

Сравнительная оценка состояния длительного загрязнения атмосферы и снежного покрова г. Новосибирска на сети стационарных постов Гидрометеослужбы

В.Ф. Рапута¹, В.В. Коковкин², А.Ю. Девятова^{3*}

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6

²Институт неорганической химии СО РАН

630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 3

³Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН

630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 6

Поступила в редакцию 29.01.2010 г.

Приведены результаты экспериментальных исследований загрязнения атмосферного воздуха и снежного покрова вблизи стационарных постов Гидрометеослужбы г. Новосибирска. Установлены качественные и количественные закономерности между содержанием ряда измеренных компонентов примеси в атмосфере и снеге, представляющих собой сажу, бенз(а)пирен, взвешенные вещества, оксиды азота, серы. Обсуждается возможность создания дополнительной системы мониторинга и получения на ее основе более детальной оценки состояния длительного загрязнения атмосферы города.

Ключевые слова: снежный покров, атмосфера, аэрозоль, загрязнение, мониторинг; snow cover, atmosphere, aerosol, contamination, monitoring.

Введение

Сетевые наблюдения состояния загрязнения атмосферного воздуха в крупнейших городах России проводятся уже более сорока лет. Основные принципы, закладываемые при построении сети наблюдений: регулярность, единство программы наблюдений, репрезентативность мест наблюдений [1–3]. Научной основой организации сети наблюдений стали результаты обширного комплекса теоретических и экспериментальных исследований распространения примесей в атмосфере, а также разработки методов химического анализа состава атмосферного воздуха [1, 4–7].

Установлены три категории постов наблюдений за загрязнением атмосферы: стационарный, маршрутный и подфакельный. Стационарный пост предназначен для обеспечения регулярных измерений в одной точке города из специального павильона, в котором также проводятся наблюдения за метеорологическими величинами, определяющими перенос и рассеивание примесей в атмосфере. Подвижные посты используются достаточно эпизодически для отбора проб воздуха на территории города или под факелами промышленных предприятий. Наблюдения на стационарных и маршрутных постах

позволяют восстановить вид распределения концентрации примеси по территории города [1, 4].

Источниками загрязнения атмосферного воздуха г. Новосибирска являются дымовые трубы промышленных предприятий, ТЭЦ, котельных, автомобильный транспорт. К основным загрязняющим примесям следует отнести пыль, сажу, тяжелые металлы, оксиды углерода, серы, азота, формальдегид, полиароматические углеводороды (ПАУ). Для оценки уровня загрязнения атмосферы города создана сеть стационарных постов наблюдений. В настоящее время функционируют 10 постов, исходя из расчета один пост на один район города.

Учитывая довольно сложную структуру размещения источников на территории города, этого количества постов явно недостаточно для оценки текущих и длительных полей загрязнения. В этой связи целесообразно использовать в качестве дополнительного источника информации природные планшеты: снежный, растительный и почвенный покровы [6, 8–15].

Снежный покров является удобным индикатором аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха [8, 9, 15]. Изучение пространственного распределения загрязнения в снеге позволяет ответить на многие вопросы: выявить источники выбросов аэрозольных примесей, дифференцировать зоны интенсивности воздействия и дальность распространения, оценить суммарный выброс и характеристики дисперсного состава примеси [8–12, 14]. Особый интерес

* Владимир Федотович Рапута (raputa@sscc.ru); Василий Васильевич Коковкин (basil@niic.nsc.ru); Анна Юрьевна Девятова.

снежный покров представляет при изучении процессов длительного загрязнения (месяц, сезон).

Цель данной работы заключается в выявлении качественных и количественных взаимосвязей между концентрациями определенных примесей на основании сопряженных исследований загрязнения атмосферного воздуха и снежного покрова на постах г. Новосибирска.

1. Мониторинг загрязнения атмосферы города

В атмосферу г. Новосибирска с выбросами промышленных предприятий и транспорта поступает значительное количество различных вредных веществ. В зависимости от пространственно-временной структуры источников, а также от климатических условий формируется уровень загрязнения атмосферы. Мониторинг атмосферного воздуха г. Новосибирска проводится на стационарных постах Государственной службы наблюдений за состоянием окружающей среды. Схема расположения стационарных пунктов наблюдения за загрязнением (ПНЗ) атмосферного воздуха и среднезимняя роза ветров представлены на рис. 1.

Контроль качества атмосферного воздуха проводится по четырем основным параметрам (взвешенные вещества, диоксиды серы и азота, оксид углерода) и специфическим (оксид азота, хлористый водород, аммиак, фтористый водород, формальдегид, бенз(а)пирен и др.). Посты подразделяются на «региональные фоновые» (ПНЗ 47), «городские фоновые» в жилых районах (ПНЗ 24, 26), «промышленные» вблизи предприятий (ПНЗ 18, 19, 25) и «авто» вблизи автомагистралей или в районах с интенсивным движением транспорта (ПНЗ 1, 21, 49, 54). Это деление является в значительной степени условным, так как взаимное размещение жилых районов города, промышленных площадок предприятий, автомагистралей не позволяет сделать четкого разделения.

Для Новосибирска характерно повышенное содержание в воздухе взвешенных веществ. Среднегодовые концентрации пыли за период с 1992 по 2008 г. превышали санитарно-гигиенический норматив в 1,1–1,7 раза. Значительное влияние на повышенную запыленность воздуха города оказывают: недостаточная благоустроенность территории, качество дорог, малое количество зеленых насаждений, а также метеорологические условия (скорость ветра, количество и интенсивность атмосферных осадков).

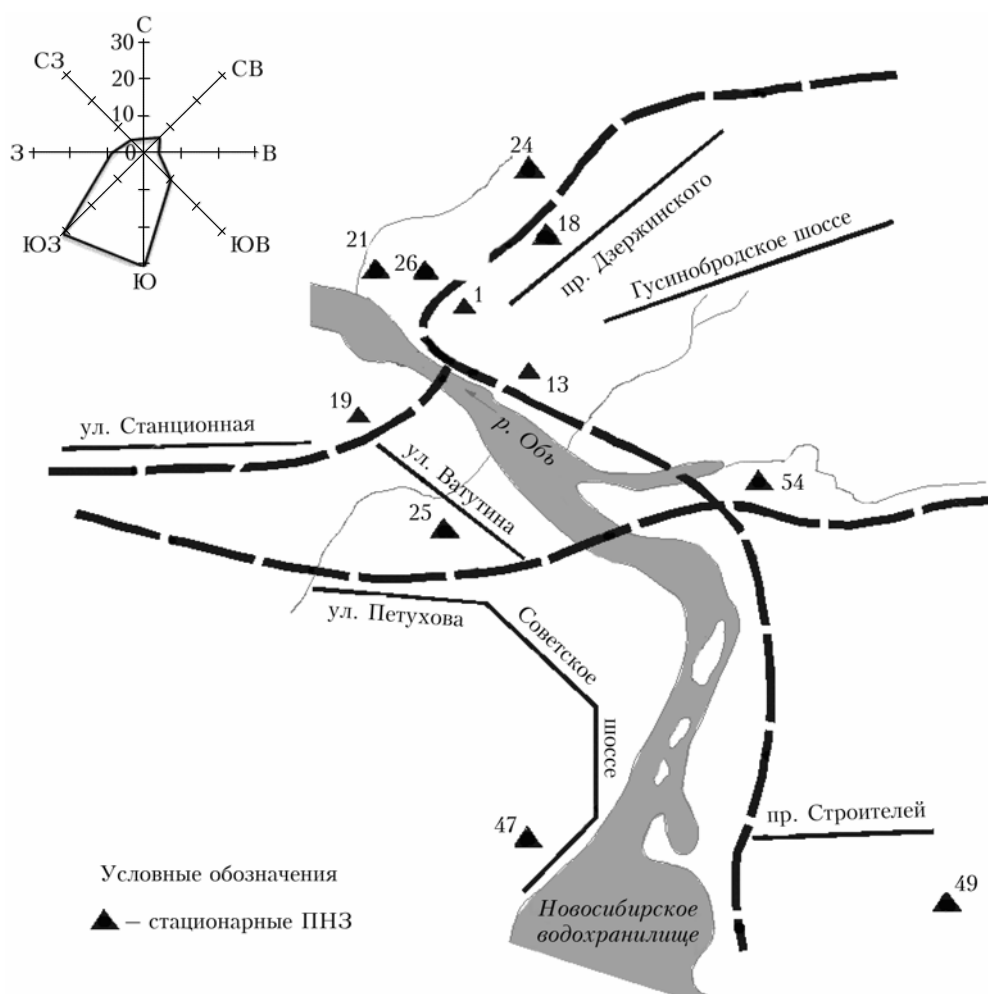


Рис. 1. Схема размещения стационарных ПНЗ на территории г. Новосибирска

Среднемесячные концентрации металлов (кадмий, свинец, ртуть, медь, никель, хром, цинк, железо, марганец) в целом по городу ниже допустимых санитарно-гигиенических нормативов [16].

Основные источники выброса сажи в атмосферу города – ТЭЦ и котельные, работающие на твердом и жидком топливе; печные трубы частного сектора; автомобильный и железнодорожный транспорт. На протяжении всего периода проведения мониторинга атмосферного воздуха повышенное содержание сажи отмечалось в Первомайском районе (ПНЗ 54) города. Этот район представлен большим количеством индивидуальных жилых домов, мелких котельных, асфальтобетонным заводом, крупным железнодорожным узлом. Наблюдения за бенз(а)пиреном проводятся на трех стационарных постах, расположенных в разных районах города (ПНЗ 1, 21, 25). Повышенное содержание бенз(а)пирена в атмосфере отмечается в зимний период, что связано с увеличением нагрузки на отопительную систему (возрастает количество сжигаемого топлива). Повышенное содержание бенз(а)пирена отмечается на автомагистральных постах, расположенных в Центральном и Заельцовском районах (ПНЗ 1, 21).

Для атмосферы города характерно повышенное содержание оксидов азота, особенно диоксида азота. Источниками загрязнения атмосферы оксидами азота являются предприятия топливно-энергетического комплекса, котельные, дымовые трубы печей частного сектора, промышленные предприятия, автотранспорт, железнодорожный транспорт. На содержание диоксида азота в приземном слое атмосферного воздуха существенное влияние оказывают метеорологические параметры (температурные инверсии, скорость ветра, наличие туманов). Диоксид серы поступает в атмосферный воздух как с выбросами от стационарных источников, так и с отработанными газами автотранспорта. Больше всего этой примеси содержится в выбросах автотранспорта, работающего на дизельном топливе [16].

При химическом анализе содержания веществ в атмосфере используются методики [3, 5].

2. Мониторинг загрязнения снежного покрова

Отбор проб снега производился в конце зимних сезонов 2008 и 2009 гг. вблизи стационарных ПНЗ г. Новосибирска. Пробы отбирались с помощью пластмассовой трубы на открытых площадках неповрежденного снежного покрова на всю глубину. Следует отметить, что в городских условиях поиск таких площадок осложнен и не всегда возможен из-за значительной антропогенной нагрузки. В частности, проблемы такого рода возникли вблизи ПНЗ 1, 21, 26, 54. В этом случае площадки для отбора проб смещались до нескольких десятков метров от этих ПНЗ. Наличие значительных градиентов концентраций измеряемых примесей в окрестностях ПНЗ необходимо учитывать при сравнительном анализе данных наблюдений в снеге и атмосфере.

Сравнительная оценка состояния длительного загрязнения атмосферы и снежного покрова г. Новосибирска... 501

Анализ снежных проб проводили в лаборатории после их топления по схемам в зависимости от природы определяемых компонентов [17]. Перед определением неорганических компонентов растопленную пробу пропускали через бумажный и мембранный фильтры с диаметрами пор 3–5 и 0,45 мкм соответственно. Анализу подвергали и осадки, и фильтрат. В фильтрате определяли анионный состав, в том числе нитрат-, нитрит- и сульфат-ионы, с использованием методики на основе капиллярного электрофореза.

Органические компоненты (ПАУ) определяли после их экстракционного концентрирования в хлористый метилен из всего объема нефилтрованной пробы [17]. Осадок после упаривания на ротационном испарителе растворяли в ацетоне. Полученный раствор анализировали на содержание ПАУ методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим окончанием.

3. Параметры для сравнения загрязнения атмосферного воздуха и снега

Для прямого сравнения результатов измерений в воздухе и снеге были выбраны взвешенные вещества (пыль) и осадок; бенз(а)пирен в обеих средах; сажа воздуха сопоставлялась с бенз(а)пиреном и суммой ПАУ в снеге. К сожалению, бенз(а)пирен в г. Новосибирске измеряется только на трех ПНЗ. Поэтому для расширения объема выборки сравнения в данной работе была использована сажа, содержание которой в атмосфере измеряется на всех ПНЗ. Сажа является известным индикатором присутствия бенз(а)пирена (ПАУ) в воздухе [18].

Другими неочевидными параметрами для сравнения в рассматриваемых средах нами были выбраны: оксиды азота (NO_2 , NO), с одной стороны, и нитраты, нитриты – с другой, а также оксид серы (IV) и сульфаты. Из литературных данных известно [8], что оксиды азота и серы являются газовыми предшественниками вышеперечисленных анионов в аэрозольных выпадениях в снег. Расчет среднезимних концентраций примесей, измеряемых в атмосфере, проводился за период времени с середины ноября по середину марта, что примерно соответствует периоду залегания устойчивого снежного покрова в городе [19].

4. Результаты и обсуждение

Результаты экспериментальных исследований приводятся в виде диаграмм, на которых по вертикальной оси представлена величина сопоставляемых параметров, на горизонтальной оси указаны порядковые номера ПНЗ. В случаях, когда между сравниваемыми величинами помимо качественного имеется и достаточно близкое количественное согласие, приводятся также диаграммы отношений (K) соответствующих параметров в снеге и воздухе.

Осадок в снеготалой пробе / взвешенные вещества в атмосфере

На рис. 2 представлена диаграмма отношений концентраций этих параметров по восьми ПНЗ за зимний сезон 2008/09 г.

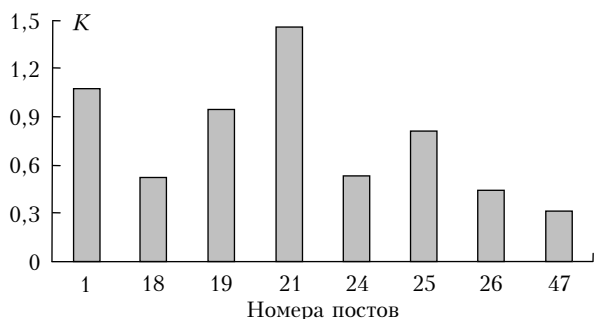


Рис. 2. Отношение концентраций (K) взвешенных веществ в воздухе ($\text{мг}/\text{м}^3$) за зимний период 2008/09 г. к удельному осадку в снеге ($\text{мг}/\text{л}$) для ПНЗ г. Новосибирска

Из диаграммы видно, что разброс отношений K довольно значительный и находится в интервале от 0,3 до 1,5 единицы. Максимальное значение K достигается для ПНЗ 21, минимальное – для ПНЗ 47. Для ПНЗ 47 следует отметить, что он является, по сути, фоновым для региона г. Новосибирска, так как расположен на входе в город господствующих в зимнее время ветров [19]. Поэтому здесь возможной причиной занижения отношения K является неполный учет в осадке растворившейся части мелко-дисперсной аэрозольной фракции в снеготалой воде.

Вместе с тем на рис. 2 можно выделить две группы постов, близких по значениям K . В первую группу следует включить ПНЗ 1, 19, 21, 25, а во вторую – ПНЗ 18, 24, 26, 47. Такое разделение между группами можно объяснить разнородностью территорий расположения ПНЗ. Посты первой группы находятся в зонах непосредственного влияния промышленных предприятий и автотрасс, посты второй группы – в условно фоновых районах города. Для лучшего понимания факторов, влияющих на K , необходимо продолжение исследований в этом направлении.

Сумма ПАУ/сажа; бенз(а)пирен/сажа

На рис. 3 представлены значения концентраций сажи в воздухе, а также суммы ПАУ и бенз(а)пирена в снеге за зимние сезоны 2007/08 и 2008/09 г.

Из приведенных диаграмм видно, что значения рассматриваемых параметров от поста к посту меняются вполне согласованно. В целом, большим значениям суммы ПАУ и бенз(а)пирена в снеге соответствуют большие значения сажи в воздухе. Такое соотношение подтверждает возможность использования сажи в качестве индикатора ПАУ не только для воздуха, но и для снега. Как и следовало ожидать, минимальные и максимальные значения этих параметров достигнуты соответственно на ПНЗ 47 (фоновом) и 54, существенно отличающихся по уровню

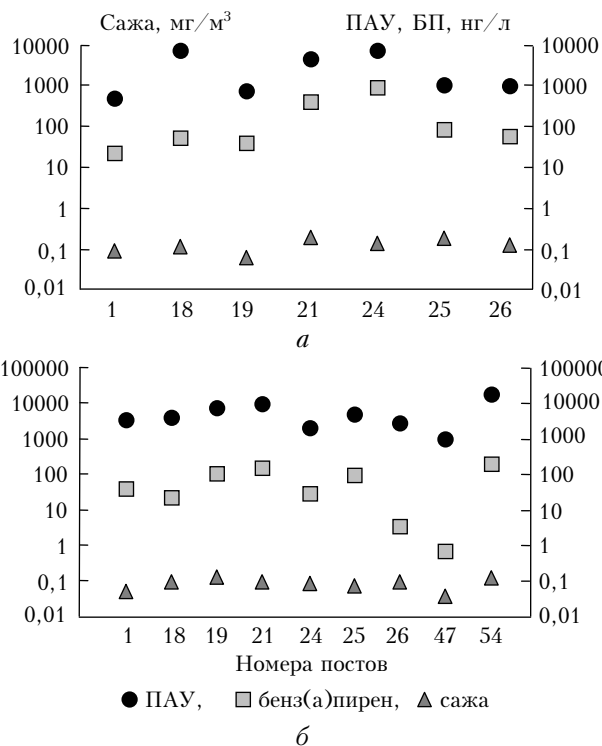


Рис. 3. Содержание сажи в атмосферном воздухе ($\text{мг}/\text{м}^3$), а также бенз(а)пирена и суммы ПАУ в снежном покрове ($\text{нг}/\text{л}$) на постах г. Новосибирска для зимних сезонов: а – 2007/08 г.; б – 2008/09 г.

антропогенной нагрузки. Следует также отметить, что в среднем по постам содержание суммы ПАУ и бенз(а)пирена в снеге для обоих зимних сезонов было примерно одинаковым. Это означает, что структура и мощность источников ПАУ в г. Новосибирске практически не отличались в рассматриваемые периоды времени.

Отношение нитрат-анионов к оксиду азота (II, IV); нитрит-анионов к оксиду азота (II, IV); сульфат-анионов к оксиду серы (IV)

Сопоставление изменения концентраций оксидов азота в атмосферном воздухе, а также нитрат- и нитрит-анионов в снежном покрове на ПНЗ показало вполне удовлетворительное согласие (рис. 4) для обоих зимних сезонов. Исключение составил лишь ПНЗ 1, находящийся в непосредственной близости от автомагистрали, для которого отсутствовали представительные площадки для пробоотбора снега. В этой связи в зимнем сезоне 2007/08 г. отбор проб снега был проведен внутри жилой застройки на значительном удалении от него. В результате концентрация нитрат-ионов в снеге оказалась значительно ниже ожидаемой (рис. 4, а).

С учетом этого обстоятельства в сезоне 2008/09 г. площадка для отбора снега была размещена на том же расстоянии от автомагистрали, что и ПНЗ, но смещена от него на 30 м. В результате значения концентраций нитрат-ионов оказались вполне согласованными (рис. 4, б).

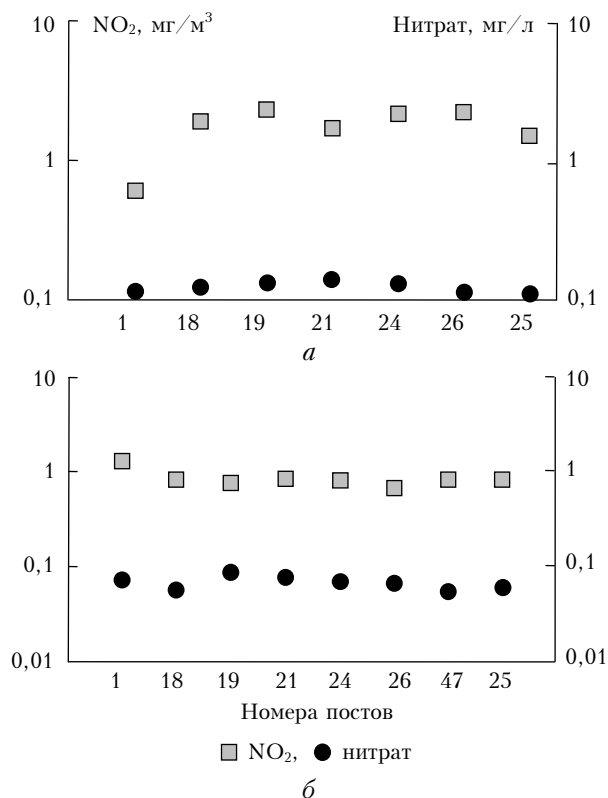


Рис. 4. Содержание NO_2 в атмосферном воздухе (mg/m^3) и нитрат-ионов в снежном покрове (mg/l) для зимних сезонов: *a* – 2007/08 г.; *б* – 2008/09 г.

Совместный анализ рис. 4, *a* и *б* показывает, что в зимнем сезоне 2008/09 г. произошло резкое, более чем в 2 раза, уменьшение содержания как оксидов азота (IV) в воздухе, так и нитрат-ионов в снеге по сравнению с сезоном 2007/08 г. Такое согласованное уменьшение измеряемых параметров в обеих средах на всех ПНЗ не является случайным. Оно связано как с изменением структуры, так и со снижением мощности выбросов источников оксидов азота. Возможной причиной этого могут быть кризисные процессы в экономике, начавшиеся в 2008 г.

На рис. 5 представлены отношения концентраций нитрат- и нитрит-ионов к концентрациям оксидов азота в воздухе. Данные по нитрат-ионам получены для обоих зимних сезонов (рис. 5, *a*), для нитрит-ионов – для зимнего сезона 2008/09 г. (рис. 5, *б*).

Из рис. 5, *a* следует, что по большинству постов имеет место достаточно высокая степень количественного согласия представленных параметров. Это дает возможность взаимного пересчета данных из одной среды на другую, а также расширения сети наблюдений на территории города в зимнее время. Аналогичная картина наблюдается и для нитрит-ионов (рис. 5, *б*). Однако в данном случае требуется проведение дополнительных исследований вследствие низких концентраций обоих измеряемых параметров, а также относительно небольшой к настоящему времени выборки данных по ПНЗ.

На рис. 6 приведены результаты измерений концентраций сульфат-ионов в снеге и диоксида серы

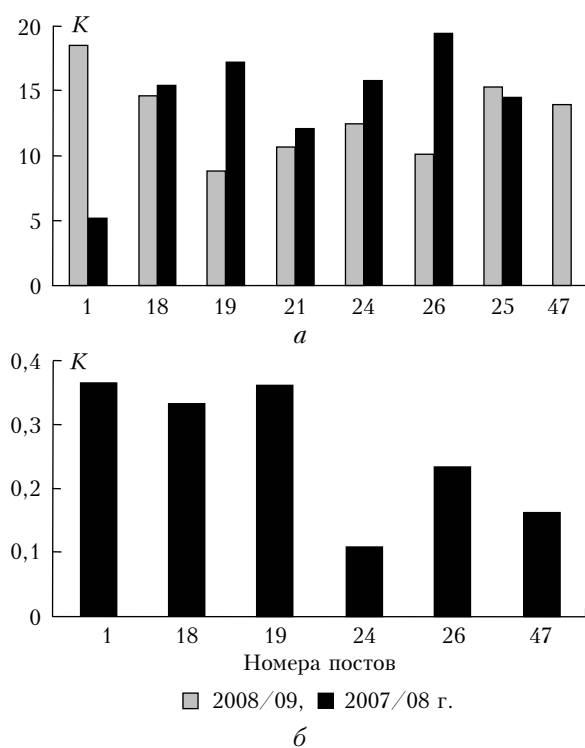


Рис. 5. Отношение концентрации диоксида азота в воздухе (mg/m^3) к концентрации нитрат-ионов в снеге (mg/l) для ПНЗ г. Новосибирска за зимние сезоны 2007–2009 г. (*a*) и оксида азота к нитрит-ионам в снеге за зимний период 2008/09 г. (*б*)

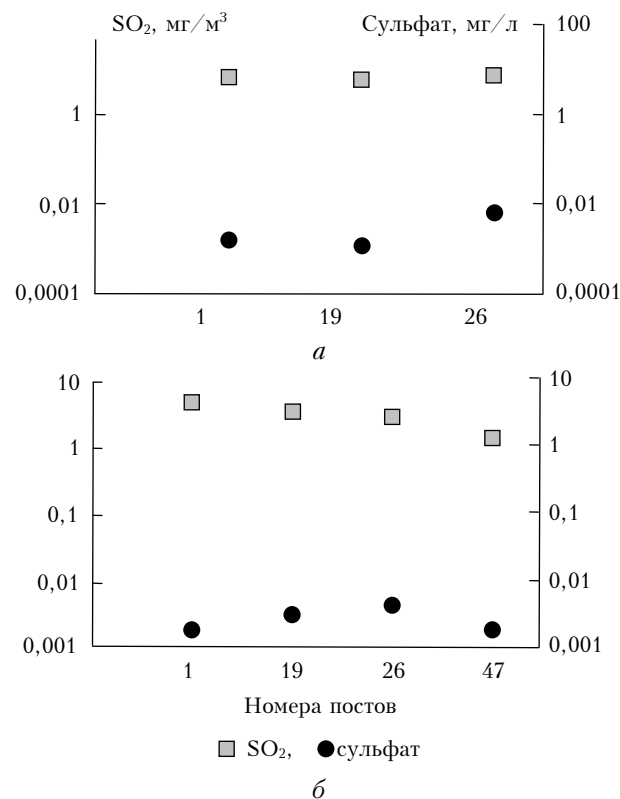


Рис. 6. Содержание SO_2 в атмосферном воздухе (mg/m^3) и сульфат-ионов в снежном покрове (mg/l) на постах г. Новосибирска для зимних сезонов: *a* – 2007/08 г.; *б* – 2008/09 г.

в атмосфере за зимние сезоны 2007–2009 гг. Несмотря на ограниченные возможности сопоставления измеряемых параметров, полученные результаты показывают определенную степень их взаимного изменения в обеих средах. Также как и для диоксида азота и нитрат-ионов, в данном случае наблюдается некоторое снижение уровней концентраций и диоксида серы в воздухе и сульфат-ионов в снеге для зимнего сезона 2008/09 г. в сравнении с сезоном 2007/08 г. Однако в данном случае такая тенденция менее выражена, чем для оксидов азота.

Заключение

Результаты экспериментальных исследований и численного анализа данных наблюдений загрязнения атмосферного воздуха и снежного покрова на стационарных постах Гидрометеослужбы г. Новосибирска позволили установить качественные и количественные закономерности между концентрациями ряда компонентов примеси, таких как сажа и бенз(а)пирен (ПАУ); оксиды азота и нитрат/нитрит-анионы; диоксид серы и сульфаты; взвешенные вещества и осадок. Наиболее высокий уровень согласия получен между уровнями концентраций нитратов и нитритов в снеге и соответствующими оксидами азота в атмосфере. Результаты этих исследований могут быть использованы для взаимного контроля данных наблюдений в снеге и приземном слое воздуха, существенного дополнения в зимнее время стационарной сети наблюдений.

Полученные зависимости указывают на возможность создания экономичной системы мониторинга и получения на ее основе более детальной оценки состояния длительного загрязнения атмосферы города в зимнее время и определения источников на его территории. В дальнейшем проведенные исследования могут послужить основой для разработки нормативных критериев (ПДК) для оценки загрязнения снежного покрова (на сегодняшний день ПДК в снежном покрове не установлены).

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 16, интеграционного проекта СО РАН № 84.

1. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 200 с.
2. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. Чем дышит промышленный город. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 256 с.
3. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1979. 448 с.

4. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 448 с.
5. Временные методические указания по химическому анализу атмосферного воздуха с отбором проб на твердые пленочные сорбенты. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 36 с.
6. Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 334 с.
7. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. М.: ИМГРЭ, 1990. 16 с.
8. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 182 с.
9. Бояркина А.П., Байковский В.В., Васильев Н.В., Глухов Г.Г., Медведев М.А., Писарева Л.Ф., Резищев В.И., Шелудько С.И. Аэрозоли в природных планшетах Сибири. Томск: Изд-во ТГУ, 1993. 157 с.
10. Таловская А.В., Язиков Е.Г., Панченко М.В., Козлов В.С. Мониторинг потоков аэрозольных выпадений в фоновых районах Томской области в зимний период 2006 и 2007 гг. // Оптика атмосфер. и океана. 2008. Т. 21. № 6. С. 498–503.
11. Рапута В.Ф., Королева Г.П., Горшков А.Г., Ходжер Т.В. Исследование процессов длительного загрязнения окрестностей Иркутска тяжелыми металлами // Оптика атмосфер. и океана. 2001. Т. 14. № 6–7. С. 623–626.
12. Павлов В.Е., Суторихин И.А., Хвостов И.В., Зинченко Г.С. Снежный покров как индикатор загрязнения урбанизированной территории Алтайского края // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22. № 1. С. 96–100.
13. Рапута В.Ф., Олькин С.Е., Резникова И.К. Модель оценивания аэрозольных выпадений бенз(а)пирена в окрестностях Новосибирского электродного завода // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22. № 6. С. 601–604.
14. Королева Г.П., Горшков А.Г., Виноградова Т.П., Бутаков Е.В., Маринайте И.В., Ходжер Т.В. Исследование загрязнения снегового покрова как деполирующей среды (Южное Прибайкалье) // Химия в интересах устойчивого развития. 1998. Т. 6. № 4. С. 327–337.
15. Прокачева В.Г., Усачев В.Ф. Снежный покров в сфере влияния города. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 176 с.
16. О санитарно-эпидемиологической обстановке и соблюдении законодательства в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека на территории Новосибирской области в 2008 году: Государственный доклад. Новосибирск, 2009. 343 с.
17. Рапута В.Ф., Олькин С.Е., Резникова И.К. Методы численного анализа данных наблюдений регионально-загрязнения территорий площадным источником // Оптика атмосфер. и океана. 2008. Т. 21. № 6. С. 558–562.
18. Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 224 с.
19. Климат Новосибирска / Под ред. С.Д. Кошинского, К.Ш. Хайруллина, Ц.А. Швер. Л.: Гидрометеоздат, 1979. 221 с.

V.F. Raputa, V.V. Kokovkin, A.Yu. Devyatova. Comparative estimation of the atmosphere and snow cover long-term contamination at Novosibirsk Hydrometeoservice network stationary posts.

The results of atmosphere and snow cover contamination experimental investigations at the Novosibirsk Hydrometeoservice network stationary posts are presented. Qualitative and quantitative regularities between the measured content of impurity component series in the atmosphere and snow, including soot, benzo(a)pyrene, suspended substances, nitrogen, and sulfur oxides are obtained. A possibility of constructing mutually adding monitoring system and more detailed long term city atmosphere contamination estimation on its basis are discussed.