

## ГЕОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 551.577.13(470-25)

И.Д. Еремина<sup>1</sup>, Н.Е. Чубарова<sup>2</sup>, Л.И. Алексеева<sup>3</sup>, Г.В. Суркова<sup>4</sup>**КИСЛОТНОСТЬ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОСАДКОВ  
НА ТЕРРИТОРИИ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА<sup>5</sup>**

На основании данных эксперимента, проведенного летом 2013 г., проанализирована пространственная изменчивость кислотности и химического состава атмосферных осадков в Москве и Подмосковье. Проанализированы синоптические процессы, применен метод обратных траекторий частиц. Показано, что более высокие значения рН характерны для восточных районов Подмосковья. Кислотные осадки могут наблюдаться как в центре города, так и в чистых удаленных районах. По составу ионов в целом можно говорить о преобладании кальция в комбинации с гидрокарбонатами, хлоридами, сульфатами. В пространственном распределении устойчивее сохранение соотношений основных ионов, а не минерализации и рН. В целом довольно пестрая картина распределения минерализации и рН (особенно внутри мегаполиса), скорее всего, свидетельствует о преобладании влияния локальных источников на загрязнение атмосферных осадков.

*Ключевые слова:* атмосферные осадки, химический состав, кислотные дожди.

**Введение.** Проблема кислотных дождей исключительно важна из-за их значительного отрицательного воздействия на природную среду: кислотные дожди вызывают заболевание и гибель лесов, закисление закрытых водоемов и гибель в них биоты, они ухудшают свойства почв в результате роста концентрации ионов Al, Cd, Cr и др. [7, 9]. Атмосферные осадки эффективно выводят из атмосферного воздуха газовые и аэрозольные микропримеси, в результате чего происходит очищение атмосферы. Поглощая атмосферные примеси в процессе внутриоблачного и подоблачного вымывания, осадки становятся индикатором загрязнения воздуха.

Значения рН дождевых выпадений чувствительны и к изменениям баланса в атмосфере “кислых” и “щелочных” компонентов, и к элементному составу подстилающих почв. Наличие в водорастворимой части аэрозольных частиц и дождевых осадках преимущественно сульфатных и нитратных анионов обусловлено протеканием в атмосфере фотохимических реакций окисления газообразных оксидов серы и азота естественного и антропогенного происхождения [1, 9]. Естественные источники соединений серы и азота — грозы ( $\text{NO}_x$ ), извержения вулканов ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и пр.), эмиссии Мировым океаном ( $(\text{CH}_3)_2\text{S}$  и др.). Поэтому из-за содержания в атмосфере углекислого газа и кис-

лотообразующих веществ обычно за нижнюю границу естественного закисления осадков принимают значение рН 5,0 [12].

Московский мегаполис — мощный источник загрязнения атмосферы и, следовательно, в значительной степени воздействует на химический состав осадков и их кислотность. В результате многолетних измерений химического состава осадков в Метеорологической обсерватории (МО) МГУ, где наблюдения проводятся с 1982 г., выявлена их существенная временная динамика. Показано, что в последние годы наблюдается увеличение кислых выпадений, заметно изменился и химический состав осадков. Однако наблюдения в одной точке могут дать представление лишь о вариациях во времени. С этой точки зрения интересно рассмотреть пространственные вариации кислотности осадков, собранных одновременно в разных районах города и пригороде при одних и тех же метеорологических условиях. Отметим, что такого рода эксперименты практически не проводились на территории Московского региона, да и на территории России. Но анализ пространственных особенностей загрязнения снежного покрова [2, 6], выполненный в предыдущие годы, выявил ряд закономерностей, которые свидетельствуют о важной роли антропогенного загрязнения.

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, вед. науч. с., канд. хим. н.; *e-mail*: meteo@ Rambler.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, профессор, докт. геогр. н.; *e-mail*: natalia.chubarova@gmail.com

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail*: gapira2005@yandex.ru

<sup>4</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, доцент, канд. геогр. н.; *e-mail*: galina\_surkova@mail.ru

<sup>5</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного контракта № 0604-01/13 с Департаментом природопользования и охраны окружающей среды города Москвы.

**Постановка проблемы.** Накопление экспериментального материала — исходный пункт при поиске факторов, определяющих химический состав осадков. В крупных городах и мегаполисах это осложняется наличием множества источников эмиссии загрязняющих веществ, имеющих большую пространственно-временную неоднородность. В результате возникает неопределенность в оценке соотношения эффектов дальнего переноса загрязняющих веществ и действия локальных факторов. Подобные задачи можно решать с помощью сложных химико-гидродинамических моделей атмосферы при задании эмиссий от различных источников [1, 9]. В настоящее время, к сожалению, эти эмиссии определяются с большой погрешностью, что может приводить к значительным ошибкам в расчетах. Поэтому нами была поставлена задача — исследовать пространственную изменчивость кислотности и химического состава атмосферных осадков на основании непосредственных экспериментальных данных.

**Материалы и методы исследований.** Для оценки пространственных вариаций кислотности и химического состава осадков в июне—июле 2013 г. организован и проведен специальный эксперимент в Москве и разных районах Подмосковья. В качестве реперного пункта использованы данные измерений МО МГУ, расположенной хотя и в черте города, но в довольно чистом районе Ботанического сада МГУ. Помимо регулярных наблюдений в МО МГУ было организовано 10 пунктов сбора осадков: 8 в Подмосковье и 2 в центральных районах Москвы (Новый Арбат и Таганка) (рис. 1). Пункты сбора осадков в фоновых районах относительно равномерно расположены вокруг Москвы: 3 находятся на юго-западе (Дорохово, Сатино и Алабино), 3 — на северо-востоке (Валентиновка, Софрино и Шелково), это наиболее контрастные по количеству осадков направления, а также по пункту на северо-западе (Покровка) и на юге (Домодедово).

Во всех указанных точках отбора рН определяли с помощью карманного прибора рН–009(1) (погрешность измерения составляет 0,1 рН). Для повышения точности измерений и для их сравнения на всех пунктах соблюдалась единая методика отбора и обработки проб. Емкость для сбора осадков находилась на открытом месте и выставлялась в начале выпадения дождя. Сразу после окончания дождя с помощью рН-метра определяли кислотность осадков. Затем дождевую пробу переливали в специальную полиэтиленовую фляжку, которую предварительно ополаскивали этой же водой. Поскольку при длительном хранении проб рН осадков, как и концентрация гидрокарбонат-иона, может меняться весьма заметно (особенно в пробах с экстремальным значением рН), при первой же возможности пробы доставляли в химическую лабораторию МО МГУ, где повторно определяли величину рН на рН-метре-иономере “Эксперт-001” (РФ), а также концентрацию макрокомпонентов (основных ионов) с помощью ионного хроматографа “JETChrom” (РФ). Разница во времени для определения рН на месте и в лаборатории варьировала от 1 до 7 сут. Анализ результатов показал, что в среднем разница значений рН была небольшой и составляла около 0,1–0,4.

Для оценки влияния адвективных факторов и анализа возможного влияния дальнего переноса на состав проб в исследуемых точках использован метод обратных траекторий (на 24 ч. назад) [11, 13]. Для каждого дня с выпадением осадков рассчитывали 35 траекторий с конечными точками на высоте 3000 м в 12 ч. ВСВ (всемирное согласованное время). Расстояние между конечными точками составляло 0,5° по широте и долготе, т.е. “матрица” из конечных точек равномерно покрывала Москву и Московскую область.

**Результаты исследований и их обсуждение.** *Краткая характеристика метеорологических и синоптических условий.* Самым теплым месяцем в 2013 г. был июнь.



Рис. 1. Расположение пунктов измерения химического состава осадков в период эксперимента: 1 — Сатино, 2 — Дорохово, 3 — Алабино, 4 — Домодедово, 5 — Валентиновка, 6 — Шелково, 7 — Софрино, 8 — Покровка, 9 — Новый Арбат, 10 — Таганка, 11 — МГУ

Среднемесячная температура воздуха в июне, по данным МО МГУ, составила 20,1 °С, что на 3,1 °С выше нормы. В июле 2013 г. среднемесячная температура соответствовала норме, однако если в первую декаду месяца продолжалась жаркая погода (аномалии среднедекадной температуры превышали 3 °С), то во вторую и особенно в третью декаду на европейской территории России (ЕТР) наблюдался заток холодного воздуха. Это привело к тому, что в последнюю декаду месяца средняя температура воздуха оказалась уже на 2,5–3,0 °С ниже нормы.

Суммарно в 2013 г. за лето в Москве, по данным МО МГУ, выпало 281 мм осадков, что близко к среднему. Всего в июне в районе МО МГУ выпал 71 мм осадков (при норме 78 мм). (Отметим, что в районе ВВЦ в этот период выпало существенно меньше осадков — 49 мм.) В июле на площадке МО МГУ сумма осадков за месяц была выше нормы и составила 102 мм (при норме 91 мм), а в районе ВВЦ выпало 118 мм. Такая изменчивость свидетельствует о мозаичности пространственного распределения осадков.

Погодные характеристики лета 2013 г. связаны с особенностями циркуляции атмосферы. В осредненном за июнь поле приземного давления отмечено преобладание положительных аномалий. И Азорский

максимум, и Исландский минимум, оказывающие главное влияние на погоду европейской территории России (ЕТР) в летний период, были интенсивнее, чем обычно. Пути атлантических циклонов в основном проходили через Скандинавию в приполярные районы, где сформировался самостоятельный циклон, теплый сектор которого и способствовал, с одной стороны, возникновению больших положительных аномалий температуры воздуха, а с другой — уменьшению количества осадков. В июле положительные аномалии в осредненном поле давления сохранялись, однако во второй половине месяца изменились пути движения циклонов, в результате чего северо-западные и центральные части ЕТР часто подвергались влиянию полярных фронтов, что и вызвало превышение количества осадков по сравнению со среднемноголетними величинами, хотя значения температуры были близки к норме [8].

В табл. 1 приведены основные метеорологические характеристики, значения минерализации и pH осадков, измеренные в МО МГУ для дней, когда осадки выпадали более чем в 4 пунктах наблюдений. Из данных табл. 1 видно, что количество осадков значительно варьировало — от 0,4 мм 2 июня до 27,1 мм 30 июня. Довольно сильно также изменялась темпе-

Таблица 1

Основные метеорологические характеристики, минерализация и кислотность осадков на территории МО МГУ в период эксперимента (2013)\*

Дата	Т воздуха, °С	Сумма осадков, мм	Скорость ветра на высоте 16 м, м/с	Минерализация, мг/л	pH
02.06	19,1	0,4	1,2	99,2	<b>4,80**</b>
12.06	17,2	4,3	1,5	11,2	<b>4,50</b>
25.06	22,5	9,0	0,8	24,7	5,65
30.06	23,1	27,1	1,5	9,0	<b>4,55</b>
07.07	20,8	14,9	1,4	6,7	<b>4,90</b>
09.07	18,4	18,9	1,8	4,0	<b>4,65</b>
14.07	20,0	2,2	1,4	42,2	<b>4,25</b>
15.07	19,7	3,8	0,8	22,8	<b>4,40</b>
20.07	17,1	4,2	1,5	5,4	5,40
21.07	14,4	18,7	2,0	6,4	<b>4,50</b>
22.07	14,1	7,7	2,0	6,7	<b>4,90</b>
Среднее за период эксперимента, июнь–июль 2013 г.	19,6	86,6	1,4	14,1	<b>4,71</b>
Среднее за теплый сезон (апрель–октябрь) 1982–2012	13,2	66,2	2,3	17,0	<b>4,77</b>
Среднее за теплый сезон (апрель–октябрь) 2005–2012	14,2	60,7	1,9	15,7	4,66

\* Приведены данные для дней, когда осадки регистрировались не менее чем в 4 пунктах;

\*\* полужирным шрифтом выделены значения (pH < 5).

ратура воздуха, что свидетельствует о разнообразии синоптических ситуаций в период проведения эксперимента.

**Кислотность и химический состав осадков в МО МГУ за период проведения эксперимента и сравнение со средними многолетними данными.** В период эксперимента продолжались регулярные наблюдения за кислотностью и химическим составом осадков непосредственно в МО МГУ. Кислотность осадков соответствовала средним многолетним значениям за теплый период 1982–2012 гг. и составляла pH 4,7–4,8 (табл. 1). Однако в ионном составе осадков произошли некоторые изменения. Так, отмечено заметное уменьшение суммы ионов (на 17% от среднего многолетнего значения за теплый период). Особенно мало в осадках 2013 г. гидрокарбонат- и сульфат-ионов — 29 и 37% от нормы соответственно. В то же время примерно с 2005 г. (когда после 6-летнего перерыва вновь стали выпадать кислотные дожди) наблюдается увеличение концентрации хлоридов. Вообще за теплый период 2013 г. выпало рекордное количество осадков (717 мм), поэтому активно шли процессы очищения атмосферы и концентрация почти всех ионов была ниже многолетних

значений и периода с 2005 г., кроме ионов хлорида и аммония. Но в период эксперимента в июне и июле сумма осадков была близка к норме. Поэтому для состава осадков, собранных в МО МГУ в период эксперимента, наблюдались общие тенденции, характерные для последних лет [4, 5]. Кроме того, отмечено четырехкратное преобладание количества хлоридов над сульфатами в пробах осадков в июне–июле 2013 г., выбранных для сравнения в эксперименте. Причем так получилось не только из-за большего содержания хлоридов, но и из-за самого низкого содержания сульфатов — почти в 3 раза меньше многолетней нормы для теплого периода. Изменение концентраций остальных ионов в осадках невелико. Таким образом, в целом ионный состав осадков соответствовал типичному для последних лет хлоридно-кальциевому типу.

**Анализ пространственной изменчивости химического состава осадков на территории Московского региона.** Рассмотрим пространственную изменчивость средних значений pH на территории Московского региона. На рис. 2, а видно, что, хотя в период эксперимента средние наблюдаемые в МО МГУ значения pH были довольно низкими (условия кислотных дождей), в дальнем Подмосковье (Сатино) среднее значение pH было еще меньше. В то же время, по данным измерений в МО МГУ, для этого периода отмечается довольно существенный вариационный размах pH, перекрывающий практически всю изменчивость, полученную не только для Москвы, но и для Подмосковья. Близкие максимумы pH наблюдались лишь в Софрине (север) и Алабине (юго-запад), в частности, максимальные значения (pH 7,3) отмечены одновременно 21 июля 2013 г. в МО МГУ и в Софрине (pH 7,4). Максимум pH в Алабине (pH 7,4) наблюдался 18 июня, когда в других пунктах наблюдения осадки отсутствовали. Максимальные значения концентрации ионов водорода наблюдались 02.07 в Сатине (минимальное значение pH 3,55) и 17.07 в МО МГУ (pH 3,85). В то же время непосредственно рядом с магистралями в Москве (Новый Арбат, Таганка) полученные значения pH были заметно выше, хотя и в пределах вариационного размаха pH по данным МО МГУ.

Минерализация осадков на территории Московского региона имела довольно сильную изменчивость (рис. 2, б). Отметим, что только в центре Москвы, а также в Домодедове и Софрине уровень минерализации в среднем был

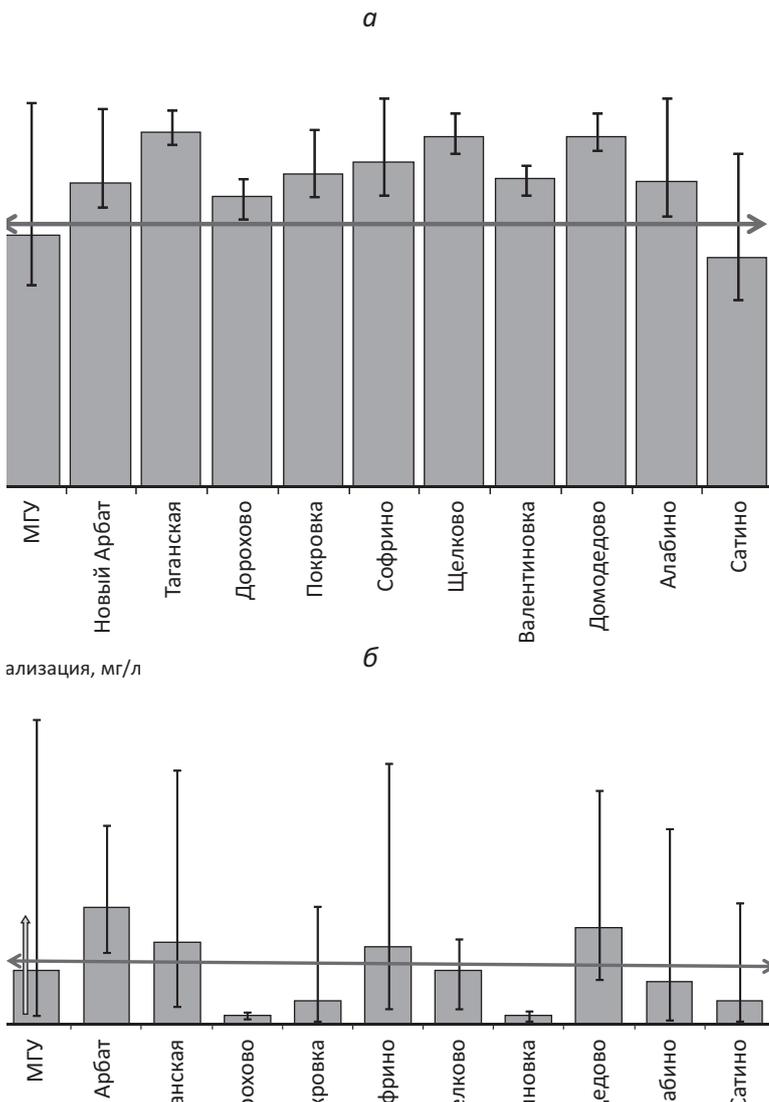


Рис. 2. Средние значения и вариационный размах pH (а) и минерализации (б) для разных пунктов наблюдения. На а линией показано критическое значение, ниже которого осадки считаются кислотными; на б линией отмечено пороговое значение для урбанизированных условий. Вертикальной стрелкой показан вариационный размах минерализации в МО МГУ после удаления случаев с экстремально низким количеством осадков (см. текст)

выше порога минерализации урбанизированных зон (>30 мг/л). И только на Новом Арбате уровень минерализации *всегда* был выше этого порога. Наименьшие значения минерализации (<3 мг/л) закономерно отмечаются в чистых местах Подмосковья (Валентиновка, Сатино, Покровка, Дорохово).

В МО МГУ отмечен максимальный вариационный размах минерализации осадков, который в некоторой степени связан с тем, что наблюдавшийся максимум минерализации (149,8 мг/л 16.06.2013) зафиксирован при небольшом количестве осадков. Отметим, что при этом значение рН составило 5,6 (осадки, равновесные по CO<sub>2</sub>).

На основании данных измерений, проведенных в период эксперимента, получена количественная связь между минерализацией и количеством осадков:

$$M = \exp(3,5P^{-0,17}), \quad R^2 = 0,44,$$

где *M* — минерализация осадков, мг/л; *P* — количество осадков, мм; *R*<sup>2</sup> — коэффициент детерминации.

Эта зависимость особенно ярко проявляется при экстремально малом количестве осадков (<3 мм). Если исключить эти случаи, то вариационный размах для данных МО МГУ уменьшится почти в 3 раза и составит лишь 56 мг/л (рис. 2, б). При этом диапазон изменчивости минерализации будет соответствовать условиям для относительно чистых районов Московского региона. Отметим, что в других пунктах осадки собирали лишь в случае их относительно большого количества, поэтому для них вариационный размах представителен.

Рассмотрим типичные особенности распределения минерализации и преобладающих ионов на территории Московского региона за период эксперимента (рис. 3, а). Наряду с повышенными значениями минерализации в Москве хорошо проявляется относительно высокая минерализация осадков в небольших городах Подмосковья (Домодедово, Софрино, Щелково) и низкая в дачной местности. Эта изменчивость особенно четко прослеживается на пунктах наблюдения Щелково и Валентиновка, которые находятся рядом, но минерализация осадков в них существенно отличается. Отметим, что пункт сбора проб в Валентиновке находился в относительно чистом месте рядом с заказником Лосиный остров, а пункт сбора проб в Щелкове расположен в черте городской застройки. В то же время состав ионов для этих пунктов довольно близок по преобладающим ионам (Ca, HCO<sub>3</sub> и SO<sub>4</sub>).

В целом для относительно чистых районов с небольшой минерализацией (за исключением Сатино) характерно преобладание катиона кальция, в то время как непосредственно на территории Москвы наблюдается значительная вариация ионного состава осадков, что свидетельствует о разнообразных источниках эмиссии. Отдельно выделяется другой состав ионов на крайнем юго-западе Московского региона — в Сатине, где преобладают ионы аммония и хлоридов

при относительно низкой минерализации осадков. Преобладание ионов аммония может быть связано с развитием здесь сельского хозяйства, однако пока не выявлены источники хлоридов. Отметим, что в последнее время в МО МГУ также в атмосферной влаге преобладают хлориды. Вторые по значимости хлориды на северо-востоке Московского региона — в Софрине. Для дальнейшего анализа причин этих явлений необходимо установить источники антропогенных эмиссий, а также провести дополнительные эксперименты.

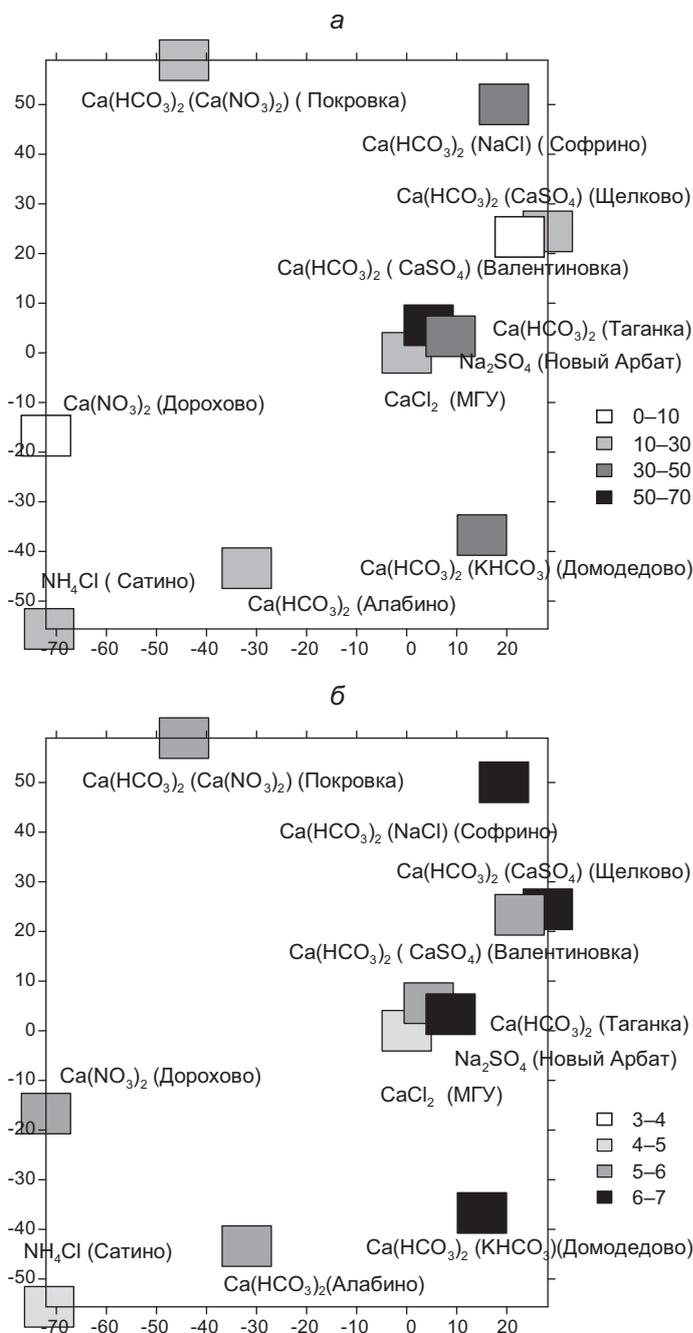
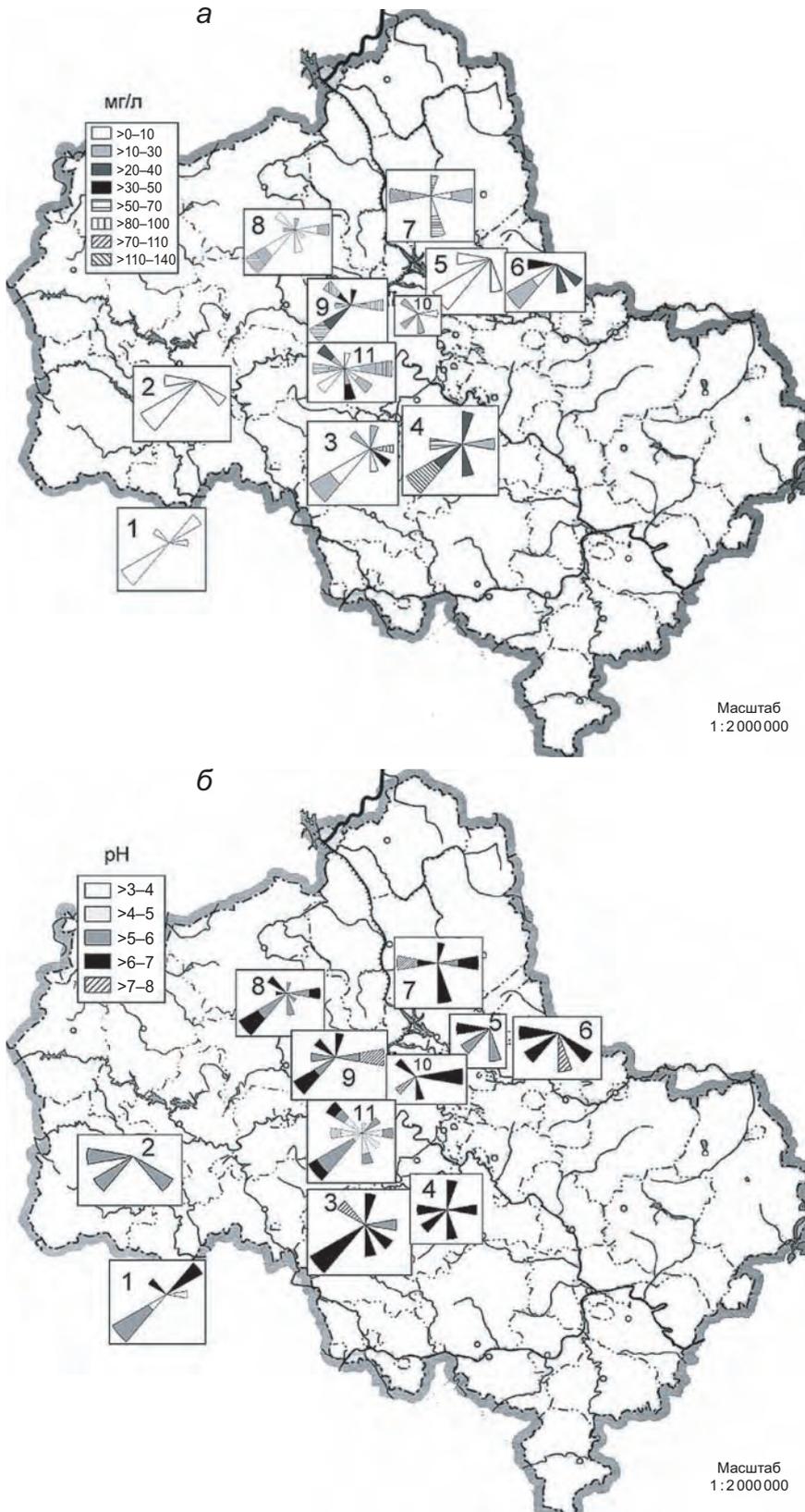


Рис. 3. Среднее распределение минерализации (а) и рН (б) в разных пунктах наблюдений в Московском регионе по данным эксперимента 2013 г. (В скобках в ряде случаев показана вторая по важности пара ионов.) Распределение показано относительно расположения пункта сбора проб в МО МГУ с условными нулевыми координатами

На рис. 3, б приведена пространственная картина распределения средних значений рН и преобладающих ионов. Несколько повышенные значения рН отмечаются в целом в восточных районах Московского региона (за исключением Валентиновки — на границе заказника Лосиный остров).



Выявлены заметные вариации кислотности осадков и в Москве — от кислых в МО МГУ до почти щелочных на Таганке. Вероятно, высокие значения рН в центре Москвы связаны с дополнительной эмиссией щелочно-земельных элементов в непосредственной близости от Садового кольца, о чем свидетельствуют и относительно высокие значения минерализации. В то же время очень кислые осадки наблюдаются в Сатине (крайний юго-запад Московского региона), что, видимо, связано с сельскохозяйственной деятельностью.

Результаты сопоставления основного направления переноса воздушных масс в средней тропосфере за последние сутки до выпадения осадков с их минерализацией и кислотностью (рис. 4) также подтверждают вывод о большой пространственной неоднородности этих показателей. Анализ обратных траекторий свидетельствует и о том, что на связь значений рН и минерализации с направлением накладывается воздействие локальных источников, что проявляется в их средних значениях и в отдельные дни. Направление ветра определяли для последних суток, следовательно, при средней скорости ветра ~10–20 м/с воздушная масса за это время проходила расстояние ~1000–1500 км. Территория с таким радиусом — преимущественно Западная Европа и ЕТР, где велика роль антропогенных источников загрязнения воздуха. Тем не менее на рис. 4 видно, что при ветре юго-западных румбов, наиболее частых во многих пунктах отбора проб, проявляются наименьшая минерализация (рис. 4, а) и повышенные значения рН (рис. 4, б).

Состав осадков очень сильно зависит от синоптической ситуации, определяющей скорость перемещения воздушных масс, происхождение осадков и продолжительность их выпадения, т.е. очищения атмосферы [10]. На протяжении эксперимента эти факторы были довольно разнообразны: часть осадков была связана с активными конвективными процессами над ЕТР и носила внутримассовый характер, другая — с осадками фронтального генезиса.

Так, осадки в первую декаду июня были вызваны конвективными процес-

Рис. 4. Минерализация (а) и рН (б) осадков с учетом направления переноса воздушных масс в средней тропосфере в последние сутки до выпадения осадков

сами на периферии обширной области высокого давления с центром над севером ЕТР и Баренцевым морем. Обратные траектории воздушных масс 02.06.2013 имеют выраженную восточную компоненту, особенно на востоке Московской области; на западе области усиливалась северо-восточная составляющая. Прохождение воздухом длительного пути над внутриконтинентальными районами, возможно, объясняет высокие значения минерализации осадков в эти дни. Осадки, выпавшие 12.06. имеют иной генезис и связаны с системой фронтов окклюдированного циклона с центром над севером ЕТР, они характеризуются небольшой минерализацией, поскольку до этого дожди шли несколько дней, что очистило атмосферу. По мере продвижения от юго-восточных районов Московской области к северо-западным юго-западные траектории постепенно сменяются западными и северо-западными.

Воздушные массы 25.06 пришли к Москве с востока — территория области находилась под влиянием обширного высотного антициклона. К 30.06 вновь установился устойчивый восточный перенос воздуха из внутриконтинентальных районов. Ситуация резко изменилась к 09.07 — осадки в этот день связаны с волной атмосферного фронта, послужившей причиной формирования глубокого циклона, который, то ослабевая то вновь усиливаясь, определил режим осадков во весь период дальнейших наблюдений в июле. Смещение его центра изменило направление ветра в свободной атмосфере: северный ветер (09.07) сменился на северо-западный, южный (14.07—15.07), а затем вновь на западный и северо-западный из атлантического сектора (19.07). Затем центр циклона сместился к центру ЕТР, и траектории отражают сложное перемещение воздуха в вихре, поэтому выделить преобладающее направление траекторий затруднительно.

Рассмотрим подробнее пространственную изменчивость кислотности осадков и их ионного состава в разные дни наблюдений. Значения рН, концентрация ионов и минерализация для дней, когда наблюдения проводились более чем в 4 пунктах, приведены в табл. 2.

Выявлена довольно пестрая картина распределения химического состава осадков по территории в отдельные дни. Однако в некоторых случаях можно все же выявить устойчивые закономерности состава осадков. В частности, в центре Москвы, на Новом Арбате, практически во все дни наблюдений преобладали сульфаты, в МО МГУ — хлориды, на Таганке — гидрокарбонаты. В то же время иногда хлориды

преобладали одновременно на нескольких пунктах наблюдений в дни, когда были собраны осадки (12.06, 30.06, 07.07, 21.07), причем явная связь с направлением ведущего потока не выявлена.

Таким образом, по данным одновременных измерений химического состава осадков в Московском регионе и в разных районах Москвы получена довольно пестрая картина, особенно для города, что может свидетельствовать о локальном характере загрязнения осадков. Более высокие значения рН в целом характерны для восточных районов Подмоскovie. Кислотные осадки наблюдаются как на площадке МО МГУ, так и в чистых удаленных районах (Сатино). В составе ионов в целом преобладает кальций в комбинации с гидрокарбонатами, хлоридами, сульфатами.

#### **Выводы:**

— летом 2013 г. отмечено типичное для последних лет доминирование кислотных осадков с преобладанием ионов кальция и хлоридов для территории МО МГУ;

— по данным одновременных измерений химического состава осадков и их кислотности установлено, что пространственная связь этих показателей в черте Москвы практически отсутствует, что может свидетельствовать о локальном характере загрязнения осадков;

— в Подмоскovie для близких пунктов наблюдений (Щелково и Валентиновка) характерно сохранение преобладающих пар ионов в пробах вне зависимости от минерализации, что может свидетельствовать о действии в этих случаях удаленного атмосферного переноса;

— анализ данных для всего Московского региона выявил более высокие значения рН в восточных районах Подмоскovie. Кислотные осадки наблюдались в МО МГУ, а также в “чистых” удаленных районах (Сатино). В ионном составе осадков преобладал катион кальция в комбинации с гидрокарбонатами, хлоридами, сульфатами.

Полученные в ходе эксперимента закономерности в будущем планируется проверить на большем фактическом материале, а также провести дополнительные модельные расчеты для выявления возможных источников загрязнения.

Авторы выражают благодарность Е.В. Горбаренко, Е.Ю. Ждановой, В.С. Платонову, Е.Г. Столяровой, О.А. Шиловцевой, принимавшим участие в сборе проб осадков для эксперимента. Авторы также признательны лаборатории ARL (NOAA, США) за предоставленные возможности использовать траекторную модель HYSPLIT.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Алоян А.Е. Моделирование динамики и кинетики газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. М.: Наука, 2008.
2. Беликов И.Б., Горбаренко Е.В., Елохов А.С. и др. Эколого-климатические характеристики атмосферы в 2011 г. по данным метеорологической обсерватории МГУ / Под ред. Н.Е. Чубаровой. М.: МАКС Пресс, 2012.

3. Еремина И.Д. Многолетние наблюдения за химическим составом атмосферных осадков в Москве // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2004. № 2. С. 21–26.

4. Еремина И.Д. Мониторинг химического состава атмосферных осадков по наблюдениям метеорологической обсерватории МГУ // Альтернативная энергетика и экология. 2013. № 6. Ч. 2. С. 80–87.

Таблица 2

## Кислотность и преобладающие ионы в осадках, выпавших более чем в 4 пунктах, в период проведения эксперимента (2013)

pH и главный ион	Покровка	Дорохово	Алабино	Сатино	Домодедово	Валентиновка	Софрино	Щелково	Новый Арбат	Таганка	МО МГУ
	02.06										
pH	5,90						6,25		6,25		4,80
Анион	SO <sub>4</sub>						HCO <sub>3</sub>		SO <sub>4</sub>		Cl
Катион	Ca						Ca		Ca		Ca
12.06											
pH	6,75	5,85			6,95				5,65		4,50
Анион	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>			HCO <sub>3</sub>				SO <sub>4</sub>		Cl
Катион	Mg	Ca			K				Ca		NH <sub>4</sub> , Ca
25.06											
pH							5,55		7,20	6,50	5,65
Анион							Cl		SO <sub>4</sub>	Cl	Cl
Катион							Ca		Ca	Ca	Ca
30.06											
pH	5,50		5,55	4,20	6,45				5,30	6,50	4,55
Анион	NO <sub>3</sub>		Cl, NO <sub>3</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>				SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub>	Cl
Катион	Ca		Ca	NH <sub>4</sub>	Ca				Ca	Ca	Ca
07.07											
pH			5,15	5,90	6,50			6,60			4,90
Анион			Cl, NO <sub>3</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>			HCO <sub>3</sub>			Cl
Катион			Ca	Ca	Ca			Ca			Ca
09.07											
pH	5,95		6,40		6,95		6,60		5,35		4,65
Анион	SO <sub>4</sub>		HCO <sub>3</sub>		HCO <sub>3</sub>		Cl		SO <sub>4</sub>		Cl
Катион	Ca		Ca		Ca		Na		Ca		Ca
14.07											
pH	5,90	5,70	6,40	5,35					6,60		4,25
Анион	Cl	SO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub>					NO <sub>3</sub>		Cl
Катион	K	Ca	Ca	NH <sub>4</sub> , Ca					Ca		Ca
15.07											
pH	5,75		6,60		6,55	5,85	6,40	7,10			4,40
Анион	SO <sub>4</sub>		HCO <sub>3</sub>		HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>			Cl
Катион	NH <sub>4</sub>		Ca		K	Ca	Na, K	Ca			Ca
20.07											
pH	5,90		6,25	4,05		5,90		6,90	5,35		5,40
Анион	HCO <sub>3</sub>		HCO <sub>3</sub>	Cl		HCO <sub>3</sub>		SO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>		Cl
Катион	Ca		Ca	NH <sub>4</sub>		Ca		Ca	Ca		Ca
21.07											
pH		5,10	5,75	5,70	7,10	6,10	6,50	6,35	6,95		4,50
Анион		Cl	Cl	Cl	HCO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub> , NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>		Cl
Катион		K	NH <sub>4</sub>	Ca, NH <sub>4</sub>	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca		Ca
22.07											
pH			5,70	5,70		5,55					4,90
Анион			HCO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>		SO <sub>4</sub> , Cl					Cl
Катион			Ca, Mg	NH <sub>4</sub>		Ca					Ca

5. *Еремина И.Д.* Изменения кислотности и химического состава атмосферных осадков в Москве в течение 30 лет // Тр. конф. "Загрязнение атмосферы городов". Санкт-Петербург, 1–3 октября 2013 г. СПб., 2013. С. 115–117.

6. *Еремина И.Д., Григорьев А.В.* Кислотность и химический состав снежного покрова в Москве и Подмоскowie за период 1999–2006 гг. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2010. № 3. С. 55–60.

7. *Израэль Ю.А., Назаров И.М., Прессман А.Я.* и др. Кислотные дожди. Л.: Гидрометеоиздат, 1983.

8. Официальный сайт Гидрометцентра РФ. URL: [meteoinfo.ru](http://meteoinfo.ru).

9. *Ревокатова А.П., Суркова Г.В., Кислов А.В.* О методе оперативного расчета эмиссий загрязняющих веществ в атмосферу на примере Москвы и Московской области // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2013. № 1. С. 33–42.

10. *Суркова Г.В., Еремина И.Д., Мордкович П.А.* О влиянии крупномасштабного атмосферного переноса на хими-

ческий состав и количество атмосферных осадков в центре европейской территории России // Метеорология и гидрология. 2010. № 4. С. 36–44.

11. *Draxler R.R., Rolph G.D.* HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) model access via NOAA ARL READY Website NOAA Air Resources Laboratory, College Park, MD. 2013. URL: <http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php> (дата обращения: 15.10.2013).

12. *Galloway J.N., Likens G.T., Keene W.C., Miller J.M.* The composition of precipitation in remote areas of the world // J. Geophys. Res. 1982. Vol. 87, N 11. P. 8771–8786.

13. *Rolph G.D.* Real-time Environmental Applications and Display system (READY) Website NOAA Air Resources Laboratory, College Park, MD. 2013. URL: <http://www.ready.noaa.gov> (дата обращения: 16.10.2013).

Поступила в редакцию  
07.05.2014

**I.D. Yeremina, N.E. Chubarova, L.I. Alexeeva, G.V. Surkova**

#### **ACIDITY AND CHEMICAL COMPOSITION OF SUMMER PRECIPITATION WITHIN THE MOSCOW REGION**

Spatial variability of acidity and chemical composition of precipitation within the Moscow city and the Moscow region is analyzed basing on the results of the experiment carried out during summer 2013. The results were compared with the reference data from the MSU Meteorological Observatory where practically each precipitation event during more than 30 years was sampled and analyzed (ion composition and acidity).

The synoptic processes were described and the technique of reverse trajectories of particles was applied. It was demonstrated that a little bit higher pH values are typical for the eastern part of the Moscow region. Acid rains could occur both in the centre of the city and in the clean remote areas. The general composition of ions in the Moscow region is characterized by predominance of Ca cations in combination with various anions, i.e. hydrogen carbonates, chlorides and sulfates. Unlike this, for already about 10 years the chlorides are predominant anions in precipitation sampled at the MSU Meteorological Observatory. The ratio of main ions is spatially more stable than the mineralization and the pH values. Generally rather diverse pattern of distribution of mineralization and pH values, particularly within the megapolis area is most probably an indicator of prevailing influence of local sources on the precipitation pollution.

*Key words:* Moscow region, atmospheric precipitation, chemical composition, pollution.