 17.1). Пыльцевая продукция орешника в 2017 году более чем в два раза превышала средние многолетние значения и составила 843 пз, пик пыления пришелся на 5 апреля (206 пз/м³).

Кривая пыления раннецветущих деревьев обычно имеет специфическую форму с заметной положительной асимметрией распределения, т.е. с сильно смещенным влево во времени максимумом: пик пыления наступает вскоре после его начала, потом концентрация пыльцы медленно и плавно снижается. На кривую пыления существенное влияние оказывают текущие погодные условия. В 2017 году кривые пыления ольхи и орешника существенно отличались от типичных – несмотря на раннее начало, пыление в марте мно-

гократно прерывалось, и максимум сместился на 22-26 день от даты первого появления пыльцы в воздухе (рис. 17.2).

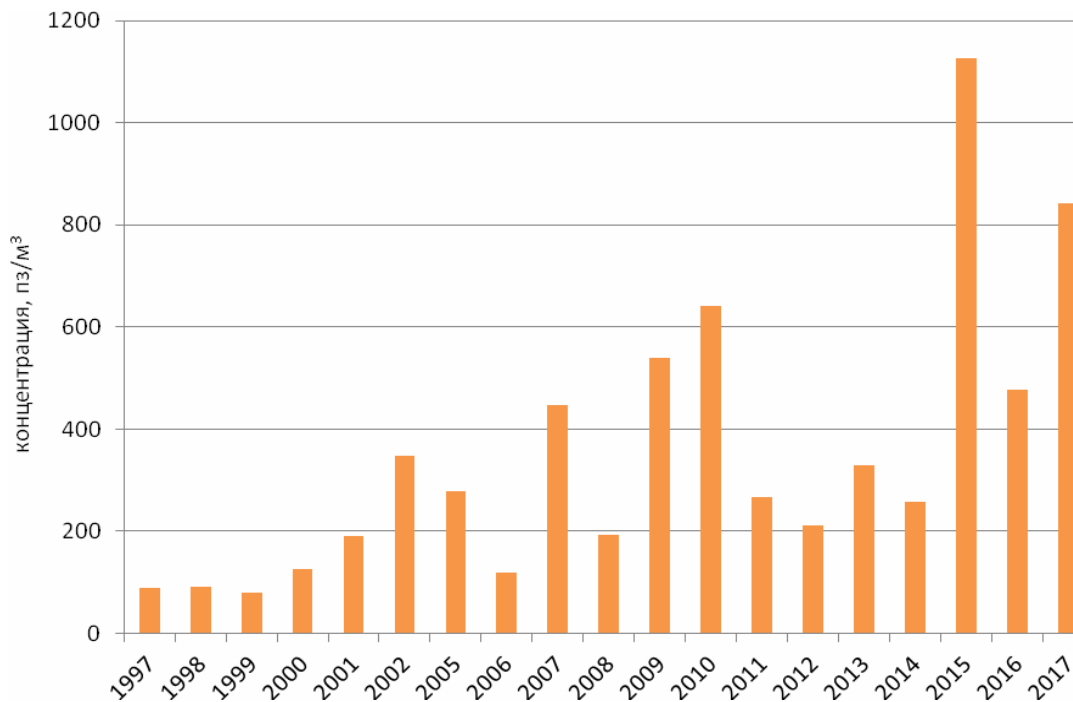


Рисунок 17.1. Межсезонная динамика пыления орешника (*Corylus*), 1997-2017 гг.

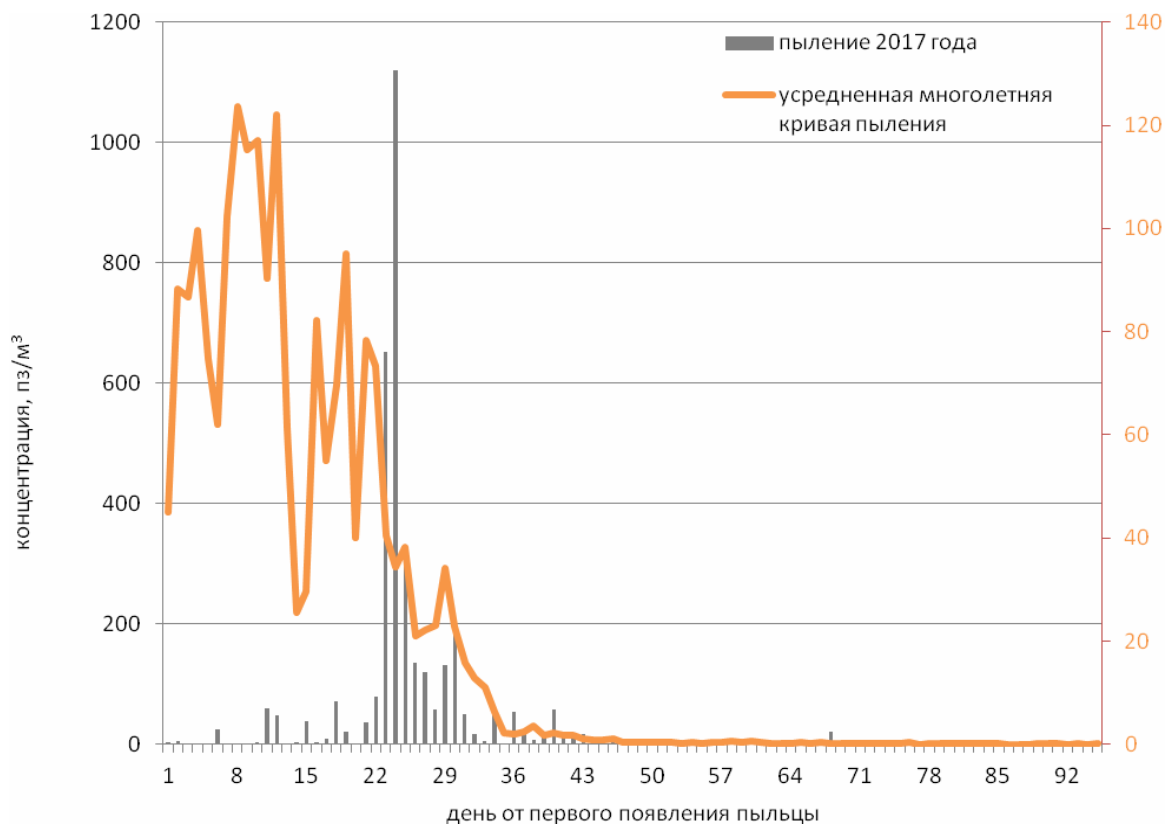


Рисунок 17.2. Усредненная кривая пыления ольхи (*Alnus*) и кривая пыления 2017 года.

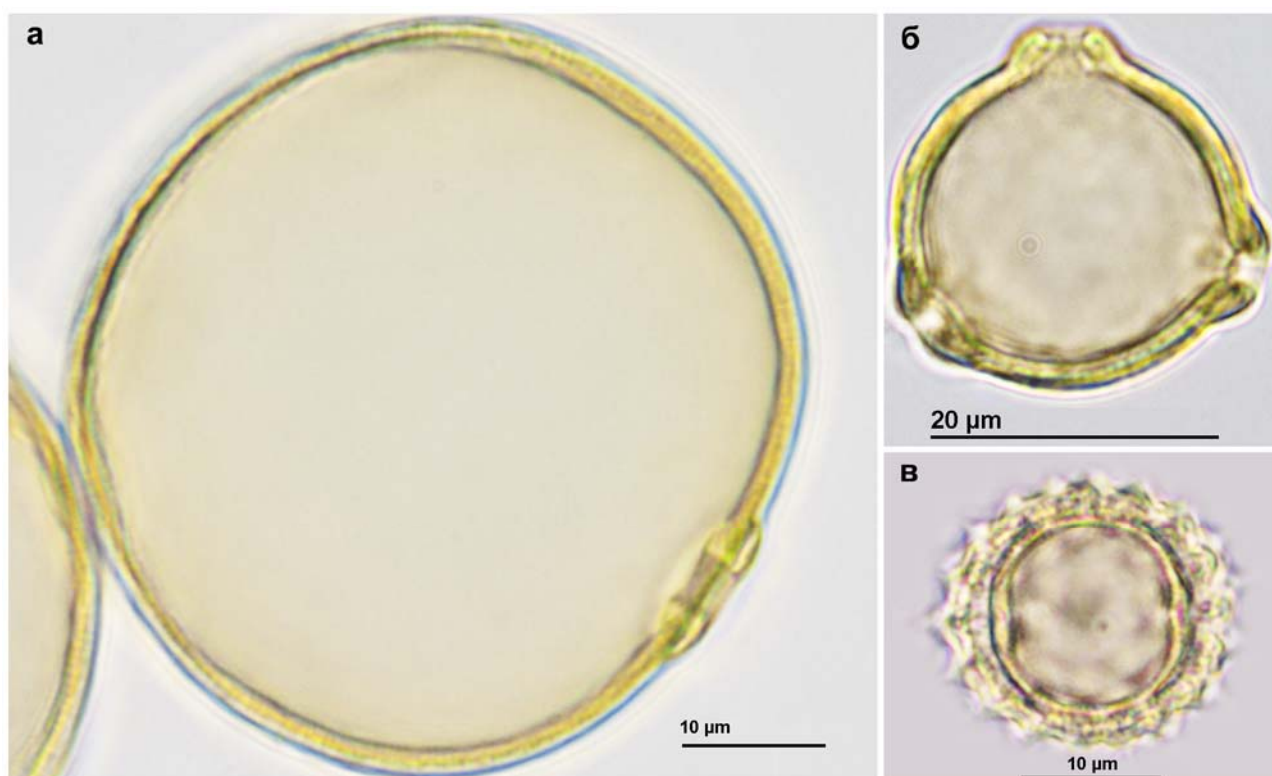


Рисунок 17.3. Пыльцевые зерна основных аллергенов средней полосы России. Световая микроскопия, **а** – пыльцевое зерно злака (Poaceae), **б** – пыльцевое зерно березы (*Betula*), **в** – пыльцевое зерно амброзии (*Ambrosia*). Изображения воспроизведены с сайта <http://botany-collection.bio.msu.ru/>

Пыльца березы (*Betula*, рис.17.3 б) – самый массовый и один из самых опасных аллергенов средней полосы России. Начало пыления березы обычно приходится на последнюю декаду апреля – первые числа мая, сроки начала пыления очень незначительно варьируют из сезона в сезон. В 2017 году цветение березы началось 29 апреля, интенсивность пыления составила 24571 пз, пик пыления пришелся на 1 мая (6150 пз/м³). Первые пыльцевые зерна березы появились в воздухе, однако, задолго до начала пыления и были связаны с дальним транспортом (переносом) пыльцы из более южных районов. Сезонная кривая пыления имела типичную форму – очень резкий старт, за которым сразу следовал пик и постепенное медленное снижение концентрации (рис.17.4).

Сроки появления в воздухе и интенсивность пыления других древесных растений отражены в таблице 17.1. Для тополя, вяза, клена, ясеня, цветущих в марте-апреле, отмечено снижение пыльцевой продукции и существенное увеличение продолжительности пыления. Начало цветения этих деревьев (за исключением клена) было зарегистрировано раньше среднестатистических сроков, однако, пыление в апреле многократно прерывалось. Начало

цветения деревьев, цветущих в мае (ель, сосна, дуб), отставало от средних сроков на 3-13 дней.

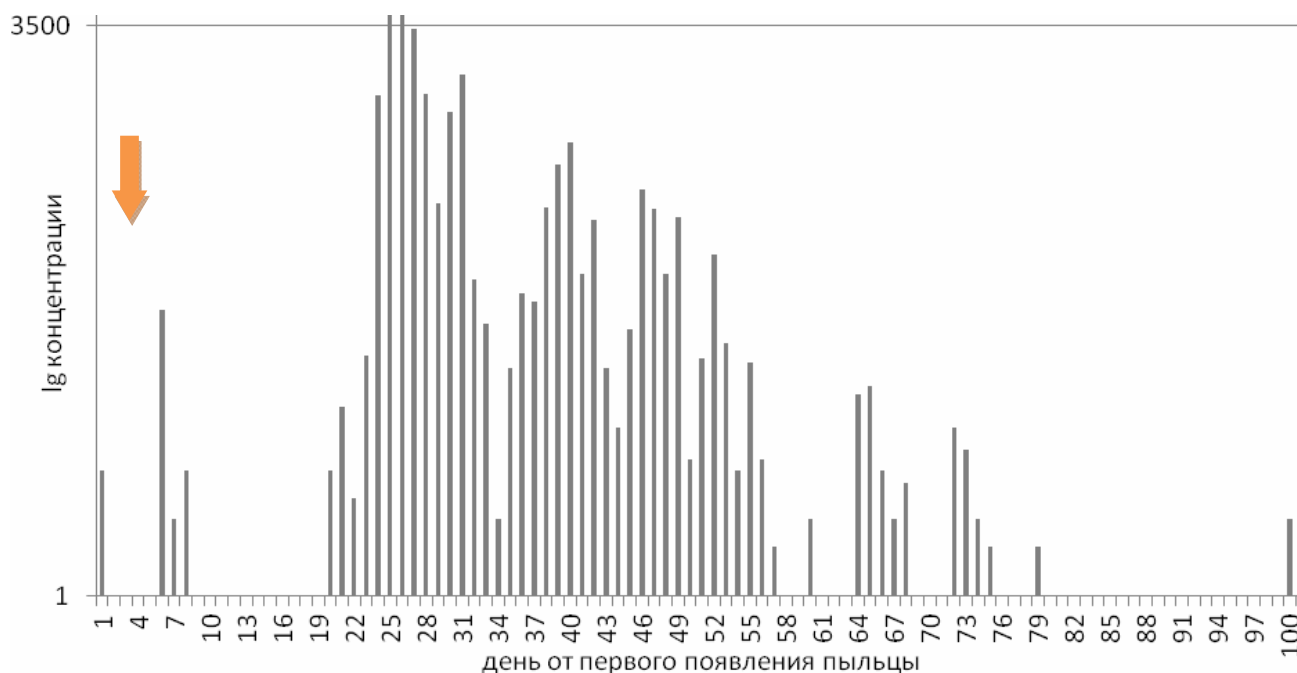


Рисунок 17.4. Кривая пыления березы (*Betula*), 2017 г. Стрелкой обозначен эпизод дальнего заноса пыльцы.

Таблица 17.1. Время и интенсивность пыления основных древесных таксонов аэропалинологического спектра в 2017 г. (в скобках указаны средние многолетние значения).

Таксон	Начало пыления, дата	Начало пыления, день от 1.01	Интенсивность, пз	Дата пика	Интенсивность пика, пз/м ³	Продолжительность, дни
Тополь (<i>Populus</i>)	05.04	95 (100)	930 (1803)	11.05	215 (598)	27 (13)
Вяз (<i>Ulmus</i>)	05.04	95 (105)	65 (356)	15.04	13 (111)	26 (18)
Ива (<i>Salix</i>)	06.04	96 (104)	801 (945)	06.05	103 (138)	39 (34)
Клен (<i>Acer</i>)	26.04	116 (111)	324 (1014)	30.04	61 (279)	20 (16)
Ясень (<i>Fraxinus</i>)	06.04	96 (115)	187 (452)	02.05	54 (116)	41 (16)
Дуб (<i>Quercus</i>)	19.05	137 (126)	765 (848)	25.05	173 (233)	8 (16)
Ель (<i>Picea</i>)	08.05	128 (125)	251 (358)	22.05	36 (90)	16 (27)
Сосна (<i>Pinus</i>)	24.05	159 (146)	4115 (3419)	08.06	571 (1266)	23 (17)

Наибольшую опасность с аллергологической точки зрения в начале лета представляет пыльца злаков (Роасеае, рис.17.3 а), которая появляется в воздухе в конце весны. В 2017 году пыление всех летних растений сильно задержалось – первые пыльцевые зерна злаков

появились в воздухе 6 июня, а основной период пыления стартовал только 21 июня – это самый поздний старт за всю 25-летнюю историю наблюдений, связанный, вероятно, с холодной погодой июня (см. раздел 1). Окончание сезона пыления пришлось на 10 августа, что соответствует многолетним наблюдениям. Таким образом, сезон пыления злаков был сравнительно коротким и составил 50 дней (средняя продолжительность – 70 дней, максимальная продолжительность была зафиксирована в 2006 году и составила 87 дней). Интенсивность пыления не отличалась от средних многолетних значений и составила 1644 пыльцевых зерен за сезон, пик пыления пришелся на 18 июля (108 пз/м^3). Кривая пыления многовершинная, что соответствует разновременному цветению многочисленных видов, относящихся к семейству Злаки (Poaceae) (рис. 17.5).

Пыльца амброзии (*Ambrosia*, рис.17.3 в) – один из самых сильных аллергенов конца лета – первой половины осени. В атмосфере Москвы пыльца амброзии была впервые зафиксирована в 2000 г. и с той поры отмечается регулярно, однако суммарная годовая концентрация пыльцы амброзии существенно варьирует из сезона в сезон, а в некоторые годы (2003, 2015) вообще в воздухе не отмечалась. Сезон 2017 года был рекордным по уровню концентрации пыльцы амброзии – суммарное содержание пыльцы составляло 385 пз, что более чем в 2 раза превысило предшествующий максимум 2004 года (рис.17.6). Пик пыления пришелся 11 сентября и составил 136 пз/м^3 , что также вдвое превышает максимальные значения, зафиксированные ранее.

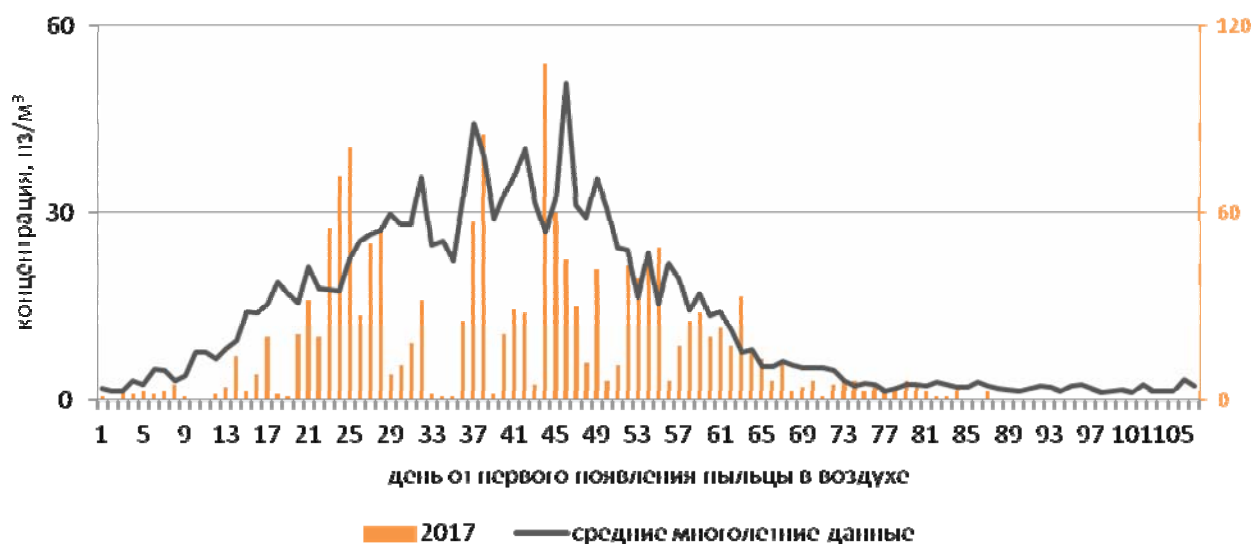


Рисунок 17.5. Усредненная кривая пыления злаков (Poaceae) и кривая пыления 2017 года

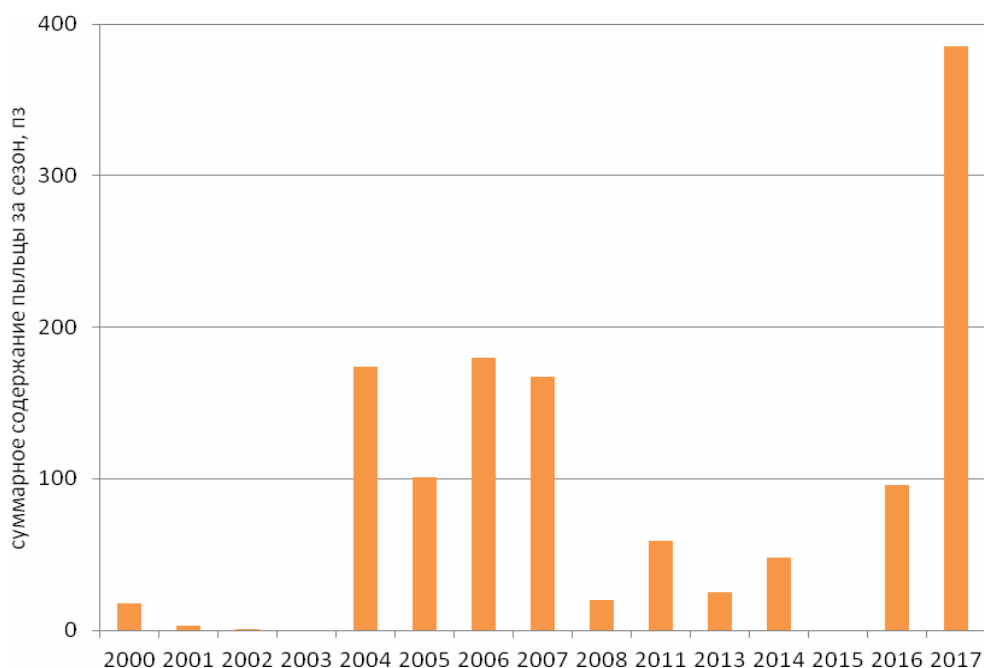


Рисунок 17.6. Многолетняя динамика пыления амброзии (*Ambrosia*), 2000-2017 гг.

Кривая пыления амброзии типична для таксона, основная масса пыльцы которого заносится в регион. Кривая «рваная», с многочисленными провалами и резкими кратковременными пиками концентрации, связанными с ветрами южных и юго-западных направлений (рис.17.7).

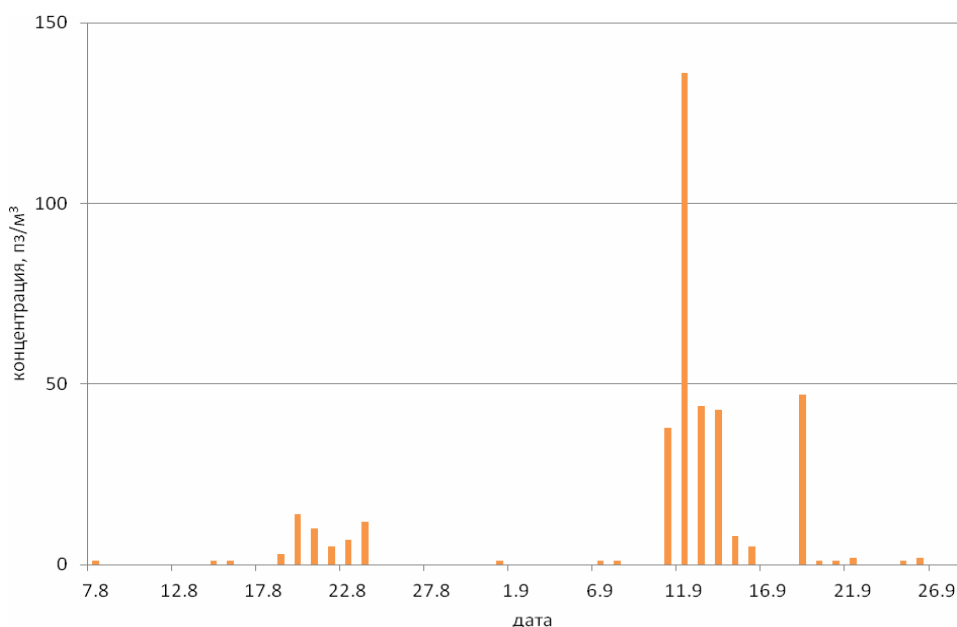


Рисунок 17.7. Динамика пыления амброзии (*Ambrosia*), 2017 г.

Заносный характер пыльцы амброзии в воздухе Москвы подтверждают и суточные кривые пыления. Амброзия имеет четкую ритмику пыления с суточным максимумом в 10-

12 часов утра. Смещение суточного пика на раннеутренние или ночные часы дает основания предположить дальний перенос пыльцы амброзии из других регионов. Анализ суточных кривых пыления в период наиболее высокой концентрации пыльцы амброзии в Москве в 2017 г. подтверждает интенсивный дальний транспорт (перенос). Локальное цветение амброзии в Москве тоже фиксируется – в отдельные дни (13 сентября) суточное распределение концентрации соответствовало «нормальному» для растения ритму пыления.

Сроки появления в воздухе и интенсивность пыления других травянистых растений, цветущих летом, отражены в таблице 17.2.

Таблица 17.2. Время и интенсивность пыления основных травянистых таксонов аэропалинологического спектра в 2017 г. (в скобках указаны средние многолетние значения)

Таксон	Начало пыления, дата	Начало пыления, день от 1.01	Интенсивность, пз	Дата пика	Интенсивность пика, пз/м ³	Продолжительность, дни
Крапива (<i>Urtica</i>)	17.06	168 (161)	19044 (10638)	15.07	1119 (605)	51 (52)
Маревые (<i>Chenopodiaceae</i>)	15.07	196 (169)	124 (175)	19.08	19 (19)	69 (65)
Полынь (<i>Artemisia</i>)	27.07	208 (200)	1485 (1515)	13.09	162 (180)	24 (32)

Споры кладоспориума (*Cladosporium*) регистрировались в составе воздушного спектра с первых чисел марта. До начала июня суточная концентрация спор была сравнительно невысокой и не превышала 1000. Постепенное увеличение концентрации отмечалось с середины июня, в середине июля был зафиксирован первый пик концентрации (6000-8000 спор/м³). В течение сезона спороношение происходило многократно, ему способствовала влажная и теплая погода. Самая высокая концентрация спор кладоспориума была отмечена 26 июля, она составила 10036 спор в кубометре воздуха. До середины сентября концентрация спор оставалась высокой, последний из зафиксированных пиков концентрации пришелся на 11 сентября (7283 споры/м³). Интенсивность, периоды максимумов и продолжительность спороношения соответствовали средним многолетним значениям (рис. 17.8).

Пик спороношения альтернарии (*Alternaria*) обычно приходится на середину августа, однако в 2017 он был зафиксирован 11 сентября (220 спор/м³). В этот же день была зафиксирована высокая концентрация спор кладоспориума и экстремально высокие концентрации пыльцы амброзии. Возможно, высокая концентрация спор альтернарии также была

связана с дальним переносом. Интенсивность и продолжительность спороношения альтернарии соответствовали многолетним наблюдениям (рис. 17.8).

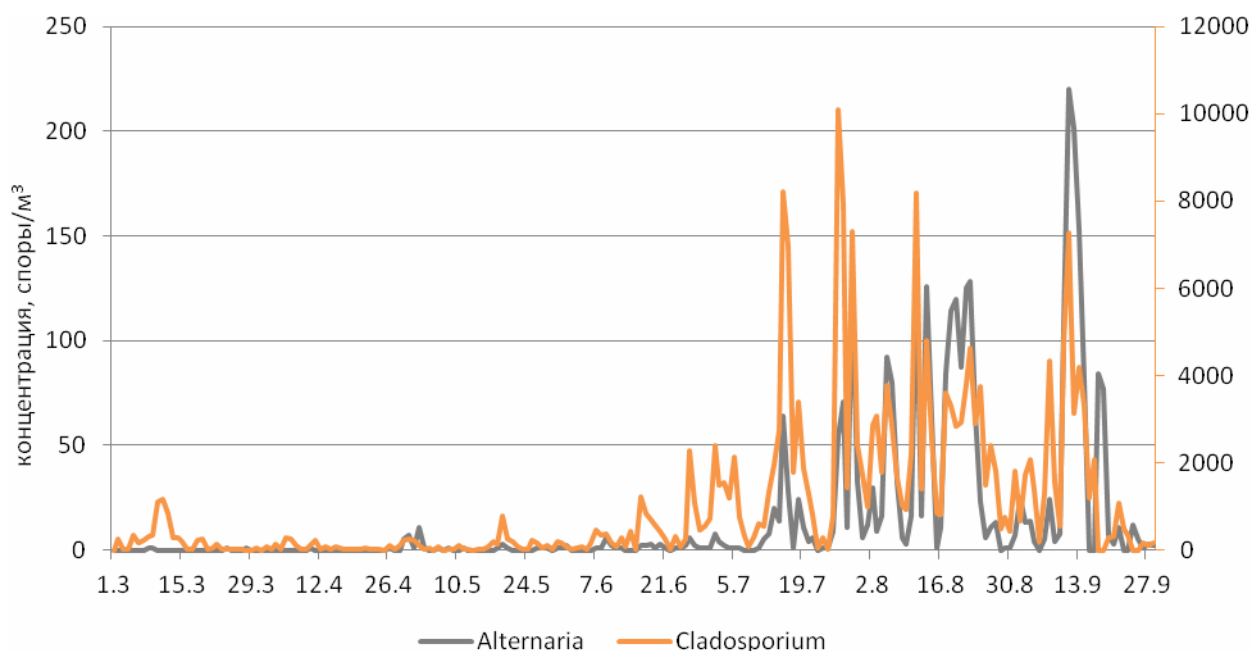


Рисунок 17.8. Динамика спороношения кладоспориума (*Cladosporium*) и альтернарии (*Alternaria*), 2017 г.

Сезон пыления завершился к концу 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. 2014. EAS QC Working Group. Pollen monitoring: minimum requirements and reproducibility of analysis // *Aerobiologia*. Vol. 30. P. 385–395.

Часть IV. Прикладные аспекты метеорологических наблюдений

18. Изучение пространственно-временной неоднородности снежной толщи на площадке Метеорологической обсерватории МГУ зимой 2017/2018 гг.

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

Географический факультет МГУ

Зимой 2017/2018 гг. комплекс наблюдений за пространственно-временной изменчивостью снежного покрова на площадке Метеорологической обсерватории МГУ был значительно расширен по сравнению с предыдущими зимами. В дополнение к традиционному изучению стратиграфии снежной толщи и физико-механических свойств снега в шурфах и измерениям твердости по продольным профилям с использованием прибора SnowMicropen, изучение пространственно-временной неоднородности снежной толщи выполнялось также с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА) DJI Phantom 4 Pro и первого в мире мультисистемного самообучающегося тахеометра Leica Nova MS60. Такой комплекс измерений для изучения пространственно-временной изменчивости снежного покрова был выполнен впервые в России.

В работах по дистанционному исследованию пространственно-временной изменчивости снежного покрова принимали участие сотрудники кафедры геоинформатики и картографии А.А.Сучилин, А.Л.Энтин, доцент МИИГАИК М.Р.Владимирова, а также сотрудники ООО «Фирма Г.Ф.К.» В.Ли, И.В.Сухов, С.Л.Серегин. На площадке была создана сеть наземных контрольных точек и с применением мобильного комплекса «Leica Viva» (дифференциальная антенна «GS08», приёмник «CS10») по данным ГНСС были определены их координаты и высоты с точностью 1 см. До установления снежного покрова мультисистемным тахеометром Leica Nova MS60 было выполнено сканирование подстилающей поверхности, по результатам которого была составлена ее цифровая модель. В дополнение к сканированию была осуществлена нивелирная съемка по профилям, по которым осуществляются измерения плотности и твердости, а также описывается стратиграфия снежного покрова в траншеях. Результаты выполненных работ позволили получить представление о микрорельефе подстилающей снежный покров поверхности, а также были использованы при построении профилей и полей точек для изучения пространственного распространения снежного покрова.

Пять раз за зимний сезон 2017/2018 гг. при помощи оснащенной фотокамерой БПЛА DJI Phantom 4 Pro проводилась аэрофотосъемка площадки с высоты 30 м. В результате фотограмметрической обработки массива снимков создавались карты распределения снежного покрова – значений высоты снежного покрова на поверхности площадки. Проверка результатов выполнялась с использованием повторной съемки тахеометром и наземных измерений высоты снежного покрова по профилям.

В ходе исследования установлено, что материалы съемки снежного покрова при помощи БПЛА и лазерного сканера позволяют с приемлемой точностью оценивать высоту снежного покрова и получать достоверную модель снежного покрова значительных по площади участков. Результаты измерений были представлены в докладах на International Snow Science Workshop в Инсбруке, Австрия (Sokratov et al., 2018), Всероссийской конференции «Междисциплинарные научные исследования в целях освоения горных и арктических территорий» в Сочи (Комаров и др., 2018), Всероссийской научной конференции «Национальная картографическая конференция — 2018» (Энтин и др., 2018).

Наземные измерения высоты снежного покрова, толщины отдельных слоев, их плотности, формы и размера кристаллов были выполнены с шагом 1 м и проводились в траншеях протяженностью 20 м. На основе полученных данных были произведены расчеты и построены схемы пространственной изменчивости плотности в траншеях. Исследования проводились 4 раза за зиму (23 января, 06 февраля, 20 марта и 03 апреля). Их результаты характеризуют снежную толщу в разные этапы ее развития.

В начале зимы толща характеризовалась преобладанием рыхлого мелкозернистого снега средней плотностью около 140 кг/м^3 . В приземных слоях формировались кристаллы огранных форм (таблица 18.1). По мере аккумуляции происходило постепенное оседание и уплотнение снега до 180 кг/м^3 , что проиллюстрировано на рис. 18.1 и 18.2.

В этот период пространственная изменчивость строения и свойств снежной толщи была достаточно невысока. Различия в высоте снежного покрова между точками составили в этот период около 5-6%, средней (по вертикальному профилю) плотности – 3-4%, а водного эквивалента – 6-7%.

В период максимума снегонакопления, 20 марта, сформировалась значительно более сложная стратиграфия. Верхняя половина толщи была сложена рыхлым снегом в разной степени уплотнения. Нижняя половина представлена крупными огранными кристаллами со следами оплавления и осложнена фирновой коркой из смерзшихся поликристаллов,

сформировавшейся в результате оттепели. Наличие неровной, фестончатой нижней границы свидетельствует о неравномерности процессов просачивания воды сквозь толщу во время оттепели, а также процессов метаморфизма. Средняя плотность составляет 240 кг/м^3 , однако варьирует между слоями в широких пределах (рис. 18.3). Изменчивость средней (по вертикальному профилю) плотности между точками возрастает до 7%, водного эквивалента – 8%.

Таблица 18.1. Строение снежной толщи 06 февраля 2018 г.

Глубина залегания слоя, см	Описание слоя
0-10	Свежевыпавший рыхлый снег, снежинки 6-гранных форм, пластинки до 2 мм, осколки до 1 мм, белый, пушистый, рыхлый, по шкале твердости очень мягкий - проникает кулак. Слой накоплен за 2 дня при отрицательной температуре. Слоистый, оседает, грани округляются
10-20	Слой мелкозернистого снега, уплотненный, слоистый, белый, сухой, в начальной стадии огранки, мягкий по шкале твердости - проникают 4 пальца. В верхней части диаметр зерен до 0,3-0,5 мм. В нижней части кристаллы преимущественно ограненные, до 0,5-0,8 мм, более крупные и сыпучие.
20-26	Слой смерзшихся кристаллов средне- и крупнозернистого снега. Плотный – в слой проникает карандаш. Слоистый – накопление при метелевом переносе.
26-27	Ледяная корка, серая, кристаллы и конгломераты до 4 мм, разрушается с трудом, очень плотный - проникает только лезвие ножа.
27-39	Слой представлен погребенной уплотненной метелевой доской в стадии метаморфизма – из мелко- и среднезернистых кристаллов. Слоистый, средней плотности - проникает 1 палец,
39-45	Слой среднезернистого (диаметром до 2 мм) снега. Кристаллы с четко выраженной огранкой. Более серый, чем слой выше. Рыхлый, сыпучий, высокая плотность при пониженной твердости (проникают 3 пальца). Встречаются отдельные кристаллы глубинной изморози диаметром до 2-3 мм. Слабые связи между кристаллами. Плавный переход к нижележащему слою.
45-49	Слой глубинной изморози с кристаллами диаметром до 3 мм. Сыпучий, неустойчивый, плотный, темно серый.

В период активного снеготаяния 03 апреля толща сложена преимущественно округлыми кристаллами талых форм. Средняя плотность достигает 340 кг/м^3 , слои сливаются, и вместо них возникают участки повышенной и пониженной плотности, представляющие собой зоны стока и последующего промерзания талой воды (рис. 18.4). Изменчивость значений плотности в этот период возрастает до 11%, а высоты снежного покрова – до 8%.

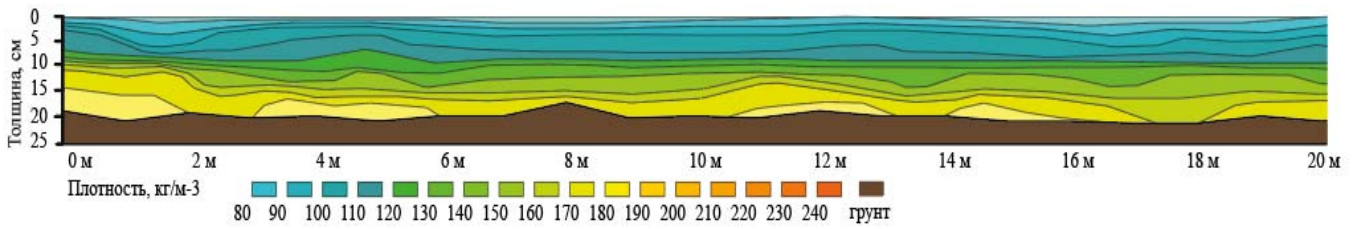


Рисунок 18.1. Изменение плотности снега по горизонтальному профилю, измеренной в траншее 23 января 2018 г.

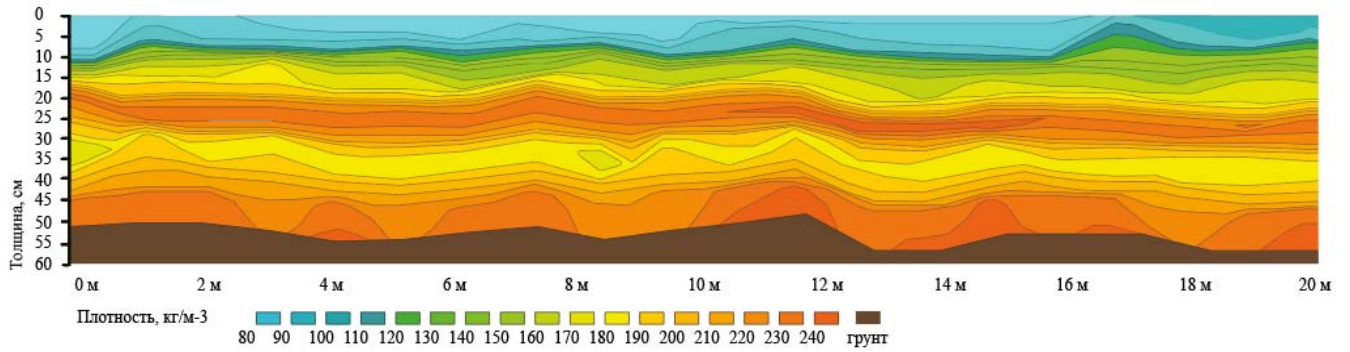


Рисунок 18.2. Изменение плотности снега по горизонтальному профилю, измеренной в траншее 06 февраля 2018 г.

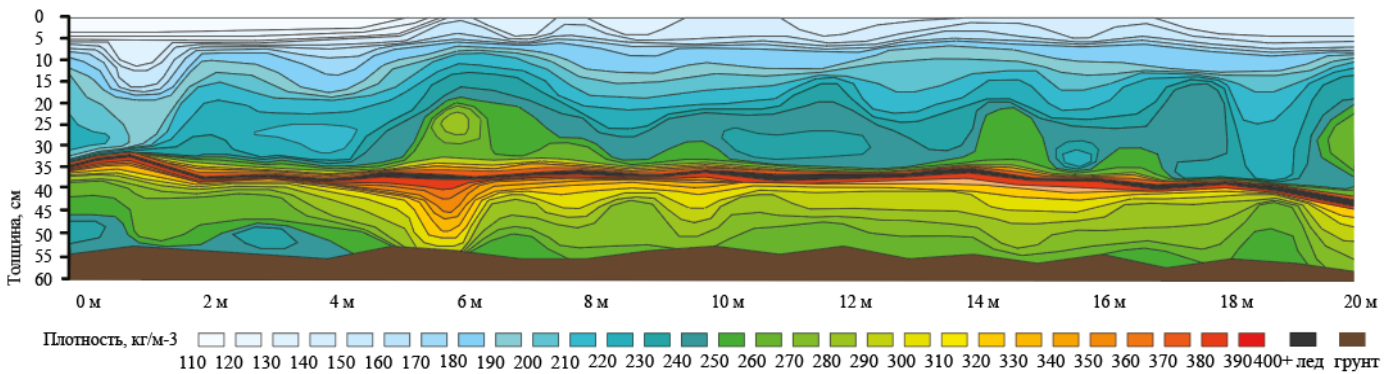


Рисунок 18.3. Изменение плотности снега по горизонтальному профилю, измеренной в траншее 20 марта 2018 г.

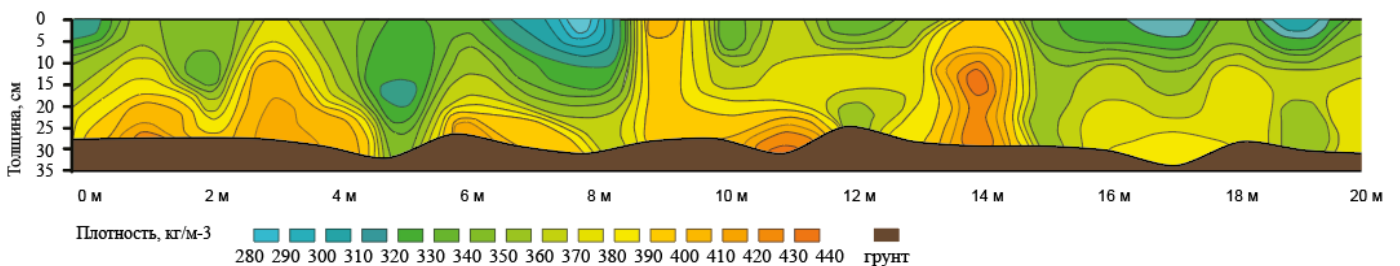


Рисунок 18.4. Изменение плотности снега по горизонтальному профилю, измеренной в траншее 03 апреля 2018 г.

Несмотря на кажущуюся однородность осредненных по толще значений, анализ исследуемых параметров по слоям показал значительную их изменчивость. Так, в период максимума аккумуляции вариация толщины отдельных слоев составила от 12 до 27%,

плотности – от 8 до 12%, водного эквивалента – от 13 до 33%. Наибольшая изменчивость характерна для слоев, подверженных процессам температурно-градиентного метаморфизма, фирнизованных слоев смерзшихся поликристаллов, а также слоев, подвергшихся ветровому уплотнению в процессе аккумуляции снега.

Анализ полученных зимой 2017/2018 гг. данных также показал, что разброс средних значений плотности и водного эквивалента между двумя соседними точками измерений в период максимума снегонакопления может достигать 33% даже в пределах однородной плоской площадки. Установлено также, что в пределах одного слоя разница значений водного эквивалента между соседними точками измерений может достигать 100% и более. Значительная изменчивость свойств снега даже в пределах однородного ландшафта должна учитываться при выборе репрезентативных точек для оценки водного эквивалента и прочих характеристик на больших по площади территориях. Для каждого района сеть мониторинга снежного покрова должна проектироваться с учётом собственной пространственно-временной статистической структуры характеристик снега.

Литература

Комаров А.Ю., Селиверстов Ю.Г., Турчанинова А.С., Гребенников П.А., Сократов С.А., Сучилин А.А., Энтин А.Л., Владимирова М.Ю. Определение высоты снежного покрова с использованием ДДЗ. Тезисы докладов всероссийской конференции «Междисциплинарные научные исследования в целях освоения горных и арктических территорий»: г. Сочи 24–29 сентября 2018 года. Место издания: Институт географии Российской академии наук, Гляциологическая ассоциация Москва, тезисы, с. 92.

Энтин А.Л., Сучилин А.А., Владимирова М.Р., Сократов С.А., Комаров А.Ю., Турчанинова А.С., Гребенников П.Б., Селиверстов Ю.Г. Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для построения модели высоты снежного покрова. Сборник тезисов Всероссийской научной конференции «Национальная картографическая конференция — 2018», Москва, Российская государственная библиотека, 16–19 октября 2018 г., место издания Географический факультет МГУ Москва, тезисы, с. 295-296.

Sokratov S., Seliverstov Y., Komarov A.Y., Entin A., Suchilin A., Grebennikov P., Turchaninova A., Vladimirova M. Simultaneous use of different techniques in assessment of spatial-temporal variability of the characteristics of snow cover. Proceedings, International Snow Science Workshop, Innsbruck, Austria, 2018, pp. 373-376.

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

Казарова С.Ю., Купцов С.В., Бойко Г.А.
Ботанический сад Биологического факультета МГУ

Фенологические наблюдения имеют важное значение в интродукционных исследованиях. Изучение сезонных явлений в жизни растений позволяет оценить ритм жизнедеятельности растений и любые отклонения от нормального ритма. Фенологические фазы тесно связаны с особенностями окружающей среды и климата. Календарь, отражающий сроки цветения группы растений определенного вида, служит важным источником информации о содержании пыльцы в атмосфере, что поможет заранее принять необходимые меры, для предупреждения такого заболевания как аллергия.

В Ботаническом саду МГУ для проведения пыльцевого мониторинга изучалось цветение 50 видов деревьев и кустарников. Календарь цветения основан на фенологических наблюдениях за группой растений определённого вида. Если исследуется цветение деревьев и кустарников, выбирают небольшую группу нормально развитых средневозрастных растений и регулярно, с периодичностью раз в 2-3 дня, отмечают их фазу развития. Обычно обращают внимание на среднюю часть кроны и крупные ветки (Александрова и др., 1979). Результаты многолетних данных наблюдений обработаны математическими методами (Зайцев, 1981). Фиксировались следующие фенологические фазы: начало цветения, пик цветения и окончание цветения. Объектами изучения стали 11 родов: *Acer* L., *Alnus* Gaertn., *Betula* L., *Carpinus* L., *Corylus* L., *Fraxinus* L., *Padus* Mill., *Populus* L., *Quercus* L., *Salix* L., *Tilia* L.

Данные по фенологическим наблюдениям цветения в 2017 г. и средние многолетние данные за последние десять лет представлены в таблице 19.1

Анализ фенологических данных показал, что начало цветения кленов приходилось на 03.05 (*Acer platanoides* L.) и 08.05 (*Acer negundo* L.), позднее средних многолетних данных на 9 и 12 дней, соответственно. Пик цветения кленов лежал в интервале 13.05-16.05. Эта фаза запоздала по сравнению с многолетними данными на 16 и 13 дней. Конец цветения клёнов отмечался 20.05-21.05, и эта фаза наступила позднее по сравнению с многолетними данными на 10 дней у *Acer platanoides* L. и 16 дней у *Acer negundo* L.

Количество тепла, необходимое для наступления определённой фенологической фазы, определяется суммой активных температур, которая складывается из среднесуточных

температур выше 5° С. Зависимость цветения растений от температурного фактора хорошо прослеживается по сумме активных температур, приходящихся на эту фазу (Юркевич, 1957).

Фаза пика цветения клёнов соответствовала сумме активных температур – 270-300 °С, конца цветения – 340-380 °С.

Ольха начала цвести в сроки с 16.03 (*Alnus barbata* С.А. Мей) по 08.05 (*Alnus viridis* (Chaix) DC). Разница в зацветании самого раннего вида и самого позднего составила 23 дня. Относительно многолетних данных виды начали цвести позднее на 3 (*Alnus sibirica* Spach.) –13 дней (*Alnus viridis* (Chaix) DC).

Пик цветения десяти видов ольхи в 2017 г. лежал в интервале 20.03 (*Alnus cerrulata* (Aiton) Willd. – 14.05 (*Alnus viridis* (Chaix) DC.). Запаздывание этой фазы по сравнению со средними многолетними данными (12.03-30.04.) составляло 8-14 дней. До 10 дней цвели *Alnus crispa* (Ailt.) Pursh, *Alnus japonica* (Thunb.) Steud. и *Alnus cerrulata* (Aiton) Willd. Наиболее продолжительное цветение (до 15 дней) фиксировалось у *Alnus barbata* С.А. Мей, *Alnus glutinosa* (L.) и *Alnus hirsuta* Spach.

Начало цветения берёз лежало в интервале 01.05 (*Betula pubescens* Ehrh.) и 08.05 (*Betula pendula* Roth.), что соответствовало сумме активных температур 187-260 °С.

Пик цветения *Betula pubescens* Ehrh. и *Betula pendula* Roth. отмечался 06.05 и 14.05., позднее средних многолетних данных на 13 и 16 дней. *Betula pubescens* Ehrh. начала цветение на 13 дней, а *Betula pendula* Roth. – на 15 дней позднее по сравнению со средними многолетними данными. Закончили берёзы цвести 11.05 (*Betula pubescens* Ehrh.) и 19.05 (*Betula pendula* Roth.) позднее средних многолетних данных на 13 и 14 дней, соответственно, сумма активных температур составила – 264-342 °С. Продолжительность цветения берёз составила 10-11 дней.

Лещины начали цвести в сроки с 28.03 по 12.04. Первой начала цвести *Corylus avellana* L., последней зацвела *Corylus ferox* Wall. По сравнению с 2016 годом (24.02) *Corylus avellana* L. начала цвести позднее на 34 дня, а относительно средних многолетних данных позднее на 14 дней. Пик цветения лещин фиксировался в период с 09.04 (*Corylus thibetica* Batal.) по 16.04 (*Corylus ferox* Wall.); сумма активных температур – 54-86 °С.

Раньше других видов отцвела *Corylus thibetica* Batal. (14.04), а позднее остальных видов *Corylus ferox* Wall. (20.04). (сумма активных температур – 84-88 °С). Сроки пика цветения лещин значительно запаздывали относительно средних многолетних данных. У

Corylus ferox Wall. запаздывание составляло 6 дней, а у *Corylus avellana* L. – 25 дней. Самое продолжительное цветение (22 дня) отмечалось у *Corylus avellana* L., а самое короткое – у *Corylus ferox* Wall. и *Corylus thibetica* Batal. (8 дней).

Начало цветения ясеней *Fraxinus pennsylvanica* Marsh и *Fraxinus excelsior* L. приходилось на период 05.05-06.05 при сумме активных температур – 242-253 °С. Сроки начала цветения незначительно отличались от многолетних данных (позднее на 4 дня). Пик цветения ясеней отмечался 13.05-14.05 (сумма активных температур – 80-84 °С), а окончание цветения – 17.05-19.05 (сумма активных температур – 86-88 °С). Цвели оба вида в течение 12-13 дней.

Дубы начали цветение 10.05-12.05 при сумме активных температур 60-75 °С. *Quercus robur* L. начал цветение на 10 дней позднее средних данных за несколько лет, а *Quercus rubra* L. – на 6 дней. Пик цветения отмечался 14.05 (*Quercus robur* L.) и 18.05 (*Quercus rubra* L.). Закончили виды цветение 21.05 (*Quercus robur* L.) и 23.05 (*Quercus rubra* L.) позднее средних многолетних данных, соответственно на 9 и 8 дней. Сумма активных температур при наступлении этой фазы составляла 94 и 103°С.

Пик цветения тополей наблюдался в период с 13.04 (*Populus tremula* L.) по 25.04 (*Populus x mosquensis* R. I. Schrod.). Относительно средних многолетних данных разница в сроках была незначительной, позднее на 3-5 дней. Раньше других видов отцвел *Populus tremula* L. (22.04), а позднее *Populus alba* L. и *Populus x mosquensis* R. I. Schrod. (30.04). Сумма активных температур достигала 102-171 °С.

Липы начали цвести в сроки с 20.06 (*Tilia platyphyllos* Scop.) по 05.07 (*Tilia amurensis* Rupr.), когда сумма активных температур составляла, соответственно 790-1200 °С. Все виды

начали цветение позднее средних многолетних данных на 3-12 дней. Пик цветения видов отмечался в период с 25.06 (*Tilia platyphyllos* Scop.) по 17.07 (*Tilia cordata* Mill.) при сумме активных температур 864-1399 °С.

Среди изученных видов ив самые ранние сроки начала цветения зафиксированы у *Salix caprea* L. (25.04), а самые поздние – у *Salix integra* Thunb. и *Salix purpurea* L. (08.05). Разница в более поздних сроках цветения относительно многолетних данных составляла 6 (*Salix caspica* Pall.) и 14 дней (*Salix purpurea* L.). Самый ранний пик цветения отмечался 02.05 у *Salix caprea* L., самый поздний – 11.05 у *Salix fragilis* ‘Globosa’. Относительно многолетних данных эта фаза запоздала у видов на 5-12 дней. Закончили виды цвести 06.05

(*Salix purpurea* L.) и 17.05 (*Salix caprea* L.). Сумма активных температур составляла – 572-732 °С. Продолжительность цветения ив варьировала от 7 (*Salix acutifolia* Willd.) до 11 дней (*Salix aegyptica* L.) и (*Salix caprea* L.).

Таким образом, наступление изученных фенологических фаз цветения деревьев и кустарников отмечалось в разной степени с запаздыванием по сравнению со средними многолетними данными. Такое запаздывание имело связь с общими поздними сроками начала вегетации и низкими температурами в весенний и ранний летний период. Начало наступления каждой фазы сроков цветения определялось разной суммой активных температур.

Литература.

Александрова М. С., Булыгин Н. Е., Ворошилов В. Н., Карпинсонова Р. А., Плотникова Л. С., Фролова Л. А., Шкутко Н. В. 1979. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР //Бюлл. ГБС АН СССР. 1979, выпуск 113, С. 3-8.

Зайцев Г. Н. Фенология древесных растений. - М.: 1981, 120 С.

Юркевич И. Д. О малоизученных вопросах цветения и плодоношения древесных растений //Вестник БССР 1957, С. 32-34.

Таблица 19.1 Фенологические показатели цветения некоторых видов деревьев и кустарников в дендрарии Ботанического сада МГУ в 2017 г.

Вид	Начало цветения		Пик цветения		Конец цветения		Продолжительность цветения
	Средние многолетние данные	2017 г.	Средние многолетние данные	2017 г.	Средние многолетние данные	2017 г.	
<i>Acer platanoides</i> L.	25.04±6	03.05	01.05±4	16.05	10.05±7	20.05	17
<i>Acer negundo</i> L.	26.04±7	08.05	30.04±3	13.05	05.05±11	21.05	13
<i>Alnus barbata</i> C.A. Mey	08.03±9	16.03	16.03±6	23.03	28.04±5	01.04	15
<i>Alnus crispa</i> (Alt.) Pursh	20.03±6	29.03	25.03±5	04.04	30.03±7	08.04	10
<i>Alnus incana</i> L.	08.03±4	18.03	14.03±3	23.03	20.03±8	30.03	13
<i>Alnus japonica</i> (Thunb.) Steud.	10.03±4	17.03	12.03±4	22.03	18.03±10	27.03	10
<i>Alnus cerrulata</i> (Aiton) Willd.	11.03±5	18.03	14.04±4	20.03	21.03±5	28.03	10
<i>Alnus glutinosa</i> (L.)	15.03±3	20.03	21.03±7	25.03	30.03±8	04.04	15
<i>Alnus hirsuta</i> Spach.	12.03±6	17.03	18.03±5	23.03	23.03±6	01.04	15
<i>Alnus tenuifolia</i> Nutt.	11.03±7	17.03	16.03±6	24.03	29.03±9	03.04	14
<i>Alnus sibirica</i> Spach.	12.03±5	15.03	18.03±5	23.03	22.03±10	27.03	12
<i>Alnus viridis</i> (Chaix) DC	25.04±7	08.05	30.04±8	14.05	05.05±5	19.05	11
<i>Betula pendula</i> Roth.	23.04±8	08.05	30.04±5	14.05	05.05±8	19.05	11
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	18.04±6	01.05	23.04±4	06.05	28.04±8	11.05	10
<i>Carpinus betulus</i> L.	01.05±4	08.05	06.05±4	14.05	11.05±4	18.05	10
<i>Corylus avellana</i> L.	14.03±6	28.03	06.03±6	11.04	23.03±7	19.04	8
<i>Corylus colurna</i> L.	01.04±5	08.04	06.04±7	12.04	10.04±7	18.04	10
<i>Corylus thibetica</i> Batal.	29.03±5	06.04	05.04±4	09.04	09.04±9	14.04	8
<i>Corylus ferox</i> Wall.	05.04±4	12.04	08.04±4	16.04	14.04±4	20.04	8
<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marsh	01.05±3	05.05	06.05±3	14.05	14.05±9	17.05	12
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	29.04±7	06.05	04.05±7	13.05	09.05±5	19.05	13
<i>Pachus avium</i> Mill.	09.05±7	14.05	11.05±7	18.05	19.05±8	25.05	11
<i>Populus alba</i> L.	11.04±3	20.04	16.04±5	25.04	22.04±5	30.04	10
<i>Populus x berolinensis</i> K. Koch.	03.05±5	16.04	15.05±4	19.04	11.05±6	24.04	8

20. Фенология цветения травянистых и некоторых древесно-кустарниковых растений в Ботаническом саду МГУ

Лаврова Т.В.

Ботанический сад Биологического факультета МГУ

В 2017 году в Ботаническом саду МГУ были проведены фенологические наблюдения, аналогичные наблюдениям за предыдущие годы. В исследование были включены травянистые многолетники различных регионов, успешно выращиваемые в альпинарии Ботанического сада в течение многих лет, цветущие и плодоносящие. Из древесных растений интерес представляли как виды природной флоры средней полосы России (волчегодник обыкновенный, бузина красная), так и стойкие интродуценты из других, в том числе более южных регионов, отличающиеся высокими декоративными характеристиками (миндаль низкий, бирючина обыкновенная, виды магнолий, кольквиция прелестная и др.). Крупные коллекции декоративных культур (сорта ирисов, пионов, сирени, флоксов) также остались под нашим наблюдением.

Фенологические данные учитываются при составлении графика экскурсий в Ботаническом саду, способствуют накоплению фактического материала по биологии растений и выявлению корреляции сезонных ритмов их развития с определенными климатическими показателями. Следуя методике прошлых наблюдений (Аксенова, 1979, Александрова и др., 1979) в настоящей работе, как видно в таблице 20.1, приводится только фенология цветения растений по трем показателям – начало цветения (несколько первых распустившихся цветков), пик цветения (50% распустившихся цветков) и конец цветения (большинство цветков отцвели). Для некоторых растений не всегда удается отметить дату наступления конкретной фенологической фазы, пробел в таблице означает отсутствие наблюдений по данной фенофазе. Пион древовидный рассматривается среди других видов рода в группе травянистых растений.

Для чины Гмелина (табл. 20.2) в фазе «начало цветения» отмечена дата более ранней фенологической фазы «бутоны перед распусканием». Для коллекций роз, флоксов и травянистых пионов продолжительный период отдельных фенофаз и цветения в целом объясняется наличием в их составе разных групп сортов, отличающихся по срокам цветения.

Таблица 20.1. Фазы цветения древесных растений в Ботаническом саду МГУ в 2017 г.

№	Вид	Начало цветения	Пик цветения	Конец цветения
1	<i>Amygdalus nana</i> L.	7.05	12.05	16.05
2	<i>Cerasus kurilensis</i> (Miyabe ex Takeda) Masam. & S. Suzuki	4.05	8.05	12.05
3	<i>Cerasus tomentosa</i> (Thunb.) Masam. & S. Suzuki	4.05	12.05	16.05
4	<i>Cornus mas</i> L.	20.04	26.04	6.05
5	<i>Cydonia oblonga</i> Mill.		7.06	16.06
6	<i>Daphne mezereum</i> L.	11.04	17.04	26.04
7	<i>Fothergilla monticola</i> Ashe	17.05	23.05	1.06
8	<i>Kolkwitzia amabilis</i> Gr.		4.07	14.07
9	<i>Ligustrina amurensis</i> Rupr.	28.06	2.07	8.07
10	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	4.07	7.07	15.07
12	<i>Louiseania triloba</i> 'Plena'	19.05	23.05	1.06
13	<i>Magnolia × loebneri</i> Kache	4.05	8.05	12.05
14	<i>Magnolia stellata</i> (Siebold & Zucc.) Maxim.	Не цвела		
15	<i>Malus nedzwetzki</i>	12.05		1.06
16	<i>Pyracantha coccinea</i> Roem.		14.07	21.07
17	<i>Rhododendron japonicum</i> (A. Gray) Suringar	23.05	6.06	15.06
18	<i>Rhododendron luteum</i> Sweet	23.05	30.05	10.06
19	<i>Rhododendron schlippenbachii</i> Maxim.	14.05	16.05	30.05
20	<i>Rosa hort.</i>	1.07	18.07-19.08	29.08
21	<i>Sambucus racemosa</i> L.	19.05	25.05	1.06
22	<i>Securinega suffruticosa</i> (Pall.) Rehd.	6.07	14.07	31.07
23	<i>Syringa x prestoniae</i>	8.06	15.06-19.06	28.06
24	<i>Syringa vulgaris</i> L. hort.	26.05	30.05	8.06
25	<i>Tilia cordata</i> Mill.	9.07	13.07	17.07
26	<i>Viburnum wrightii</i> Miq.	7.06	16.06	19.06

Некоторые сорта флоксов и роз могут цвести вплоть до октября, когда основная часть коллекции уже отцвела, их фенодаты не включались в таблицы цветения. По коллекции ирисов наблюдения проводились только над одной группой сортов, составляющих основу экспозиции, а именно высоких бородатых ирисов (Tall Bearded – сокращенно ТВ), цветущих приблизительно в одно время.

Таблица 20.2. Фазы цветения травянистых растений в Ботаническом саду МГУ в 2017 г.

№	Вид	Начало цветения	Пик цветения	Конец цветения
1	<i>Acanthus mollis</i> L.	31.07	6.08	19.08
2	<i>Aconitum lasiostomum</i> Spreng.	4.07	14.07	20.07
3	<i>Aquilegia olympica</i> Boiss.	7.06	20.06	4.07
4	<i>Arabis alpine</i> L.	2.05	19.05	30.05
5	<i>Aruncus dioicus</i> (Walter) Fernaldl	22.06	28.06	4.07
6	<i>Cacalia hastata</i> L.	6.07	14.07	18.07
7	<i>Campanula latifolia</i> L.	4.07	14.07	
8	<i>Clematis integrifolia</i> L.	28.06		14.07
9	<i>Digitalis grandiflora</i> Mill.	4.07	15.07	28.07
10	<i>Echinops sphaerocephalus</i> L.	15.08	20.08	29.08
11	<i>Galanthus</i> L.	30.03		
12	<i>Helleborus caucasicus</i> A. Br.	30.03	17.04	26.04
13	<i>Hepatica nobilis</i> L.	30.03- 5.04		26.04
14	<i>Inula helenium</i> L.	10.08	19.08	29.08
15	<i>Iris</i> hort. ТВ	19.06	28.06	4.07
16	<i>Lathyrus gmelinii</i> (Fisch.) Fritsch	19.05 бутоны	7.06	28.06
17	<i>Leucojum vernum</i> L.	27.03	30.03-5.04	17.04
18	<i>Lilium kesselringianum</i> Misch.	12.06	17.06	28.06
19	<i>Lilium martagon</i> L.	18.06	28.06	4.07- 14.07
20	<i>Paeonia anomala</i> L.	28.05	30.05	7.06
21	<i>Paeonia</i> hort.	9.06 -15.06	28.06	4.07
22	<i>Paeonia lactiflora</i> L.	14.06	17.06	28.06
23	<i>Paeonia suffruticosa</i> Andrews	5.06	14.06	19.06
24	<i>Paeonia tenuifolia</i> L.	30.05		5.06
25	<i>Paeonia wittmanniana</i> Hartwiss. ex Lindl.	23.05	25-26.05	30.05
26	<i>Papaver orientale</i> L.	7.06	15.06	17.06
27	<i>Petasites amplus</i> Kitam.	5.04	17.04	26.04
28	<i>Phlox paniculata</i> hort.	18.07	19.08	29.08
29	<i>Phlox subulata</i> L.	19.05	5.06	16.06
30	<i>Polygonatum latifolium</i> Desf.	30.05	7.06	14.06
31	<i>Saxifraga caespitosa</i> Scop	23.05	7.06	16.06
32	<i>Scilla sibirica</i> Andrews	13.03	27.03-5.04	17.04-26.04
33	<i>Scopolia carniolica</i> Jacq.	26.04	13.05	19.05
34	<i>Tussilago farfara</i> L.	20.04	28.04	30.04
35	<i>Valeriana tiliifolia</i> Troitsky	7.06	14.06-16.06	28.06

Сопоставим сроки наступления «пика» цветения некоторых видов из приведенных таблиц 20.1 и 20.2 по годам.

Таблица 20.3. Сравнение сроков «пика» цветения по годам

Вид деревья и кустарники	2009	2012	2014	2015	2016	2017
<i>Amygdalus nana</i>	12.05			8.05	8.05	12.05
<i>Fothergilla monticola</i>					10.05	23.05
<i>Ligustrina amurensis</i>					18.06	2.07
<i>Louiseania triloba</i> 'Plena'	12.05		12.05		12.05	23.05
<i>Magnolia × loebneri</i>			27.04	8.05	8.05	8.05
<i>Magnolia stellata</i>			29.04	8.05	Не цвела	Не цвела
<i>Rhododendron japonicum</i>					25.05	6.06
<i>Syringa x prestoniae</i>		4.06	30.05	7.06	2.06	17.06
<i>Syringa vulgaris</i> hort.	28.05	17.05	18.05	22.05	20.05	30.05
Травянистые растения						
<i>Acanthus mollis</i>					21.07	6.08
<i>Aconitum lasiostomum</i>			14.07		17.07	14.07
<i>Arabis alpine</i>					6.05	19.05
<i>Digitalis grandiflora</i>			14.07	12.07	10.07	15.07
<i>Iris hybrida</i> hort. TB	15.06	8.06	3.06	11.06	10.06	28.06
<i>Leucojum vernal</i>		25.04	25.03		11.04	2.04
<i>Lilium kesselringianum</i>	11-15.06				15.06	17.06
<i>Paeonia hybrida</i> hort.	15.06	8.06	4.06	12.06	11.06	28.06
<i>Paeonia suffruticosa</i>	28.05	24.05	22.05	27.05	23.05	14.06
<i>Paeonia wittmanniana</i>			12.05		13.05	25- 26.05
<i>Papaver orientale</i>	11.06	13.06		15.06	13.06	15.06
<i>Phlox subulata</i>		19.05			19.05	5.06
<i>Saxifraga caespitosa</i>	11.06			4.06	4.06	7.06
<i>Scilla sibirica</i>			25.03	24.03	11.04	27.03- 5.04
<i>Scopolia carniolica</i>			26.04		12.05	13.05
<i>Valeriana tiliifolia</i>	11.06				27.05	14- 16.06

Из таблицы 20.3 видно, что в 2017 году гораздо позже обычного зацвели коллекции сортов сирени обыкновенной и сирени Престон (на 10-15 дней); высоких бородатых ирисов, травянистых и древовидных пионов (на 15-20 дней). Значительно позднее по сравнению с 2016 годом (фенологические характеристики которого вполне укладывается в средние показатели) зацвели фотергилла горная, лигустрина амурская (13-14 дней), рододендроны (7-12 дней), акант мягкий, резуха альпийская, флокс шиловидный, валериана липолистная (13-17 дней). Т.е виды и сорта, цветущие обычно в конце мая и первой декаде июня, сильно опоздали с цветением. Однако, раннецветущие виды сцилла сибирская, белоцветник весенний, магнолия Лебнера, скополия карниолийская, белокопытник наиболь-

ший, печеночница благородная, морозник кавказский, а также миндаль низкий в 2017 году цвели приблизительно в обычные для них сроки (апрель-май). Однако цикл их цветения оказался растянутым почти на месяц (против обычных 12-20 дней). Дикорастущие виды, цветущие, как правило, в июне (камнеломка скальная, мак восточный, лилия Кессельринга – в природе растущие на субальпийских лугах) и в июле (аконит, наперстянка, какалия) в 2017 году не отличались по срокам цветения от средних показателей. Но цветение мордовника шароголового сдвинулось почти на месяц (с 20.07 в 2016 г. на 20.08 в 2017 году). Долго цвели высаженные в тени на сибирской горке чина Гмелина и лилия-саранка.

Известно, что одним из важнейших показателей для развития растений является температура (наряду с водным балансом и световым режимом) (Булыгин, 1991). Для оценки влияния температур, как и в предыдущем исследовании (Лаврова, 2016), были подсчитаны суммы суточных активных температур по месяцам с порогами 0, 5 и 10 градусов Цельсия (по данным Метеорологической обсерватории МГУ).

Таблица 20.4. Суммарные активные температуры выше 0 градусов Цельсия

Месяц	2009	2012	2014	2015	2016	2017
Март	20,6	7,9	114,4	77,0	53,3	90,6
Апрель	169,7	254,0	222,5	185,4	256,0	169,7
Май	434,0	481,6	508,0	449,9	478,5	339,6
Июнь	524,0	517,6	492,9	543,9	555,6	439,1
Июль	590,6	652,9	663,6	578,6	655,6	562,8

Таблица 20.5. Суммарные активные температуры выше 5 градусов Цельсия

Месяц	2009	2012	2014	2015	2016	2017
Март	-	-	78,5	43,7	15,9	23,0
Апрель	138,4	231,3	211,2	147,9	230,5	130,9
Май	434,1	481,6	503,1	449,9	478,5	323,9
Июнь	524,3	517,6	492,9	543,9	555,6	439,1
Июль	590,6	652,9	663,6	578,6	655,6	562,8

Таблица 20.6. Суммарные активные температуры выше 10 градусов Цельсия

Месяц	2009	2012	2014	2015	2016	2017
март	-	-	26,5	-	-	-
апрель	82,4	187,0	131,2	61,9	148,2	78,0
май	392,3	463,6	457,7	397,6	478,5	264,8
июнь	524,3	507,9	483,3	543,9	546,4	407,4
июль	590,6	652,9	663,6	578,6	655,6	526,8

Из приведенных таблиц 20.4, 20.5 и 20.6 следует, что суммарные активные температуры (САТ) с порогами 0 и 5 градусов за март 2017 года соответствуют средним показателям. САТ за апрель с порогами 0, 5 и 10 градусов приблизительно равны или чуть меньше средних показателей. Однако САТ за май, июнь и июль значительно меньше по сравнению со средними значениями для этих месяцев. Недополучение растениями тепла за месяц до начала цветения привело к значительной задержке в наступлении цветения. В целом лето 2017 года, особенно его первая половина (май, июнь и половина июля) оказалось холоднее средних многолетних значений, что привело к задержке цветения многих видов растений. Семена отдельных видов не вызрели, например, не было зрелых семян у лилии Кессельринга, магнолии Лебнера, очень долго не раскрывались многолисточники пионов, до самой осени не раскрылись коробочки рододендронов.

Литература

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

Александрова М.С., Булыгин Н.Е., Ворошилов В.Н., Карпионова Р.А., Плотникова Л.С., Фролова Л.А., Шкутко Н.В. 1979. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР // Бюл. ГБС АН СССР, выпуск 113, С. 3-8.

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

Лаврова Т.В. 2017. Фенологические наблюдения в Ботаническом саду МГУ // Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2016 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова. М., изд-во Макс Пресс, С. 205-210.

21. Сезонное развитие дикорастущих представителей рода *Malus* Mill. (яблоня, семейство Rosaceae) в 2017 году

Ванина Л.С.

Ботанический сад Биологического факультета МГУ

Прохладный с большим количеством осадков сезон 2017 года определил более поздние сроки наступления фенофаз развития дикорастущих видов яблони различного эколого-географического происхождения в сравнении со средними многолетними датами в условиях климата Нечерноземья.

По итогам длительной интродукции эти виды распределяются на 3 группы: рано, средне и поздно вегетирующие видообразцы. Как видно в Таблице 21.1, к рано вегетирующим относятся виды Сибири и Дальнего Востока. Они начинают вегетировать в начале апреля. Вслед за ними вступают в вегетацию виды Европы и Средней Азии. Самые поздние сроки вступления в вегетацию отмечены у видов Америки. Группа видов Восточной Азии является самой многочисленной в коллекции и включает в себя как рано вегетирующие, так и поздно вегетирующие видообразцы. При этом разброс календарных дат, характеризующих начало вегетации, наиболее выражен для видов яблони, входящих в Сибирско-Дальневосточную и Восточно-Азиатскую группы (18 и 30 дней). Для американских видов, подавляющее большинство которых в коллекции представлено одной секцией рода – так называемые зелёноплодные яблони (*Malus chloromeles*), разброс календарных дат начала вегетации наименьший – всего 6 дней.

В сезон 2017 года вегетация по всем видам коллекции начиналась на 7-10 дней позже средних многолетних. При этом заметного различия в разбросе календарных дат начала вегетации не обнаруживалось, как и не наблюдалось изменения по сравнению со средними многолетними данными хронологического порядка вступления в вегетацию яблонь из разных географических групп.

Цветение в сроки, близкие к многолетним, отмечено лишь у видов Сибирско-Дальневосточной группы, поскольку они начинают вегетировать раньше всех прочих, а март в 2017 г., вплоть до последних дней, был отмечен аномально тёплой погодой (см. разделы 1, 4 и др.). Напротив, вторая половина апреля и май оказались значительно холоднее обычного. Видимо, поэтому начинающие вегетировать позднее виды Европы и Средней Азии зацвели на неделю позже самых поздних многолетних дат. Наибольшее отклонение от средних многолетних – до 15 дней отмечено в группе видов Америки. Это же касается и

сроков массового цветения яблонь. Представители группы видов Восточной Азии, как обычно, перекрывали весь диапазон календарных дат начала фазы цветения.

Таблица 21.1. Календарные даты сезонной ритмики аборигенных и инорайонных видов рода *Malus Mill.* (яблоня) в 2017 году по наблюдениям в Ботаническом саду МГУ имени М.В. Ломоносова.

№	Фенофазы	Географические группы				
		Европа	Средняя Азия	Сибирь и Дальний Восток	Восточная Азия	Северная Америка
1	Начало вегетации	12.04-25.04	13.04-18.04	2.04-9.04	10.04-11.05	19.04-25.04
2	Среднее многолетнее	4.04-19.04	6.04-18.04	31.03-17.04	3.04-2.05	12.04-20.04
3	Начало цветения	19.05-25.05	20.05-28.05	14.05-20.05	14.05-29.05	23.05-28.05
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	23.05-28.05	24.05-29.05	20.05-29.05	19.05-29.05	30.05-6.06
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	28.05-1.06	30.05-5.06	28.05-1.06	29.05-9.06	7.06-10.06
8	Среднее многолетнее	23.05-30.05	23.05-30.05	23.05-28.05	25.05-6.06	29.05-3.06
9	Листопад	20.10-4.11	15.10-30.10	17.10-29.10	14.10-5.11	22.10-4.11
10	Среднее многолетнее	14.09-1.10	7.10-20.10	27.09-10.10	8.10-6.11	16.10-28.10

Листопад также проходил позже средних многолетних дат, но имел у подавляющего большинства растений полное естественное завершение. Большое количество влаги в сезон 2017 года позволило растениям сформировать хорошие кроны с большой листовой нагрузкой. Длительная влажная осень, тёплые декабрь и начало января 2018 года могли спровоцировать набухание почек и раздвижение чешуй у видов Сибирско-Дальневосточной группы. Они имеют наиболее высокую (по сравнению с другими видами коллекции) степень предзимнего развития почек, короткий период глубокого покоя и чутко реагируют на положительные температуры в зимний период.

Таким образом, прохладный и с большим количеством осадков вегетационный сезон 2017 года вызвал существенную задержку наступления всех фенофаз развития видов яблонь рода *Malus Mill.* и определил их недружное течение.

22. Особенности годового цикла водоплавающих птиц в Москве в 2017 году на примере гоголя (*Vicephala clangula* L.)

Авилова К.В.

Биологический факультет МГУ

22.1. Введение.

По данным измерений метеорологических и экологических величин за 60 лет (1954—2013 гг.), выполненных в Метеорологической обсерватории МГУ им. М. В. Ломоносова, получен значимый положительный тренд температуры (0,04°C/год за период 1954—2013 гг.), который в 1976—2012 гг. увеличился до 0,07°C/год (Чубарова и др., 2014).

Москва служит ареной освоения жизненного пространства для ряда видов водоплавающих птиц. Это вызвано смещением мест их зимовки к северо-востоку (Svazas et al., 2001; Lehikoinen et al., 2013) и сокращением миграционных путей (Gunnarson et al., 2012; Guillemain et al., 2013) в ходе глобального потепления. Также эти явления обусловлены развитием градостроительства и коммунального хозяйства, а с ними – увеличением площади незамерзающих водоемов (Viksne et al., 2010). Один из зимующих и гнездящихся в Москве видов гусеобразных – гоголь (*Vicephala clangula*), лесная утка, обычная в Финляндии и на российском севере. Инвентаризация орнитофауны 16-ти крупных городов Европы от Лиссабона до Санкт-Петербурга (Kelcey, Rheinwald, 2005) показала, что гоголь гнездится в четырех городах, в том числе – в Москве и Санкт-Петербурге, а зимует еще в пяти городах. Мы поставили своей задачей оценку влияния климатических условий на динамику численности городской популяции гоголя в Москве, в частности, в 2016/2017 гг.

В Московской области гоголь до второй половины 20-го века оставался редким пролетным видом (Птушенко, Иноземцев, 1968). Его гнездовой ареал не распространялся южнее Калининской, ныне – Тверской (Зиновьев, 1973) и Ярославской (Исаков, 1952; Немцев, 1956) областей. Однако с 1980 по 2010 гг. в Московской области было выявлено уже около десяти мест гнездования (Мищенко, 2008; Авилова, 2011). В 21-м веке в Центральном Нечерноземье наметилась экспансия гнездовой популяции гоголя – расширение ареала и рост численности (Котюков и др., 2003; Те и др., 2006; Быков, Возбранная, 2009; Волков и др., 2009; Иванчев, Заколдаева, 2009; Чудненко, 2009; Костин и др., 2009; Иванчев и др., 2010; Голубев, 2011 и др.).

В 1953–1961 гг. гоголь интродуцирован в Москву из Дарвинского заповедника на Рыбинском водохранилище. Привезенные из заповедника кладки в Московском зоопарке

успешно высиживали кряквы и мускусные утки (Кудрявцев, 1967). Ежегодно отсюда на зимовку улетало 2–6 молодых гоголей, но возвращались только самки. Размножение началось в 1960 году после возвращения с зимовки самца. Одновременно гоголей расселяли по другим водоемам города. С этого времени гоголи гнездились в искусственных гнездовьях в зоопарке, а позднее – в дуплах старых деревьев и в дуплянках на парковых прудах, преимущественно на востоке и севере Москвы (рис.22.1).

22.2. Численность и пространственное распределение зимующих в Москве гоголей зимой 2016/17 года.

Подсчет водоплавающих птиц зимой проводили ежегодно с 1985 г. в третье воскресенье января на всех свободных ото льда участках рек и других водных объектов Москвы, а с 2004 г. – и на Москве-реке ниже города до впадения в Оку. Хотя в Москве ежегодно образуется более 30-ти незамерзающих акваторий, пригодных для водоплавающих птиц (Авилова, 2016, 2018), зимующая группировка гоголей формируется только на Москве-реке в юго-восточной части города, где концентрируются также другие водоплавающие и околоводные птицы (рис.22.1). Это вызвано расположением здесь отрезка русла, в которое поступают сбросы с крупных производственных комплексов и городских коммунально-бытовых очистных сооружений. Последнее определяет их высокую биологическую продуктивность (Палий, 1997; Соколов, 1998). В зимнюю межень, когда уровень воды в реке снижается, для птиц становится доступным участок русла, богатый беспозвоночными и рыбой. Поскольку формирование зимующей группировки происходит в период замерзания природных водоемов, на численность птиц оказывает большое влияние погода прошедшей осени.

Особенностью холодного сезона 2016/2017 гг. было очень раннее начало зимы в Москве – одно из самых ранних за все 239 лет метеонаблюдений. Снежный покров впервые образовался 27 октября 2016 г., а уже ночью 29 октября, как показано в разделе 4, установился устойчивый снежный покров; в ноябре число дней со снегопадами достигло 24. Переход среднесуточной температуры воздуха через 0 °С состоялся 30 октября 2016 г. Небольшие стоячие водоёмы в Москве замёрзли в ночь на 01.11.2016.

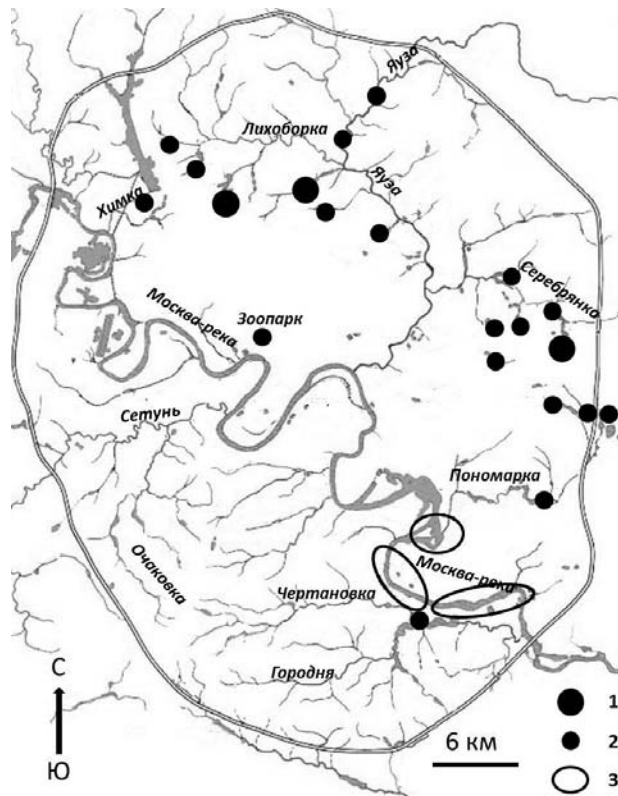


Рисунок 22.1. Зимнее и летнее размещение гоголей в Москве

1. Места, где гоголи размножались до 2017 гг. включительно
2. Места где гоголи размножались в период 1998-2016 гг.
3. Места зимовки гоголей на Москве-реке

Лёд в течение ноября не таял, хотя в оттепели поверх льда нередко появлялись лужи. Льда на р. Москве в столице и ниже по течению в ноябре 2016 г. не было.

Столь холодный ноябрь был отмечен в Москве впервые в XXI веке. Средняя температура воздуха в ноябре составила $-2,6^{\circ}$ что на $1,3^{\circ}$ С ниже новой климатической нормы за период 1981–2010 гг. Первая половина декабря 2016 г. была умеренно холодной, с 18–19.12.2016 г. потепления сменялись похолоданиями. В Москве средняя температура декабря $-4,5^{\circ}$ С, что на $0,8^{\circ}$ С выше новой нормы и на $1,7^{\circ}$ С – традиционной (исторической) нормы за период 1961–1990 гг. (см. раздел 1).

Январь 2017 г. характеризовался чередованием морозных дней и оттепелей. На большинстве участков ниже Перервинской плотины Москва-река была свободна ото льда, а ниже столицы льда не было (Зубакин и др., 2017). В Москве средняя температура воздуха в январе составила $-7,4^{\circ}$ С, что ниже новой нормы ($-6,5^{\circ}$ С), но выше традиционной ($-9,4^{\circ}$ С).

Зимний учет водоплавающих птиц был проведен 21.01.2017 г. Погода в день учета: температура воздуха $-1 \div -3^{\circ}$ С, облачно, временами шёл небольшой снег. В Москве

максимальная численность зимующих гоголей отмечена в декабре с преобладанием в нижнем течении Москвы-реки вблизи МКАД (рис.22.2). Максимальная численность на Москве-реке в Подмосковье в связи с ранним наступлением зимы установилась уже в ноябре, особенно на участках, расположенных непосредственно за МКАД (рис.22.3).

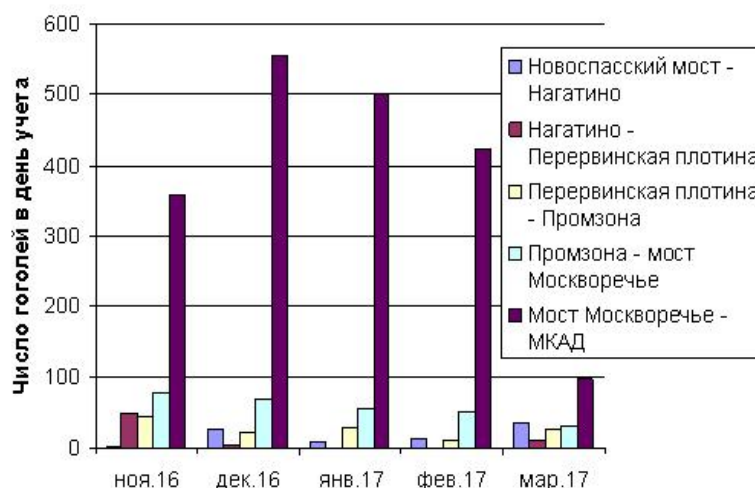


Рисунок 22.2. Размещение гоголей на Москве-реке в пределах МКАД осенью–зимой 2016/2017 гг.

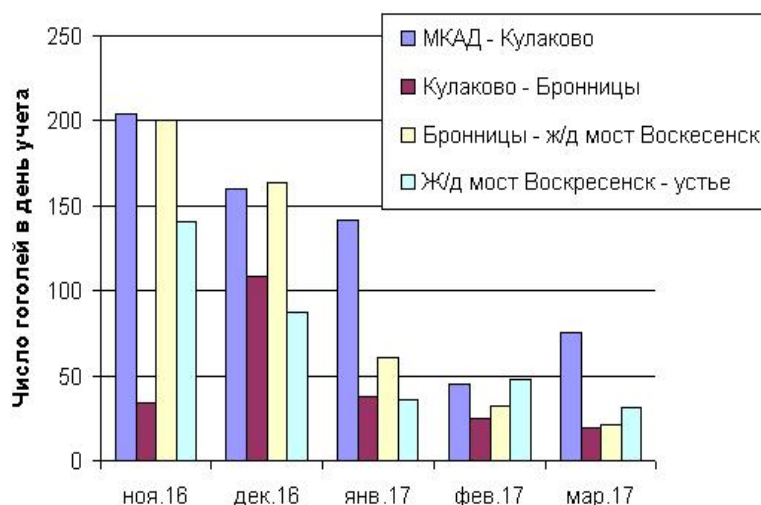


Рисунок 22.3. Размещение гоголей на Москве-реке за пределами МКАД осенью–зимой 2016/2017 гг.

В январе 2017 г. в Москве зимовало 31223 особи 20 видов водоплавающих птиц с резким преобладанием кряквы (28803 особи). Видовое разнообразие было максимальным (18 видов) за все время учетов с 1985 года. На Москве реке 21 января держалось 1082 гоголя: 608 в Москве и 434 в Московской области. Несмотря на некоторое снижение по сравнению с более теплой зимой 2015/2016 года (1553 птицы), общая численность зимующих

гоголей с 2004 года растет вместе с потеплением и сокращением морозного периода растет и может быть описано экспоненциальной зависимостью с формулой:

$$Y = 1,74 (1 - e^{-1,79x}),$$

где Y – число зимующих птиц; x – порядковый номер года.

За период наблюдений с 1985 по 2017 гг. продолжительность морозного периода сокращалась (рис.22.4). В то же время росли среднемесячные температуры ноября и декабря (рис.22.5).

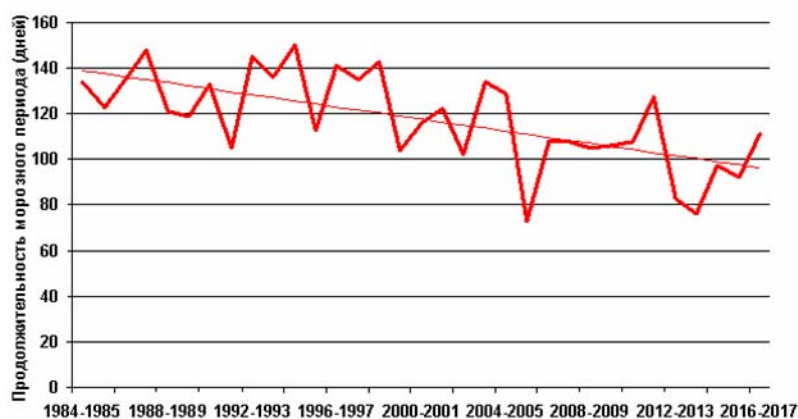


Рисунок 22.4. Сокращение продолжительности морозного периода с 1984 по 2017 гг.

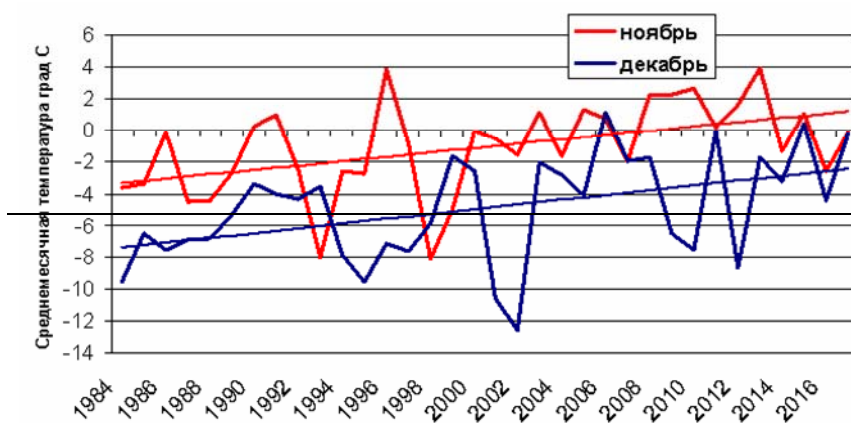


Рисунок 22.5. Рост среднемесячных температур ноября и декабря с 1985 по 2017 гг.

Зимующие гоголи единично и нерегулярно появлялись на городской акватории Москвы-реки с 1989 года. Размер группировки значительно рос с 1993 г., но до 2004 г. он не показывал статистически достоверных связей ни с температурой воздуха (Avilova, 2008), ни с продолжительностью морозного периода. В 2012–2017 гг. зимой в черте Москвы насчитывалось от 600 до 2000, а всего на реке от 1082 до 2423 гоголей. По мере

роста численности выявились довольно тесные связи размера группировки с продолжительностью морозного периода и со среднесуточной температурой ноября (рис.22.5).

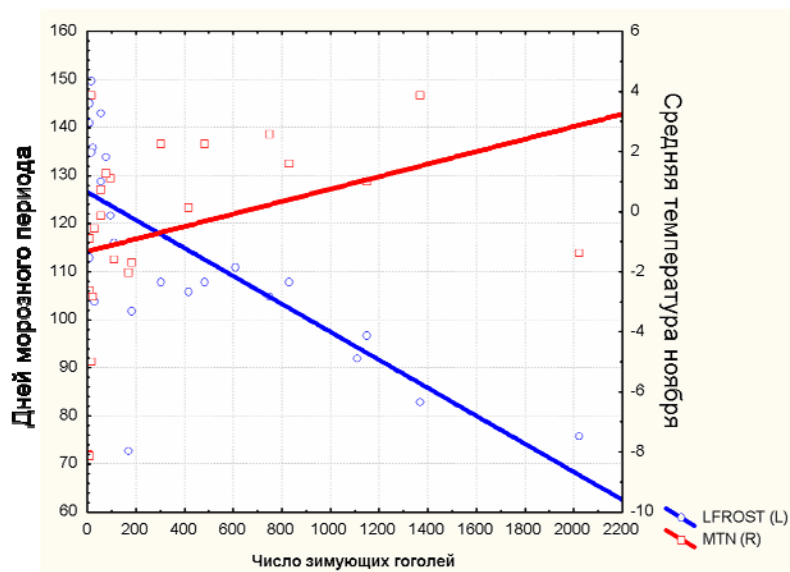


Рисунок 22.6. Рост численности зимующих гоголей с потеплением ноября MTN(R) и сокращением продолжительности морозного периода LFROST(L).

Связи с температурами декабря и января, а также с глобальным Индексом Североатлантического колебания (САК) в ноябре, декабре и январе, не выявлено. Индекс Североатлантического колебания (САК) и его динамика имеет большое значение для мигрирующих птиц, влияя на масштабы и сроки их миграций. Так, на станции кольцевания «Рыбачий» в Калининградской области (Соколов, 2010) и на стационаре под Новосибирском получены многолетние данные по связи численности и сроков миграций, как мелких певчих птиц, так и водоплавающих, с САК. Опосредованно, через изменение локальных погодных процессов, САК оказывает влияние на время весенней миграции уток, сроки начала размножения и, в итоге, на репродуктивный успех — основной компонент динамики численности популяции (Михантьев, Селиванова, 2018). В Москве динамика САК влияет (видимо, тоже опосредованно) на размер группировки зимующих на Москве-реке крякв. Для гоголей такая связь отсутствует или пока не проявляется.

Число зимующих на Москве-реке за пределами МКАД гоголей в 2004–2009 гг. превышало число городских (Зубакин и др., 2012 – 2016), а с 2010 г. стало уступать ему на фоне общего роста. В середине января 2014 г. уже 80% зимующих гоголей держалось в городе, в январе 2017 – 56% (рис.22.7).

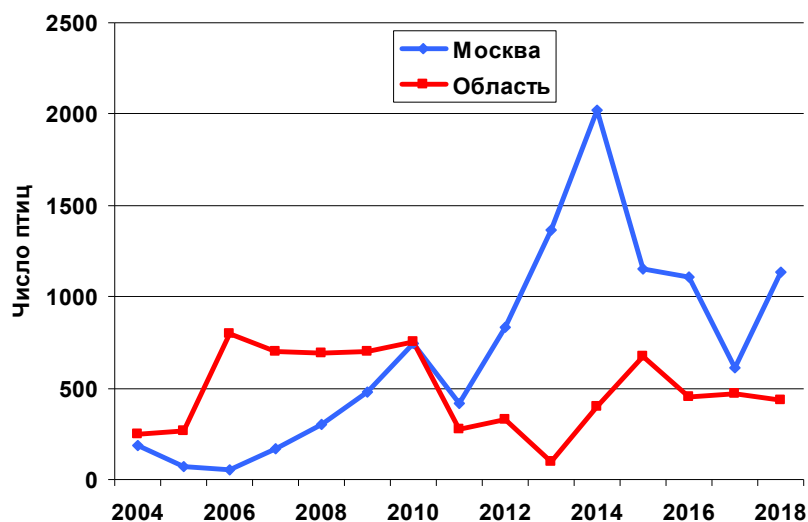


Рисунок 22.7. Динамика численности гоголей на зимовке в Москве и в Московской области в 2004-2018 гг.

22.3. Ход размножения гоголя в сезон 2017 г. в сравнении с предшествующими годами.

Мониторинг размножающихся водоплавающих птиц проводили летом с конца июня до конца июля 1998–2017 гг. на большинстве освоенных ими акваторий в границах МКАД. Это более 150-ти замкнутых водоемов (озер, прудов, очистных сооружений) и 23 участка рек и каналов. Подсчитывали число утят в каждом выводке и определяли их возраст по шкале Ю.А.Исакова (1963). Сроки вылупления птенцов и дату откладки первого яйца самками вычисляли методом обратного отсчета (Oja, Poysa, 2007), исходя из возраста птенцов, среднего срока насиживания и среднего числа яиц в кладке. На ход размножения большое влияние оказывает погода в конце прошедшей зимы и начале весны.

Первая половина февраля 2017 г. была относительно морозной, с середины месяца начались периодические оттепели. В Москве средняя температура воздуха за месяц составила $-4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, что выше традиционной нормы на $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Февральская оттепель перешла в мартовскую. Переход среднесуточной температуры воздуха через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ состоялся 18 февраля 2017 г. Продолжительность морозного периода, благодаря раннему похолоданию 2016 года, составила 111 дней, что вдвое больше, чем предшествующей зимой (53 дня). Но весна 2017 г. была ранняя и довольно дружная. Март был очень тёплым; часто погода напоминала апрельскую. Однако в конце этого месяца (27 марта) вновь выпал снег и установился новый снежный покров (см. раздел 4), и новое потепление началось только с 1 апреля. В Москве средняя температура воздуха в марте была $+2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, что выше традиционной

нормы на 4,9 °С. После аномально теплой первой декады пришло сильное похолодание, продолжавшееся до конца месяца. Средняя температура воздуха в апреле составила +5,6 °С, что очень близко к исторической норме (+5,8 °С). Сумма осадков за месяц составила 65 мм или 148% от нормы.

Время начала первых кладок у птиц – традиционная точка отсчета наступления благоприятной для гнездования ситуации. У водоплавающих, дата откладки первого яйца особенно сильно зависит от перехода среднесуточных весенних температур воздуха через 0 °С, т.к. это примерно совпадает с освобождением водоемов ото льда.

Частота повторения ранних весен в Москве растет, то есть число дней с начала года до перехода среднесуточной температуры через 0 °С с 1998 г. достоверно уменьшается.

Хотя многие птицы, в том числе кряква, в среднем стали гнездиться раньше, на сроки гнездования гоголя в Москве это не повлияло. Хотя в 2017 г. весна была ранней, первое яйцо было отложено гоголем 01.04.2017. В годы с ранней весной гоголи, как и кряквы, откладывают яйца через более длинный промежуток времени с даты перехода температуры через 0 °С, чем в годы с поздней. В ранние весны 2013–2015 гг. температура переходила через 0 °С в конце февраля - начале или середине марта, а кладка начиналась в конце марта– первых числах апреля. В поздние весны 2011–2013 гг. переход температуры через 0 °С происходил в конце марта – начале апреля, а кладка начиналась в те же сроки или чуть позднее: в конце марта или в апреле (рис.22.8). Диапазон сроков перехода средних температур через 0 °С ($C = 19,3$) шире, чем диапазон начала первых в сезоне кладок ($C = 6,1$). Как и у кряквы, у гоголя упорядочено время начала размножения относительно времени наступления устойчивой теплой погоды.

Май 2017 года был холодный и дождливый. Рекордные холода и даже заморозки следовали на протяжении всего месяца. Майский снежный покров появился в Подмоскowie и даже в Москве, что последний раз наблюдалось более 20-ти лет назад. Среднемесячная температура воздуха в мае 2017 г., когда на водоемах появляется до 100% самок гоголя с утятами, в Москве была +11,3 °С, что на 2,0 °С меньше нормы. Такая аномалия в XXI веке наблюдалась в столице впервые. Двадцать девятого мая Москву прошел шквал (см. разделы 8 и 9). Впервые с начала инструментальных наблюдений в столичном регионе была зафиксирована скорость ветра в порывах до 30 м/с. Сильный ветер сопровождался дождем и местами – градом. В течение дня температура воздуха быстро повышалась и к 15 часам достигла отметки почти 26 °С, при этом относительная влажность воздуха понизилась до

29 %. В немалой степени этому способствовал сильный ветер до 10 – 12 м/с. Также отмечалось стремительное снижение атмосферного давления. Шквал 29 мая 2017 г. повалил несколько сотен деревьев, убил 11 человек в черте города, более 100 были госпитализированы. <http://meteoweb.ru/news/2017/05/wn2017053000.php>

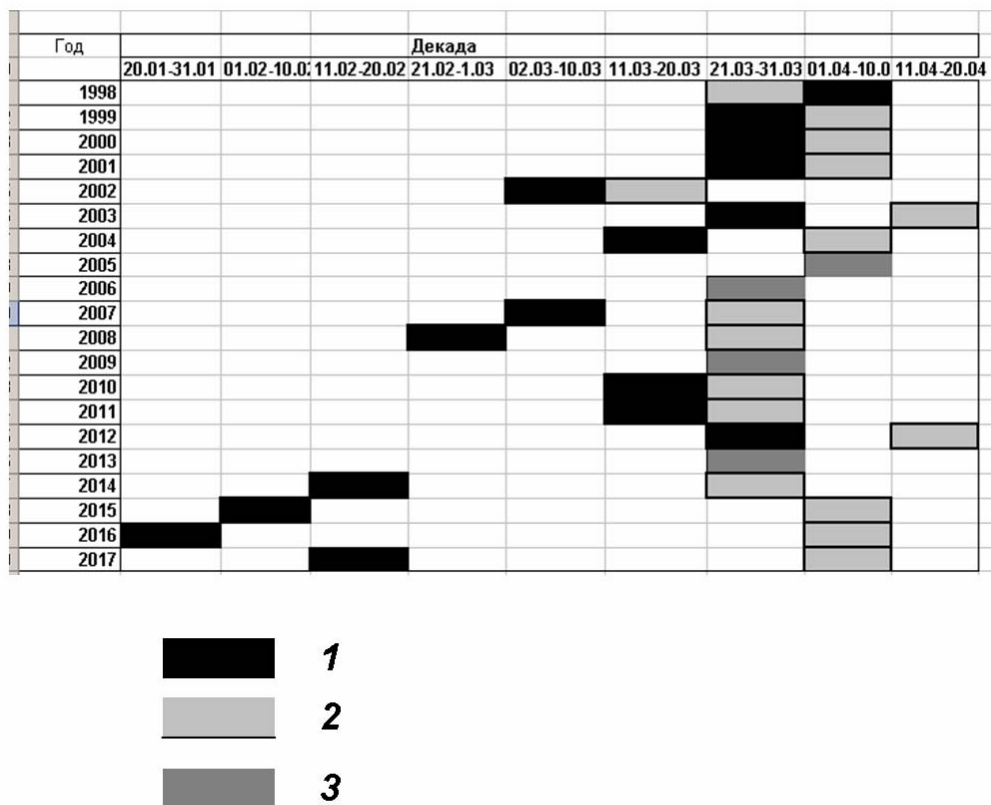


Рисунок 22.8. Даты откладки первого яйца гоголем относительно дат перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С.

- 1 – декада, когда произошел переход среднесуточной температуры воздуха через 0 °С.
- 2 – декада, когда было отложено первое яйцо.
- 3 – декада, когда отмечены и переход среднесуточной температуры воздуха через 0 °С и откладка первого яйца

Июнь 2017 года стал вторым в ряду самых холодных июней в XXI веке. Еще холоднее был только июнь 2003 г. Средняя температура июня, когда выводят утят те самки, которые не вывели их в мае, в Москве составила 14,6 °С, что на 2,4 °С ниже традиционной нормы. К тому же июнь оказался очень дождливым. В Москве сумма осадков за месяц составила в МО МГУ 108 мм или 138 % от нормы. Сильный град и ливень прошел 30 июля 2017 года. Количество осадков в июле и августе превышало средние значения (см. раздел 3) <http://meteoinfo.ru/climate/climat-tabl3/2016-climat-analysis>. Такая погода очень неблагоприятна для выводковых птиц, к которым относятся и утки.

Летом 2017 г. в Москве вывели птенцов всего 4 самки гоголя, на две меньше, чем летом 2016 г. Общее число утят составило 12, в 2016 г. – 31. Низкая численность наблюдается в Москве с 2012 года, но в 2017 году она сократилась до критического уровня. Хотя с 1998 по 2011 гг. число выводков росло, затем оно резко сократилось до 8-и, а в 2017 году – до 4-х выводков (рис.22.9).

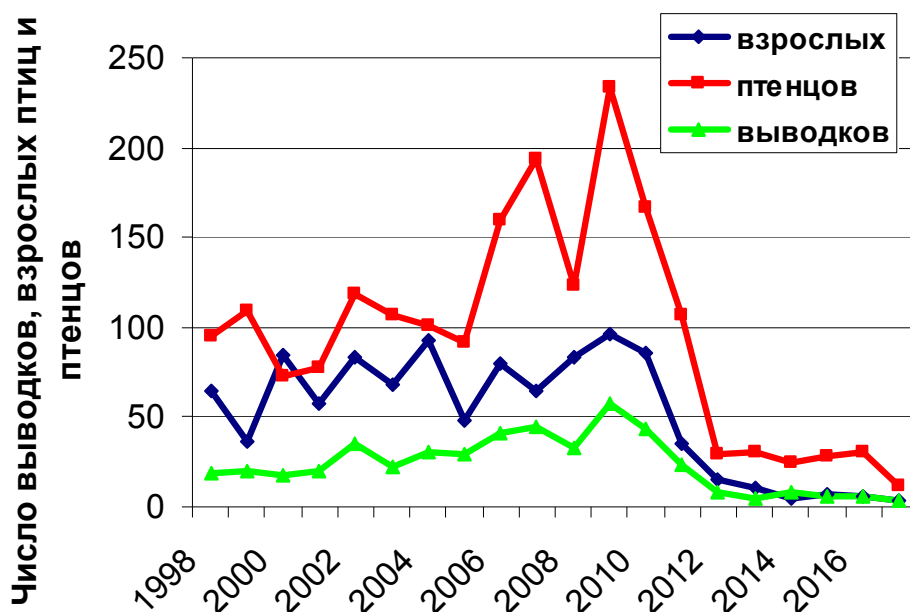


Рисунок 22.9. Динамика численности гоголя в Москве с 1998 по 2017 гг.

Основная причина сокращения численности по нашему мнению – ослабление и выпадение старых деревьев, в дуплах которых гнездятся гоголи, в результате участвовавших экстремальных метеорологических явлений, и последующее изъятие ослабленных деревьев в Москве. Взрослые и здоровые на первый взгляд деревья гибнут здесь в огромном количестве. Причина этого – несоблюдение норм и невыполнение необходимого комплекса работ по содержанию зеленых насаждений и природных территорий: ссыпание снега с реагентами на озелененные территории, неправильная обрезка крон, постоянное тщательное выкабливание почвы – сбор листьев, снятие плодородного слоя почвы под видом «благоустройства» и т.д. <https://regnum.ru/news/2380944.html>.

В 2013 г. было решено превратить в прогулочные зоны поймы малых рек <https://iz.ru/news/545524#ixzz2MYJT7wp>, что также повлекло за собой уборку «аварийных» и «сухостойных» деревьев, в том числе - дуплистых. Снижение численности гоголей, на-

пример, в Ленинградской области происходило именно по мере вырубки леса вблизи озер и рек (Мальчевский, Пукинский, 1986).

По данным ВНИИ гидрометеорологической информации (мирового центра данных) 2010 год оказался аномальным по числу отмечавшихся в России опасных метеорологических явлений, периодов с низкими температурами и сильными ветрами (Коршунов, Коршунова <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/118-chrezvychnajnye-situatsii-v-rossii/402-chrezvychnajnye-situatsii-v-2010-godu>). Опасное явление ледяного дождя произошло в Москве 26.12.2010 г. (Голубев и др., 2013), и образовавшиеся ледяные отложения сохранялись здесь 17 суток. В Московском регионе в тот год выпало и аномально большое количество снега http://eco-capital.ru/ecospravka.php?ELEMENT_ID=171. Это увеличило нагрузку на кроны, от чего ломались в первую очередь деревья с дуплами. По данным ДППиООС г. Москвы в городе за одну зиму погибло 36576 деревьев. В 2011 году было выдано более 1790 предписаний на удаление 51750 только сухостойных деревьев, а всего было вырублено 131000 (Доклад..., 2012), в том числе в местах гнездования гоголя. Вырубка ослабленных деревьев продолжалась и в последующие годы. Все это последовательно ухудшало условия гнездования.



Рисунок 22.10. Самка гоголя с птенцами летом 2017 года на пруду реки Каменки в Москве.
Фото В.П.Авдеева

Неблагоприятные погодные условия (заморозки, низкие температуры, дожди, шквал) весенне-летнего сезона 2017 года усугубили состояние гнездящейся популяции. Деятельность хищников, прежде всего, рост числа крупных чаек (*Larus argentatus*, *Larus cachinnans*) в Москве, нападающих даже на взрослых гоголей (по личному сообщению В.В.Тяхта, чайка убила взрослую самку гоголя при подлете к дуплу), конкуренция с огарями (*Tadorna ferruginea*), рост антропогенной нагрузки в связи с масштабным благоустройством природных территорий также способствовали снижению численности гоголя. Численность зимнего и летнего населения гоголя в Москве изменяется в противоположных направлениях, что вызвано разнонаправленными тенденциями в трансформации условий обитания. Зимняя численность растет в связи с формированием новых мест зимовки и сокращением пролетных путей благодаря расширению по мере изменения климата незамерзающих акваторий, а также ростом масштабов урбанизации. В городе незамерзающие водоемы оказываются особенно привлекательными. Это подтверждается направленной концентрацией зимующих птиц на городском отрезке реки. Численность гнездящихся в Москве гоголей сокращается в связи с увеличением частоты экстремальных метеорологических явлений и масштабов их последствий, ростом благоустройства, деятельности хищников и конкурентов. В 2017 году эти негативные явления были усугублены неблагоприятными погодными условиями весны и начала лета.

Динамика гнездовой группировки гоголя в большой степени зависит от частоты опасных и неблагоприятных метеорологических явлений, а также методов содержания природных и озелененных территорий, а зимующей – от изменения регионального климата в целом и городского в частности.

Сформировавшаяся на Москве-реке зимующая группировка гоголей, видимо, могла бы при наличии подходящих условий частично перейти к гнездованию в городе. Некоторую надежду вселяет рост численности черного дятла желны (*Dryocopus martius*), в дуплах которой охотно гнездятся гоголи. Развеска гнездовий у парковых прудов также может способствовать восстановлению популяции гоголя в Москве.

Благодарности. Автор глубоко признателен сотруднице Метеорологической обсерватории МГУ им. М.В. Ломоносова Е.В.Горбаренко за содействие в предоставлении данных метеорологических наблюдений и всему коллективу обсерватории за возможность поделиться своими соображениями с коллегами.

Литература

- Авилова К.В.*, 2011. Динамика распространения редких видов гусеобразных (Anseriformes) в центральных областях России // Казарка, бюллетень Рабочей группы по гусеобразным Северной Евразии, 14. М.: 54–89.
- Авилова К.В.*, 2016. Жизненный цикл и динамика численности городской популяции кряквы (*Anas platyrhynchos*) в Москве // Зоол. журн. Т.95. № 12. С. 1427–1440.
- Авилова К.В.*, 2018. Структура и долговременная динамика зимнего населения кряквы (*Anas platyrhynchos*, Anseriformes, Anatidae) в Москве // Зоол. журн. Т.97. № 3. С. 309–320.
- Быков Ю.А., Возбранная А.Е.*, 2009. Редкие виды неворобьинообразных птиц в национальном парке «Мещера» // Редкие виды птиц Нечерноземного центра России. Материалы IV совещания «Распространение и экология редких видов птиц Нечерноземного центра России» / Москва, 12-13 декабря 2009 г. М. С. 80-85.
- Волков С.В., Конторщиков В.В., Гринченко О.С., Свиридова Т.В., Макаров А., Шариков А.В., Иванов М.Н.*, 2009. Современное состояние и тенденции изменения численности и распространения некоторых редких видов птиц Дубненско-Яхромской низины: неворобьиные // Редкие виды птиц Нечерноземного центра России. Материалы IV совещания «Распространение и экология редких видов птиц Нечерноземного центра России» / Москва, 12–13 декабря 2009 г. М. С. 86–91.
- Голубев С.В.*, 2011. Птицы Ярославского Поволжья и сопредельных регионов: история, современное состояние. Т. I. Неворобьиные (Non-passeriformes). Ярославль. 684 с.
- Голубев А.Д., Кабак А.М., Никольская В.И., Бутова Г.Н., Хабарова Г.И.*, 2013. Ледяной дождь в Москве, Московской области и прилегающих областях центра Европейской территории России 25-26 декабря 2010 года // Труды Гидрометцентра России. Т.348. С.214-230.
- Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2010 году, 2011.* // Правительство Москвы / Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. М. 136 с.
- Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2011 году, 2012.* // Правительство Москвы / Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. М. 153 с.

- Зиновьев В.И.*, 1973. Материалы по биологии гоголя // Материалы науч. совещ. зоологов пед. ин-тов. Владимир. С. 209-211.
- Зубакин В.А., К.В. Авилова, А.М.Аксёнов, Я.В. Аристов, Е.Ю. Богданова и др.*, 2012. Итоги учётов водоплавающих и околоводных птиц на реке Москве: зимний сезон 2011/2012 гг. // Московка, Новости программы Птицы Москвы и Подмосковья. 15. С. 10-25.
- Зубакин В.А., В.П. Авдеев, А.М. Аксёнов, А. Андреева, Я.В. Аристов и др.*, 2013. Зимовки водоплавающих птиц на реке Москве в столице и Подмосковье в сезон 2012/2013 гг. // Московка, Новости программы Птицы Москвы и Подмосковья. 17. С. 8-22.
- Зубакин В.А., В. А.Е. Варламов, Г.С. Ерёмкин, Н.А. Бондарева, В.Г. Булай, Н.Г. Виноградова и др.*, 2014. Водоплавающие птицы, зимовавшие на Москве-реке в столице и Подмосковье в сезон 2013/2014 гг. // Московка, Новости программы Птицы Москвы и Подмосковья. 19. С. 9-34.
- Зубакин В.А, Г.С. Ерёмкин, С. Бащинская, Н.А. Бондарева, А.Е. Варламов и др.*, 2015. Итоги учёта зимующих водоплавающих и околоводных птиц на реке Москве в столице и Подмосковье зимой 2014/2015 гг. // Московка, Новости программы Птицы Москвы и Подмосковья. 21. С. 8-47.
- Зубакин В.А, Г.С. Ерёмкин, С.В. Бащинская, Н.А. Бондарева, А.Е. Варламов и др.*, 2016. Результаты учёта зимующих водоплавающих и околоводных птиц на реках Москве и Оке в столице и Подмосковье в сезон 2015/2016 гг. // Московка, Новости программы Птицы Москвы и Подмосковья. 23. С. 9-27.
- Зубакин В.А, Ерёмкин, С.В. Бащинская, Н.А. Бондарева, Д.А. Воронов и др.* Итоги учёта зимующих водоплавающих и околоводных птиц на реках Москве и Оке в столице и Подмосковье в сезон 2016/2017 г. // Московка, Новости программы Птицы Москвы и Подмосковья. 26. С.13-32.
- Иванчев В.П., Заколдаева А.А.*, 2009. Некоторые результаты экспансии гоголя в Рязанской области // Редкие виды птиц Нечерноземного центра России / Материалы IV совещания «Распространение и экология редких видов птиц Нечерноземного центра России». Москва, 12-13 декабря 2009 г. М.: С. 183-188.
- Иванчев В.П., Котюков Ю.В., Николаев Н.Н., Лавровский В.В.*, 2010. Динамика видового состава и численности водоплавающих птиц пойменного расширения Окской поймы (Рязанская область) // Орнитология в Северной Евразии / Материалы XIII Междуна-

родной орнитологической конференции Северной Евразии. Оренбург. Изд-во Оренбургского гос. пед. университета, ИПК ГОУ ОГУ. С. 139.

Исаков Ю.А., 1952. Подсемейство Утки // Птицы Советского Союза. М.: Изд-во Советская Наука. Т. 4. С. 344–635.

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.

Костин А.Б., Галактионов А.С., Бараненкова Т.Ю., Богомолов Д.В., Кретова Н.Е., 2009.

Редкие виды птиц Нечерноземья в заповеднике «Калужские Засеки». // Редкие виды птиц Нечерноземного центра России / Материалы IV совещания «Распространение и экология редких видов птиц Нечерноземного центра России». Москва, 12-13 декабря 2009 г. М.: С. 116-123.

Котюков Ю.В., Иванчев В.П., Панченко В.Г., 2003. О гнездовании гоголя в Рязанской области // Орнитология, 30. С. 207.

Мальчевский А.С., Пукинский Ю.Б., 1983. Птицы Ленинградской области и сопредельных территорий // Очерки биологии птиц / Отряд Пластинчатоклювые. Гоголь. Л.: Изд-во Ленинградского университета. С.111-113.

Михантьев А.И., Селиванова М.А., 2018. Связь численности гнездящихся на юге Западной Сибири уток с глобальными климатическими показателями. Первый Всероссийский орнитологический конгресс (г. Тверь, Россия, 29 января – 4 февраля 2018 г.). Тезисы докладов. Тверь. С.224-225.

Мищенко А.Л., 2008. Современное состояние редких видов водоплавающих и аистообразных в Нечерноземном центре // Редкие виды птиц Нечерноземного центра России / Материалы III совещания «Редкие птицы центра Европейской части России» (Москва, 1–2 января 2000 г.). М. С. 20–26 и 280–283 (Приложения).

Немцев В.В., 1956. Охотничье-промысловые водоплавающие птиц Рыбинского водохранилища и пути их освоения // Труды Дарвинского государственного заповедника. Вып. 3. Вологда. С. 91–192.

Палий А.В., 1997. Зообентос Москвы-реки на участке от Коломенского до Бесед. // Птицы техногенных водоемов Центральной России. М.: Изд-во МГУ. С. 129–134.

Птушенко Е.С., Иноземцев А.А., 1968. Гоголь // Биология и хозяйственное значение птиц Московской области и сопредельных территорий. М.: Изд-во МГУ. С. 86–87.

- 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. доктора физ.-мат. наук М.А. Толстых. Вып. 348. С. 144–152.
- Соколов Л.И.*, 1998. Рыбы в условиях мегаполиса (г.Москва) // Соросовский образовательный журнал. № 5. С. 30–35.
- Соколов Л.В.*, 2010. Климат в жизни растений и животных. Изд-во Тэсса. СПб., 344 с.
- Список редких гнездящихся птиц Европейского центра России*, 2008. Редкие виды птиц Нечерноземного центра России // Материалы III совещания «Редкие птицы центра Европейской части России» (Москва, 1–3 декабря 2000 г.). М. С. 296–297.
- Те Д.Е., Сиденко М.В., Галактионов А.С., Волков С.М.*, 2006. Птицы национального парка "Смоленское Поозерье". – Маджента. Смоленск. 176 с.
- 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.
- Чудненко Д.Е.* 2009. Редкие виды птиц на торфоразработках Ивановской области. – Редкие виды птиц Нечерноземного центра России // Материалы IV совещания «Распространение и экология редких видов птиц Нечерноземного центра России». (Москва, 12-13 декабря 2009 г.). М.: С. 132-136.
- Avilova K.V.*, 2008. [Number of waterfowl wintering in Moscow \(1985–2004\): dependence on climate conditions](#) // Revista Catalana d'Ornitologia. V. 24. P.71–78.
- Guillemain M, Poysa H, Fox A.D., Arzel C., Dessborn L., Ekroos J., Gunnarsson G., Holm T.E., Christensen T.K., Lehtikoinen A., Mitchell C., Rintala J., Møller A.P.* 2013. Effects of climate change on European ducks: what we know and what do we need to know? // Wildlife Biol, V. 19. P.404–419
- Gunnarsson G., Waldenstrom J., Fransson T.*, 2012. Direct and indirect effects of winter harshness on the survival of Mallards *Anas platyrhynchos* in northwest Europe // Ibis. V.154, № 2 P.307–317
- Kelcey J.G. & Rheinwald G.* (eds), 2005. Birds in European Cities. GINSTER Verlag. St.Katharinen. 486 p.

- Lehikoinen A., Jaatinen K., Vahatalo A.V., Clausen P., Crowe O., Deceuninck B., Hearn R., Holt C. A., Hornman M., Keller V., Nilsson L., Langendoen T., Tomankova I., Wahl J., Fox A.D.* 2013. Rapid climate driven shifts in wintering distributions of three common water-bird species // *Global change biology*. V. 19 № 7. P. 2071–2081.
- 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.
- Švažas S., Dagys M., Sydelis R., Raudonikis L.* 2001. Changes in numbers and distribution of wintering waterfowl populations in Lithuania in the 20th century. *Acta Zoologica Lituanica*. V. 11 No 3. P. 243-254.
- Viksne J., Svazas S., Czajkowski A., Janaus M., Mischenko A. et al.*, 2010. Atlas of Duck population In Eastern Europe. Vilnius: “Akstis”. 199 p.

Электронные публикации

Гидрометцентр России [Электронный ресурс] // Обзоры погодно-климатических особенностей, наблюдавшихся в Северном полушарии в 2001- 2018 гг. [сайт]. –

URL: <http://meteoinfo.ru/climate/climat-tabl3/2016-climat-analysis>.

ВНИИ гидрометеорологической информации – Мировой центр данных [Электронный ресурс] // Коршунов А.А., Коршунова Н.Н. Чрезвычайные ситуации в России, связанные с неблагоприятными условиями погоды, в 2010 году URL: <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/118-chrezvyhajnye-situatsii-v-rossii/402-chrezvyhajnye-situatsii-v-2010-godu>

Малые реки и ручьи столицы превратят в прогулочные зоны // Известия [сайт]. – 26.02.2013 г. URL: <https://iz.ru/news/545524#ixzz2MYJT7wpB>

Опасные гидрометеорологические явления на территории России за 2010 год [Электронный ресурс] // Экологический справочник [сайт]. – 05.08.2011 г. URL: http://eco-capital.ru/ecospravka.php?ELEMENT_ID=171

«Снегопад века»: снег падал вместе с деревьями . [Электронный ресурс] // REGNUM Информационное агентство [сайт] – 16.02.2018 г. URL: <https://regnum.ru/news/2380944.html>

«Ураган» в Москве 29 мая 2017 года [Электронный ресурс] // Meteoweb.ru. [сайт]. – 29.05.2017 г. URL: <http://meteoweb.ru/news/2017/05/wn2017053000.php>

23. Дифференциальная геодезическая станция ГНСС в Метеорологической обсерватории МГУ

Сучилин А.А.¹, Владимирова М.Р.²

¹Географический факультет МГУ

²Московский государственный университет геодезии и картографии

Весной 2014 г. на здании метеообсерватории МГУ им. М.В. Ломоносова, совместно с ООО «Фирма Г.Ф.К.» (<http://www.gfk-leica.ru/>), была размещен комплекс постоянно действующей дифференциальной геодезической станция (ДГС¹) «МО_MSU» (Рисунок 23.1), для приёма информации глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС).



Рисунок 23.1. Комплекс ДГС ГНСС «МО_MSU» на здании метеообсерватории МГУ (антенна ГНСС, приёмник, интерфейс приёма сигналов спутников в реальном времени)

Назначение ГНСС – обеспечить пользователей спутниковой информацией для пространственного определения местоположения объекта на земной поверхности и в околоземном пространстве.

ГНСС состоит из трех сегментов: космического, наземного и пользовательского. Космический сегмент представляет собой группировки спутников «ГЛОНАСС/GPS/Galileo»². Каждая группировка состоит из десятков спутников, но для одновременного охвата всей земной поверхности, достаточно иметь на орбитах 24 активных спутника, ориентированных на гражданский сегмент. Наземный сегмент состоит из сети

¹ Ранее: референц-станция ГНСС или базовая станция ГНСС

² Соответственно: российская, американская и Европейского союза спутниковые группировки

станций слежения, контроля и корректировки местоположения спутников. Пользовательский сегмент включает мобильные навигационные приёмники различного класса для определения местоположения.

Для определения координат пространственного местоположения пользователя с точностью 3-15 м достаточно иметь лишь один общедоступный навигационный приемник (т.н. «ручные» навигаторы).

Для определения координат сантиметровой точности необходимо иметь два приемника ГНСС геодезического класса. Один из них – комплекс ДГС, постоянно установленный на точке с известными координатами и обеспечивающий пользователя дифференциальными поправками, второй – мобильный комплекс ГНСС (Рисунок 23.2), используется в рамках полевых научных исследований или учебных мероприятий (например, профилирование, съемка рельефа, планировка участка исследований, измерений локальных или площадных природных явлений и т.п.). Причём, оба приёмника должны работать одновременно в период полевых измерений.



Рисунок 23.2. Мобильный комплекс ГНСС

Тандем «ДГС – мобильный комплекс» позволяет гарантированно и оперативно получать численные характеристики объектов полевых измерений высокой точности, вне зависимости от тематики исследований, в режиме реального времени (RTK-Real Time Kinematic) или в режиме постобработки.

Режим RTK используется, если мобильный комплекс ГНСС укомплектован радио или GSM модемом, который обеспечивает связь между приемниками в радиусе до 40 км от ДГС (Рисунок 23.3). Наличие модема позволяет пользователю получать дифференциальные поправки ДГС к измеренным координатам непосредственно на участке исследований по каналам связи, визуализировать местоположение измеренных объектов на экране приёмника мобильного комплекса или ноутбука, фоном которых может служить аэрокосмический снимок или топографическая карта.

Работа в этом режиме связана с определенными коммуникационными и организационными проблемами:

- неустойчивая связь GSM (особенно в удаленных районах);
- радиосвязь подразумевает наличие передатчика/приемника, дальность связи зависит от мощности радиоустройств, требуется разрешительная документация на использование радиочастоты.

В режиме постобработки пользователь может находиться в радиусе до 80 км от ДГС³ и проводить необходимые полевые измерения в автономном режиме мобильным комплексом. Одновременно ДГС осуществляет приём спутниковой информации под управлением программы «Leica Spider», которая через заданный интервал времени формирует архив данных и аккумулирует его на сервере в виде ZIP-файлов открытого обменного формата «Rinex»⁴, доступ к которым имеют студенты и сотрудники факультета посредством стандартного WEB-браузера (Сучилин А.А. и др., 2017). Вернувшись в офис, достаточно запросить с сервера накопленные данные ДГС на период полевых исследований, уравнивать полевые измерения в программных продуктах (Leica Geo Office, Leica Infinity и др.) относительно данных ДГС и получить необходимые пространственные координаты объекта исследований с высокой точностью.

По желанию, уравнивание измерений можно проводить, используя только данные одной из двух полноценно действующих космических группировок ГЛОНАСС или GPS. Результаты можно трансформировать в любую общеизвестную или локальную СК, для получения локальных координат достаточно задать параметры перехода в необходимую СК.

³ Гарантированное аппаратное решение задач от фирмы производителя оборудования, но в практике авторов измерения проводились в 115 км от ДГС астрофизической обсерватории «Зеленчукская», результат оправдал ожидания, которые несколько позже были проконтролированы относительно более близких ДГС

⁴ Обменный формат между различными производителями ГНСС оборудования

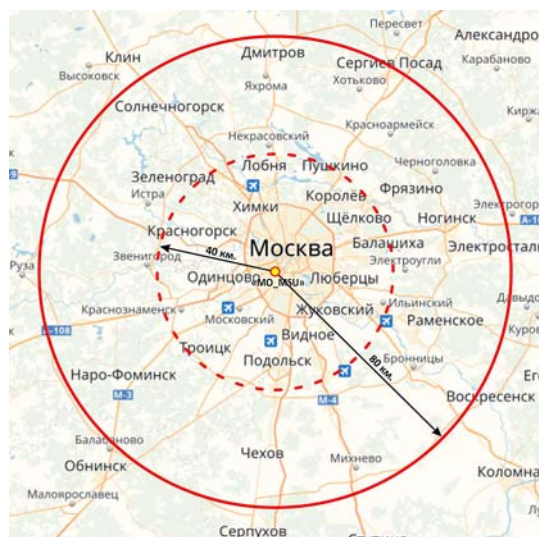


Рисунок 23.3. Зона охвата территории ДГС ГНСС «МО_MSU»

Аппаратная часть ДГС и мобильного комплекса состоит из модулей швейцарской компании «Leica GeoSystems» (Швейцария).

Методика измерений с применением ГНСС успешно используется в картографии, кадастре, военном деле, логистике и в других отраслях, например, при возведении арок Крымского моста в Керченском проливе, где требовалась миллиметровая точность при их сочленении.

ГНСС уверенно занимает своё место и в гидрометеорологических исследованиях, например, при определении текущих координат радиозонда и траектории его полёта. Ниже приведены примеры использования ГНСС в географических исследованиях.

В зимний период 2017-2018 гг., в рамках совместного проекта с НИЛ лавин и селей и ООО «Фирма Г.Ф.К.», вышеописанная методика измерений была использована при исследованиях распределения снежного покрова в южной части площадки Метеорологической обсерватории МГУ. По периметру площадки были размещены 4 опорные точки, измеренные с помощью мобильного комплекса ГНСС и уравненные относительно ДГС «МО_MSU». По результатам наземного лазерного сканирования в бесснежный период (по регулярной сетке, шагом 10 см), была сформирована модель подстилающей поверхности на каркасе опорных точек. Однозначно дешифрируемые опорные точки на цифровых снимках зондирования беспилотного летательного аппарата над площадкой исследований

были использованы в геоинформационной части проекта для формирования ортофотоплана и модели площадки, расчёта производных характеристик снежного покрова.⁵

При измерении глубин по створу некой водной поверхности, достаточно установить на судне эхолот, сопряженный с мобильным комплексом ГНСС, задать частоту измерений и пройти заданным курсом, оперативно получая численные характеристики подстилающей поверхности, наблюдая за построением профиля на экране монитора.

Как правило, изучение параметров микроклимата проводится на относительно локальных территориях, где на ключевых точках (нерегулярной сетке) измеряются необходимые показатели (температура, влажность, скорость ветра и т.п.), включая измерения координат пунктов исследований мобильным комплексом ГНСС. Иными словами, формируется матрица метеопараметров с геопространственной привязкой.

Кроме того, полученные результаты можно оперативно интегрировать в геоинформационную часть проекта исследований, проводить необходимый анализ и моделирование.

Сегодня Географический факультет МГУ располагает двумя действующими ДГС ГНСС «МО_MSU» и «Satino», совместная зона их охвата простирается в юго-западном направлении от Сергиева Посада до Калуги, позволяя проводить исследования на значительной территории в любое время года и суток (Рисунок 23.4).

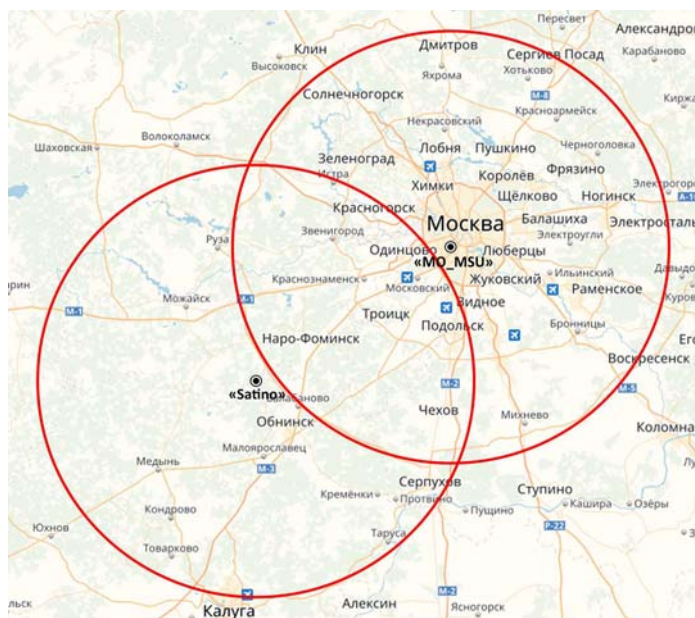


Рисунок 23.4. Зона охвата территории ДГС ГНСС «МО_MSU» и «Satino»

⁵ http://www.geogr.msu.ru/news/news_detail.php?ID=12782

В рамках развития сети ДГС ГНСС ф-та, планируется установить их на базах в Красновидово и Трегубово (Московская область), Кировске (Мурманская область), Азау (Кабардино-Балкарская республика) и Севастополе, что существенно расширит территориальный охват их использования в географических исследованиях.

Кроме того, ДГС «МО_MSU» нуждается в перестановке на капитальный пилон, т.к. на его современном местоположении кратковременно наблюдаются отклонения до 2 мм в плане. Надеемся, это произойдёт в рамках долгожданного капитального ремонта здания Метеорологической обсерватории МГУ.

Литература

Сучилин А.А. Ушакова Л.А., Владимирова М.Р., Ли В. Глобальные навигационные спутниковые системы в географическом образовании. Материалы международной конференции «ИнтерКарто/ИнтерГИС 23». - М., Изд-во Московского университета, том 3, 2017, с. 250.

По данным наблюдений Метеорологической обсерватории МГУ исследованы различные характеристики атмосферы и особенности погодных условий в Москве в 2017 г., оказавшемся в целом аномально дождливым, пасмурным и темным годом. Обсуждаются необычно холодная погода с апреля по июль, снежный покров и разрушительный шквал в мае, июньский снег, а также аномально тёплый и пасмурный декабрь, в течение которого лишь 6 мин. светило солнце. Рассмотрены показатели метеорологического и радиационного режима атмосферы, аэрозольных частиц, химический состав осадков и аэропалинологический состав воздуха, а также промерзание почвы, снежный покров и ветровой режим в нижнем 500-метровом слое воздуха по данным содара «MODOS». Отдельно обсуждается влияние погодных условий на сроки цветения растений и условия обитания водоплавающих птиц гоголей в Москве и Московском регионе. Для различных показателей приведены климатические нормы и исследованы текущие изменения климата столицы.