

## **ВЛИЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ МОСКОВСКОГО МЕГАПОЛИСА**

### **Аннотация**

На основе многолетних наблюдений метеорологической обсерватории географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова проведен совместный анализ временных рядов аэрозольной мутности атмосферы, кислотности и химического состава осадков. Показано наличие нескольких периодов очищения и загрязнения воздушной среды города. Эти периоды определяются как естественными процессами (вулканические извержения, лесные пожары), так и антропогенными факторами. Катастрофическое загрязнение воздуха и атмосферных осадков происходит в период лесных пожаров. Такие условия создают дискомфорт для жизни людей и существенно ухудшают световой режим города

**Ключевые слова:** экология, многолетние наблюдения, аэрозольное загрязнение, естественная освещенность, кислотные дожди, химический состав атмосферных осадков, естественные и антропогенные факторы

### **Введение**

Основная роль в формировании среды обитания всего живого принадлежит воздушной среде, нижней части атмосферы (тропосфере). Ее физические и химические параметры, их изменчивость определяют климат региона и существенно влияют на многие процессы в жизни и деятельности растений, животных и человека. С ростом городов и увеличением числа городов-мегаполисов исследование загрязнения городской среды приобретает первостепенное значение [2,8]. Город с большим количеством газовых и аэрозольных источников загрязнения трансформирует проходящую над ним воздушную массу, изменяя ее химический состав и оптические свойства.

Важной характеристикой воздуха является аэрозольная мутность атмосферы. Естественным источником аэрозольного загрязнения атмосферы являются вулканические извержения, а также дымовой аэрозоль, образующийся при крупных лесных и торфяных пожарах. Сильное задымление во время лесных пожаров ухудшает не только санитарно-гигиенические условия жизни людей, но и световой режим города. Существенное уменьшение естественная освещенность земной поверхности ведет к необходимости дополнительного освещения внутри помещений.

Атмосферные осадки являются главным фактором очищения городской атмосферы, их химический состав и кислотность также отражают экологическое состояние воздушного бассейна. К настоящему времени имеется огромный объем данных об экологических последствиях выпадения кислотных

атмосферных осадков на природные системы. Но нельзя не сказать и о разрушении кислотными осадками исторических памятников, объектов культуры, зданий, сооружений, металлических конструкций, которые гораздо быстрее разрушаются от коррозии при выпадении кислых осадков.

Для принятия мер по охране чистоты атмосферы необходимо выявить причины формирования загрязнения в городе, причины могут быть обнаружены при совместном анализе уровня загрязнения и влияющих факторов. В представленной работе анализируются аэрозольное загрязнение и химический состав выпадающих осадков, оцениваются естественные и антропогенные факторы, влияющие на их динамику. Анализ проведен по многолетним наблюдениям метеорологической обсерватории географического факультета Московского Государственного Университета имени М.В.Ломоносова (МО МГУ)

### Данные и методы

Метеорологическая обсерватория МГУ ( $\lambda = 55^{\circ}42'$  с.ш.,  $\varphi = 37^{\circ}31'$  в.д.) основана в 1954 году располагает уникальным, единственным в России, комплексом непрерывных наблюдений за состоянием воздушной среды в условиях большого города. Комплекс наблюдений МО МГУ состоит из расширенной программы метеорологических, аэрозольных и радиационных измерений, а также определения химического состава атмосферных осадков и воздуха [10,11,14]. В качестве характеристики аэрозольной мутности атмосферы рассматривается аэрозольная оптическая толщины атмосферы для эффективной длины волны солнечного спектра  $\lambda_0=550$  нм (АОТ). Основой для расчета АОТ являются данные измерений прямой интегральной солнечной радиации, при диске Солнца не закрытом облаками. В качестве приемников интегральной солнечной радиации используются термоэлектрические приборы Ю.Д. Янишевского, принятые на сети актинометрических станций России. Прежде чем дойти до земной поверхности солнечная радиация претерпевает ряд существенных изменений, связанных с наличием в атмосфере оптически активных компонентов. По соотношению значений солнечной радиации, поступившей на верхнюю границу атмосферы, и измеренной после прохождения толщи атмосферы (с учетом поглощения и рассеяния газами, молекулами воздуха, водяным паром) выделяется ослабление аэрозольными частицами. Таким образом, АОТ безразмерная величина. Подробное описание методики определения АОТ приведено в работе [12].

В 1980 г. в МО МГУ была создана химическая лаборатория для изучения химического состава атмосферных осадков. С 1980 г. начаты измерения кислотности осадков, с 1982 г. – полный анализ ионного состава. В 1999 году МО МГУ была включена в сеть автоматических постов качества атмосферного воздуха, созданную в 1996 г. по решению правительства Москвы. Информация о работе сети находится на <http://www.mosecom.ru/air>.

Изучение химического состава атмосферных осадков проводили на основе отбора единичных проб, т.е. каждого случая дождя, снегопада или смешанных осадков с начала выпадения до его окончания в текущие или смежные сутки. С

1998 г. стали отбирать суточные пробы - в 21 час по московскому времени одновременно с измерением количества осадков. Осадки отбираются с помощью винипластовой воронки размером 80x80 см, расположенной на высоте 2 м от поверхности земли, и полиэтиленового ведра. Осадкосборник расположен на метеоплощадке обсерватории. В каждой пробе дождя и снега определяется содержание анионов: сульфат-иона ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), гидрокарбонат-иона ( $\text{HCO}_3^-$ ), хлорид-иона ( $\text{Cl}^-$ ) и нитрат-иона ( $\text{NO}_3^-$ ), а также катионов кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ), магния ( $\text{Mg}^{2+}$ ), натрия ( $\text{Na}^+$ ), калия ( $\text{K}^+$ ) и аммония ( $\text{NH}_4^+$ ). С 2008 г. проводятся измерения удельной электропроводности проб. Определяется кислотность осадков (pH). Более подробную информацию о наблюдениях, проводимых в метеорологической обсерватории, можно найти на сайте МО МГУ (<http://momsu.ru>).

### Обсуждение результатов

Аэрозольная оптическая толщина атмосферы чувствительна к изменениям оптических свойств аэрозоля и характеризуется значительной временной изменчивостью. АОТ атмосферы испытывает временные (суточные, сезонные и межгодовые) колебания, связанные как с естественными, так и с антропогенными факторами. Продолжительность влияния разных факторов меняется от нескольких часов, дней (метеорологические условия), двух лет (вулканические извержения) или может быть постоянной (антропогенное загрязнение). При кратковременном увеличении АОТ ухудшается экологическая ситуация, при длительном увеличении – можно говорить о влиянии аэрозоля на климат. Средние суточные значения АОТ в Москве лежат в пределах от 0,01 до 3,29; средние месячные – 0,01 – 1,43; средние годовые – 0,10 – 0,35. В годовом ходе АОТ отмечаются два максимума: весенний связан с увеличением поступления в атмосферу естественного аэрозоля в результате полного схода снежного покрова; в летние месяцы накоплению аэрозоля способствует господство воздушных масс с юга, преобладание антициклональной погоды. Минимальные значения АОТ отмечается в ноябре, декабре. Это период интенсивного вымывания аэрозоля из атмосферы, идет перестройка атмосферной циркуляции от лета к зиме, увеличивается повторяемость адвекции чистых, прозрачных арктических воздушных масс (таблица 1, рис.1а).

Таблица 1 - Средние месячные значения аэрозольной оптической толщины за различные периоды осреднения

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1955-2018	0,13	0,15	0,19	0,24	0,22	0,20	0,21	0,22	0,19	0,13	0,11	0,12	0,18
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
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
Мин 1955-2018	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 1955-2018	0,01	0,02	0,06	0,08	0,06	0,06	0,07	0,08	0,06	0,03	0,01	0,01	0,08
Год	2009,2018	1989	2018	2017	2017	2017	2017	2015	2003	2013	2003	>3	2017,2018

Под влиянием метеорологических условий (инверсия, осадки, дневной ход конвекции и метеорологических параметров, адвекция воздуха) значение АОТ в течение дня может изменяться в 2–3 раза [1]. Процесс вымывания аэрозолей осадками определяется совокупностью факторов: количеством, продолжительностью и интенсивностью осадков, характером их выпадения (действие повторяющихся дождей больше, чем эпизодических). В большей степени вымывающее действие дождя определяет продолжительность выпадения осадков. Годовой ход содержаний отдельных ионов и их суммы (минерализации) в осадках хорошо согласуется с годовым ходом АОТ, что свидетельствуют о единстве естественных источников загрязнения атмосферы (таблица 3).

Таблица 2 - Средние месячные значения кислотности и химического состава осадков (мг/л) (1980-2017 гг.)

	pH	H	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	NO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na	K	NH <sub>4</sub>	мин.
I	5,92	1,22	4,7	4,1	3,2	1,77	3,4	0,16	0,94	0,14	0,51	18,9
II	5,43	3,69	3,6	4,6	3,5	2,11	3,2	0,16	0,96	0,17	0,79	19,1
III	5,11	7,73	4,1	5,6	6,2	2,74	5,4	0,40	1,28	0,23	1,18	27,1
IV	5,01	9,80	3,6	7,6	6,1	2,85	4,8	0,29	0,47	0,24	1,88	28,0
V	4,82	15,30	1,7	5,2	5,1	1,77	3,3	0,19	0,24	0,28	1,45	19,2
VI	4,67	21,23	1,5	4,7	4,6	1,47	2,9	0,18	0,25	0,23	1,11	17,0
VII	4,63	23,51	1,0	3,9	3,7	1,69	2,6	0,17	0,16	0,16	0,91	14,3
VIII	4,63	23,62	1,2	4,1	4,2	1,60	2,8	0,17	0,18	0,16	1,01	15,4
IX	4,96	10,96	1,9	4,0	3,4	1,54	2,6	0,17	0,18	0,13	0,90	14,8
X	5,22	5,90	2,9	3,3	1,8	1,46	2,4	0,12	0,17	0,13	0,65	12,8
XI	5,67	2,13	4,9	4,2	2,0	1,77	3,3	0,17	0,46	0,13	0,56	17,6
XII	5,76	1,75	5,4	3,4	2,4	1,52	3,2	0,15	0,68	0,14	0,46	17,3

Годовой ход кислотности осадков характеризуется более низкими значениями pH в теплый период года (среднее многолетнее 4,78 pH), в то время как в холодные месяцы pH ближе к нейтральным величинам (5,52 pH). Надо отметить, что благодаря содержанию в атмосфере углекислого газа и целого ряда кислотообразующих веществ естественного происхождения большинство ученых считают, что нижней границей естественного закисления осадков можно считать pH=5,0 [20]. Среднее значение кислотности осадков за все годы наблюдений составляет 4,90 pH, экстремальные значения менялись от минимального 3,20 pH (дождь в июле 1987 г.) до 9,65 pH (снег в ноябре 1983 г.). Выпадение очень кислых дождей (pH<4) наблюдается редко – примерно от 1 до 6 проб в год.

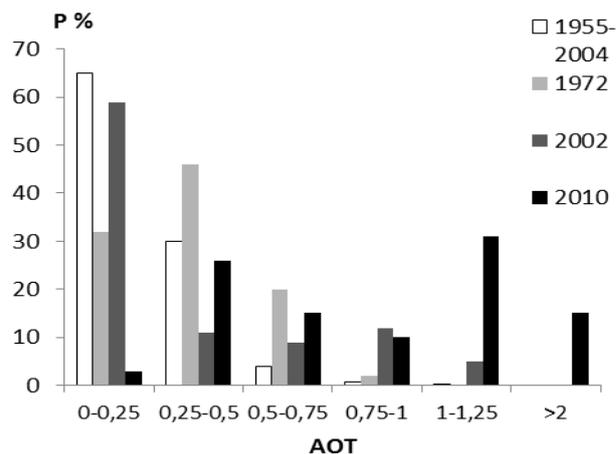
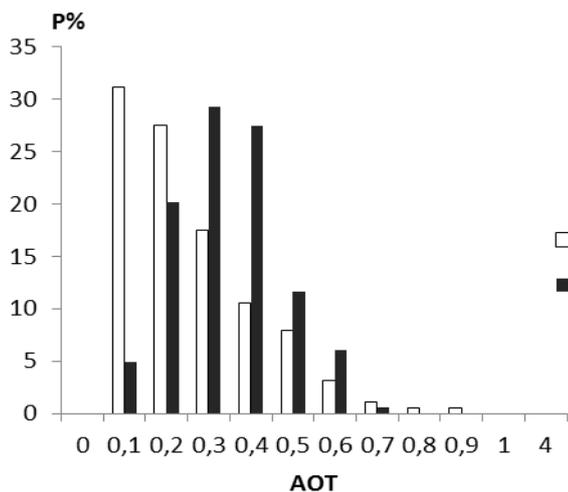
Межгодовые колебания аэрозольной оптической толщины атмосферы вызваны, прежде всего, влиянием естественных факторов. Длительное увеличение аэрозольной мутности связано с вулканическими извержениями, влияние которых сказывается на АОТ в течение последующих двух лет [1]. Наиболее продолжительный период повышения аэрозольной мутности атмосферы наблюдался с 1981 по 1984 г, в этот период произошло одно за другим извержения трех вулканов (рис.3). Самое значительное увеличение АОТ (на 35-40%) отмечается в периоды извержений вулканов Эль-Чичон (1982г.) и

Пинатубо (1991г.). В последующие два года после их извержения сохраняются условия низкой прозрачности атмосферы (рис.2а).

Естественным источником аэрозольного загрязнения атмосферы является дымовой аэрозоль, образующийся при крупных лесных и торфяных пожарах. Абсолютные срочные, суточные и месячные максимумы АОТ в Москве за весь период наблюдений отмечены в июле, августе и сентябре 1972, 2002, 2010 годов, когда в Москве наблюдалась дымная мгла от лесных и торфяных пожаров (рис.1б).

Совместная интерпретация показателей газового состава воздуха, химического состава осадков и АОТ приведена в работе [5]. Было показано, что в периоды дымной мглы в 2002 и 2010 годах газовый и аэрозольный состав атмосферы существенно меняется, роль осадков в очищении атмосферы увеличивается. В задымленной атмосфере концентрации угарного газа, озона, оксида азота превышали предельно допустимые значения, но после выпадения осадков уменьшались до средних значений. Содержание в дождях, выпавших в период дымной мглы, почти всех ионов выше средних значений, общая минерализация в более чем в 2 раза превышала норму. Влияние дымной мглы носит кратковременный характер, дымовой аэрозоль быстро вымывается из атмосферы. Но по воздействию на здоровье людей это явление считается особо опасным.

В условиях дымной мглы резко уменьшается естественная освещенность земной поверхности и, следовательно, коэффициент естественного освещения помещений. При наличии дымового аэрозоля прямая освещенность ослабляется в среднем на 70%, а суммарная - на 30% по сравнению с «нормальными» условиями [13]. При катастрофическом задымлении, 7 августа 2010 г прямая освещенность уменьшалась до нуля, суммарная освещенность - на 70% (рис.2). Горизонтальная дальность видимости уменьшалась до 100-200 м, как в условиях сильного тумана. Дымная мгла приводит к ухудшению видимости на улицах, к увеличению расходов на электроэнергию, т.е. увеличивает расходы на коммунальные нужды.



а

б

Рисунок 1. Повторяемость различных градаций средних суточных значений АОТ: а- до и после извержений вулкана Пинатубо, б- в период дымной мглы от лесных пожаров в сравнении с соответствующим относительно «чистым периодом»

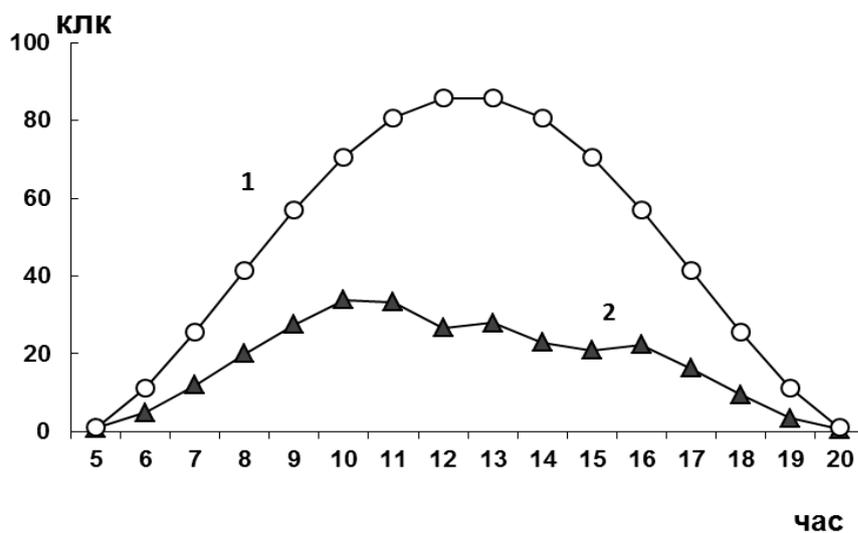


Рисунок 2. Суточный ход естественной освещенности: 1 – в нормальных условиях; 2- в условиях максимального задымления (7 августа 2010)

Влияние Москвы на аэрозольную мутность атмосферы возможно оценить, сравнивая данные АОТ в городе и пригороде. С 1955 по 1985 г. влияние города было ярко выражено, разница в АОТ с пригородом достигала 30% [4]. В этот же период увеличение значений АОТ, общей минерализации и концентрации некоторых примесей в осадках наблюдались при ветрах южных и восточных румбов, с территорий города, где расположены крупнейшие промышленные предприятия столицы. При изучении распределения минерализации единичных проб осадков по городу было показано, что минерализация в 2-3 раза выше в центральных районах города [7]. С середины 80-х годов, когда в результате резкого сокращения промышленного производства в Москве и в России антропогенное влияние уменьшилось (рис.2а), различия в значениях АОТ

практически незначимы. Начиная с 1994 года, уменьшение аэрозольной мутности в Москве проявляется особенно отчетливо. К этому периоду произошло полное очищение атмосферы от вулканического аэрозоля после извержения вулкана Пинатубо, и не было значительных вулканических извержений (извержений, влияющих на изменение стратосферного аэрозоля). Значения АОТ в Москве в последние годы практически уменьшились до фоновых значений. Средние годовые значения АОТ на протяжении всего 21 века на 20-60% ниже исторической и текущих норм. Среднегодовые значения в 2017 и 2018 годах (0,08) стали абсолютными минимумами за весь период наблюдений. Во все месяцы года отмечается значимый тренд уменьшения АОТ. Подобные тенденции отмечены разными авторами и на других территориях, носят глобальный характер и определяются прежде всего отсутствием вулканического аэрозоля в стратосфере и некоторыми изменениями в общей циркуляции атмосферы [3,15,16,17]. Аналогично с многолетними изменениями АОТ меняется общая минерализация осадков (рис. 4а). В период наблюдений с 1982 до 1998 гг. пробы атмосферных осадков были более загрязнены. В 1999-2004 гг. средняя минерализация проб значительно уменьшилась. В последние годы минерализация остается на невысоком уровне, ее среднее значение примерно на 5 мг/л ниже, чем в начале наблюдений. Минерализация осадков в МО МГУ в 70% проб не превышает 30 мг/л, причем около 40% проб осадков имеют значение минерализации меньше 15 мг/л, такие значения характерны для региональных фоновых станций наблюдения [9].

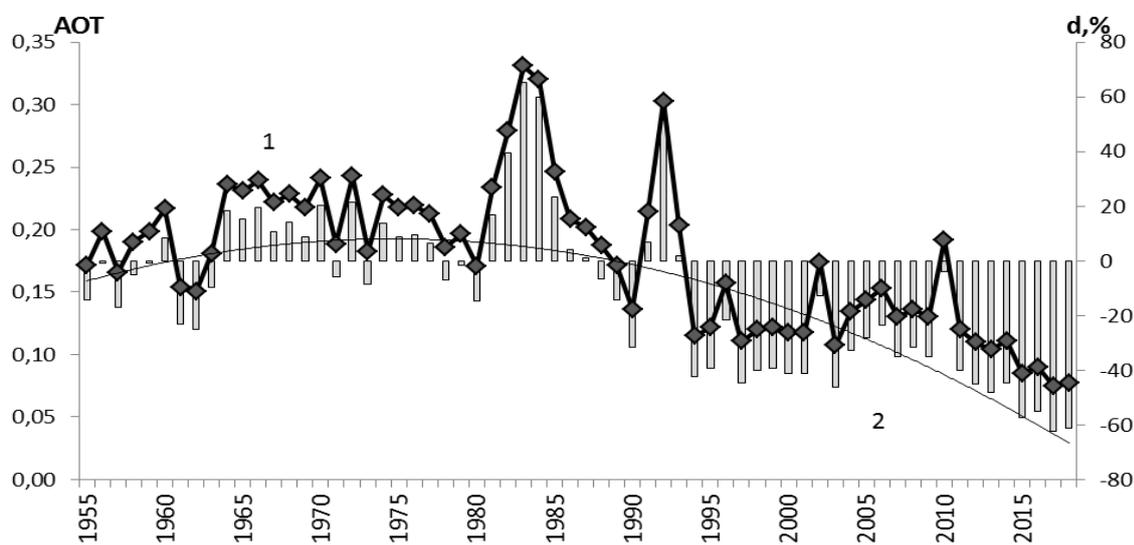
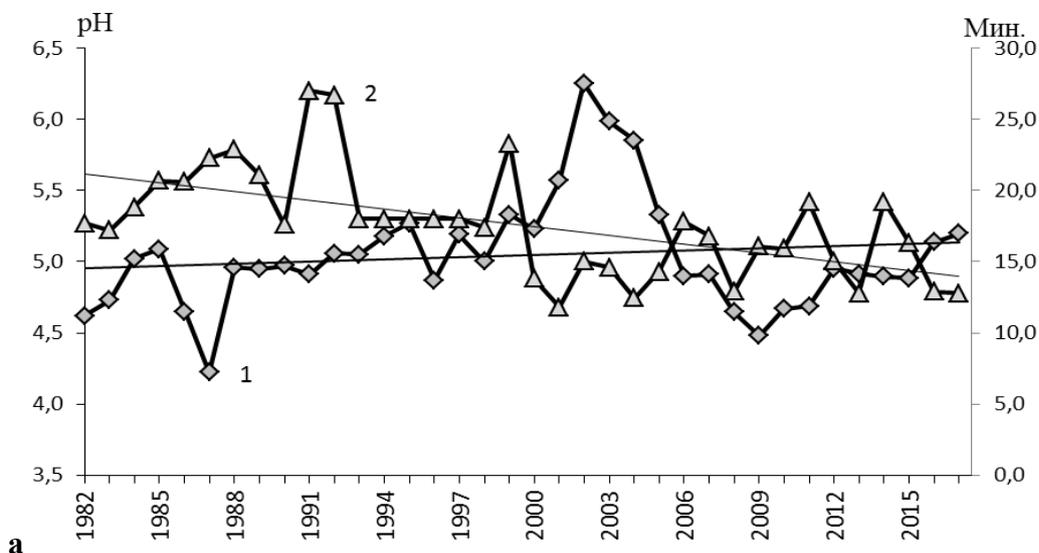


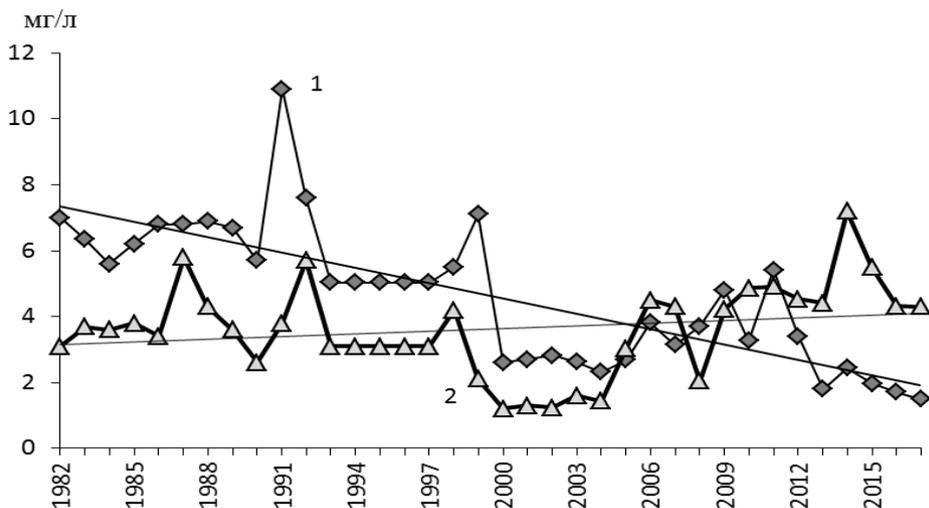
Рисунок 3. Многолетние изменения средних годовых значений АОТ (1) и отклонений средних годовых значений АОТ, % (2) от нормы (1961-1990 гг.)

Средние годовые значения кислотности осадков изменялись от минимального 4,25 рН в 1987 г. до 6,25 рН в 2002 г. Для химического состава и кислотности осадков так же можно выделить несколько периодов (рис.4а). С 1980 по 1998 гг. наблюдались низкие значения рН, среднее значение кислотности проб за этот период составило 4,78. Кислые осадки составляли в

среднем около 20-25% всех выпадающих в году осадков. Максимальное их количество (40,3%) наблюдалось в 1987 г. С 1999 г. по 2005 г. количество кислотных осадков резко снизилась в среднем до 2% в год, а в 2002 г. не было ни одной пробы с pH <5,0



а



б

Рисунок 4. Многолетние изменения: а- значений кислотности (1) и общей минерализации (2) осадков; б - концентрации сульфата (1) и хлоридов (2)

. Среднее значение кислотности проб осадков за этот период составило 5,58 pH. Начиная с 2005 г. по настоящее время кислотные осадки вновь выпадают в значительном количестве, и их доля увеличивалась, достигнув в 2009 г. значения 34% кислотных осадков в год.

В последние годы можно наблюдать общее небольшое повышение pH (т.е. уменьшение кислотности проб), а также изменение соотношения в анионном составе осадков. С 2013 г. наблюдаются низкие концентрации сульфата, а в 2017 г его содержание составило 1,5 мг/л – наименьшее за все годы

наблюдений. Содержание хлоридов увеличилось заметно: в 2014 г. было зафиксировано максимальное годовое значение 7,2 мг/л, а в 2014 – 2017 гг. средняя годовая концентрация  $\text{Cl}^-$  почти в 4 раза превышала концентрацию  $\text{SO}_4^{2-}$ , хлорид-ион стал преобладающим среди анионов (рис.4б). Уменьшение содержания сульфатов в атмосферных осадках связано с сокращением эмиссий сернистого ангидрида в атмосферу после перехода московских ТЭЦ на природный газ, а источником хлорид-анионов выступают в основном хлориды противогололедных реагентов, активно используемых в Москве в последние годы [6].

### **Заключение**

Совместный анализ временных рядов аэрозольной оптической толщины атмосферы и химического состава осадков показал наличие нескольких периодов очищения и загрязнения воздушной среды города. Эти периоды определяются как естественными процессами (вулканические извержения, лесные пожары), так и антропогенными факторами. Повторяемость периодов сильной продолжительной жары приводит к увеличению пожароопасного периода. При лесных пожарах, частота и интенсивность которых увеличиваются, наблюдается катастрофическое загрязнение атмосферы. Такие условия создают дискомфорт для жизни людей и существенно ухудшают световой режим города. Надо признать, что в трендах экологических параметров, по наблюдениям МО МГУ, не проявилось влияние увеличения количества автотранспорта в Москве.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. 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.
2. Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В. Воздух городов и его изменения. С-Пб., Астерион. 2008. 253 с.
3. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации М.: Росгидромет. 2014. 58с.
4. Горбаренко Е.В. Аэрозольная мутность атмосферы в Москве в конце XX века. Метеорология и гидрология. 2003. № 7. С. 13-18.
5. Горбаренко Е.В., Еремина И.Д. М., Изменчивость аэрозолей и химического состава воздушной среды в Москве //Вестник МГУ Серия 5, География. 2011. №4. С.31-41.
6. Еремина И.Д., Алоян А.Е., Арутюнян В.О., Ларин И.К., Чубарова Н.Е., Ермаков А.Н. Кислотность и минеральный состав осадков в Москве. Влияние противогололедных реагентов // Изв. РАН. Сер. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51. № 6. С. 700-709.

7. Еремина И.Д., Чубарова Н.Е., Алексеева Л.И., Суркова Г.В. Кислотность и химический состав осадков на территории Московского региона в теплый период года // Вестник МГУ. Сер.5. Геогр. 2014. № 5. С. 3-11.
8. Исаев А.А. Экологическая климатология. М.: Научный мир. 2001. 458 с.
9. Свистов П.Ф., Полищук А.И. Атмосферные осадки над городами и регионами России // Природа. 2014. № 3. С. 28-36.
10. Справочник эколого-климатических характеристик Москвы // Под ред. д.г.н. А.А.Исаева. М. Изд-во МГУ. 2003. т.1. 310 с.
11. Справочник эколого-климатических характеристик Москвы // Под ред. д.г.н. А.А. Исаева. М. Изд-во МГУ. 2005. т.2. – 409 с.
12. Тарасова Т. А., Ярхо Е. В. Определение аэрозольной оптической толщины атмосферы по наземным измерениям интегральной солнечной радиации. Метеорология и гидрология. 1991. № 12. С. 66-71.
13. Шиловцева О.А. Световой режим Москвы в условиях дымной мглы// Метеорология и гидрология. 2014. №4. С. 5-17.
14. Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2015 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ / Под редакцией О.А. Шиловцевой. М.:МАКС Пресс. 2016. 268 с.
15. Galloway J.N., Likens G.E., Kneen W.C., Miller J.M. The composition of precipitation in remote areas of the world // J. Geophys. Res. 1982. Vol. 87. P. 8771-8786.
16. Li J., Carlson, B. E., Dubovik, O., Laciš, A. A. Recent trends in aerosol optical properties derived from AERONET measurements // Atmospheric Chemistry and Physics. 2014. V. 14. №. 22. P. 12271-12289.
17. Ohvri H., Teral H., Neiman L. et al. Variability of atmospheric column transparency in the Baltic region, 1906-2006 // J. Geophys. Res. 2009. Vol. 114. D00D12.

E.V. GORBARENKO, I.D. EREMINA

## INFLUENCE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON VARIABILITY AIR ENVIRONMENT OF MOSCOW MEGAPOLIS

### **Abstract**

More than sixty years in the meteorological observatory of the department of meteorology and climatology of the geographical faculty of the Lomonosov's Moscow State University (MO MSU) comprehensive observations of the environmental and climatic characteristics of the atmosphere are continued. A joint analysis of the time series of the aerosol optical thickness of the atmosphere, acidity and chemical composition of precipitation showed the presence of several periods of purification and pollution of the air environment of the city. The presence of several periods of purification and pollution of the air environment of the city is shown. These periods are determined by both natural processes (volcanic eruptions, forest

fires) and anthropogenic factors. Catastrophic air pollution and precipitation occurs during forest fires. Such conditions create discomfort for the life of people and significantly worsen the light regime of the city.

**Keywords:** ecology, climate, natural light, housing microclimate, long-term observations, aerosol pollution, acid rain, chemical composition of atmospheric precipitation, natural and anthropogenic factors.

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Abakumova G.M., Gorbarenko E.V. The transparency of the atmosphere in Moscow over the past 50 years and its changes in Russia. - M.: Publisher LKI. - 2008. - 192 p.
2. Bezugla E.U., Smirnova I.V. Air cities and its changes. - S-Pb., Asterion. - 2008. - 253 p.
3. The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. Moscow: Roshydromet-2014 – 58p.
4. Gorbarenko E.V. Aerosol turbidity of the atmosphere in Moscow at the end of the twentieth century. –Meteorology and hydrology. –2003. - № 7. - p. 13-18.
5. Gorbarenko E.V., Eremina I.D. M., Variability of aerosols and chemical composition of the air in Moscow - Vestnik Moskovskogo un-ta- Ser. 5, Geography. - 2011. - №4. - P.31-41.
6. Eremina I.D., Aloyan A.E., Arutyunyan V.O., Larin I.K., Chubarova N.E., Ermakov A.N. Acidity and mineral composition of precipitation in Moscow. Influence of anti-icing agents // Izv. RAS. Ser. Physics of the atmosphere and the ocean. –2015. –V. 51. –№ 6. –P. 700-709.
7. Eremina I.D., Chubarova N.E., Alekseeva L.I., Surkova G.V. Acidity and chemical composition of precipitation on the territory of the Moscow region during the warm period of the year // Vestnik Moskovskogo un-ta. - Ser.5. - Geogr. –2014. –№ 5. –P. 3-11.
8. Isaev A.A. Ecological climatology. M.: Scientific world. - 2001. - 458 p.
9. Svistov P.F., Polishchuk A.I. Atmospheric precipitation over cities and regions of Russia // Priroda. 2014. № 3. P. 28-36.
10. Handbook of environmental and climatic characteristics of Moscow // Ed. Prof. A.A. Isaev. - M. Publishing House of Moscow State University. - 2003 - V. 1. - 310 p.
11. Handbook of environmental and climatic characteristics of Moscow / / Ed. Prof. A.A. Isaev. –M. Publishing House of Moscow State University. - 2005 – V. 2. - 409 p.
12. Tarasova, T. A., Yarkho, E. V. Determination of the aerosol optical thickness of the atmosphere from ground-based measurements of integrated solar radiation. - Meteorology and hydrology. - 1991. - № 12. - p. 66-71.
13. Shilovtseva O.A. Light regime of Moscow in the conditions of the smoke haze // Meteorology and Hydrology. 2014. №4. Pp. 5-17.

14. Ecological and climatic characteristics of the atmosphere in 2015 according to the data of the Meteorological Observatory of Moscow State University / Edited by OA Shilovtseva. - M.: MAX Press. –2016 – 268p
15. Galloway J.N., Likens G.E., Kneen W.C., Miller J.M. The composition of precipitation in remote areas of the world // J. Geophys. Res. –1982. – V. 87. – P. 8771-8786.
16. Li J., Carlson, B. E., Dubovik, O., Lacis, A. A. Recent trends in aerosol optical properties derived from AERONET measurements // Atmospheric Chemistry and Physics. 2014. V. 14. №. 22. P. 12271-12289.
17. Ohvriil H., Teral H., Neiman L. et al. Variability of atmospheric column transparency in the Baltic region, 1906-2006 // J. Geophys. Res. –2009. –V. 114. –D00D12.