

Изменения атмосферной циркуляции и загрязнения окружающей среды в Сибири от промышленных районов Норильска и Урала в начале XXI в.

А.А. Виноградова, Л.О. Максименков, Ф.А. Погарский*

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

Поступила в редакцию 20.01.2009 г.

Оценены изменения антропогенного воздействия двух крупных промышленных районов России (Норильска и Свердловской области) на окружающую среду в Сибири, связанные с перестройкой атмосферной циркуляции в первые годы XXI в. Дан анализ распространения воздушных масс и антропогенных аэрозольных примесей от источников на протяжении 27 лет с 1981 по 2007 г. по ежедневным 5-суточным траекториям движения воздуха для января, апреля, июля и октября, рассчитанным по модели HYSPLIT-4 и данным реанализа полей давления и ветра NOAA (NCEP/NCAR Reanalysis Data Files). Использовалась информация Росгидромета об эмиссии в атмосферу тяжелых металлов с территорий указанных районов.

Рассмотрены изменения в 2000-х гг. по сравнению с 1990-ми гг. средних концентраций никеля, меди и свинца в приземном воздухе, а также их потоков на поверхность над территорией Сибири. Пространственное распределение этих изменений имеет мозаичный характер и различается в разные сезоны. С точки зрения загрязнения поверхностных природных сред и объектов, перестройка циркуляции атмосферы может оказывать не меньший эффект, чем изменения эмиссии рассматриваемых тяжелых металлов за эти годы. Количество свинца, меди или никеля, поступающее за год через атмосферу от рассмотренных источников на поверхность водосбора каждой из крупных сибирских рек (Обь, Енисей, Лена), сопоставимо с годовым потоком соответствующего металла, выносимым водами реки в Северный Ледовитый океан.

Ключевые слова: атмосфера, загрязнение, тяжелые металлы, дальний перенос.

Введение

На территории России существует несколько крупных промышленных регионов (Урал, район Норильска, Кольский п-ов и др.), являющихся источниками загрязнений глобального масштаба, атмосферные эмиссии которых разносятся воздушными потоками на огромные расстояния. В частности, их «дыхание» чувствуется над российскими арктическими морями, в Центральной Арктике и даже в северных районах Американского материка [1–3]. Для территории Сибири, из-за преобладания ветров с западной составляющей, наиболее значимыми крупными источниками антропогенных загрязнений в атмосфере являются район Норильска и Урал. В результате распространения примеси от источников и осаждения ее на подстилающую поверхность через атмосферу передается антропогенное воздействие на все природные объекты (почвы, воды рек и водоемов, растения и т.д.), а также — по пищевым цепочкам — на животных и людей.

Моделирование и оценка антропогенного влияния на окружающую среду — сложные и очень важные практические задачи. Предположение малых размеров источников по сравнению с дальностью распространения примеси (до 5–10 тыс. км) и анализ многолетних (10 лет и более) данных о переносе воздушных масс позволяют оценить среднее (за 10-летний период) антропогенное воздействие через атмосферу на удаленные территории с помощью методики, предложенной и развитой в [4–6].

Данная статья является продолжением исследований, первые результаты которых опубликованы в [7]. Теперь ряд анализируемой синоптической информации продолжен на начало XXI в. и составил 27 лет (1981–2007 гг.). Изучаются средние закономерности распространения в атмосфере от Урала и Норильска тяжелых металлов (ТМ) и осаждения их на подстилающую поверхность в различных районах Сибири в разные сезоны. Оценивается многолетний вклад промышленности регионов-источников в загрязнение тяжелыми металлами воздуха, осадков и наземных природных объектов. Основной целью данной работы является обнаружение в изучаемых характеристиках изменений, появившихся в 2000-х гг. по сравнению с предыдущими десятилетиями.

* Анна Александровна Виноградова (anvinograd@yandex.ru); Леонид Олегович Максименков; Федор Алексеевич Погарский.

Исходные данные и методика оценок

Изучение распространения примеси от источников было основано на анализе больших массивов траекторий движения воздушных масс. Расчет 5-суточных траекторий для каждого дня января, апреля, июля и октября с 1981 по 2007 г. осуществлялся на изобарических поверхностях 925 и 850 гПа (старт в 00 ч GMT, интервал расчетов 1 ч) с помощью модели HYSPLIT-4 и данных реанализа полей метеорологических характеристик NOAA (NCEP/NCAR Reanalysis Data Files) [8]. Источники задавались условными координатами: Норильск – 69° с.ш., 88° в.д.; Урал (ввиду протяженности) – двумя точками – 53° с.ш., 58° в.д. и 57° с.ш., 61° в.д. Пространственные распределения плотности числа траекторий и примеси в воздухе от каждого источника строились на картах с координатной сеткой (1×1°) для каждого месяца за 10 лет – отдельно для 1980-х (1981–1990), 1990-х (1990–1999) и 2000-х (1998–2007) годов. Распределения для Урала, полученные от двух точек-источников, усреднялись в каждой ячейке. Эффекты от Норильска и Урала считались независимыми, их общее влияние оценивалось путем суммирования в каждой ячейке.

Для конкретных оценок нами были выбраны три металла – свинец, никель и медь (Pb, Ni, Cu), поскольку они характеризуют три различные комбинации эмиссий рассматриваемых источников: свинец выбрасывается в основном на Урале, никель, наоборот, в районе Норильска, а медь – почти поровну обоими источниками (рис. 1).

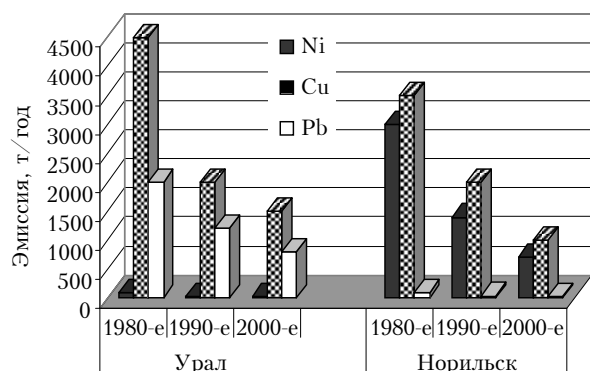


Рис. 1. Эмиссия никеля, меди и свинца в атмосферу рассматриваемыми источниками (Урал и Норильск) в среднем в 1980-, 1990- и 2000-х гг.

Эмиссия этих металлов уменьшалась каждые 10 лет по сравнению с предыдущими приблизительно в 2 раза ([9, 10] и аналогичные издания 2000 и 2005 гг.). Это явилось следствием как резкого сокращения производства в России в 1990-х гг., так и более эффективных мер по очистке атмосферных выбросов, применяемых в последние 10–15 лет [11].

Подход к оценкам распространения примеси при ее дальнем переносе в атмосфере был аналогичен примененному ранее [5, 12, 13] и довольно подробно описан в [7]. Как показано в [12], при даль-

нем переносе все рассматриваемые химические элементы распространяются в воздухе преимущественно на аэрозольных частицах субмикронного размера. Поэтому скорости их осаждения на подстилающую поверхность предполагались одинаковыми и неизменными по мере распространения от источника. Однако учитывались сезонные и пространственные различия скорости осаждения примесей [7].

Поскольку территория Сибири охватывает несколько различных климатических зон, в настоящем исследовании она была поделена на крупные участки, как это описано в [7], для которых при расчетах использовались разные параметры осаждения аэрозоля. Значения скорости сухого осаждения субмикронного аэрозоля над различными подстилающими поверхностями, а также значения скорости осаждения осадками задавались, исходя из литературных данных [13, 14], в частности с учетом количества и агрегатного состояния осадков над разными территориями [15]. В [7] приведены средние значения (используемые в наших расчетах) характеристик, определяющих осаждение примеси на поверхность, а также доли примеси, осаждающейся с осадками, для различных участков территории Сибири в разные сезоны.

Отметим, что в современных условиях довольно быстрого изменения климата режим осадков над севером Евразии за последние 10–15 лет изменился [16, 17] как качественно, так и в количественном отношении. Но тренды таковы, что введение соответствующих поправок в наши оценки пока приводит к небольшим изменениям (в пределах 10%) рассматриваемых характеристик загрязнения и не вносит принципиальных сдвигов в обсуждаемые закономерности.

В данной статье изучались следующие средние (за 10 лет) характеристики загрязнения природной среды: концентрации ТМ в приземном воздухе, в осадках, потоки ТМ на подстилающую поверхность. Построенные нами карты пространственного распределения примесей позволяют рассчитать эти характеристики для любого сезона и в целом за год в любой точке Западной и Восточной Сибири. Считая рассматриваемые месяцы представительными для каждого сезона, мы оценивали сезонные вариации характеристик загрязнения, а средние и суммарные годовые показатели вычисляли в предположении равной длительности сезонов. Долговременные тенденции изменения характеристик загрязнения оценивались при сравнении результатов для трех указанных выше десятилетий.

Влияние перестройки атмосферной циркуляции

Долговременные изменения антропогенной нагрузки через атмосферу на поверхностные природные среды и объекты обусловлены двумя основными факторами: 1) уменьшением выбросов в атмосферу источников загрязнений (см. рис. 1); 2) изменением процессов циркуляции воздушных масс и в связи с этим путей переноса примесей. Процессы циркуляции

атмосферы над севером Евразии в течение рассматриваемых 27 лет заметно изменялись. Например, на рис. 2 для территорий вблизи источников показаны разницы между средними распределениями примеси в атмосфере в 2000-х и в 1990-х гг. для разных

месяцев. В целом, эти изменения весьма неоднородны по пространству, и в одном и том же месте могут иметь разные знаки в разные месяцы и сезоны, что усложняет задачи моделирования и прогнозирования таких процессов.

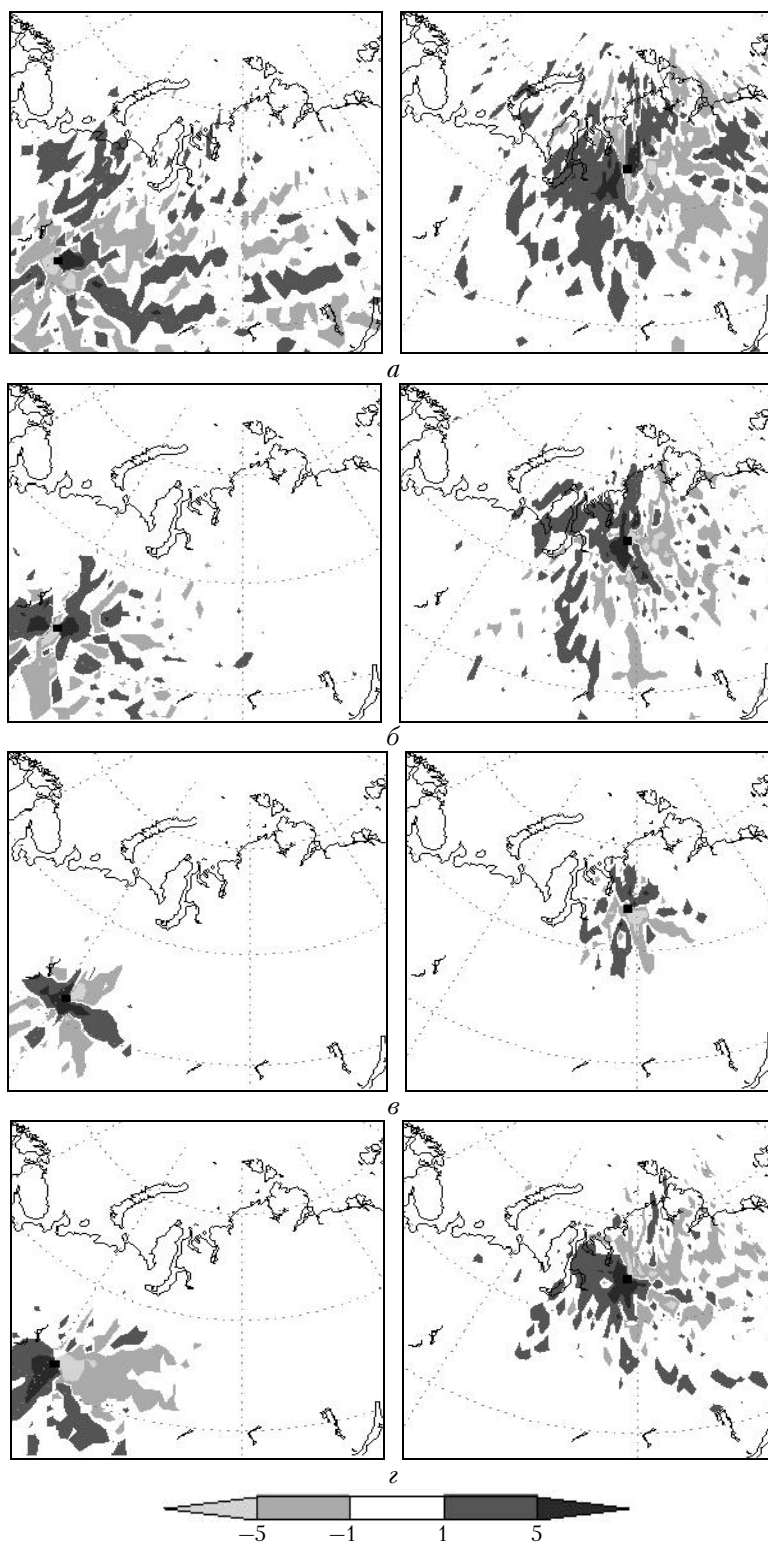


Рис. 2. Изменения распределений в воздухе ТМ, поступающих от Урала (слева) и Норильска (справа), над ближайшими к источникам территориями в разные сезоны (разница средних концентраций 2000-х и 1990-х гг.): январь (а), апрель (б), июль (в), октябрь (г)

Эффект, который оказывают изменения циркуляционных процессов на средние (за десятилетие) атмосферные концентрации и потоки ТМ на поверхность, по абсолютной величине вполне сравним с эффектом от уменьшения эмиссии источников в эти годы [7, 18]. Причем в тех районах, где знаки «атмосферного» и «эмиссионного» эффектов одинаковы, загрязнение уменьшается еще больше, а в противном случае, наоборот, — загрязнение уменьшается не столь значительно, как это можно предположить, судя по изменениям эмиссии источников (см. рис. 1), и может даже возрасти. Суммарное взаимодействие этих процессов привело к тому, что годовые потоки ТМ от Норильска и Урала в 2000-х гг. по сравнению с 1990-ми гг. уменьшились на всей рассматриваемой территории, но эти уменьшения различны. На рис. 3 показаны районы Сибири, где перестройка атмосферной циркуляции заметно повлияла на средние суммарные годовые потоки ТМ на подстилающую поверхность.

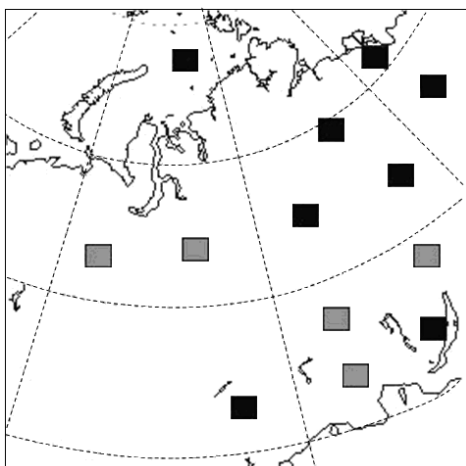


Рис. 3. Районы, где изменение циркуляции атмосферы усилило (черные квадратики) или ослабило (серые квадратики) уменьшение загрязнения, вызванное уменьшением эмиссии источников в 2000-х гг. по сравнению с 1990-ми

Уменьшение эмиссии в 2000-х гг. по сравнению с 1990-ми гг. в среднем (для трех металлов) составило около 38%. При этом в ряде районов (отмеченных на рис. 3 черными квадратиками) результирующие потоки ТМ из атмосферы уменьшились значительно — до 50% и более, а в других (серые квадратики) — уменьшение потоков ТМ, наоборот, не столь сильно (10–20%).

Атмосферные концентрации тяжелых металлов и их потоки на поверхность

Чтобы показать более детально сезонные и многолетние вариации загрязнения окружающей среды, осуществляемого благодаря атмосферному переносу, рассмотрим территории, удаленные от источников на расстояния 800–1300 км (рис. 4).

Для этих районов изменения за три десятилетия средних атмосферных концентраций и потоков на

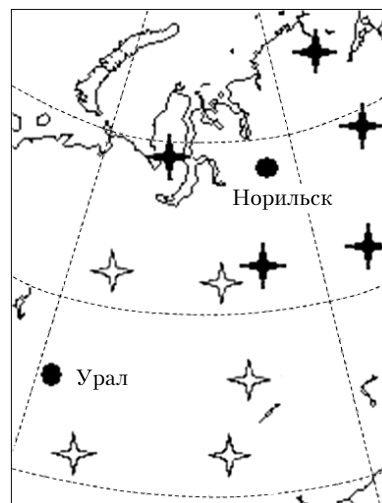


Рис. 4. Районы, для которых приведены оценки на рис. 5 (светлые звездочки) и рис. 6 (темные звездочки)

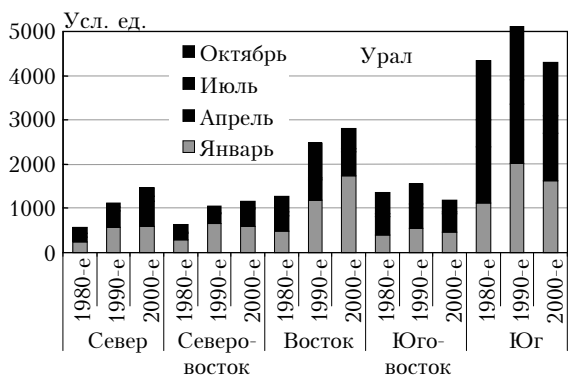
поверхность ТМ, поступающих от Урала и Норильска, показаны на рис. 5.

Для территорий вблизи Урала свойственны достаточно однородные (в климатическом отношении) условия, которые определяют почти одинаковые скорости осаждения ТМ на поверхность в районах, обозначенных на рис. 4 (в [7] приведены значения, использованные в расчетах). В результате (см. рис. 5, а, б) при сравнении разных районов потоки примеси на поверхность приблизительно пропорциональны ее концентрации в воздухе.

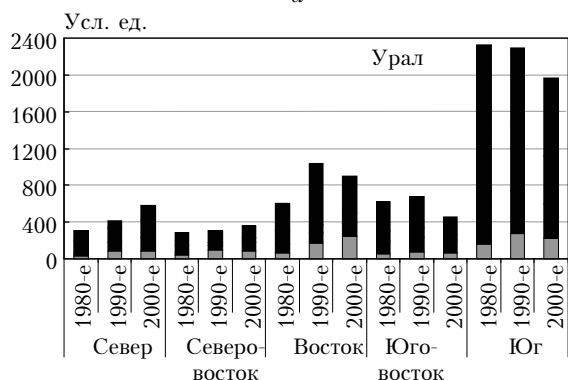
Для окрестностей Норильска это не так. Там климатические характеристики и скорость осаждения примеси на поверхность меняются более резко [7] (особенно в широтном направлении). Поэтому сравнение северо-восточную и южную точки вблизи Норильска (рис. 4 и 5, в, г), можно увидеть противоположные различия атмосферных концентраций и потоков примеси на поверхность: при большей загрязненности воздуха на северо-востоке потоки ТМ на поверхность и, следовательно, нагрузка на наземные экосистемы там меньше, чем на юге, где, наоборот, воздух загрязнен значительно меньше. Этот пример подчеркивает, что *при оценке и сравнении экологического состояния окружающей среды разных районов недостаточно просто сравнивать степень загрязненности приземного воздуха, а необходимо учитывать различия в процессах осаждения примесей на поверхность в рассматриваемых районах.*

Рис. 6 иллюстрирует влияние Урала и Норильска через атмосферу на наземные природные объекты на территории Сибири.

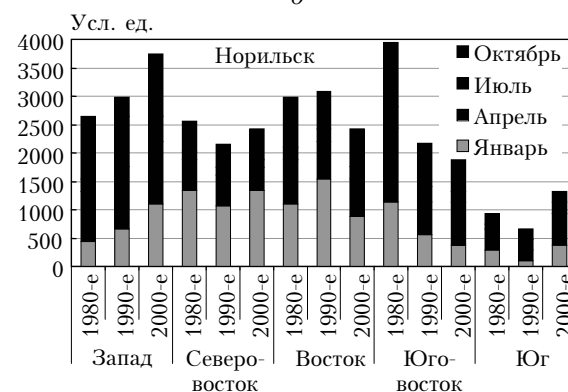
Естественно, максимальные потоки ТМ поступают от этих источников на территории, ближайшие к ним. Здесь наземные экосистемы подвергаются наибольшей антропогенной нагрузке, которая определяется в основном именно этими двумя мощными индустриальными центрами. По мере удаления от источников их вклад в загрязнение окружающей среды ослабевает и они создают «фоновый» уровень



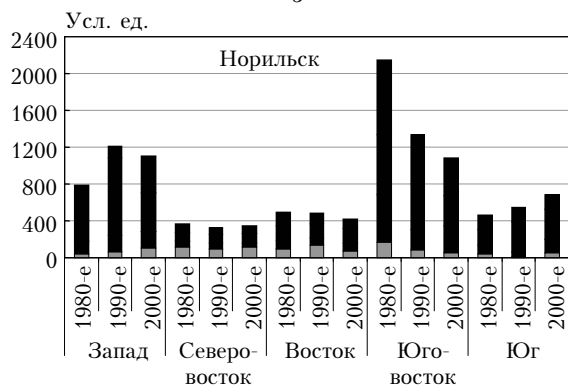
а



б



в



г

Рис. 5. Долговременные изменения характеристик загрязнения окружающей среды (средних за 10 лет) в пяти районах вблизи Урала и Норильска (на расстоянии 800–1300 км, см. рис. 4) для разных месяцев и за год (полная высота столбика): а, б – концентрация ТМ в приземном воздухе; в, г – поток ТМ на поверхность

загрязнения, на который «накладываются» примеси, поступающие от местных локальных источников.

Как было показано в [7], эти эффекты особенно заметны в промышленных районах юга Западной Сибири. Поэтому результаты, представленные на рис. 6, могут использоваться для оценки антропогенного воздействия на природные объекты в фоновых труднодоступных районах.

Нагрузка на водосборы крупных рек

Чтобы понять масштаб эффектов, которые рассматривались в предыдущих разделах, необходимо сравнить поступление ТМ в какую-то наземную среду или в какой-то замкнутый природный объект из атмосферы с другими каналами поступления или выноса ТМ. Так, в [18, 19] нами оценивался вклад атмосферного канала в загрязнение тяжелыми металлами вод центральной части морей Российской Арктики, который оказался вполне сравнимым с вкладом речного стока.

В данной статье мы оценили поступление рассматриваемых ТМ через атмосферу от Урала и Норильска на водосборы трех крупных сибирских рек – Оби, Енисея и Лены. Территории и площади водосборов были взяты из [20], а годовой сток ТМ с речными водами в моря Северного Ледовитого океана – из [21]. На рис. 7 показано, как соотносятся по годовым потокам ТМ рассматриваемые источники (эмиссии в атмосферу), атмосферный транзит (поток из атмосферы на поверхность водосбора) и речной сток (вынос в Северный Ледовитый океан). Приведены оценки, относящиеся к 1990-м гг.

Видно, что все потоки соизмеримы друг с другом. Таким образом, изучаемые нами эффекты дальнего переноса ТМ в атмосфере являются значимыми для наземных (в частности, водных) экосистем Сибири.

Процесс формирования элементного состава речных вод весьма сложен: он определяется множеством физических (температура, притоки и др.), химических (кислотность, ионный состав и др.), геологических (состав подстилающих пород, рельеф и др.) и биологических (органика, гидробионты и др.) факторов [22]. Очень важным механизмом является водообмен с почвенными водами. Из рис. 7 видно, что для всех рек содержание каждого из рассмотренных ТМ в их стоке больше, чем суммарный поток этого металла из атмосферы на площадь водосбора. По приведенным данным, исключение составляет лишь свинец в водах Оби: из атмосферы его поступает больше, чем выносится водами реки в Карское море. Обсуждение причин этого эффекта выходит далеко за пределы компетенции авторов, однако хотелось бы отметить два, несомненно, значимых фактора.

Во-первых, по данным [21], свинец почти полностью (более 95%) находится во взвеси речной воды всех трех рек, в отличие от никеля и меди, около 50% которых (для Ni в водах Лены – около 25%) находятся в растворенных формах.

Во-вторых, территория водосбора Оби в значительной степени расположена на болотистых низменностях Западной Сибири, где процессы формирования элементного состава вод существенно отличаются от условий Енисея и Лены.

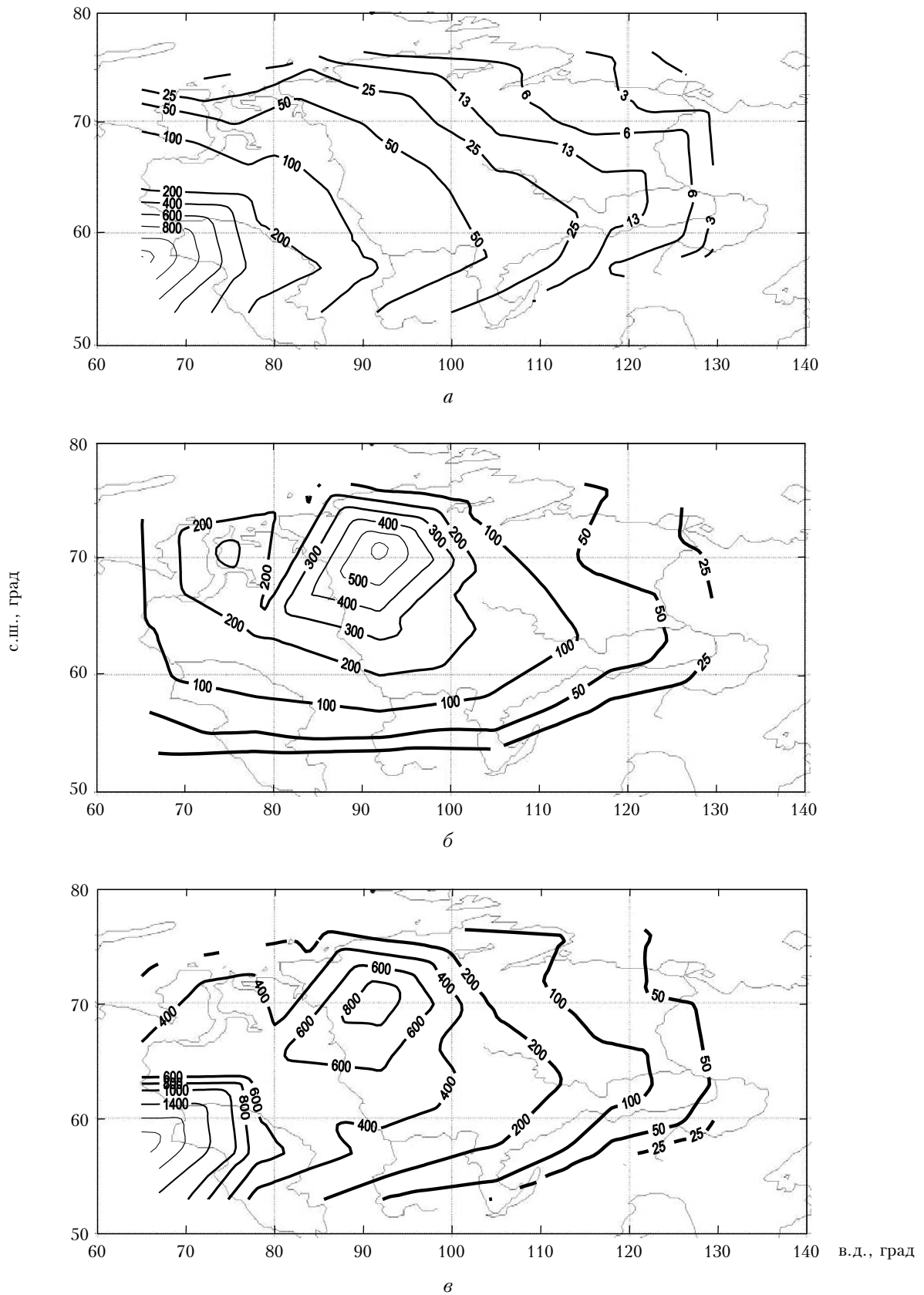


Рис. 6. Распределение средних (для 2000-х гг.) потоков свинца (а), никеля (б) и меди (в), поступающих от Урала и Норильска через атмосферу на территорию Сибири, г/км²/год

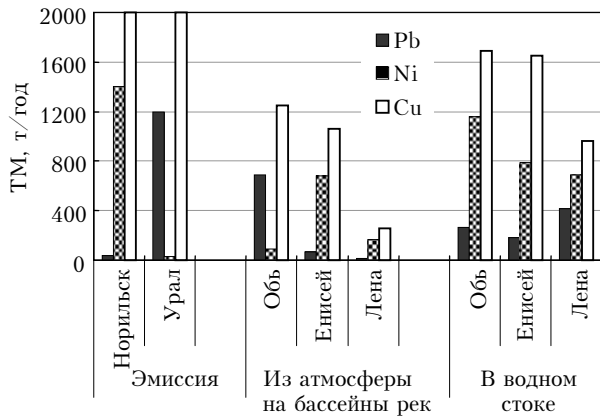


Рис. 7. Сравнение масштабов годовых потоков ТМ (в 1990-х гг.) в отношении рек Обь, Енисей, Лена: эмиссия источников в атмосферу, выпадения из атмосферы на площадь водосборов рек и вынос с речными водами в Северный Ледовитый океан

Рис. 8 иллюстрирует изменения потоков рассматриваемых ТМ из атмосферы на территории водосборов Оби, Енисея и Лены в 2000-х гг. по сравнению с 1990-ми гг. (представлены разницы соответствующих значений средних годовых потоков ТМ). В целом, нагрузка на водосбор Оби почти не изменилась. Для водосборов Енисея и Лены относительные изменения более заметны, хотя, возможно, здесь сказывается чисто методический фактор, когда сравнительно небольшие изменения рассматриваются в относительных единицах по сравнению с небольшими абсолютными значениями. Из рис. 8 хорошо виден качественный результат: в начале XXI в. потоки ТМ от Урала и Норильска через атмосферу уменьшились, как и должно быть на основании представленных ранее результатов (см. обсуждение рис. 3). Однако выпадения свинца на водосборы Лены и Енисея увеличились (несмотря на уменьшение его эмиссии – см. рис. 1), что является яркой демонстрацией значимости процессов перестройки

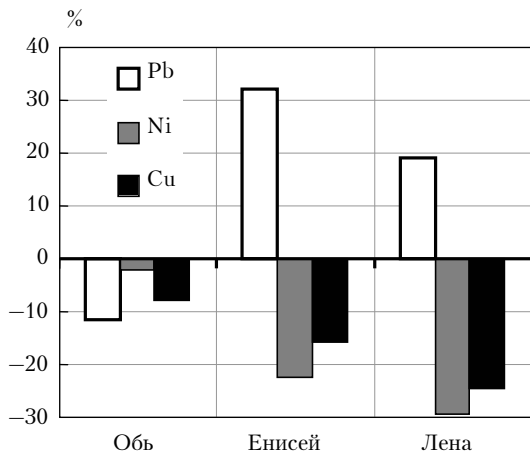


Рис. 8. Изменение потоков ТМ на водосборы рек Обь, Енисей и Лена в 2000-х гг. по сравнению с 1990-ми гг. (разница потоков 2000-х и 1990-х гг., отнесенная к потоку 1990-х гг.), %

атмосферной циркуляции в долговременных изменениях антропогенного воздействия на окружающую среду различных районов Сибири.

Заключение

В работе получены количественные оценки долговременных (на протяжении почти трех десятилетий с 1981 по 2007 г.) изменений средних концентраций тяжелых металлов (Pb, Ni, Cu), принесенных в атмосферу от двух крупных промышленных регионов (Норильск и Урал), в приземном воздухе различных районов Сибири в разные сезоны. Рассчитаны средние потоки этих металлов на подстилающую поверхность и их изменения в 2000-х гг. по сравнению с концом XX в. Эти результаты могут использоваться для оценки антропогенного воздействия на природные объекты в фоновых труднодоступных районах.

В целом в 2000-х гг. антропогенная нагрузка на природные объекты Сибири со стороны Урала и Норильска уменьшилась по сравнению с 1990-ми гг. Долговременные изменения загрязнения природной среды в разных районах Сибири под воздействием перестройки процессов циркуляции атмосферы вполне соизмеримы (но могут отличаться по знаку) с эффектом от уменьшения эмиссии источников в тот же период. Суммарный эффект различен для разных мест, сезонов и примесей.

Оценены средние потоки свинца, никеля и меди, поступающие от Урала и Норильска через атмосферу, на природные объекты и экосистемы водосборов наиболее крупных сибирских рек – Оби, Енисея и Лены. Величины этих потоков вполне соизмеримы с потоками этих же тяжелых металлов, которые выносятся речными водами в Северный Ледовитый океан. В целом антропогенная нагрузка со стороны Урала и Норильска на водосборы трех рек в начале XXI в. уменьшилась по сравнению с предшествующим десятилетием. Однако перестройка атмосферных процессов привела к повышению потоков свинца от рассматриваемых источников на водосборы Енисея и Лены, несмотря на уменьшение его эмиссии в рассматриваемые годы.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 16/2, а также Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 07-05-00691, 06-05-64815).

1. *Rahn K.A.* Relative importances of North America and Eurasia as sources of Arctic aerosol // *Atmos. Environ.* 1981. V. 15. N 8. P. 1447–1455.
2. *Арктика на пороге третьего тысячелетия* (ресурсный потенциал и проблемы экологии). СПб.: Наука, 2000. 247 с.
3. *AMAP. Arctic Pollution 2002.* Oslo, Norway: AMAP, 2002. 111 p.
4. *Виноградова А.А., Пономарева Т.Я.* Сезонные изменения атмосферных концентраций и выпадений антропогенных примесей в Российской Арктике // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана.* 2001. Т. 37. № 6. С. 761–770.

5. *Виноградова А.А.* Антропогенный аэрозоль над морями Северного Ледовитого океана: Автореф. дис.... докт. геогр. наук. М., 2004. 39 с.
6. *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.
7. *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.
8. *Draxler R.R., Rolph G.D.* 2003. HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>).
9. *Ежегодник* состояния загрязнения воздуха и выбросов вредных веществ в атмосферу городов и промышленных центров Советского Союза. Т. 2. Выбросы вредных веществ. 1989 г. Л., 1990. 486 с.
10. *Ежегодник* выбросов загрязняющих веществ в атмосферу городов и регионов Российской Федерации (России) 1997 г. СПб., 1998. 433 с.
11. *Расуна J.M.* Source inventories for atmospheric trace metals // Atmospheric Particles / Ed. by R.M. Harrison and R. Van Grieken, 1998. P. 385–423.
12. *Гальперин М.В., Софиев М., Гусев А., Афиногенова О.* Подходы к моделированию трансграничного загрязнения атмосферы Европы тяжелыми металлами: М.: ЕМЕП/МСП-В, 1995. Отчет 7/95. 85 с.
13. *Ровинский Ф.Я., Громов С.А., Бурцева Л.В., Пармонов С.Г.* Тяжелые металлы: дальний перенос в атмосфере и выпадение с осадками // Метеорол. и гидрол. 1994. № 10. С. 5–14.
14. *Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н.* Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 278 с.
15. *Географический атлас.* М.: Главное управление по геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1967. 198 с.
16. *Китаев Л.М., Радионов В.Ф., Форланд Э., Разуваев В.Н., Мартуганов Р.А.* Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова на севере Евразии в условиях современных изменений климата // Метеорол. и гидрол. 2004. № 11. С. 65–72.
17. *Формирование* и динамика современного климата Арктики / Под ред. Г.В. Алексеева. СПб.: Гидрометеиздат, 2004. 265 с.
18. *Виноградова А.А., Максименков Л.О., Погарский Ф.А.* Атмосферный перенос антропогенных тяжелых металлов с территории Кольского полуострова на поверхность Белого и Баренцева морей // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2008. Т. 44. № 6. С. 812–821.
19. *Виноградова А.А.* Загрязнение природной среды российских арктических морей // Природа. 2008. № 1. С. 86–88.
20. *Соколов А.А.* Гидрография СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 534 с.
21. *Гордеев В.В.* Реки Российской Арктики: потоки осадочного материала с континента в океан // Новые идеи в океанологии. М.: Наука, 2004. Т. 2. С. 113–167.
22. *Никаноров А.М., Жулидов А.В.* Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 312 с.

A.A. Vinogradova, L.O. Maksimenkov, F.A. Pogarskii. Changes of atmospheric circulation and environmental pollution in Siberia from the industry of the Norilsk and Ural regions at the beginning of 2000s.

The changes of anthropogenic loadings from two Russian large industrial regions (Norilsk and Ural) to the environment of Siberia, induced by variations in atmospheric circulation at the beginning of 2000s were studied. The 5-day trajectories of air mass transport for every day of January, April, July, and October during 1981–2007 were analyzed. The HYSPLIT-4 model with NOAA (NCEP/NCAR Reanalysis Data Files) reanalysis database was applied. The seasonal and long-term variations in the average concentrations of anthropogenic heavy metals (Pb, Ni, Cu) from those sources in nearsurface air and the average fluxes of pollutants onto the surface were estimated for the different sites of Siberia.

The differences between 2000s and 1990s are characterized by various mosaic spatial patterns at different seasons. The effect from the changes of atmospheric circulation is of the same order (but may be of different sign) of source emission decreasing during those decades. Annual depositions of heavy metals (only from two sources) onto the catchment area of every large Siberian river (Ob, Yenisei, Lena) are comparable with the flows of these metals in river runs-off.