

На правах рукописи



**Трубицина Ольга Петровна**

**СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И  
ОСАДКОВ НА СЕВЕРЕ РУССКОЙ РАВНИНЫ ПО ДАННЫМ  
МОНИТОРИНГА**

25.00.36 – геоэкология

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Архангельск – 2007

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Поморский государственный университет им. М.В. Ломоносова»

**Научный руководитель:** доктор геолого-минералогических наук,  
**Ю.Г. Шварцман**

**Официальные оппоненты:** доктор географических наук  
**В.Б. Коробов**  
кандидат географических наук  
**В.А. Гинзбург**

**Ведущая организация:** Институт географии РАН

Защита состоится «21» \_\_\_\_\_ мая \_\_\_\_\_ 2007 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета Д 002.049.01 в ГУ Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН по адресу: РФ, 107258, ул. Глебовская, д. 20-Б

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГУ Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН

Автореферат разослан «21» \_\_\_\_\_ апреля \_\_\_\_\_ 2007 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор географических наук



Г.М. Черногаева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Север Русской равнины географически занимает обширную территорию ( $70^{\circ}$  с.ш. –  $59^{\circ}$  ю.ш.;  $36^{\circ}$  з.д. –  $64^{\circ}$  в.д.), включая такие ландшафтные зоны, как субарктическая (с подзонами арктической, типичной, южной тундры и лесотундры) и таежная, или бореальная (с подзонами северной, средней и южной тайги). На его территории располагаются Архангельская, Череповецкая, Котласская, Сыктывкарская, Ухтинская агломерации. В этих промышленных центрах сосредоточены крупные целлюлозно-бумажные, металлургические, химические, нефтегазодобывающие и перерабатывающие предприятия. Эти отрасли хозяйства являются одними из наиболее экологически грязных. Их выбросы и сбросы негативно воздействуют на хрупкую природу Севера. В связи с этим представляется актуальным анализ состояния атмосферного воздуха и осадков, которые находятся под техногенным воздействием этих предприятий.

**Объектом исследования** является атмосферный воздух и осадки Севера Русской равнины.

**Предмет исследования** – химический состав атмосферного воздуха и осадков Севера Русской равнины.

**Целью исследования** является выявление тенденций в изменении химического состава атмосферного воздуха и осадков и их роли в закислении природной среды Севера Русской равнины.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. создать банк данных мониторинга химического состава атмосферного воздуха и осадков, выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями за период 1982 – 2003 гг. по данным ежегодников, обзоров, статистических данных и первичных материалов УГМС;
2. выявить тенденции изменения выбросов загрязняющих веществ и сравнить их с данными мониторинга атмосферного воздуха;
3. выявить пространственное распределение проявлений закисления осадков по частоте обнаружения в современный период;
4. определить возможную нейтрализацию кислотообразующих компонентов в атмосферных выпадениях;
5. рассчитать нагрузки выпадений серы и сопоставить их с критическими нагрузками ЕМЕП для данного региона.

**Научная новизна диссертации.** Впервые на основании данных многолетнего мониторинга проведен детальный региональный анализ загрязнения атмосферных осадков и снежного покрова кислотообразующими соединениями на Севере Русской равнины.

**Практическая значимость.** Созданная электронная база данных передана для использования в Северное Управление гидрометслужбы. Результаты работы могут быть использованы региональными экологическими организациями для создания комплексной программы экологического

мониторинга в следующих субъектах РФ: Архангельская область, Ненецкий автономный округ, Вологодская область, Республика Коми, а также в образовательных учреждениях для проведения научных исследований, лекционных курсов и практических занятий по географии, экологии в учебном процессе школ и ВУЗов.

**Личный вклад.** Создана электронная база данных мониторинга химического состава атмосферного воздуха, осадков и выбросов загрязняющих веществ для рассматриваемой территории. Выявлены тенденции изменений в загрязнении атмосферного воздуха и осадков, рассчитанные по комплексному показателю и отдельным веществам. Определена частота проявления пониженных значений pH, выполнен расчет нейтрализации кислотообразующих соединений, нагрузок выпадений серы на экосистемы исследуемой территории. Построена карта-схема отношений фактических нагрузок атмосферных выпадений серы к критическим для лесных и водных экосистем.

**Апробация работы.** Материалы диссертационного исследования были доложены и обсуждены на 8 международных, всероссийских и региональных научных и научно-практических конференциях, в том числе на Международном молодежном экологическом форуме стран Баренц – региона (г. Архангельск, Архангельский государственный технический университет, 2001); международных конференциях «Поморье в Баренц – регионе на рубеже веков: экология, экономика, культура» (г. Архангельск, Институт экологических проблем Севера УрО РАН, 2000), «Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения» (г. Архангельск, Институт экологических проблем Севера УрО РАН, 2002), «Экология 2003» (г. Архангельск, Институт экологических проблем Севера УрО РАН, 2003), всероссийских конференциях с международным участием «Биологические аспекты экологии человека» (г. Архангельск, Институт физиологии природных адаптаций УрО РАН, 2004), «Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов» (г. Архангельск, Институт экологических проблем Севера УрО РАН, 2004); региональных научно-практических конференциях «Ломоносовские аспирантские и студенческие научные чтения», «Молодые ученые Поморья» (г. Архангельск, ПГУ им. М.В. Ломоносова, 2000, 2001).

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 6 глав, выводов и списка используемой литературы (204 наименования, из них 11 на иностранных языках). Общий объем диссертации составляет 118 страниц, в том числе 26 рисунков, 10 таблиц.

**Основные научные положения, выносимые на защиту.**

1. Результаты сопоставления выявленных в работе тенденций изменения выбросов и уровня изменения качества атмосферного воздуха в городах Севера Русской равнины по данным мониторинга.
2. Пространственное распределение закисленных осадков на исследуемой территории.

3. Результаты расчетов нейтрализации кислотообразующих компонентов за холодный и теплый периоды.
4. Результаты сопоставления рассчитанных нагрузок выпадений серы с критическими нагрузками ЕМЕП для данного региона.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Введение** содержит характеристику актуальности, объекта и предмета исследования, цели, задач, научной новизны, практической значимости работы, личный вклад, сведения об апробации результатов, краткое описание структуры и содержания диссертации, а также выносимые на защиту положения.

### **1. Физико-географическая характеристика региона**

#### **1.1. Общие сведения**

Представлены физико-географические особенности Севера Русской равнины (70<sup>0</sup> с.ш. - 59<sup>0</sup> ю.ш.; 36<sup>0</sup> з.д. - 64<sup>0</sup> в.д.), основные черты рельефа, климата, почв.

#### **1.2. Физико-географические особенности территории**

Север Русской равнины включает такие ландшафтные зоны, как субарктическая (с подзонами арктической, типичной, южной тундры и лесотундры) и таежная или бореальная зону (с подзонами северной, средней и южной тайги).

В рассматриваемом регионе выделяются две закономерности: 1) широтная зональность характеризуется постепенным увеличением солнечной инсоляции и теплообеспеченности в направлении с севера на юг, что усиливает испарение и влагооборот, почвообразование, биотический круговорот веществ, увеличивается биотическая продуктивность, становится богаче растительный и животный мир; 2) «меридиональная», или долготная, зональность, обусловленная нарастанием континентальности климата в общем направлении с запада на восток. Климат Севера Русской равнины повсеместно избыточно влажный. Это связано с тем, что невысокие запасы тепла обуславливают низкую испаряемость – максимально возможную величину испарения влаги. Годовая величина испаряемости с поверхностей повсюду в 1,5 - 2 раза меньше количества атмосферных осадков.

#### **1.3. Хозяйственное использование**

Север Русской равнины, включающий Архангельскую, Вологодскую области, Республику Коми и Ненецкий автономный округ, относят к крупнейшей в европейской части России топливно-энергетической базе (нефть, природный газ, газовый конденсат, каменный уголь, торф, горючие сланцы). Здесь значительны запасы лесных и водных ресурсов, черных и цветных металлов, химического сырья, строительных материалов, которые активно используются в производственных целях, что способствует развитию здесь промышленности.

### **2. История изучения состояния атмосферного воздуха**

Изучению химического состава атмосферных осадков в нашей стране посвящено большое число работ. В разные годы в отдельных районах России

были проведены эпизодические измерения состава осадков. Регулярные наблюдения за химическим составом атмосферных выпадений были организованы впервые Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Воейкова (ГГО) под руководством Е.С. Селезневой и В.М. Дроздовой в период Международного геофизического года (1957 – 1958 гг.) и следующего за ним года Международного геофизического сотрудничества (1959 г.).

За период 1958 – 1961 гг. эти данные по станциям ЕТС были обобщены в монографии коллектива авторов (В.М. Дроздова, О.П. Петренчук, Е.С. Селезнева, П.Ф. Свистов «Химический состав атмосферных осадков на Европейской территории СССР», 1964). Результаты дальнейших наблюдений частично вошли в монографию (О.П. Петренчук «Экспериментальные исследования атмосферного аэрозоля», 1979), были опубликованы в выпусках «Ежемесячные данные по химическому составу атмосферных осадков за 1962 – 1965 гг.», 1970; 1966 – 1970 гг., ч. I и II., 1985; 1971 – 1975 гг. ч. I и II., 1986; 1976 – 1980 гг., ч. I и II. С 1986 г. по настоящее время эти данные периодически публикуются в трудах ГГО.

С середины 1980 – х гг. территориальные подразделения Росгидромета под руководством Ю.А. Израэля, И.М. Назарова, Ш.Д. Фридмана, В.Н. Василенко начали проведение по всей стране мониторинга загрязнения снежного покрова с целью определения нагрузок загрязняющих веществ на природные экосистемы. Научное обоснование критического или опасного уровня воздействия на экосистемы, в том числе эффектов «кислотных» дождей, было дано в работах академика Ю.А. Израэля в 70-80-х гг. XX-го столетия.

На международном уровне действует созданная в 1977 году Система ЕМЕП. В настоящее время в Системе ЕМЕП работает четыре российских станции мониторинга трансграничного загрязнения атмосферного воздуха. Рабочей группой ЕМЕП определяются уровни критических нагрузок атмосферных выпадений на лесные и водные экосистемы Европы.

Результаты мониторинга снежного покрова и трансграничного загрязнения атмосферного воздуха в обобщенном виде ежегодно публикуются в Обзорах загрязнения природной среды в Российской Федерации (Росгидромет). В Северном УГМС мониторинг загрязнения снежного покрова проводится с 1982 года. Накоплен большой массив данных, который позволяет сделать детальный региональный анализ загрязнения атмосферных осадков и снежного покрова кислотообразующими соединениями на севере Русской равнины.

### **3. Методы и исходные данные исследования**

В качестве **исходных данных** для исследования были использованы:

- Первичные фактические материалы Северного Управления Гидрометеослужбы за 1982 – 2003 гг., включающие данные метеостанций по формам ТХО-1, ТХО-5, ТрН-1 (1990 – 2003 гг.), таблицы загрязнения атмосферы ТЗА-1, маршрутные полевые исследования снежного покрова по всей территории Севера Русской равнины, информационные бюллетени состояния атмосферного воздуха Севера Русской равнины;

- Данные обзоров загрязнения природной среды в Российской Федерации за 1988 – 2003 гг.;
- Данные ежегодников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу городов и регионов Российской Федерации за 1988 – 2003 г., данные формы 2ТП-воздух;
- Данные ежегодников по химическому составу атмосферных осадков за 1988 – 2003 гг.;
- Данные ежегодников состояния загрязнения атмосферного воздуха и выбросов вредных веществ в атмосферу городов на территории деятельности Северного Управления гидрометеослужбы за 1988 – 2003 гг.

#### **Методы анализа данных**

Для обработки электронного банка данных использовались статистические и графические методы.

Обработаны годовые данные снегомерной съемки на 42 станциях за 1982 – 2003 гг., а также суммарные за месяц количества осадков на 13 станциях за 1990 – 2003 гг. по форме ТХО-1, которые уже непосредственно в результате анализов получаются как взвешенные средние значения концентраций основных компонентов осадков за каждый месяц. В результате обработки выявлена частота классов проявления значений рН (%) в диапазоне от 4,0 до 8,0 с шагом 0,4. При вычислении среднегодовых взвешенных рН в пробах атмосферных осадков автором было учтено, что величина  $pH = - \lg [H^+]$ , а, следовательно, получить его среднее простым арифметическим путем невозможно. Поэтому значения рН были переведены в концентрации ионов водорода и затем был использован метод, принятый в ГГО им. А.И. Воейкова (Е.С. Селезневой), который предполагает для каждого ингредиента учет количества выпавших осадков:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot q_i}{\sum_{i=1}^n q_i}, \quad (1)$$

где  $\bar{C}$  - средневзвешенная концентрация компонента ( $H^+$ ) в осадках, мг/л;  $C_i$  - концентрация компонента в пробе, кг/л;  $q_i$  - количество осадков (за месяц), мм;  $n$  - число проб осадков (месяцев).

Для оценки степени загрязнения атмосферного воздуха в промышленных центрах Севера Русской равнины произведен расчет суммарного индекса загрязнения атмосферы (ИЗА). Это комплексный показатель, учитывающий несколько примесей. Величина ИЗА рассчитывается по значениям среднегодовых концентраций. Поэтому этот показатель характеризует уровень хронического, длительного загрязнения воздуха. В соответствии с существующими методами оценки уровень загрязнения считается очень высоким, если суммарный ИЗА превышал 14, высоким –  $14 > \text{ИЗА} > 7$ , повышенным – при  $7 > \text{ИЗА} > 5$ , низким, при  $\text{ИЗА} < 5$ .

Расчёт ИЗА для одного вещества производился по формуле:

$$J_i = (q_{cp.i} / ПДК_{cp.c.})^{Ki} \quad (2)$$

где  $K_i = 0,86; 1,0; 1,3; 1,7$ , соответственно для 4, 3, 2 и 1 класса опасности.

Комплексный ИЗА, учитывающий  $m$  веществ, присутствующих в атмосфере, рассчитывался по формуле:

$$J_{(m)} = \sum_{i=1}^m (q_{cp.} / ПДК_{cp.c})^{k_i} \quad (3)$$

$J_{(m)}$  рассчитывался для  $m = 5$ , т.е. из пяти наибольших значений концентраций веществ, определяющих основной вклад в суммарное загрязнение воздуха. Выбор  $m$  веществ для расчёта  $J_{(m)}$  производится с помощью предварительного составления убывающего вариационного ряда величин  $J_i$ .

При оценке состояния загрязнения воздуха городов использовались среднесуточные и максимально разовые ПДК. Средние за год значения сравнивались со среднесуточными ПДК, установленными Минздравом РФ.

Для расчета нейтрализации закисленных осадков, нагрузок выпадений серы, экологической емкости была использована методика, разработанная Василенко В.Н., Назаровым И.М., Фридманом Ш.Д. (1992 г.).

Нейтрализация закисленных осадков характеризуется коэффициентом  $\delta$ , который равен доле действующих сильных кислот, а величина  $1 - \delta$  - доле нейтрализованных сильных кислот в выпадениях:

$$\delta = 1 - \sum z_j [c_j^{z_{j+}}] / \sum z_i [c_i^{z_{i-}}] \quad \text{при } 0 < \sum^+ / \sum^- < 1$$

$$\delta = 0 \quad \text{при } \sum^+ / \sum^- \geq 1 \quad (4)$$

где  $[c_{j,i}]$  – молярные концентрации главных анионов и катионов;

$z_{j,i}$  - их валентности.

При  $pH = 4,5 - 5,0$  соотношение (4) выполняется с точностью до 15 %. Длительные наблюдения за составом атмосферных осадков показали, что достаточно учитывать лишь главные анионы и катионы:  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ .

Интенсивность зимних выпадений серы  $U_s$ ,  $кг/км^2 * сутки$  определялась по соотношению:

$$U_s = CP / N, \quad (5)$$

где  $C$  – концентрация сульфатной серы в снежном покрове при времени его залегания  $N$  суток;  $P$  – суммарное количество выпавших атмосферных осадков за  $N$  суток;  $Q = CP$  – запас сульфатной серы в снеге.

Фактическая нагрузка загрязняющих веществ в расчете на год  $U_{факт.}$ ,  $кг/км^2 * год$  определялась по выражению:

$$U_{факт.} = P_3 C_3 + P_l C_l = C_3 (P_3 + \frac{1}{k} * P_l), \quad (6)$$

где  $P_3$ ,  $C_3$ ,  $P_l$ ,  $C_l$  – количество атмосферных осадков и средняя концентрация загрязняющих веществ в атмосферных осадках соответственно в зимний и летний периоды;  $k = C_3 / C_l$ .

Под экологической емкостью  $\Delta U_i$  природных экосистем указанные авторы понимают разницу между критическими и фактическими нагрузками, которая определяется по соотношению:

$$\Delta U_i = U_{кр.i} - U_{факт.i} \quad \text{для } U_{кр.i} - U_{факт.i} > 0, \quad (7)$$

где  $U_{кр.i}$  - критическая нагрузка  $i$  - ого ингредиента на природные экосистемы.

При  $U_{кр.i} - U_{факт.i} > 0$  природные экосистемы территории не подвержены антропогенному стрессу. Для территорий, где  $U_{факт.i} > U_{кр.i}$  региональное экологическое состояние становится критическим и влечет за собой деградацию экосистем. Значения уровней критических нагрузок взяты из карт, опубликованных рабочей группой ЕМЕП для исследуемого региона.

#### **4. Состояние атмосферного воздуха на Севере Русской равнины**

##### **4.1. Атмосферные выбросы**

Север Русской равнины является крупнейшей в европейской части России топливно-энергетической базой со значительными запасами лесных и водных ресурсов, черных и цветных металлов, химического сырья, строительных материалов, которые активно используются в производственных целях. От стационарных источников предприятий выбрасываются в атмосферный воздух загрязняющие вещества.

В промышленных зонах Севера Русской равнины распределение отраслей промышленности выглядит следующим образом:

1) в северо-западной зоне доминирует целлюлозно-бумажная промышленность, предприятия теплоэнергетики, машиностроения, металлообработки (Архангельск, Северодвинск, Новодвинск, Онега);

2) в юго-восточной и юго-западной зонах преобладают предприятия металлургии, теплоэнергетики, химической, лесобработывающей промышленности (Череповец, Вологда, Сокол, Сыктывкар, Ухта);

3) в северо-восточной зоне наиболее развита нефтедобывающая, теплоэнергетическая, угольная промышленность, предприятия стройиндустрии (Нарьян-Мар, Воркута).

Динамика выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников оценивалась по данным статистической отчетности для городов Севера Русской равнины. На рис. 1, построенном на примере городов Архангельской области показано то, что увеличение общего объема выбросов загрязняющих веществ за период 1988 - 1991 гг. сменяется тенденцией к уменьшению данных веществ до 2003 г. Только треть общего объёма снижения выбросов в атмосферу была обусловлена выполнением природоохранных мероприятий, а остальные две трети вызваны, в основном, спадом промышленного производства. Практически такие же тенденции характерны для всех городов Севера Русской равнины.

Таким образом, за период 1992 – 2003 гг. в целом выявляется тенденция снижения выбросов от стационарных источников в атмосферу.



Рис. 1. Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Архангельской области, тыс. т

В Северодвинске и Новодвинске объемы выбросов сохраняются примерно на одном уровне до 1998 года. Затем, увеличившись в 1999, 2000 гг., объемы выбросов постепенно начинают уменьшаться. В Коряжме наибольшее количество выбросов характерно для 2000 года, после чего также следует тенденция уменьшения выбрасываемых загрязняющих веществ.

На территории Вологодской области и Республики Коми наибольший вклад в общие выбросы от стационарных источников вносят выбросы предприятий Череповца и Воркуты. В целом во всех промышленных центрах за 1992 – 2003 гг. прослеживается тенденция понижения общих выбросов, особенно, начиная с 1994 года.

За период 1992 – 2003 гг. изменился процентный состав основных загрязняющих компонентов в воздухе. Так, в Архангельской области (рис. 2) доля сернистого ангидрида увеличилась на 19 % и составила почти 1/2 от общего объема выбросов. Это увеличение доли произошло на фоне уменьшения общих объемов выбросов стационарных источников от 505,8 тыс. т/год в 1992 г. до 223,6 тыс. т/год в 2003 г. Однако общий объем уменьшился на 282,2 тыс. т/год, а объем сернистого ангидрида на 30,7 тыс. т/год (от 133,6 тыс. т/год в 1992 г. до 102,9 тыс. т/год в 2003 г.). Также за период 1992 – 2003 гг. выросла доля оксидов азота на 4 %. Однако на уровне с уменьшением суммарных объемов выбросов их абсолютные показатели сократились от 36 тыс. т/год до 24 тыс. т/год. Углеводороды в общей структуре выбросов загрязняющих веществ стали занимать незначительное место, их доля уменьшилась на 16 %.

Доминантными загрязняющими компонентами воздуха в настоящее время являются серные соединения, которые вместе с увеличением доли оксидов азота могут обусловить появление кислотных атмосферных выпадений на исследуемой территории.

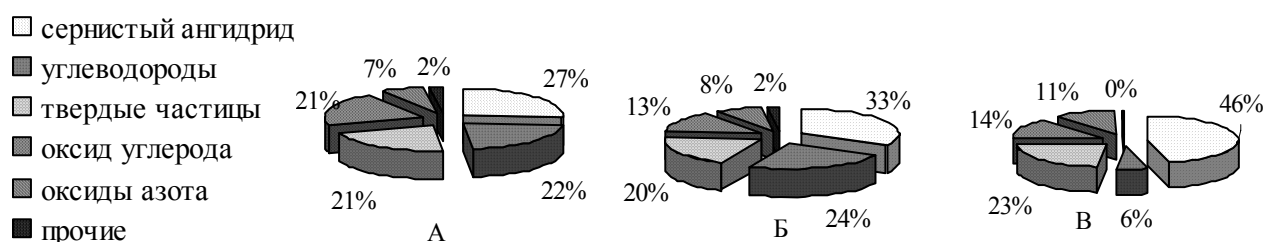


Рис. 2. Структура выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на территории Архангельской области в 1992 г. (А), 1999 г. (Б) и 2003 г. (В), %

Если ранжировать по массе в общей сумме выбросов загрязняющие вещества, то наиболее распространенными ингредиентами атмосферных осадков по основным источникам загрязнения Севера Русской равнины являются  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ . В табл. 1 приведено распределение компонентов, измеряемых в осадках, в зависимости от возможного источника загрязнения. Цифры для соответствующих отраслей промышленности показывают примерный номер в ряду основных элементов, выбрасываемых ими в окружающую среду. Анализируя данную таблицу, необходимо отметить, что во всех исследуемых промышленных зонах в атмосферных осадках из кислотообразующих анионов преобладают  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ .

Таблица 1

Распределение наиболее распространенных кислотообразующих ингредиентов, содержащихся в атмосферных осадках Севера Русской равнины в местах расположения основных источников загрязнения

| Отрасль промышленности                    | Номер в ряду основных элементов, выбрасываемых источниками загрязнения |               |                 |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|                                           | $\text{SO}_4^{2-}$                                                     | $\text{Cl}^-$ | $\text{NO}_3^-$ |
| Целлюлозно-бумажная                       | 1                                                                      | 3             | 6               |
| Металлургическая                          | 1                                                                      | 2             | 7               |
| Нефтедобывающая                           | 1                                                                      | 2             | 7               |
| Химическая                                | 2                                                                      | 1             | 4               |
| Машиностроительная, металлообрабатывающая | 2                                                                      | 1             | 6               |
| Теплоэнергетическая                       | 2                                                                      | 1             | 6               |

За период 1992 – 2003 гг. наибольшие выбросы  $\text{SO}_2$  от стационарных источников промышленных центров Архангельской области характерны для Северодвинска, а наименьшие – для Коряжмы (рис. 3). Однако в обоих случаях наблюдается слабая тенденция к снижению объемов данных выбросов. В Архангельске выбросы  $\text{SO}_2$  уменьшаются с 1992 по 1994 гг., затем остаются примерно на одном уровне по 2000 г. и, увеличившись в 2001 г., вновь стабилизируются. Новодвинск за весь исследуемый период характеризуется тенденцией к повышению выбросов  $\text{SO}_2$ .

Наибольшее количество  $\text{SO}_2$  в юго-восточной и юго-западной промышленных зонах Севера Русской равнины выбрасывается в Воркуте (Республика Коми) и Череповце (Вологодская область). Однако с 1992 по 2003 гг. намечается тенденция снижения данных выбросов. В то время как в

других промышленных городах этих территорий за исследуемый период времени выбрасываемые объемы  $\text{SO}_2$  относительно стабильны.

Выбросы  $\text{NO}_x$  от стационарных источников Архангельской области к середине 1990-х гг. снижаются, затем к 1998 г. их объемы возрастают в Северодвинске (остаются примерно на одном уровне до 2003 г.), Архангельске, Коряжме (снижаются к 2003 г.).

Среди промышленных городов Вологодской области и Республики Коми по выбросам в атмосферный воздух  $\text{NO}_x$  доминирует Череповец (больше 20 тыс. т/год). Однако за период 1992 – 2003 гг. прослеживается слабая тенденция спада данных выбросов.

Таким образом, по сравнению с тенденцией общих выбросов видно, что выбросы по  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$  в целом не имеют четко выраженной тенденции за исключением уменьшения выбросов  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$  в городах Вологодской области (Череповец) и Республики Коми (Воркута).

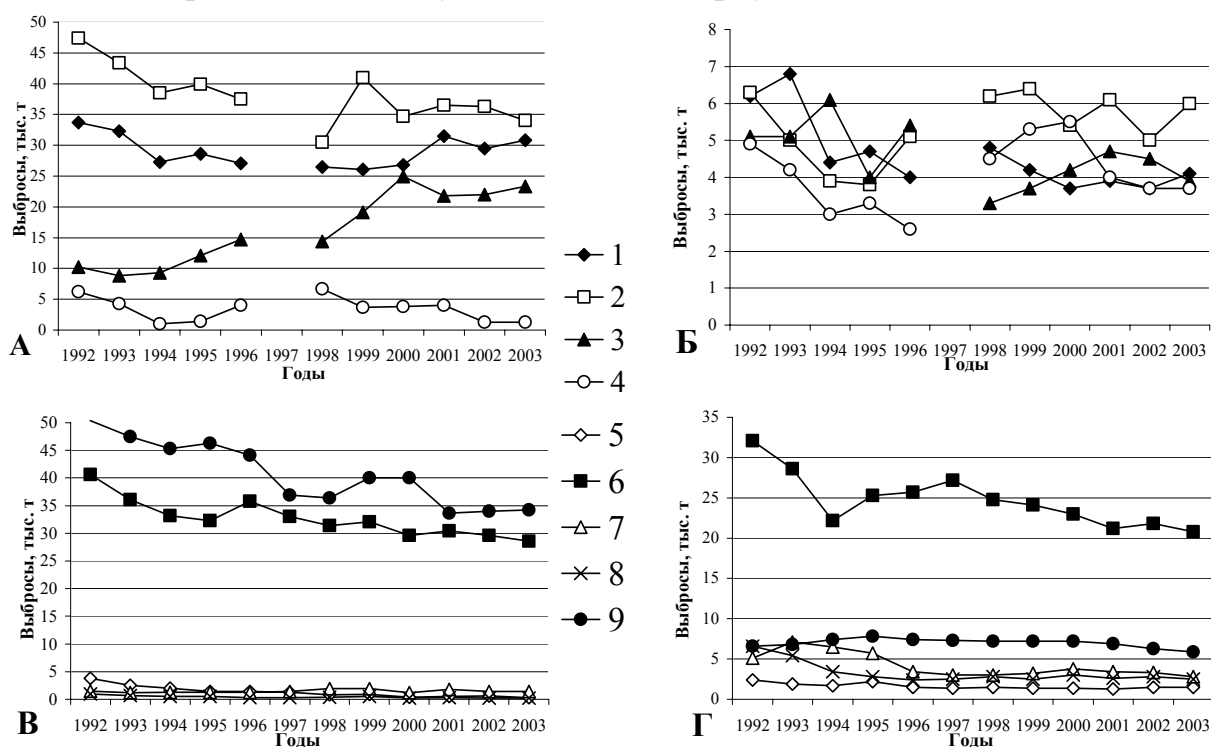


Рис. 3. Динамика выбросов  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$  от стационарных источников промышленных центров Архангельской области (А и Б), Вологодской области и Республики Коми (В и Г)

1 – Архангельск, 2 – Северодвинск, 3 – Новодвинск, 4- Коряжма, 5 – Вологда, 6 – Череповец, 7 – Сыктывкар, 8 – Ухта, 9 – Воркута

В начале XXI века на фоне уменьшения общего объема выбросов произошло увеличение доли серных и азотных соединений в атмосферном воздухе в основном городов Архангельской агломерации. Относительно стабильный большой объем  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$  выбрасывают стационарные источники промышленных центров Вологодской области (Череповец) и Республики Коми (Воркута).

#### 4.2. Состояние атмосферного воздуха

В работе выполнено сопоставление данных о выбросах с данными мониторинга за загрязнением атмосферного воздуха. В пробах воздуха на сети мониторинга определяется содержание твердых веществ, сернистого ангидрида, оксида азота, оксида углерода, углеводородов. Кроме того, дополнительно контролируются специфические вещества, связанные с особенностями промышленного производства (табл. 2.). Такими веществами для рассматриваемой территории являются метилмеркаптан, формальдегид, бенз(а)пирен, сероуглерод.

Таблица 2

Приоритетные загрязняющие вещества в городах Севера Русской равнины

| Город        | Вещества, определяющие приоритет города                           |
|--------------|-------------------------------------------------------------------|
| Архангельск  | Метилмеркаптан, сероуглерод, формальдегид, пыль, бенз(а)пирен     |
| Новодвинск   | Метилмеркаптан, сероуглерод, формальдегид, пыль, бенз(а)пирен     |
| Северодвинск | Формальдегид, диоксид азота, оксид углерода, бенз(а)пирен, пыль   |
| Коряжма      | Метилмеркаптан, диоксид азота, сероводород, пыль, диоксид серы    |
| Вологда      | Формальдегид, бенз(а)пирен, пыль, диоксид азота, оксид углерода   |
| Череповец    | Сероуглерод, формальдегид, пыль, аммиак, бен(а)пирен              |
| Сыктывкар    | Метилмеркаптан, пыль, формальдегид, оксид углерода, бенз(а)пирен  |
| Ухта         | Метилмеркаптан, оксид углерода, диоксид азота, пыль, бенз(а)пирен |
| Воркута      | Формальдегид, диоксид азота, оксид углерода, пыль, бенз(а)пирен   |

Анализ индекса загрязнения атмосферы (ИЗА) шестнадцатилетнего периода наблюдений (1988 – 2003 гг.) на территории Севера Русской равнины (рис. 4) показывает, что очень высокий уровень загрязнения за весь исследуемый период времени наблюдался в г. Череповце, достигнув максимума в 2003 году (ИЗА = 19,8). В городах Архангельской области с целлюлозно-бумажной промышленностью в период 1990 – 1998 гг. ИЗА > 14, что также указывает на очень высокий уровень загрязнения воздуха. Уменьшение ИЗА в Архангельске, Новодвинске и Коряжме в 1999 году связано с пересмотром для метилмеркаптана среднесуточных и максимально-разовых ПДК в сторону увеличения от  $9 \cdot 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup> до  $1 \cdot 10^{-4}$  мг/м<sup>3</sup>, что нарушает достоверность исследуемого ряда наблюдений. Абсолютные показатели (среднегодовые концентрации) метилмеркаптана за период 1998 – 2003 гг. уменьшились в Новодвинске и Коряжме от  $105 \cdot 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup> и

$142 \cdot 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup> до  $78 \cdot 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup> и  $63 \cdot 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup> соответственно, а в Архангельске увеличились от  $55 \cdot 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup> до  $70 \cdot 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup>. Однако, несмотря на изменения ПДК для метилмеркаптана, уровень загрязнения атмосферного воздуха в городах Архангельской области вырос к 2003 году (ИЗА = 10), что говорит о высоком уровне загрязнения воздуха по данным мониторинга.

Низкая степень загрязнения имеет место в г. Северодвинске в 1994 – 1998 гг., г. Вологде - в 1996 – 2002 гг. В г. Ухте практически весь исследуемый период времени наблюдается повышенный уровень загрязнения атмосферного воздуха, в г. Сыктывкаре – высокий. В 2003 году во всех анализируемых городах, кроме г. Череповца, отмечается высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха. Несмотря на снижение общих объемов выбросов (почти в 2 раза) по данным формы 2ТП-воздух, уровень загрязнения атмосферного воздуха по данным мониторинга практически не меняется, за исключением городов Архангельской области с целлюлозно-бумажной промышленностью.

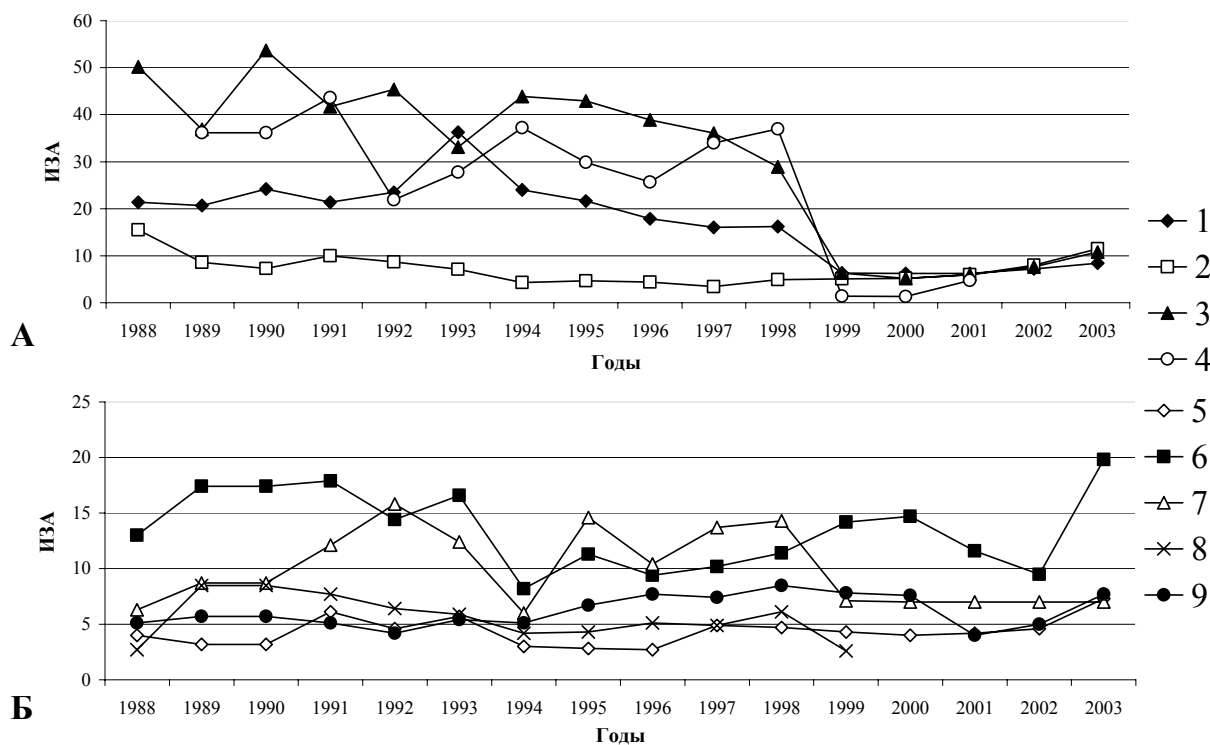


Рис. 4. Динамика ИЗА в городах Архангельской области (А), Вологодской области и Республики Коми (Б) в период 1988-2003 гг.

1 – Архангельск, 2 – Северодвинск, 3 – Новодвинск, 4 – Коряжма, 5 – Вологда, 6 – Череповец, 7 – Сыктывкар, 8 – Ухта, 9 – Воркута

В воздухе городов с целлюлозно-бумажной промышленностью были зарегистрированы случаи экстремально высокого загрязнения (ЭВЗ) сероводородом, сероуглеродом, формальдегидом, бенз(а)пиреном, а также метилмеркаптаном (50 – 180 ПДК), которые уменьшились с 72 случаев в 1990 году до 13 в 1997 году, а затем в 1998 г. увеличились до 20. Все случаи ЭВЗ наблюдались в периоды, неблагоприятные для рассеивания, и

обусловлены недостаточной эффективностью мер по сокращению выбросов на комбинатах. В период 1999 - 2003 гг. ЭВЗ не были отмечены. Однако выявлены случаи высокого загрязнения воздуха (ВЗВ) (равно и больше 10 ПДК). Так, ЭВЗ и ВЗВ имеют место на Севере Русской равнины в районе Архангельской промышленной агломерации.

В городах за 1997 – 2004 гг. преобладают в воздухе оксид углерода, твердые вещества (рис. 5).

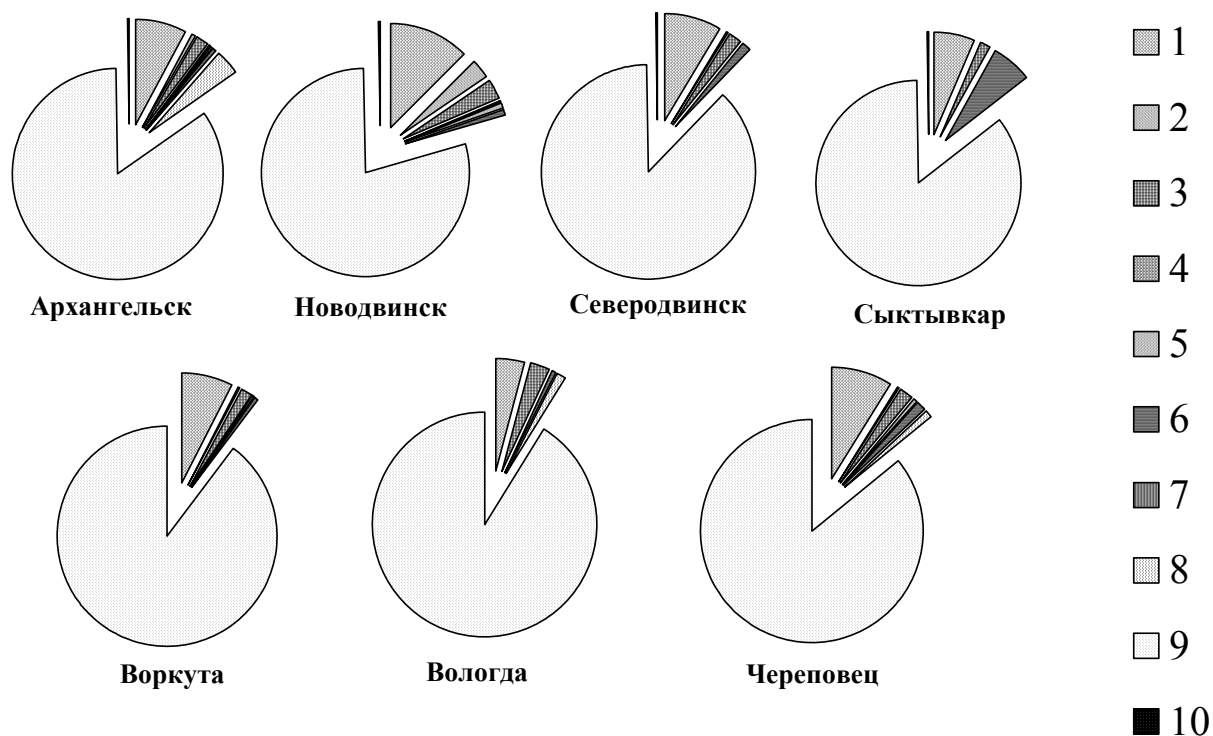


Рис. 5. Структура средних значений среднегодовых концентраций ( $q_{\text{ср.}}, \text{мг/м}^3$ ) примесей в воздухе городов за 1997 – 2004 гг.

1 – взвешенные вещества; 2 – диоксид серы; 3 – диоксид азота; 4 – сероводород; 5 – сероуглерод; 6 – формальдегид; 7 – метилмеркаптан; 8 – оксид азота; 9 – оксид углерода; 10 – бенз(а)пирен ( $\text{мкг/м}^3$ )

Наиболее надежным индикатором состояния атмосферного воздуха является снеговой покров, депонирующий загрязняющие вещества за сравнительно длительный период времени. В снеговых выпадениях фиксируются загрязнители, которые не улавливаются прямыми измерениями или расчетными данными по пылегазовыбросам. Снегомерная съемка дает возможность оценить запасы загрязнителей в снежном покрове. Широкому применению съемки на Севере Русской равнины способствует то, что данная территория находится в зоне устойчивого снежного покрова.

Данные о содержании веществ в снежном покрове являются материалами для оценки как глобального, так и регионального загрязнения атмосферы в зимний период на больших территориях страны и выявления ареала распространения загрязняющих веществ от промышленных центров.

Анализ данных снегомерной съемки на 42 станциях Севера Русской равнины за период 1982 – 2003 гг. показывает, что для данной

территории преобладающим классом значений рН снежного покрова является диапазон 6,0 – 6,4 (27 %). Однако суммарная частота классов кислотных значений ( $\text{pH} < 5,6$ ) составляет 24,1 % с доминированием класса слабокислых осадков ( $\text{pH} = 5,2 - 5,6$  (15,5 %) (рис. 6).

Анализируя среднегодовые значения рН в пробах атмосферных осадков на 13 станциях в основном промышленных центров Севера Русской равнины за период 1990 – 2003 гг., необходимо отметить преобладание класса значений рН в диапазоне 5,2 – 5,6 (23,2 %). Суммарная частота закисленных выпадений составляет 45,1 %. Атмосферные осадки с  $\text{pH} > 7,2$  отсутствуют.

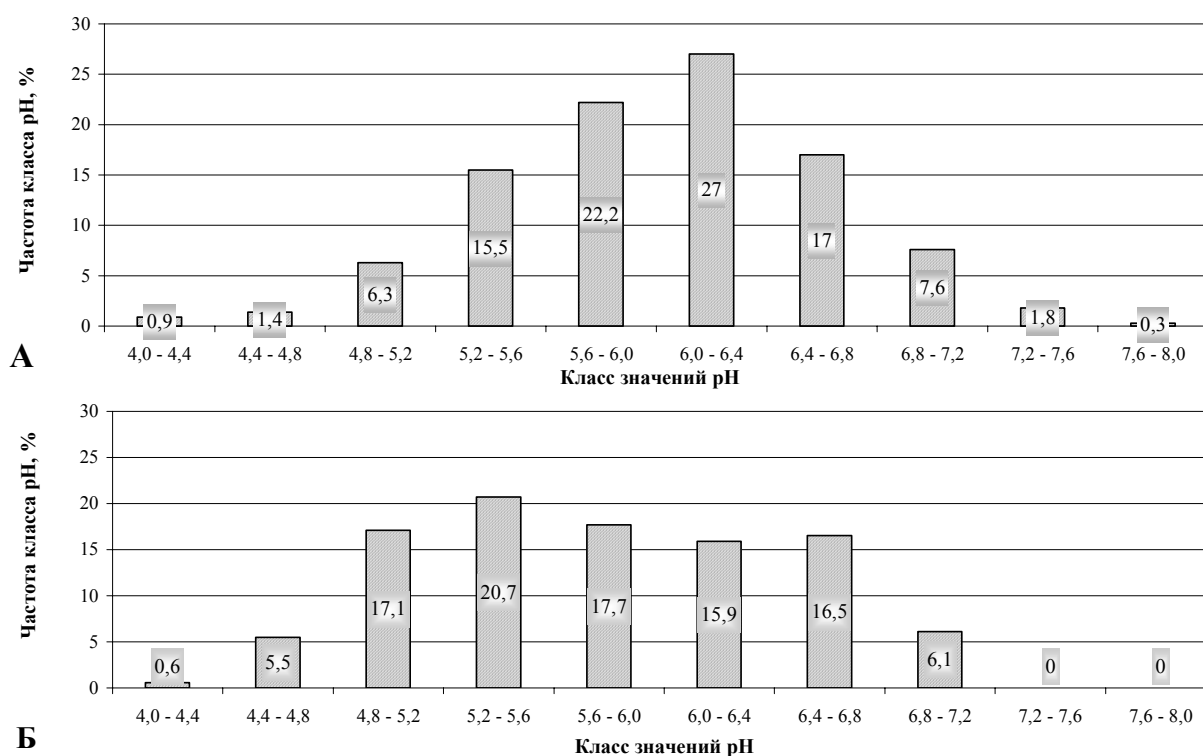


Рис. 6. Распределение значений рН в снежном покрове на 42 станциях Севера Русской равнины за 1982 – 2003 гг. (А), в атмосферных осадках на 14 станциях за 1990 – 2003 гг. (Б), %

Результаты учета количества осадков отдельных месяцев при осреднении годовых значений рН, т.е. расчетов взвешенных средних значений, являются наиболее достоверными. Однако по сравнению со среднегодовыми рН, взвешенные среднегодовые не сильно разнятся. Также преобладающим классом значений рН осадков является диапазон 5,2 – 5,6 (20,7 %, что на 2,5 % меньше среднегодового показателя). При этом возрастает частота класса рН диапазона 4,8 – 5,2 (на 3,1 %), незначительно уменьшается процентное соотношение в диапазонах 4,4 – 4,8 (на 1,2 %), 4,0 – 4,4 (на 0,6 %). В целом, суммарная частота кислотных взвешенных среднегодовых выпадений составляет 43,9 %.

Таким образом, в снежном покрове почти четверть (24,1 %) исследуемых проб за период 1982 – 2003 гг. является закисленными, в то

время как в атмосферных осадках Севера Русской равнины за период 1990 – 2003 гг. закисленные выпадения встречаются почти в половине случаев (45,1 % без учета количества осадков, 43,9 % с учетом количества осадков).

##### **5. Региональная оценка нагрузок кислотообразующих соединений серы и азота в атмосферных выпадениях ЕТР и Севера Русской равнины**

Оценка выпадений кислотообразующих соединений серы и азота проводится в ГУ ИГКЭ Росгидромета и РАН по данным сети мониторинга снежного покрова (620 станций). По расчетной сетке 10·10 км строятся карты распределения значений нагрузок атмосферных выпадений серы, нитратного азота и суммы выпадений нитратного и аммонийного азота в масштабе 1: 3 000 000 для всех экономических районов России (за исключением Северо-Кавказского).

Согласно результатам определений баланса выпадений более чем в половине отдельно взятых административных подразделений ЕТР и Урала от 50 % до 90 % массы выпадений в регионах обусловлено трансграничным переносом и переносом от отдельных регионов страны. На ЕТР для большей части административных подразделений (около 80 % случаев) выпадения серы и нитратного азота от собственных источников составляет 10 – 25 % от их суммарного выброса. Доля выпадений, обусловленная собственными источниками в общем балансе выпадений на территории подразделений обычно не превышает 30 %. Остальная часть выпадений обусловлена дальним атмосферным переносом от других регионов страны, а также трансграничным переносом.

Согласно данным мониторинга Росгидромета (1996 г.) высокие уровни выпадения серы 550 – 750 кг/ км<sup>2</sup>·год и суммы соединений азота 370 – 720 кг/ км<sup>2</sup>·год в виде значительных по площади ареалов (первые тысячи км<sup>2</sup>) наблюдаются в густо населенных и промышленных регионах страны: в Северо-Западном, Центральном, Центральном-Черноземном, Уральском экономических районах. Локальные ареалы (площадью до 1 тыс. км<sup>2</sup>) с интенсивностью выпадений серы 1500 - 300 кг/км<sup>2</sup>·год – фиксируются в ближнем следе металлургических, нефтеперерабатывающих предприятий, крупных ГРЭС, а также больших городов. Максимальные уровни нитратного азота в локальных ареалах 300 – 600 кг/км<sup>2</sup>·год отмечаются в Череповце, Санкт-Петербурге, Москве, Нижнем Новгороде, Самаре и Тольятти, Уфе и Стерлитамаке, Магнитогорске, Троицке, Челябинске, Екатеринбурге, Асбесте, Перми, Нижнем Тагиле, Качканаре, Сургуте, Омске, Новосибирске, Барнауле, Новокузнецке, Иркутске и Ангаре.

Значения регионального фона нагрузок атмосферных выпадений соединений серы и азота на большом (сто и более км) удалении от крупных промышленных источников выбросов в Центре Европейской части России для серы колеблются от 400 – 600 кг/ км<sup>2</sup>·год, на севере они составляют не более 250 кг/ км<sup>2</sup>·год. Для нитратного азота значения регионального фона изменяются от 100 кг/ км<sup>2</sup>·год в центре ЕТР до 50 кг/ км<sup>2</sup>·год – на севере.

На площади Европейской части России уровень критических нагрузок по выпадениям серы превышает на локальных участках на Кольском

полуострове, в Ленинградской, Московской, Рязанской областях. По сумме выпадений азота уровень критических нагрузок в 280 – 700 кг/ км<sup>2</sup>·год превышает примерно на половине площади ЕТР: в Северо-Западном, Северном и Центральном районах.

В целом, на исследованной площади ЕТР (3,2 млн. км<sup>2</sup>) уровни критических нагрузок по азоту превышены на площади 2,3 млн. км<sup>2</sup>, а по сере на площади 1,7 млн. км<sup>2</sup>.

Необходимо заметить, что имеются принципиальные различия в эффектах негативного воздействия нагрузок азота и серы на природную среду. Соединения азота активно участвуют в процессах метаболизма растений, и их избыток оказывает серьезное влияние на наземные и водные экосистемы. Негативные последствия выпадений серы (более чем на 90% выпадающей в виде сульфатов) связаны с кислотным воздействием. Поэтому, при оценке экологической значимости нагрузок атмосферных выпадений серы необходим дополнительный анализ ионного состава осадков для определения эффекта нейтрализации серной кислоты. В случае, когда этот эффект проявляется, нагрузка на природную среду и биоту снижается. Результаты такого анализа для ряда площадей в центре России показали, что даже в случаях существенного превышения уровней критических нагрузок серы закисления осадков не происходит. Кислота нейтрализуется щелочными и щелочно-земельными элементами, которые присутствуют в атмосферных осадках в количествах, превышающих содержание кислотообразующих анионов.

В атмосферном воздухе Севера Русской равнины кислотообразующими соединениями являются сульфаты и хлориды. Нитраты имеют подчиненное значение. Их преимущественное пространственное положение распределяется следующим образом: хлориды в наибольшей степени определяют пониженный уровень рН в прибрежной зоне, а в остальной доминируют сульфаты.

Территория Севера Русской равнины относится к Северному экономическому району. Карты нагрузок атмосферных выпадений серы и нитратного азота для данного района, приведенные к осредненным метеоусловиям, представляют собой расчетный материал, выполненный по методике, изложенной в работах В.Н. Василенко, И.М. Назарова, Ш.Д. Фридмана. Карты демонстрируют распределение кислотообразующих соединений на исследуемой территории за период 1998 – 2002 гг.: нагрузка атмосферных выпадений серы (в ед. серы) в наибольшей степени приходится на Череповец (1000 кг/км<sup>2</sup>год), Архангельской агломерации (600 кг/км<sup>2</sup>год), Воркуту (300 – 400 кг/км<sup>2</sup>год). В то же время выпадения нитратного азота также приурочены к Череповцу (300 – 400 кг/км<sup>2</sup>год), Архангельскую агломерацию (100 – 200 кг/км<sup>2</sup>год), Воркуте (100 – 150 кг/км<sup>2</sup>год).

Таким образом, наибольшие нагрузки кислотообразующих соединений характерны для трех промышленных зон Севера Русской равнины: северо-западной (Архангельская агломерация), юго-западной (Череповец), северо-восточной (Воркута).

## **6. Процесс нейтрализации сильных кислот в выпадениях**

### **6.1. Расчет характеристик нейтрализации для выпадений теплого и холодного периодов**

Оценка экологической значимости нагрузок кислотообразующих атмосферных выпадений на Севере Русской равнины проводилась автором по данным сети станций мониторинга атмосферных осадков и снежного покрова.

Расчет величины доли действующих сильных кислот  $\delta$  производился по ежемесячным данным мониторинга атмосферных осадков за холодный и теплый периоды 1999 – 2000 гг.

Анализируя результаты расчетов  $\delta$  для атмосферных осадков, необходимо отметить эпизодические проявления  $\delta > 0$ , что говорит о вероятности присутствия в осадках действующих сильных кислот, не поддающихся нейтрализации. Однако их величина не превышает 15 % от потенциального образования кислот. Для станций северо-западной промышленной зоны наибольшая величина доли действующих сильных кислот (15 %) имеет место в начале теплого периода (апрель), для станций северо-восточной (Нарьян-Мар) и юго-западной (Череповец) зон – в конце теплого периода (октябрь). Расчет величины  $\delta$  для выпадений зимнего периода 1999 – 2000 гг. по данным мониторинга снегомерной съемки (моль/л) показывает наибольшее значение доли действующих сильных кислот (17 %) в северо-восточной зоне Севера Русской равнины.

### **6.2. Расчет фактических нагрузок выпадений серы и сравнение их с критическими нагрузками ЕМЕП для региона**

Под критическими нагрузками ряд исследователей (Hetteling J.P., 1991; Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д., 1992) понимают максимальные значения выпадений кислотообразующих компонентов, которые не приводят к вредным воздействиям на структуры и функции экосистем в долговременном плане. На основе карт критических нагрузок атмосферных выпадений серы, построенной рабочей группой ЕМЕП, и данных сети мониторинга снежного покрова Северного управления гидрометеослужбы были составлены карты-схемы превышения уровней критических нагрузок атмосферных выпадений серы по квадратам сетки ЕМЕП. Для каждого квадрата были осреднены значения среднегодовых нагрузок.

Превышение уровней критических нагрузок атмосферных выпадений серы для лесных и водных экосистем наблюдается при условии:

$$\frac{\text{Факт.нагрузка}}{\text{Критич.нагрузка}} \geq 1.$$

Анализ карты-схемы показал, что данные отношения

почти во всех случаях меньше единицы. Исключение составляют прибрежные участки территорий, где эти отношения больше единицы, что свидетельствует о значительной роли здесь природных поступлений серы. Карта-схема, демонстрирующая отношения наблюдаемых фактических нагрузок к критическим представлена на рис. 7.

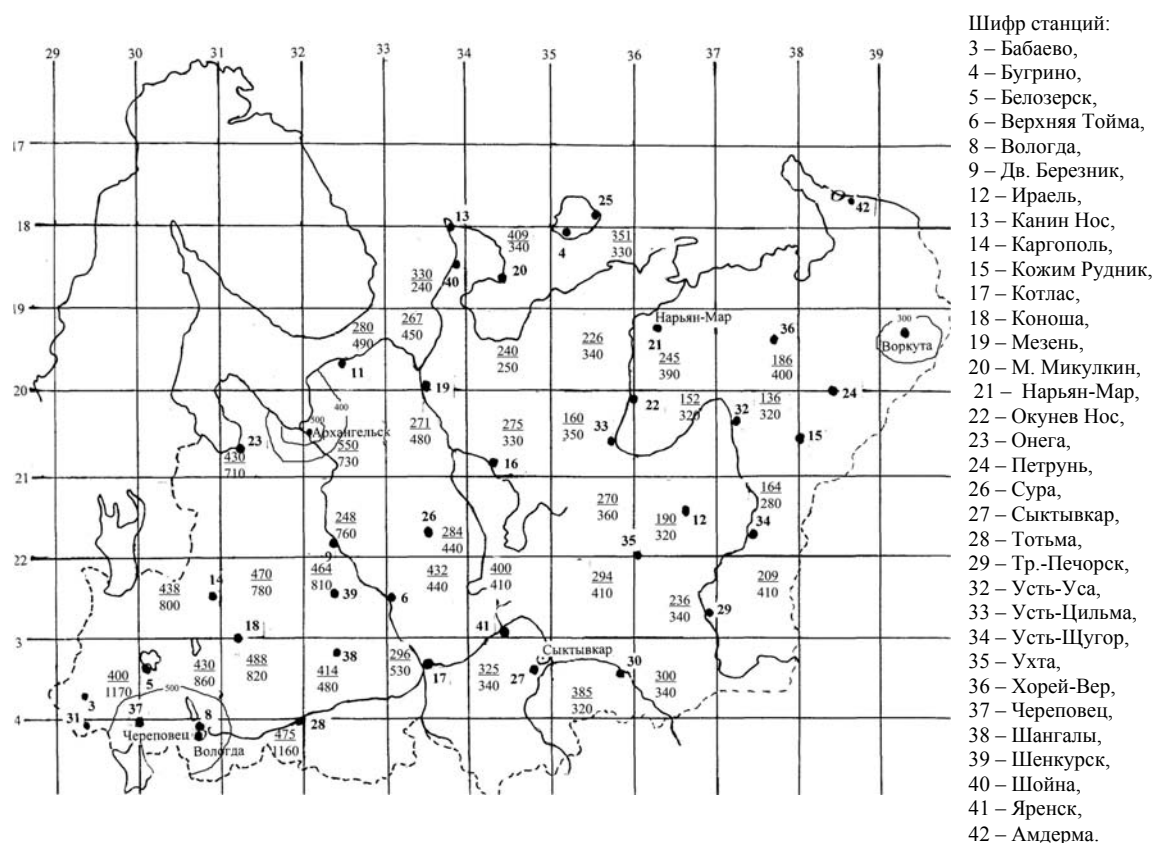


Рис. 7. Карта-схема отношений фактических нагрузок атмосферных выпадений серы к критическим для лесных и водных экосистем

В таблице 3 приведены основные характеристики по интенсивности выпадения серы, уровня закисления зимних осадков, их ионного состава по данным мониторинга загрязнения снежного покрова за 1999 – 2000 гг.

Таблица 3

Основные характеристики по интенсивности выпадения серы, pH, ионного состава осадков по данным снегомерной съемки за 1999 – 2000 гг.

| Шифр | Станция      | $U_s$ , $\text{кг/км}^2$<br>год | $\Sigma^+ / \Sigma^-$ | Потенциальное<br>закисление<br>( $1 - \Sigma^+ / \Sigma^-$ ) | pH   | $C [H^+]$ ,<br>моль/л<br>$10^{-6}$ | $SO_4^{2-} / \Sigma^-$ | $Cl^- / \Sigma^-$ |
|------|--------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------|------|------------------------------------|------------------------|-------------------|
| 4    | Бугрино      | 351                             | 0,97                  | 0,03                                                         | 5,46 | 0,87                               | 0,15                   | <b>0,85</b>       |
| 5    | Белозерск    | 499                             | 1,03                  | 0                                                            | 5,09 | 2,14                               | 0,22                   | <b>0,41</b>       |
| 6    | В. Тойма     | 432                             | 1,16                  | 0                                                            | 5,55 | 1,35                               | 0,3                    | <b>0,51</b>       |
| 8    | Вологда      | 423                             | 1,92                  | 0                                                            | 6,3  | 0,5                                | <b>0,37</b>            | 0,29              |
| 9    | Дв. Березник | 248                             | 1,44                  | 0                                                            | 6,44 | 0,36                               | 0,15                   | <b>0,78</b>       |
| 12   | Ираель       | 195                             | 1,25                  | 0                                                            | 5,82 | 1,51                               | <b>0,44</b>            | 0,35              |
| 15   | Кожим Рудник | 548                             | 1,4                   | 0                                                            | 6,05 | 0,89                               | 0,41                   | 0,44              |
| 17   | Котлас       | 296                             | 1,41                  | 0                                                            | 6,15 | 0,7                                | 0,41                   | 0,35              |
| 18   | Коноша       | 520                             | 1,19                  | 0                                                            | 5,88 | 1,3                                | <b>0,61</b>            | 0,3               |
| 19   | Мезень       | 267                             | 1,15                  | 0                                                            | 6,24 | 0,71                               | <b>0,49</b>            | 0,36              |
| 21   | Нарьян-Мар   | 245                             | 1,05                  | 0                                                            | 5,61 | 0,37                               | <b>0,52</b>            | 0,35              |
| 22   | Окунев Нос   | 208                             | 0,88                  | 0,12                                                         | 5,5  | 3,16                               | <b>0,45</b>            | 0,29              |
| 23   | Онега        | 212                             | 1,03                  | 0                                                            | 5,3  | 2,29                               | 0,34                   | <b>0,59</b>       |

|    |             |     |      |      |      |      |             |             |
|----|-------------|-----|------|------|------|------|-------------|-------------|
| 24 | Петрунь     | 215 | 0,85 | 0,15 | 4,9  | 1,78 | <b>0,53</b> | 0,22        |
| 26 | Сура        | 284 | 1,15 | 0    | 5,92 | 1,2  | <b>0,47</b> | 0,3         |
| 27 | Сыктывкар   | 325 | 1,42 | 0    | 5,94 | 1,15 | 0,51        | 0,49        |
| 32 | Усть-Уса    | 136 | 1    | 0    | 5,88 | 1,3  | 0,29        | 0,36        |
| 33 | Усть-Цильма | 111 | 1,61 | 0    | 5,44 | 3,63 | 0,33        | <b>0,48</b> |
| 34 | Усть-Щугор  | 164 | 1,04 | 0    | 5,25 | 5,62 | <b>0,35</b> | 0,27        |
| 35 | Ухта        | 263 | 1,79 | 0    | 5,96 | 1,01 | 0,36        | 0,39        |
| 36 | Хорей-Вер   | 186 | 1,11 | 0    | 5,67 | 2,14 | <b>0,47</b> | 0,36        |
| 37 | Череповец   | 304 | 1,33 | 0    | 6,18 | 0,66 | <b>0,45</b> | 0,34        |
| 39 | Шенкурск    | 497 | 1,25 | 0    | 6,18 | 0,66 | <b>0,48</b> | 0,26        |
| 40 | Шойна       | 302 | 1,25 | 0    | 6,07 | 0,85 | 0,15        | <b>0,61</b> |
| 41 | Яренск      | 400 | 0,99 | 0,01 | 5,51 | 3,09 | 0,22        | <b>0,63</b> |
| 42 | Амдерма     | 73  | 0,83 | 0,17 | 5,31 | 4,9  | 0,13        | <b>0,75</b> |

Таблица 4

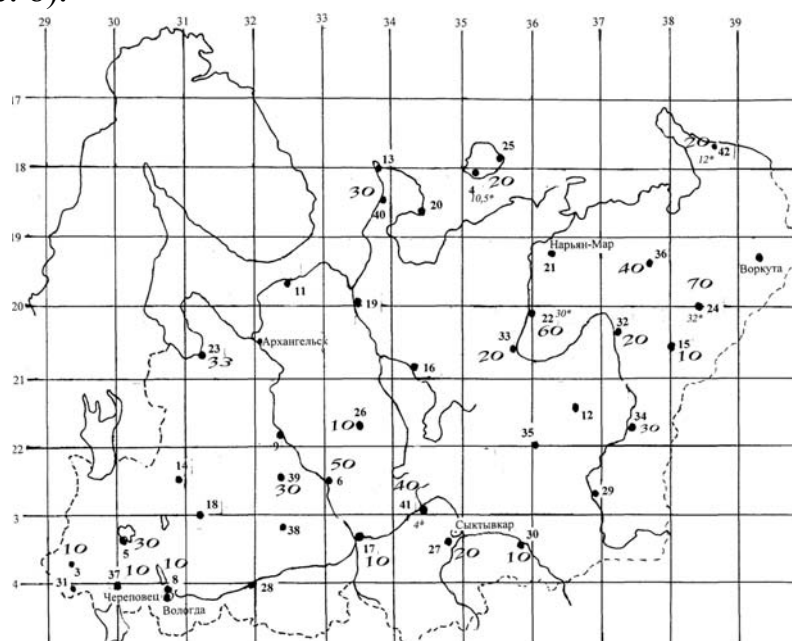
Сравнение фактических и критических нагрузок по сульфатной сере,  
кг/ км<sup>2</sup>\*год

| Шифр | Станция      | $U_{факт.i}$ ,<br>кг/км <sup>2</sup> *год | $U_{кр.i}$ ,<br>кг/км <sup>2</sup> *год | $\Delta U_i = U_{кр.i} - U_{факт.i}$ ,<br>кг/ км <sup>2</sup> *год |
|------|--------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 4    | Бугрино      | 351                                       | 330                                     | -21                                                                |
| 5    | Белозерск    | 499                                       | 860                                     | 361                                                                |
| 6    | В. Тойма     | 432                                       | 440                                     | 8                                                                  |
| 8    | Вологда      | 423                                       | 1260                                    | 837                                                                |
| 9    | Дв. Березник | 248                                       | 760                                     | 512                                                                |
| 12   | Ираель       | 195                                       | 320                                     | 125                                                                |
| 15   | Кожим Рудник | 548                                       | 320                                     | -228                                                               |
| 17   | Котлас       | 296                                       | 530                                     | 234                                                                |
| 18   | Коноша       | 520                                       | 820                                     | 300                                                                |
| 19   | Мезень       | 267                                       | 450                                     | 183                                                                |
| 21   | Нарьян-Мар   | 245                                       | 390                                     | 145                                                                |
| 22   | Окунев Нос   | 208                                       | 350                                     | 142                                                                |
| 23   | Онега        | 212                                       | 710                                     | 498                                                                |
| 26   | Сура         | 284                                       | 440                                     | 156                                                                |
| 27   | Сыктывкар    | 325                                       | 340                                     | 15                                                                 |
| 32   | Усть-Уса     | 136                                       | 320                                     | 184                                                                |
| 33   | Усть-Цильма  | 111                                       | 350                                     | 239                                                                |
| 34   | Усть-Щугор   | 164                                       | 280                                     | 116                                                                |
| 35   | Ухта         | 263                                       | 340                                     | 77                                                                 |
| 36   | Хорей-Вер    | 186                                       | 400                                     | 214                                                                |
| 37   | Череповец    | 304                                       | 1260                                    | 956                                                                |
| 38   | Шангалы      | 480                                       | 480                                     | 0                                                                  |
| 39   | Шенкурск     | 497                                       | 810                                     | 313                                                                |
| 40   | Шойна        | 302                                       | 240                                     | -62                                                                |
| 41   | Яренск       | 400                                       | 410                                     | 10                                                                 |

Из таблицы 3 следует: 1) Приоритетным кислотообразующим ингредиентом региона является хлор. Количество наблюдаемых отношений  $\text{SO}_4^{2-}/\Sigma^-$  и  $\text{Cl}^-/\Sigma^-$  примерно одинаково. Вместе с тем, из 10 наблюдаемых случаев закисления осадков 7 обусловлено хлором; 2) Почти все проявления закисления характеризуются низкими значениями  $\Sigma^+/\Sigma^-$  от 0,83 до 1,04.

Расчет экологической емкости  $\Delta U_i$  (табл. 4) демонстрирует, что природные экосистемы в целом не подвержены антропогенному стрессу за исключением прибрежных территорий, локального узла в районе р. Печоры ( $U_{\text{кри}} - U_{\text{факт.и}} < 0$ ), а также района среднего течения р. Северной Двины с наименьшими значениями  $\Delta U_i$  ( $0 < U_{\text{кри}} - U_{\text{факт.и}} < 10$ ).

На основе расчетов за более длительный период (1994 – 2004 гг.) была построена карта-схема проявления тенденций закисления снежного покрова (рис. 8).



10 — процент частоты проявлений закисления осадков за 10 лет

Рис. 8. Проявление тенденций закисления снежного покрова в период 1994 – 2004 гг.

Поле с содержанием ионов водорода, близким к равновесному значению ( $\text{pH}=5,5-5,6$ ), занимает основную площадь Севера Русской равнины и, очевидно, составляет естественный фон в отсутствии заметного антропогенного воздействия на неурбанизированных территориях и таких природных процессов, как пыление солончаковых почв и рыхлых продуктов выветривания горных пород.

Результаты данного исследования не противоречат в целом данным ГУ ИГКЭ Росгидромета и РАН. Однако необходимы дальнейшие исследования с целью выявления причин повторяемости осадков с  $\text{pH}$  меньше 5,6 в локальном узле бассейна р. Печора, а также выявление причин превышения фактических нагрузок над критическими, разработанными ЕМЕП на побережье Северного Ледовитого океана.

## Выводы

1. Создан электронный банк данных мониторинга химического состава атмосферного воздуха и осадков, выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями за многолетний период, послуживший основой для данного исследования.

2. За период 1988 – 2003 гг. выявлена тенденция снижения (примерно в 2 раза) выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников в городах Севера Русской равнины. Сопоставление данных статистической отчетности о выбросах загрязняющих веществ в городах показало, что нет их адекватного соответствия тенденциям изменения качества атмосферного воздуха в городах Севера Русской равнины. Несмотря на значительное снижение выбросов уровень загрязнения атмосферного воздуха в городах с учетом токсичности загрязняющих веществ остается высоким.

3. Наибольшая повторяемость осадков с  $\text{pH} < 5,6$  в период 1994 – 2004 гг. отмечена в следующих районах: 1) локальный узел в районе р. Печоры; 2) район среднего течения р. Северной Двины; 3) локальные зоны Архангельской агломерации, Череповца, Воркуты. В целом пространственное распределение осадков с пониженным  $\text{pH}$  носит локальный характер.

4. Доля действующих сильных кислот в атмосферных осадках и снежном покрове эпизодически проявляется в пространстве и во времени при соотношениях  $\Sigma^+ / \Sigma^-$  от 0,83 до 1,04. При соотношении  $\Sigma^+ / \Sigma^-$  в указанных пределах не подвергаются нейтрализации в зимний период 17 % осадков, а в теплый период 15 % жидких осадков.

5. Сопоставление рассчитанных нагрузок выпадений серы с критическими нагрузками ЕМЕП для данного региона показало, что для большей части территории Севера Русской равнины отсутствует превышение критических нагрузок. В прибрежных районах может наблюдаться превышение критических нагрузок, что, вероятно, связано с природными процессами.

### **Работы, опубликованные по теме диссертации**

1. Трубицина О.П. Динамика загрязнения атмосферы Архангельской области // Молодые ученые Поморья. – Архангельск: ПГУ им. М. В. Ломоносова, 2001. – С. 37.
2. Трубицина О.П. Глобально-региональные кислотные выпадения // Экология Северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: материалы международной конференции. – Архангельск, 2002. Т. 1. – С. 399 – 403.
3. Трубицина О.П. Кислотные выпадения на севере Архангельской городской агломерации // Экология 2003. Тезисы международной молодежной конференции. – Архангельск, 2003. – С. 74 - 75.
4. Трубицина О.П., Шварцман Ю.Г. Динамика кислотности атмосферных осадков на Европейском Севере России за период 1990 – 2003 гг. // Биологические аспекты экологии человека. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. – Архангельск, 2004. – С. 179 - 182.
5. Трубицина О.П., Шварцман Ю.Г. Кислотные осадки на Европейском Севере России // Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде Северных регионов. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. – Архангельск, 2004. Т. 2. – С. 300 - 303.
6. Шилина О.П. (Трубицина О.П.) Динамика загрязнения атмосферы Архангельской области // Материалы международного экологического форума стран Баренц-региона. – Архангельск, 2001. – С. 121 – 123.
7. Шилина О.П. (Трубицина О.П.) Динамика загрязнения атмосферы Архангельской области // Ломоносовские аспирантские и студенческие чтения. Выпуск II: Россия и Европейский Север в XX веке. Тезисы докладов. – Архангельск, 2000. – С. 182.
8. Шварцман Ю.Г., Трубицина О.П. Геоэкологическое состояние атмосферного воздуха на Севере Русской равнины // Вестник ПГУ, 2006. – № 1(9). – С. 45 – 48.

---

Подписано в печать 11.04.2007. Бумага писчая. Формат 60×84 1/16.

Тираж 100 экз. объемом 1,0 п.л. Заказ № 138

---

Отпечатано в издательском центре ПГУ  
163002, Архангельск, пр. Ломоносова, 6