

АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

УДК 551.550.42

Поле потенциальных источников аэрозольного загрязнения атмосферы в районе Ненецкого заповедника

А.А. Виноградова¹, А.О. Веремейчик^{2*}

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
119017, г. Москва, Пыжевский пер., 3

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
119899, г. Москва, ГСП-3, Воробьевы горы

Поступила в редакцию 5.03.2012 г.

Предложена новая методика расчетов поля потенциальных источников загрязнения окружающей среды для удаленных территорий, основанная на анализе многолетних данных о переносе воздушных масс. Используются результаты реанализа метеоданных и расчета траекторий переноса воздуха на сайте NOAA (www.arl.noaa.gov/ready). Пятисуточные ежедневные обратные траектории переноса воздушных масс вычислялись для района Ненецкого заповедника (дельта р. Печора) в течение 2001–2010 гг. для января и июля как наиболее контрастных по климатическим характеристикам месяцев в году. Оценки уровня содержания ряда тяжелых металлов в атмосфере Ненецкого заповедника дали значения, сопоставимые с оценками по другим методикам и с экспериментальными данными для ближайших территорий. Результаты, представленные в виде наглядных карт, дают информацию о пространственном распределении мест максимально возможного антропогенного воздействия на состав атмосферы в районе Ненецкого заповедника.

Ключевые слова: атмосфера, антропогенное загрязнение, дальний перенос, заповедники, окружающая среда; atmosphere, anthropogenic pollution, long-range transport, nature reserves, environment.

Введение

Территории государственных заповедников и заказников, как правило, расположены вдали от районов активной деятельности человека для сохранения и изучения уникальной природы в ее естественном состоянии. Поэтому изучение антропогенного воздействия на окружающую среду особо охраняемых природных территорий кажется парадоксальным, однако оно весьма актуально в отношении аэрозольных примесей, переносимых на расстояния до 5 тыс. км и более. При современном развитии индустрии, в условиях продвижения человека с его жизнеобеспечивающей инфраструктурой во все более труднодоступные районы страны, практически невозможно избежать антропогенного воздействия на окружающую среду даже самых изолированных территорий [1]. Это воздействие необходимо оценивать, учитывать и по возможности минимизировать.

В последние годы большое внимание стало уделяться изучению атмосферного переноса сажи (black carbon) в связи с ее влиянием на климатические параметры атмосферы и подстилающей поверхности [2]. Источниками сажи в атмосфере являются не только промышленные области и комплексы, но также пожары, усилившиеся и участвовавшие в бо- реальных зонах Евразии и Америки в 2000-х гг. [2].

Пожары – пространственно протяженные источники, и это существенно усложняет задачу анализа и оценки их атмосферных эмиссий и дальнего атмосферного переноса выбрасываемых ими загрязнений.

Метод статистики траекторий (МСТ) распространения воздушных масс, применяемый в данной работе, позволяет не только обнаруживать источники различных составляющих атмосферы, измеряемых в пробах воздуха [3, 4], но и анализировать многолетние закономерности распространения примеси от конкретных источников или к конкретному пункту наблюдений [5–7]. Надежность результатов, получаемых с помощью МСТ, в значительной степени определяется качеством и пространственной плотностью метеорологической информации, на которой основаны расчеты, и сведений о составе и мощностях выбросов источников примесей, а также способами представления и описания трансформации вещества во время движения в атмосфере.

В настоящей статье представлена новая методика расчета потенциальных возможностей переноса атмосферными массами загрязнений от различных районов на территорию одного из северных заповедников Европейской России (Ненецкий заповедник) для анализа антропогенного загрязнения его окружающей среды. В основу положены многолетние массивы ежедневных траекторий переноса воздушных масс к заповеднику, а в качестве источников антропогенных тяжелых металлов (ТМ) и сажи рассматривались российские промышленные города и регионы с данными об эмиссиях в атмосферу из [8].

* Анна Александровна Виноградова (anvinograd@yandex.ru); Анна Олеговна Веремейчик.

Исходные данные и методика расчетов

Ненецкий заповедник, расположенный на юго-восточном побережье Баренцева моря в дельте р. Печора, создан с целью охраны и изучения типичных малонарушенных экосистем восточноевропейских тундр и прибрежных акваторий. Многие виды животных и птиц, живущих в этих местах, занесены в Красную книгу России.

Нами проанализированы 10-летние данные (2001–2010 гг.) о переносе воздушных масс в район заповедника (к точке с координатами 68,5° с.ш., 53,5° в.д.), полученные по результатам реанализа метеоданных и расчета траекторий переноса воздуха по программе HYSPLIT 4 на сайте NOAA [9]. Пятисуточные ежедневные обратные траектории переноса воздушных масс рассчитывались для 00 ч UTC (интервал расчетов 1 ч) на высоте 100 м над уровнем поверхности для января и июля как наиболее контрастных (по метеорологическим и климатическим характеристикам атмосферы и подстилающей поверхности) месяцев в году, — всего по 310 траекторий (каждая описывается 120 точками в пространстве) для каждого месяца. Таким образом, с точки зрения переноса загрязнений мы рассматриваем возможности переноса примесей от этих точек к изучаемому заповеднику. Вся последовательность расчетов и операций проводится отдельно для зимнего и летнего месяцев.

Средние (за 10 лет) пространственные распределения частоты переноса воздуха в район заповедника (пункт наблюдений) для каждого месяца являются базовыми данными для расчета полей потенциальных источников загрязнений. Эта частота рассчитывалась как число точек n_{ij} траекторий, попавших

в соответствующую ячейку (ij) координатной сетки ($1 \times 1^\circ$), из общего числа точек N на 310 траекториях ($N = 37200$ точек). Полученные распределения, представленные на рис. 1 для января и июля, демонстрируют различия условий циркуляции атмосферы на самом северо-востоке Европы зимой и летом.

Видно, что в район заповедника воздух с южных направлений поступает чаще зимой, чем летом, принося загрязнения с более удаленных территорий, когда, наоборот, воздух чаще приходит из более чистых регионов, с севера и с востока. Поскольку от наиболее удаленных территорий воздух в район заповедника вообще не поступает, далее (см. рис. 3) мы будем использовать несколько уменьшенную область построения.

Решение уравнения баланса массы примеси в воздушном потоке во время ее переноса от источника, расположенного в ячейке с координатами (ij), в пункт наблюдений можно представить в виде следующего выражения для концентрации C_{ij} примеси в пункте наблюдений:

$$C_{ij} = Q_{ij}(1 - \alpha)Z_{ij}, \quad (1)$$

где Q_{ij} — мощность выбросов примеси с поверхности в ячейке (ij) в течение 310 сут; $\alpha \approx 0,15$ — доля примеси, оседающая на землю вблизи источника (в радиусе 30–50 км). Функция Z_{ij} характеризует все атмосферные процессы, влияющие на перенос примеси по пути от ячейки (ij) к пункту наблюдений, и вычисляется, аналогично [7, 10], по формуле

$$Z_{ij}(X) = \frac{n_{ij}t_{ij} \exp[-K_{ij}t_{ij}/H_{ij}]}{N2\pi bH_{ij}[L_{ij}]^2}, \quad (2)$$

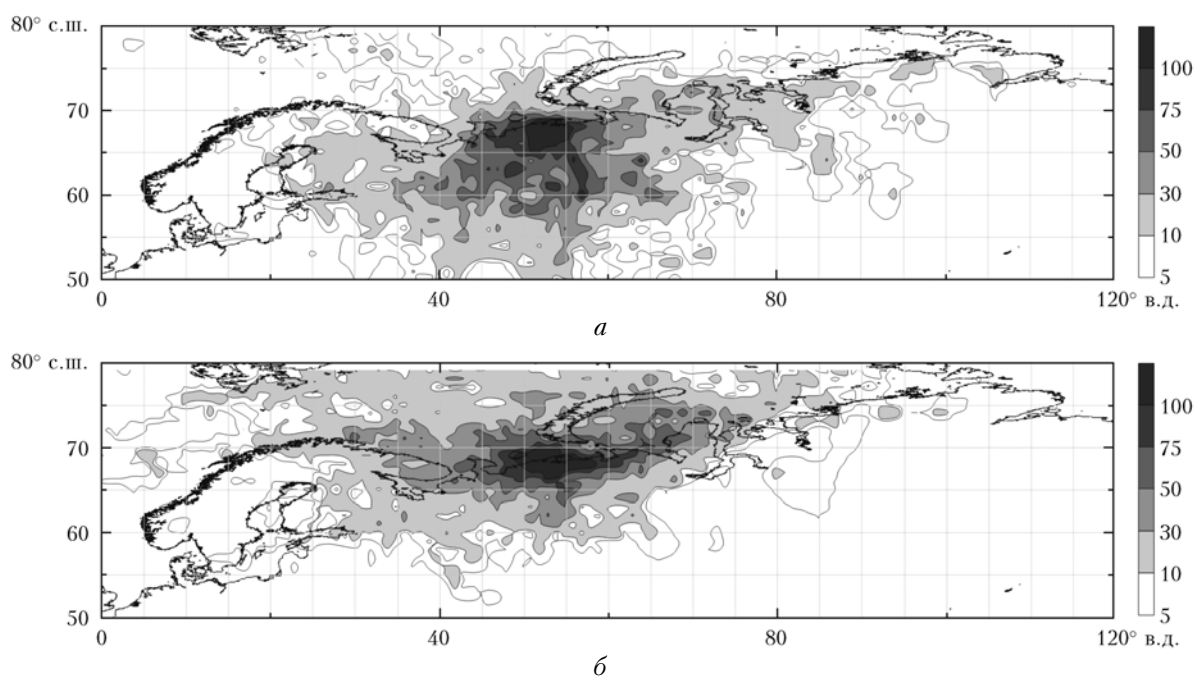


Рис. 1. Пространственные распределения (средние за 10 лет) траекторий переноса воздушных масс на территорию Ненецкого заповедника: январь (а) и июль (б). Шкала справа — число точек траекторий в ячейке ($1 \times 1^\circ$)

где t_{ij} , H_{ij} , L_{ij} — средние характеристики условий переноса воздуха от ячейки (ij) к пункту наблюдений: время движения, высота приземного слоя перемешивания и длина пути; K_{ij} — скорость осаждения примеси на подстилающую поверхность; $b \approx 0,15$ — коэффициент расширения воздушного потока в горизонтальном направлении [11]. Величины H_{ij} вычислялись вместе с координатами траекторий как одна из опций программы HYSPLIT и усреднялись вдоль траекторий, попадающих в ячейку (ij). Значения L_{ij} рассчитывались как сумма расстояний между последовательными точками каждой траектории, а затем усреднялись для всех траекторий, попадающих в ячейку (ij). Скорость осаждения K_{ij} примеси из атмосферы во время переноса (с учетом сухого осаждения и осаждения осадками), зависящая от свойств поверхности, температурных инверсий и режима осадков, задавалась приблизительно в соответствии с климатическим районированием [12] окружающих заповедник территорий (рис. 2, табл. 1), как это делалось в [5] для территории Сибири. Кроме того, современные данные об осадках были получены для координат точек траекторий в ходе расчетов по программе HYSPLIT. Поскольку пространственные различия K_{ij} невелики (табл. 1), в формуле (2) использовалось среднее значение для двух зон — ячейка (ij) и пункт наблюдений.

При дальнем переносе все рассматриваемые антропогенные примеси распространяются в воздухе преимущественно на аэрозольных частицах субмикронного размера [13], поэтому скорости их осаждения на подстилающую поверхность считались одинаковыми и неизменными по мере распространения от источника. Последнее допущение заметно упрощает задачу и не должно слишком искажать результат в условиях, когда источники и районы, для которых проводятся оценки, расположены в близких по своим свойствам климатических зонах, над которыми и происходит перенос примеси.

Таким образом, из формулы (2) следует, что примесь, выброшенная в атмосферу за сутки в ячейке (ij), попадет в пункт наблюдений, имея концентрацию, уменьшившуюся за время t_{ij} при движении в пределах слоя перемешивания H_{ij} за счет осаждения на поверхность [экспонента в формуле (2)] и за счет расширения воздушного потока (обратно пропорционально скорости и пути движения [10, 11]). И за 1 мес в течение 10 лет для ячейки (ij) таких суток будет $(n_{ij}/N) \cdot 310$. В результате, в рамках предложенного подхода величина Z_{ij} определяет потенциальные возможности источников (если они есть) из ячейки (ij) оказать воздействие на состав атмосферы в рассматриваемом пункте.

Заметим, что нами изначально были взяты слишком мелкие ячейки. По данным [14] разброс концов 5-суточных траекторий движения воздуха можно приблизительно оценивать в 500 км. Размеры ячеек градусной сетки различны для разных широт: например, средняя ячейка ($1 \times 1^\circ$) для широты полярного круга приблизительно соответствует (111×45 км). Поэтому, окончательно рассчитывая по формуле (1) вклад источника, расположенного в ячейке (ij), мы делали следующую поправку: добавлялись вклады соседних 8 ячеек (для унификации расчетов — независимо от широты и удаленности источника от заповедника) с весами 0,5 и 0,25 для ячеек, прилегающих сторонами и углами соответственно, считая эмиссию в них тоже равной эмиссии с территории ячейки (ij).

В результате атмосферная концентрация C конкретной примеси в пункте наблюдений оценивается путем суммирования рассчитанных по формуле (1) вкладов C_{ij} всех источников, попавших в рассматриваемую область вокруг заповедника (см. рис. 1).

Получается средняя (для рассматриваемого месяца) концентрация антропогенной примеси в приземном воздухе, характерная для десятилетия 2001–2010 гг. Источники могут быть любой природы

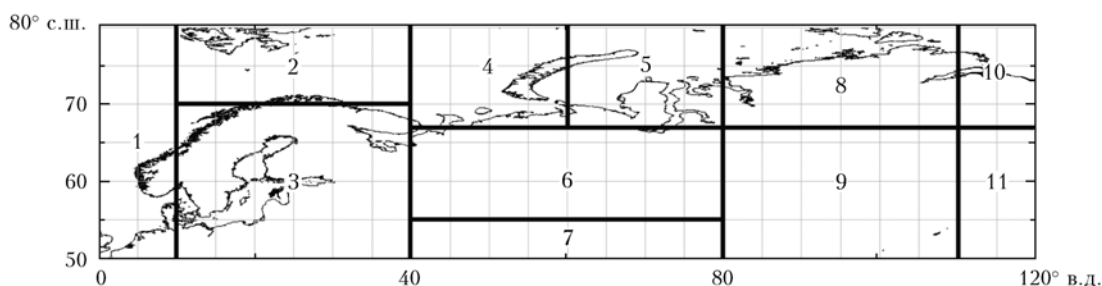


Рис. 2. Разделение рассматриваемой территории севера Евразии на зоны с разными значениями скорости осаждения аэрозольных примесей на поверхность (табл. 1) на основании климатического районирования [12]

Таблица 1

Значения скорости осаждения K (см/с) субмикронных аэрозольных частиц при дальнем переносе в атмосфере в январе и июле над севером Евразии (распределение зон — на рис. 2), принятые для расчетов в настоящей статье

| Номер зоны | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Январь | 0,12 | 0,12 | 0,16 | 0,13 | 0,10 | 0,14 | 0,14 | 0,08 | 0,15 | 0,08 | 0,13 |
| Июль | 1,13 | 1,13 | 1,55 | 1,01 | 0,96 | 1,74 | 1,32 | 0,73 | 1,74 | 0,73 | 1,10 |

с известными эмиссиями атмосферной примеси, переносимой на субмикронных аэрозольных частицах.

Для наземных объектов и сред важной характеристикой является количество антропогенной примеси, выпадающее на подстилающую поверхность за какое-то время (месяц, год). Величина этого потока D в нашем случае рассчитывается следующим образом:

$$D = C \cdot K \cdot T, \quad (3)$$

где K — скорость осаждения примеси на поверхность на территории заповедника; T — время, за которое рассчитывается поток (месяц, год).

Основные результаты

На рис. 3 показаны пространственные распределения значений Z для рассматриваемого заповедника в январе и июле.

Это и есть поле потенциальных источников аэрозольного загрязнения атмосферы Ненецкого заповедника. Чем меньше значение Z , тем менее значимы для окружающей среды заповедника источники загрязнений, расположенные в этом месте. Поскольку шкала значений на обеих картинках одинаковая, хорошо видно, что зимой, когда скорость осаждения примеси на поверхность мала, даже удаленные источники могут внести значительный вклад в загрязнение заповедника, тогда как летом территория расположения наиболее значимых потенциальных источ-

ников заметно уменьшается. Кроме того, по приведенным на рис. 3 картам легко проанализировать значимость источников, приблизительно равноудаленных от заповедника, но имеющих разные мощности эмиссии примесей в атмосферу.

Полученные распределения можно использовать для оценки уровня антропогенного загрязнения атмосферы Ненецкого заповедника от известных антропогенных регионов-источников, расположенных на территории России (данные о выбросах в атмосферу из [8] см. в табл. 2). Распределение источников по пространству очень неравномерно и различно для разных примесей.

Приведенные в табл. 2 координаты не соответствуют реальным источникам, они лишь показывают, в какую ячейку при наших расчетах помещался источник с указанными выбросами в атмосферу. Для упрощения вычислений во многих случаях производилось объединение источников, расположенных довольно далеко друг от друга, но характеризующих один промышленный регион.

На рис. 4 для примера показаны положение и соотношение мощностей выбросов наиболее значительных источников никеля, цинка и сажи, схематически нанесенные прямо на зимние и летнее распределения Z .

Сравнивая с июльским распределением Z (рис. 3, б), видим, что летом большинство источников оказывается на территориях с очень малыми значениями Z , т.е. их вклады в состав атмосферы над заповедником летом много меньше, чем зимой.

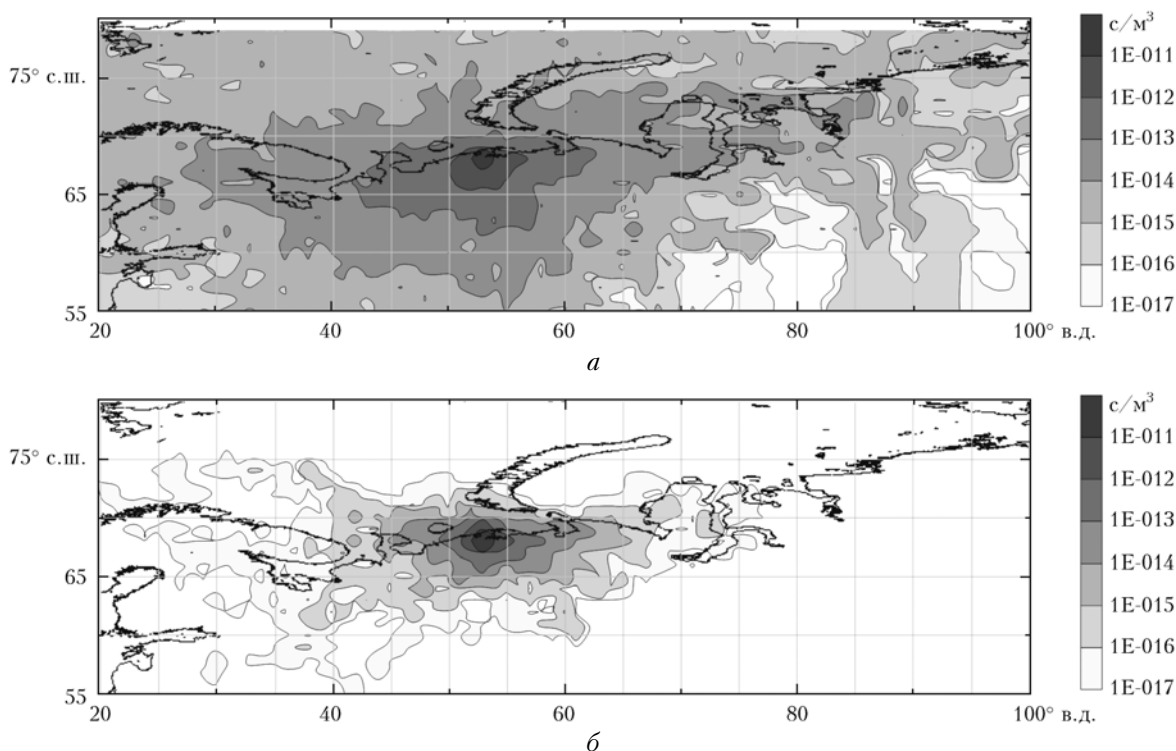


Рис. 3. Поле потенциальных источников загрязнения атмосферы Ненецкого заповедника: пространственные распределения (средние за 10 лет) значений Z ($\text{см}^3/\text{м}^3$), характеризующих возможность атмосферного переноса примесей на субмикронных аэрозольных частицах: январь (а) и июль (б). Шкала значений логарифмическая

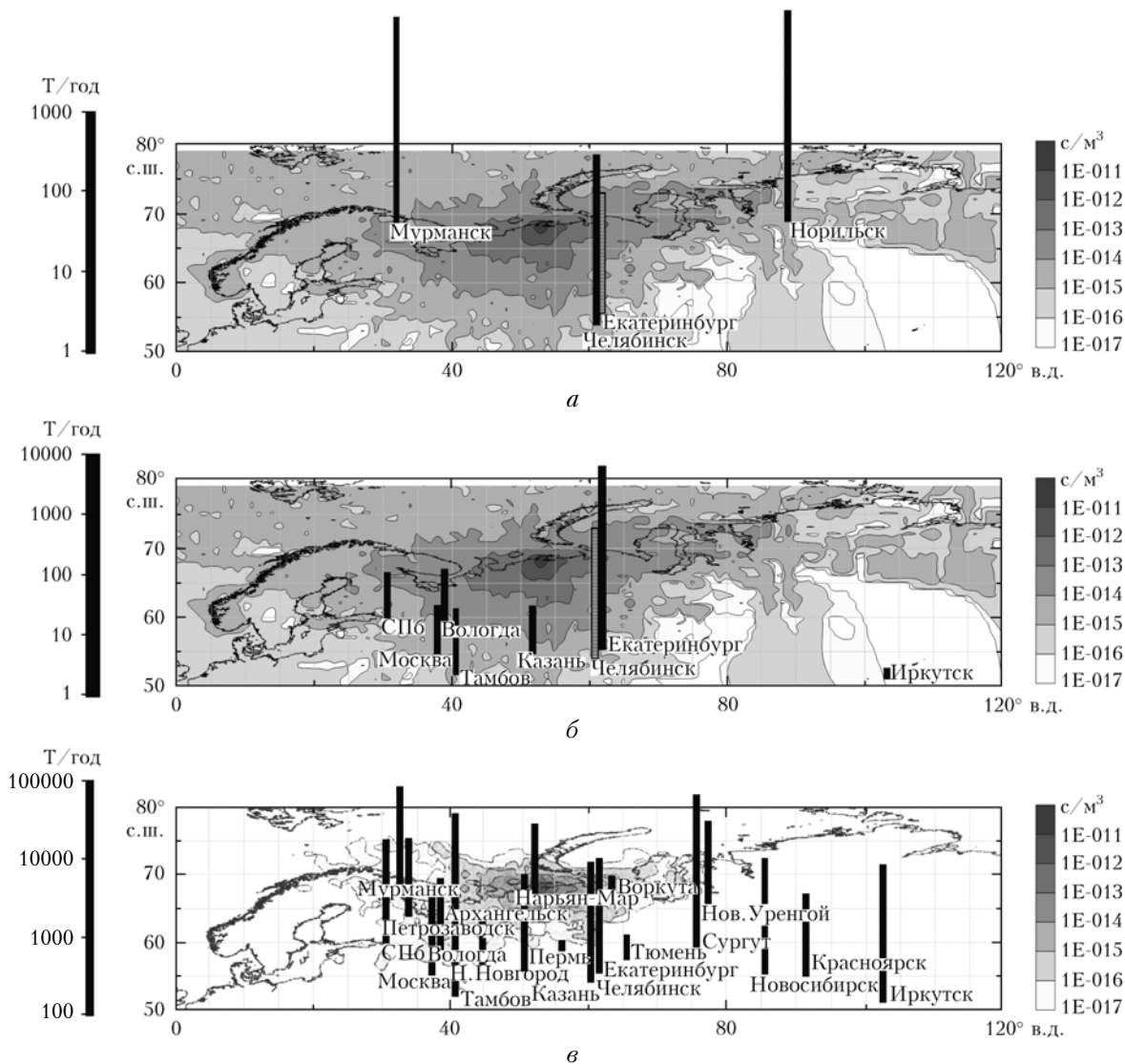


Рис. 4. Пространственные распределения наиболее крупных источников выбросов в атмосферу никеля (а), цинка (б) и сажи (в) на территории России: высота столбиков пропорциональна эмиссии источников из [8] (шкала слева). Подложка – распределение Z (шкала справа). Обе шкалы логарифмические

Из рис. 4 следует, что вблизи заповедника нет мощных источников ТМ, зато очень близко расположен крупный источник сажи (Нарьян-Мар).

Все источники из табл. 2 учитывались при вычислении по описанной методике средних значений антропогенных концентраций в воздухе и потоков на поверхность ТМ и сажи, принесенных воздушными массами в район Ненецкого заповедника. Результаты этих оценок приведены в табл. 3.

Отметим большой размах сезонного хода атмосферных концентраций – до трех порядков у некоторых ТМ. Это результат большой удаленности пункта наблюдений от источников примесей, что подтверждает разница этого показателя для разных примесей, наиболее значимые источники которых по-разному удалены от заповедника. В этом отношении интересен результат для сажи, который определяется очень близким источником и, в основном, частотой поступления воздуха от него, в результате чего

сезонный ход как атмосферной концентрации сажи, так и ее потока на поверхность обратный по сравнению с сезонными вариациями этих же характеристик для рассмотренных ТМ. Для более детального анализа сезонного хода изучаемых параметров и оценки их средних и суммарных годовых величин надо рассмотреть и учесть весенние и осенние условия переноса воздушных масс к заповеднику.

Сопоставление с оценками наших предыдущих расчетов [15], а также с экспериментально измеренными величинами [16, 17] показывает, что наши оценки по новой методике дают те же порядки рассматриваемых величин. Расхождения в ряде случаев можно отнести на учет/неучет каких-то источников или на различия значений мощностей выбросов, заложенных в расчеты. В частности, в [15] учтены кроме российских еще и некоторые европейские источники, а оценки [16] выполнены с учетом только трех крупных источников России с эмиссиями,

Таблица 2

Выбросы в атмосферу ТМ и сажи (т/год) источниками* на территории России [8].
Пустые клетки – данные отсутствуют

| Номер источника | с.ш., град | в.д., град | Pb | Zn | Ni | Cr | Cu | Сажа |
|-----------------|------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 69 | 88 | 18,6 | | 427 | 0,063 | 474 | 29 |
| 2 | 68 | 33 | 8,1 | | 351 | 0,57 | 798 | 1860 |
| 3 | 68 | 53 | | | | 0,006 | | 775 |
| 4 | 68 | 63 | | | | 0,011 | | 150 |
| 5 | 67 | 67 | 0,008 | | | | | 70 |
| 6 | 66 | 61 | | | | | | 16 |
| 7 | 66 | 77 | 0,12 | 0,39 | | 0,037 | 0,045 | 1080 |
| 8 | 65 | 40 | 0,028 | 0,11 | 0,69 | 1,17 | 0,51 | 1672 |
| 9 | 64 | 33 | 0,006 | 0,079 | 0,008 | 0,1 | 0,056 | 930 |
| 10 | 64 | 53 | | | | | | 66 |
| 11 | 62 | 75 | 0,11 | 0,006 | | 0,017 | 0,064 | 14283 |
| 12 | 60 | 30 | 1,7 | 5,9 | 1,06 | 3,04 | 0,45 | 2118 |
| 13 | 59 | 38 | 0,14 | 7,4 | 0,16 | 1 | 3,19 | 801 |
| 14 | 58 | 56 | 0,036 | 0,62 | 0,21 | 1,3 | 1,15 | 129 |
| 15 | 57 | 65 | 0,51 | | | 58 | 0,022 | 210 |
| 16 | 56 | 44 | 1,7 | | 0,095 | 3,02 | 0,5 | 440 |
| 17 | 56 | 50 | 0,66 | 6,04 | 0,43 | 9,5 | 2,7 | 1740 |
| 18 | 56 | 61 | 216 | 1107 | 33 | 76 | 549 | 2818 |
| 19 | 56 | 85 | 0,79 | 0,14 | 0,019 | 2,03 | 0,76 | 2843 |
| 20 | 55 | 37 | 12,1 | 6,3 | 0,79 | 50 | 21 | 1160 |
| 21 | 55 | 92 | 0,037 | 0,82 | 0,012 | 1,02 | 0,305 | 1202 |
| 22 | 54 | 60 | 5,7 | 145 | 128 | 612 | 46 | 3494 |

* Источники: 1 – Норильск; 2 – Мурманская область; 3 – Нарьян-Мар; 4 – Воркута; 5 – Салехард, Лабытнанги; 6 – Инта; 7 – Новый Уренгой, Надым, Губкинское, Ноябрьск, Муравленко; 8 – Архангельская область; 9 – Карелия; 10 – Ухта; 11 – Радужный, Сургут, Нефтеюганск, Нижневартовск, Ханты-Мансийск, Нягань; 12 – Ленинградская область, Псков, Новгород; 13 – Вологда, Череповец, Рыбинск; 14 – Пермь; 15 – Тюмень, Тобольск; 16 – Нижегородская область; 17 – Татарстан, Удмуртия, Чувашия; 18 – Свердловская область; 19 – Новосибирская, Томская области; 20 – Московская и граничащие с ней области; 21 – Красноярск, Ачинск, Абакан, Саяногорск; 22 – Челябинская область.

Таблица 3

Оценки средних (для 10-летия с 2001 по 2010 г.) концентраций в воздухе и потоков на поверхность ряда антропогенных ТМ и антропогенной сажи в районе Ненецкого заповедника в январе и июле

| Примесь | Средние концентрации в воздухе, нг/м ³ | | Потоки на поверхность, мкг/м ² /мес (г/км ² /мес) | |
|---------|---------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------|---------|
| | Январь | Июль | Январь | Июль |
| Pb | 0,024 | 0,0000075 | 0,082 | 0,00020 |
| Zn | 0,083 | 0,0000116 | 0,28 | 0,00030 |
| Ni | 0,33 | 0,00030 | 1,1 | 0,0077 |
| Cr | 0,041 | 0,0050 | 0,14 | 0,13 |
| Cu | 0,72 | 0,00066 | 2,4 | 0,017 |
| Сажа | 270 | 650 | 920 | 16940 |

соответствующими приблизительно концу 1990-х – началу 2000-х гг. Кроме того, нигде не проводились исследования специально Ненецкого заповедника, т.е. все сравнения можно делать лишь для результатов, полученных на других арктических территориях России.

В табл. 4 приведены данные для сравнения полученных январских оценок для Ni и Cu с результатами измерений и с оценками, выполненными тоже на базе траекторного подхода, но для небольшого количества источников и при другой схеме анализа траекторий. Видно, что результаты получились вполне разумные. Измеренные величины в районе Белого моря [18] имеют, естественно, большой разброс. Результаты для удаленных арктических островов [15, 19] – ниже. Высокие оценки для Печорского моря [16] относятся к 1990-м гг., когда антропогенные эмиссии никеля и меди были в среднем примерно в 4 раза выше, чем в рассматриваемый 2007 г.

Обратим внимание, что результат для антропогенной сажи пока можно рассматривать как качественный, описывающий соотношение вкладов рассмотренных антропогенных источников. Он получен при негласном предположении, что в выбросах источников распределение сажи по размерам аэрозольных

Таблица 4

Сравнение полученных величин для Ni и Cu (за январь) с результатами измерений и с другими оценками

| Характеристика загрязнения | Место | Тяжелые металлы | | Ссылки |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|-----------------|---------|-----------------------------------|
| | | Ni | Cu | |
| Концентрация в воздухе, нг/м ³ | Ненецкий заповедник | 0,33 | 0,72 | Данная работа [19] [18] [15] [20] |
| | Шпицберген** | 0,43 | 0,65 | |
| | Белое море** | 0,4–5,5 | 1,6–8,5 | |
| | Арктика* | 0,12 | 0,18 | |
| | Костомукшский заповедник*** | 0,76 | 0,93 | |
| Поток на поверхность, мкг/м ² /мес | Ненецкий заповедник | 1,1 | 2,4 | Данная работа [16] [15] [20] |
| | Печорское море**** | 50 | 40 | |
| | Арктика* | 1,5 | 2,1 | |
| | Костомукшский заповедник*** | 3 | 5 | |

* Для архипелагов Земля Франца-Иосифа и Северная Земля; ** измерения; *** Центральная Карелия; **** для 1990-х гг.

Поле потенциальных источников аэрозольного загрязнения атмосферы в районе Ненецкого заповедника

частиц, на которых она далее распространяется воздушными массами, такое же, как и у ТМ. Однако этот вопрос пока остается открытым и требует отдельного скорейшего экспериментального изучения. Кроме того, в качестве источников сажи в атмосфере не учтены пожары и другие процессы горения биомассы, отопление большого количества небольших северных поселков, сжигание попутного газа вблизи многочисленных источников нефти и газа на севере России и др.

Подчеркнем, что распределения Z на рис. 3 можно использовать для расчетов влияния протяженных источников (например, пожаров) на состав аэрозоля в районе рассмотренного заповедника, если известны атмосферные выбросы этими источниками примесей, переносимых на субмикронных аэрозольных частицах.

Заключение

По предложенной методике выполнены оценки уровня содержания ряда тяжелых металлов в атмосфере Ненецкого заповедника (в районе дельты р. Печора), которые дали вполне разумные результаты, сопоставимые с предыдущими оценкам по другим методикам и с экспериментальными данными для ближайших территорий.

Результаты, представленные в виде наглядных карт, дают информацию о пространственном распределении мест максимально возможного антропогенного воздействия на состав атмосферы в районе Ненецкого заповедника. Они также могут быть использованы для сравнения вкладов имеющихся антропогенных источников и прогнозирования вкладов проектируемых промышленных объектов и комплексов в загрязнение окружающей среды заповедника.

Пространственные поля потенциальных источников загрязнения атмосферы для района Ненецкого заповедника могут быть использованы для расчета вкладов протяженных источников антропогенных выбросов аэрозолей (антропогенных и природных пожаров) в загрязнение атмосферы и оценки состояния окружающей среды в изучаемом районе.

Авторы благодарны Лаборатории воздушных ресурсов (Air Resource Laboratory) NOAA за предоставленную возможность свободно использовать модель HYSPLIT для расчета траекторий движения воздушных масс, ставших основой для данного исследования, а также РФФИ за финансовую поддержку работы (проект № 11-05-00300).

1. *Persistent Toxic Substances, Food Security and Indigenous Peoples of the Russian North. Final Report.* Oslo, Norway: AMAP, 2004. 192 p.
2. AMAP / Quinn et al., 2008. The Impact of Short-Lived Pollutants on Arctic Climate. AMAP Technical Report No. 1 (2008), Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo, Norway. 23 p.
3. *Суркова Г.В., Еремина И.Д., Мордкович П.А.* О влиянии крупномасштабного атмосферного переноса на хи-

- мический состав и количество атмосферных осадков в центре европейской территории России // *Метеорол. и гидрол.* 2010. № 4. С. 36–44.
4. *Salvador P., Artiñano B., Pio C., Afonso J., Legrand M., Puxbaum H., Hammer S.* Evaluation of aerosol sources at European high altitude background sites with trajectory statistical methods // *Atmos. Environ.* 2010. V. 44. P. 2316–2329.
 5. *Виноградова А.А., Максименков Л.О., Погарский Ф.А.* Влияние промышленности Норильска и Урала на окружающую среду различных районов Сибири // *Оптика атмосф. и океана.* 2008. Т. 21, № 6. С. 479–485.
 6. *Мальшикин А.В., Поддубный В.А., Маркелов Ю.И., Береснев С.А., Горда С.Ю., Сакерин С.М., Смирнов А.В.* Средний Урал в системе AEROSIBNET: предварительный анализ влияния региональных источников аэрозольного загрязнения атмосферы // *Оптика атмосф. и океана.* 2007. Т. 20, № 6. С. 497–500.
 7. *Виноградова А.А., Пономарева Т.Я.* Источники и стоки антропогенных микроэлементов в атмосфере Арктики: тенденции изменения с 1981 по 2005 г. // *Оптика атмосф. и океана.* 2007. Т. 20, № 6. С. 471–480.
 8. *Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов и регионов Российской Федерации за 2007 год.* СПб., 2008. 204 с.
 9. *Draxler R.R., Rolph G.D.* HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY. 2003. (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>).
 10. *Ровинский Ф.Я., Громов С.А., Бурцева Л.В., Парамонов С.Г.* Тяжелые металлы: дальний перенос в атмосфере и выпадение с осадками // *Метеорол. и гидрол.* 1994. № 10. С. 5–14.
 11. *Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н.* Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 278 с.
 12. *Географический атлас офицера.* М.: Изд. Доп. УНИИНТЕХ, 2008. 424 с. ISBN978-5-901906-13-2.
 13. *Гальперин М., Софиев М., Гусев А., Афиногенова О.* Подходы к моделированию трансграничного загрязнения атмосферы Европы тяжелыми металлами. М.: ЕМЕП/МСЦ-В, 1995. Отчет 7/95. 85 с.
 14. *Kahl J.D., Harris J.M., Herbert G.A., Olson M.P.* Intercomparison of three long-rangs trajectory models applied to Arctic haze // *Tellus.* B. 1989. V. 41, N 5. P. 524–536.
 15. *Виноградова А.А., Пономарева Т.Я.* Атмосферный перенос антропогенных примесей в арктические районы России (1986–2010 гг.) // *Оптика атмосф. и океана.* 2012. Т. 25, № 6. С. 475–483.
 16. *Виноградова А.А., Максименков Л.О., Погарский Ф.А.* Промышленные комплексы Заполярья – источники антропогенных тяжелых металлов в окружающей среде Российской Арктики // *Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы.* Т. 3, ч. 2. Природные процессы в полярных областях Земли / Отв. ред. В.М. Котляков. М.: ИГ РАН, ИФЗ РАН, 2008. 376 с. С. 193–203.
 17. *Голубева Н.И., Бурцева Л.В., Гинзбург В.А.* Тяжелые металлы в атмосферных осадках на побережье Баренцева моря // *Метеорол. и гидрол.* 2010. № 5. С. 60–70.
 18. *Шевченко В.П., Лисицын А.П., Виноградова А.А., Смирнов В.В., Штайн Р.* // *Аэрозоли Арктики и их влияние на окружающую среду* / Отв. ред. д.ф.-м.н.

- К.П. Куценогий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 548 с.
19. Berg T., Hjellbrekke A.-G., Skjelmoen J.E. Heavy metals and POPs within the ECE region. EMEP/CCC – Report 8/96. O-95038. NILU, Norway, 1996. 187 p.
20. Виноградова А.А., Иванова Ю.А. Антропогенное загрязнение природных сред в районе Костомукшского заповедника (Карелия) при дальнем переносе аэрозольных примесей в атмосфере // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 6. С. 493–501.

A.A. Vinogradova, A.O. Veremeichik. Prospective sources of atmospheric aerosol pollution near Nenezky nature reserve.

New approach for calculating the spatial field of prospective pollution sources for remote territories has been suggested. It is based on the analysis of long-term data on air masses transport, been taken from the reanalysis data of NOAA (www.arl.noaa.gov/ready). 5-day backward air mass trajectories have been calculated to the point inside the area of Nenezky Nature Reserve (the Pechora River delta) for each day of January and July during 10 years (2001–2010). These two months have the most contrasting climatic characteristics in a year. The results on atmospheric heavy metals concentrations at the Reserve territory showed good agreement with other estimates and experimental data for the nearest sites. The maps presented give visual information on average spatial distribution (for every month) of prospective pollution sources for the Reserve environment. Such fields for distant and protected territories can be used for comparing contributions from different existing sources and anthropogenic sources being in project, as well as from extensive sources such as fires of different origin.