

УДК 550.462; 551.510.42

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В АТМОСФЕРЕ НАД СЕВЕРНЫМ ПОБЕРЕЖЬЕМ ЕВРАЗИИ: МЕЖГОДОВЫЕ ВАРИАЦИИ ЗИМОЙ И ЛЕТОМ

© 2016 г. А.А. Виноградова, Ю.А. Иванова

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

Изучаются межгодовые вариации уровня антропогенного загрязнения приземного воздуха северных районов России, связанные с изменением направления переноса воздушных масс. Рассматривается перенос воздуха и тяжелых металлов зимой (январь) и летом (июль) в 2000–2013 гг. к четырем пунктам, расположенным на территориях природных заповедников на побережье Северного Ледовитого океана – от Кольского п-ова до дельты р. Лена. Для анализа привлечены индексы атмосферной циркуляции и данные о выбросах в атмосферу загрязняющих веществ в городах и регионах России. Оценены концентрации семи тяжелых металлов (ТМ) в приземном воздухе в рассматриваемых арктических районах, обсуждаются их межгодовые, пространственные и сезонные вариации. Сильная межгодичная изменчивость циркуляции атмосферы по-разному влияет на вариации загрязненности атмосферы различными антропогенными тяжелыми металлами в разных районах Российского Севера. Для каждого пункта в разные годы соотношения концентраций рассмотренных ТМ разные. Для ТМ, имеющих наиболее удаленные источники поступления, межгодовые и сезонные вариации уровня загрязненности максимальны. Таким образом, результаты измерения содержания антропогенных примесей в воздухе фоновых районов в течение одного сезона или даже одного года не должны быть основой для долгосрочных выводов и прогнозов. Также неправомерны общие выводы об уровне загрязнения окружающей среды, которые сделаны по результатам наблюдения за одной примесью и/или только в одном месте.

Ключевые слова: окружающая среда, Российская Арктика, заповедники, тяжелые металлы, дальний перенос в атмосфере, антропогенные источники, межгодовые вариации, сезонные вариации.

PACS 82.33.Tb

Введение

Изучение процессов антропогенного загрязнения природных экосистем удаленных территорий чрезвычайно важно как для понимания механизмов явлений, так и с точки зрения оценки состояния окружающей среды, выявления источников и минимизации

последствий загрязнения. Широкий спектр проблем, связанных с антропогенным загрязнением Арктики, рассмотрен, например, в многочисленных отчетах АМАР (Arctic Monitoring Assessment Programme) (сайт в Интернете: www.amar.no).

Примеси, содержащиеся в атмосфере, постепенно осаждаются на поверхность и загрязняют наземные природные объекты, накапливаясь в снеге и почвах, распределяясь далее по поверхности водами и льдами рек и океанов, накапливаясь в различных звеньях пищевых цепочек [Persistent..., 2004]. Поэтому первым этапом в изучении загрязнения окружающей среды является оценка загрязнения приземного воздуха. Дальность атмосферного переноса различных антропогенных выбросов определяется временем жизни примеси в воздухе и скоростью ее движения. Эти показатели различны для разных территорий, разных сезонов и разных примесей. Наши предыдущие публикации [Виноградова и др., 2008; Виноградова, Пономарева, 2012], посвященные анализу дальнего переноса тяжелых металлов на аэрозолях в Арктику, дают средние показатели загрязнения для разных сезонов за 10-летний период. Эти результаты годятся для долгосрочных средних оценок, но не позволяют анализировать межгодовые вариации или рассматривать экстремальные ситуации отдельных лет.

В данной работе делается акцент на изучении межгодовых вариаций направлений переноса воздушных масс к нескольким пунктам, расположенным на территориях природных заповедников на побережье Северного Ледовитого океана. Анализируются зимние и летние условия циркуляции атмосферы с привлечением индексов атмосферной циркуляции. Оценивается влияние изменений этих процессов на межгодовые вариации концентраций семи антропогенных тяжелых металлов в приземном воздухе в рассматриваемых районах. Обсуждаются пространственные, межгодовые и сезонные различия уровня загрязнения воздуха в Российской Арктике.

Источники данных, подходы и методы

Пункты, для которых проводились оценки, находятся на Кольском п-ове (Кол – 67° с.ш., 38° в.д.), на территориях Ненецкого (НЗ – 67° с.ш., 53° в.д.), Гыданского (ГЗ – 72.4° с.ш., 76.7° в.д.) и Усть-Ленского (УЛЗ – 72.5° с.ш., 125.5° в.д.) природных заповедников, расположенных в дельтах рек Печора, Обь и Лена соответственно (рис. 1). Таким образом, охвачено практически все побережье Российской Арктики за исключением самых восточных районов, где, как показано в [Виноградова, Пономарева, 2012], влияние российских антропогенных источников загрязнения атмосферы минимально.

Направление движения воздуха и эффективность дальнего переноса примеси к выбранным пунктам определялись методом статистики траекторий движения воздушных масс [Hirdman et al., 2010; Виноградова, 2014a] по массивам обратных траекторий, рассчитанных с помощью модели NYSPLIT по результатам реанализа метеорологических данных на сайте Лаборатории воздушных ресурсов Национального управления по океанам и атмосфере при Министерстве торговли США (ARL NOAA) (сайт в Интернете: www.arl.noaa.gov/ready). Рассматривались ежедневные 5-суточные обратные траектории (старт – в 00 ч UTC на высоте 100 м над ур. моря, шаг расчетов – 1 ч) для января (зима) и июля (лето) для каждого из 14 годов (2000–2013 гг.).

Направления переноса воздуха классифицировались по секторам – северо-восточный (СВ), юго-восточный (ЮВ), юго-западный (ЮЗ) и северо-западный (СЗ) – по отношению к координатам каждого пункта. Число расчетных точек траекторий, расположенных в каждом секторе в пределах географических координат 50°–80° с.ш., 0°–180° в.д., определяло частоту поступления воздушных масс из соответствующего сектора в рассматриваемый пункт.

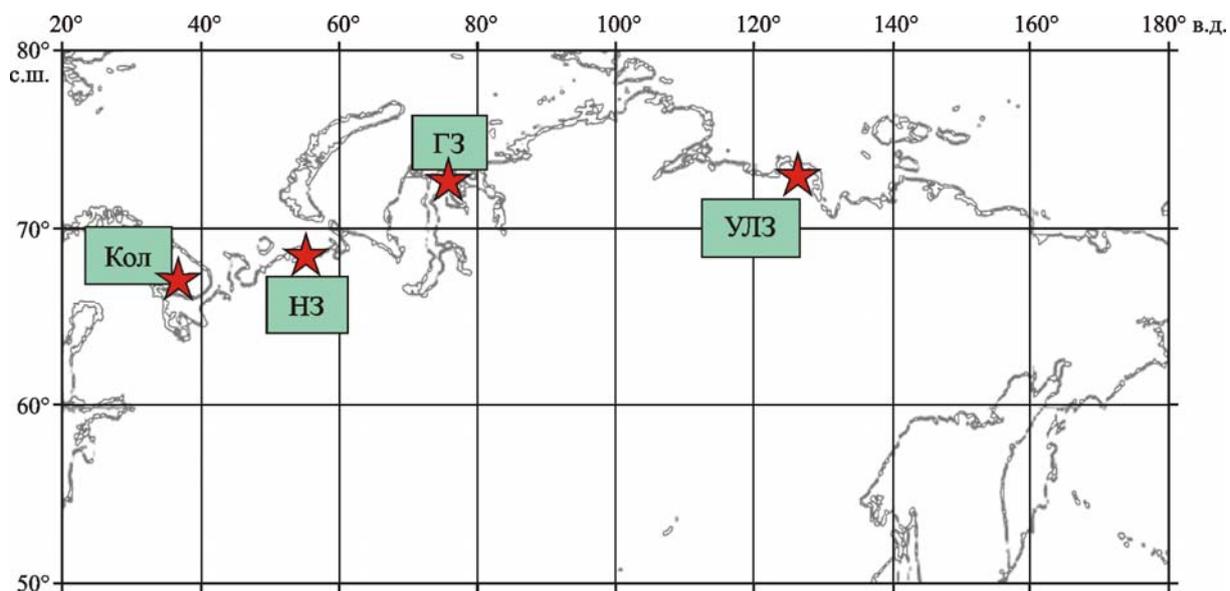


Рис. 1. Расположение пунктов исследования на побережье Северного Ледовитого океана

Система индексов атмосферной циркуляции (ИАЦ) в данной работе представлена шестью показателями: NAO (североатлантический), PNA (тихоокеанский/североамериканский), WP (западно-тихоокеанский), EA/WR (восточно-атлантический/западно-российский), SCA (скандинавский), POL (полярно-евразийский, обозначаемый также PE). Их описание можно найти, например, на интернет-сайте http://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/tele_index.nh, откуда нами взяты среднемесячные данные за январь и июль с 2000 по 2013 г.

Все шесть ИАЦ могут в той или иной мере определять процессы циркуляции воздушных масс над севером Евразии. Напомним, что величина ИАЦ – это отклонение разницы атмосферного давления между определенными географическими точками (центрами) от климатического среднего (за 1981–2010 гг.) значения. Центры – наиболее вероятное положение относительно устойчивых локальных максимума и минимума атмосферного давления. Таким образом, положительный индекс означает усиление соответствующего диполя давления, а отрицательный – наоборот, его ослабление. Исходя из расположения формирующих их центров, индексы NAO, WP и POL должны в большей степени отвечать за меридиональный перенос воздуха, определяемый меридиональными градиентами атмосферного давления, тогда как индексы PNA и EA/WR ассоциируются с зональными градиентами давления и, соответственно, с зональными перемещениями воздушных масс. При этом физическими причинами увеличения/ослабления индекса может быть как реальное изменение разницы атмосферного давления между соответствующими географическими точками, так и смещение центров реальных максимума и/или минимума в пространстве, поскольку расчет величины индекса ведется между определенными (средними) географическими координатами.

Для оценки состояния антропогенного загрязнения окружающей среды на севере России рассчитывались концентрации семи химических элементов (Pb, Cd, As, Zn, Ni, Cr, Cu), которые мы далее условно называем тяжелыми металлами (ТМ), в приземном воздухе рассматриваемых пунктов.

Концентрация примеси C_{ij} в приземном воздухе рассматриваемого пункта, созданная в результате выбросов Q_{ij} примеси на поверхности в ячейке сетки с координатами (ij) , вычисляется по формуле

$$C_{ij} = Q_{ij} \times Z_{ij}. \quad (1)$$

Здесь Z_{ij} – функция чувствительности к потенциальным источникам примеси в ячейке (ij) . Величина ее рассчитывается по массиву обратных траекторий и определяется не только количеством траекторий, прошедших через ячейку (ij) , но и качеством поверхности, над которой происходит перенос примеси, а также зависит от характеристик атмосферы по пути переноса (высота слоя перемешивания, осадки), длины пути и длительности переноса. Предполагался перенос ТМ в атмосфере как пассивной примеси на аэрозольных частицах субмикронного размера [Ровинский и др., 1994; Виноградова, Пономарева, 2012]. Суммируя вклады от всех ячеек, получаем концентрацию примеси в воздухе в районе конкретного пункта, для которого строились обратные траектории. Все расчеты проводились на сетке $1^\circ \times 1^\circ$. Подробное описание последней версии методики обработки массивов траекторий и нашего подхода к моделированию дальнего атмосферного переноса субмикронного аэрозоля представлено в [Виноградова, 2014a].

Для оценок по формуле (1) использовались **данные о выбросах ТМ в атмосферу** от городов и регионов России в 2010 г. [Ежегодник..., 2011]. К сожалению, эти выпуски далеко не ежегодные, и более полной, чем в рассматриваемом нами, информации по территории России больше нет ни в одном из них. Поэтому распределение Q_{ij} в наших расчетах не менялось от года к году. В любом случае антропогенные эмиссии не должны так резко меняться по годам, как атмосферная циркуляция. Согласно данным, полученным в ходе реализации европейской международной программы ЕМЕП [Travnikov et al., 2012], в 2000-е годы в Европе годовые вариации выбросов свинца и кадмия были не очень велики (уменьшение не более чем в два раза для Pb и еще меньше для Cd). Таким образом, изучаемые нами межгодовые вариации содержания ТМ в атмосфере рассматриваемых пунктов в каждый сезон обусловлены только вариациями циркуляции атмосферы (распределений функции Z).

Направления переноса воздушных масс

Анализ данных, представленных на рис. 2, показывает, что **зимой** средние условия дальнего переноса воздушных масс к рассматриваемым пунктам характеризуются преобладанием южного переноса. При этом по мере условного перемещения на восток от пункта Кол через НЗ к ГЗ доли воздуха, поступающего с северо-запада, уменьшаются, а из юго-восточного сектора – растут. В УЛЗ многолетние изменения направления переноса воздушных масс не имеют такой наглядной связи с остальными пунктами, зимой там значительно преобладает воздух из юго-западного сектора (> 50 %). **Летом** по всему российскому побережью Северного Ледовитого океана преобладает северный перенос воздуха. По мере перемещения района исследований на восток частота поступления воздуха с юга (в частности, с юго-запада) последовательно уменьшается, а с северо-запада – растет, но только до ГЗ. Межгодовые вариации циркуляции воздушных масс велики, относительное стандартное отклонение частот прихода воздушных масс из разных секторов в среднем около 50 % (от 25 до 100 %).

Интересно сопоставить эти изменения с межгодовыми вариациями индексов атмосферной циркуляции для соответствующих месяцев. В работе [Виноградова, 2014б] были обнаружены некоторые корреляционные связи между изменениями самих ИАЦ.

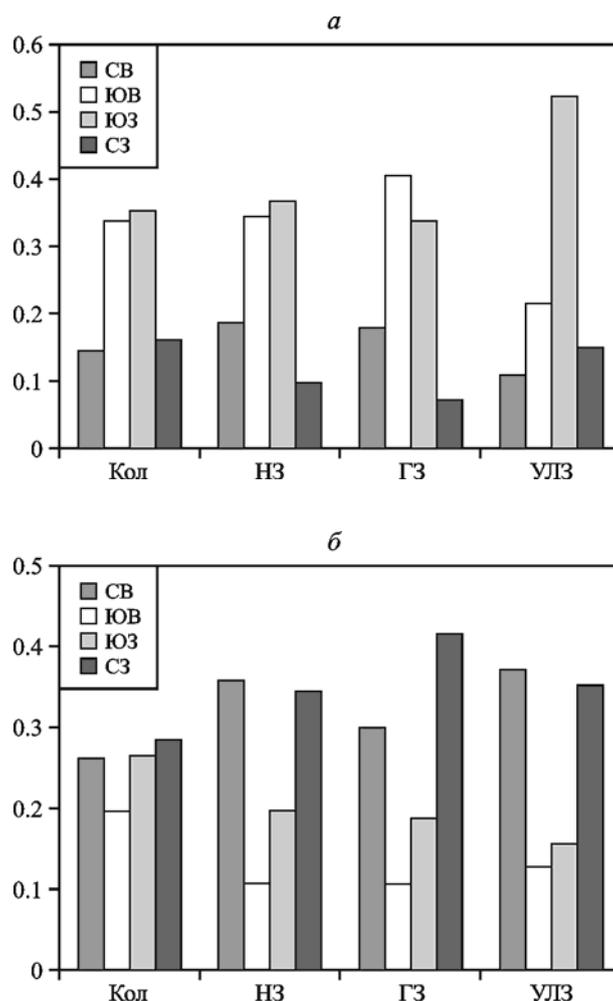


Рис. 2. Средние (за 14 лет) частоты переноса воздуха к пунктам исследований с территорий четырех секторов зимой (а) и летом (б)

На рис. 3 эти связи для зимы и лета представлены схемами, где стрелки указывают на соответствующие связи (значимые с 95%-ной вероятностью), а их толщина тем больше, чем больше коэффициент корреляции. Порог статистической значимости коэффициента корреляции при оценке по формуле $R_n = 2(n-2)^{-0.5}$ (при $n = 14$) составляет $R_{14} = 0.577$ [Пановский, Брайер, 1972].

Сравнение результатов корреляционного анализа изменений от года к году частот переноса воздуха из разных секторов, а также с разными ИАЦ выявило определенные закономерности, сведенные нами в таблицу. Видно, что летом в европейских пунктах Кол и НЗ перенос воздуха из разных секторов коррелирует с изменениями индекса PO_L , причем конкурируют между собой пары направлений (СЗ–ЮВ и СВ–ЮЗ), зимой же все это справедливо только для конкурирующих секторов СЗ–ЮВ. Другие индексы, как правило, связанные между собой (см. рис. 2), проявляются в переносе воздушных масс к азиатским пунктам ГЗ и УЛЗ. Например, зимой в районе ГЗ увеличению индекса EA/WR соответствует увеличение частоты переноса воздуха с ЮВ, а при уменьшении этого индекса перенос может измениться на то или другое направление с западной составляющей.

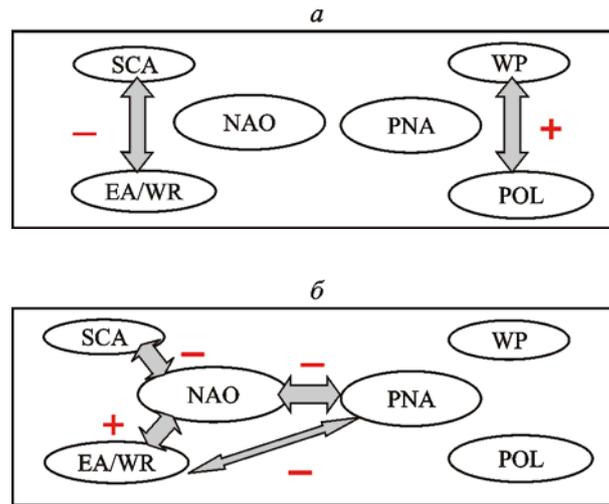


Рис. 3. Схемы корреляционных связей межгодовых вариаций ИАЦ для зимы (а) и лета (б) из [Виноградова, 2014б]

Рядом со стрелками – знаки коэффициентов корреляции

Индексы атмосферной циркуляции, для которых коэффициенты корреляции с частотой переноса воздуха из разных секторов достоверны, и знаки соответствующих коэффициентов

| Сезон | Пункт | Направление переноса воздуха | | | |
|-------|-------|------------------------------|--------------|----------------------|--------------|
| | | СВ | ЮВ | ЮЗ | СЗ |
| Зима | Кол | | POL- | | POL+ |
| | НЗ | | POL- | | POL+ |
| | ГЗ | | EA/WR+ | EA/WR- | EA/WR- |
| | УЛЗ | POL- | | PNA+; EA/WR- POL+ | PNA-; EA/WR+ |
| Лето | Кол | POL- | POL- | POL+ | POL+ |
| | НЗ | POL- | POL- | POL+ | POL+ |
| | ГЗ | | SCA-; EA/WR+ | | SCA+; EA/WR- |
| | УЛЗ | POL-; WP+ | | POL+; WP- | |

Примечание. Обозначения пунктов и индексов см. в тексте.

Концентрации ТМ в воздухе арктических районов

Для удаленных территорий можно вывести некоторые закономерности их загрязненности через атмосферу. Из очевидного положения «чем дальше от источника загрязнения – тем чище» и приблизительного представления о пространственном распределении антропогенных выбросов по территории России (с максимумами в ряде районов ЕТР и на юге АТР) следует, что рассматриваемые пункты можно расставить в порядке убывания загрязненности приземного воздуха в следующем порядке: Кол, НЗ, ГЗ, УЛЗ. Действительно, по нашим оценкам, антропогенное загрязнение в целом убывает с запада на восток (рис. 4), за исключением некоторых ТМ, имеющих конкретные мощные источники (см. далее). Летние значения обычно ниже зимних, потому что время жизни ТМ в воздухе при атмосферном переносе летом на порядок (и более) ниже,

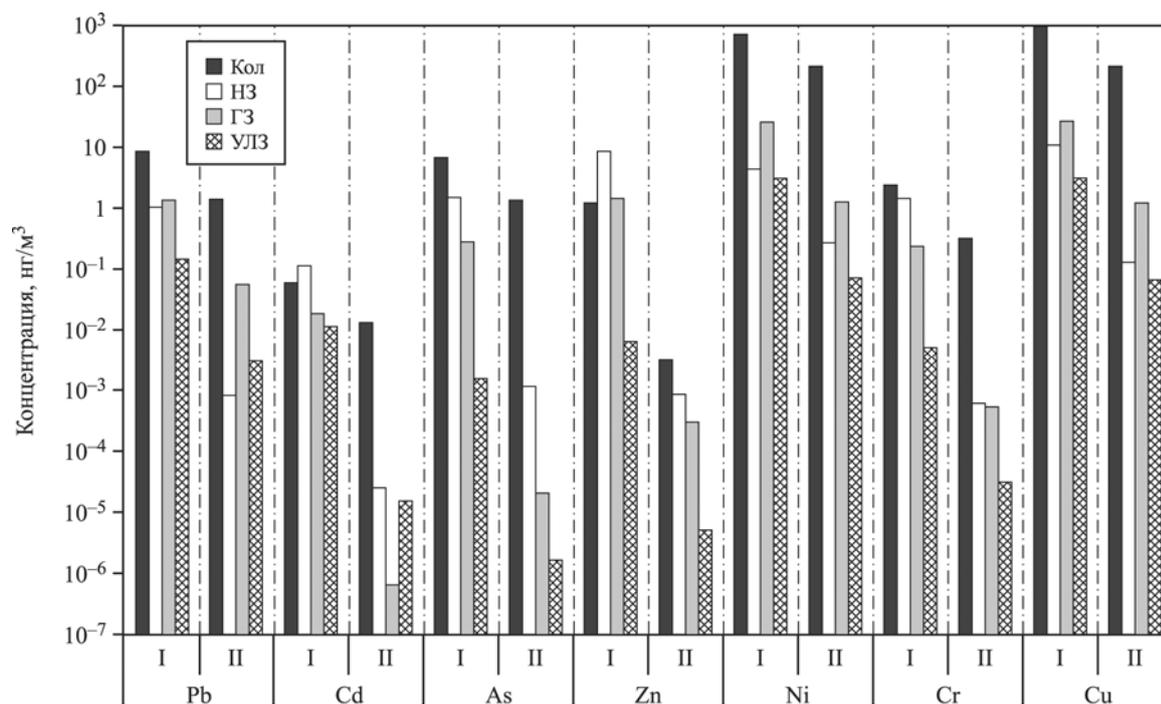


Рис. 4. Средние концентрации рассматриваемых ТМ в приземном воздухе изучаемых районов зимой (I) и летом (II)

чем зимой, и удаленные источники летом практически не оказывают влияния на состав атмосферы. Это в меньшей степени относится к территории Кольского п-ова, где мощные источники Ni и Cu расположены очень близко, а часто проходящие атлантические циклоны затрудняют перенос воздушных масс от более удаленных источников, что сглаживает сезонные различия концентрации антропогенных составляющих (см. рис. 4). Особо отметим, что все ТМ входят в состав почв и земной коры, поэтому летом они попадают в приземный воздух в результате ветрового поднятия с поверхности (это естественная часть концентрации ТМ), тогда как зимой в арктических районах в воздухе содержатся ТМ преимущественно антропогенного происхождения, поскольку почва покрыта снегом или льдом. О соотношении естественной и антропогенной частей Pb и Cd на ЕТР см. подробнее в [Виноградова, 2015].

Второе, казалось бы, очевидное положение «чем мощнее источник – тем больше его влияние» оказывается не всегда верным, так как при дальнем (свыше 500 км) переносе это преимущество исчезает из-за больших потерь примеси по пути переноса. В результате в разные годы наиболее значимыми могут оказаться как близкие источники, не выбрасывающие в атмосферу максимальное количество ТМ, так и, наоборот, очень удаленные источники с огромными выбросами [Ежегодник..., 2011].

Оценки концентраций ТМ в воздухе изучаемых северных районов проводились по формуле (1) для каждого из 14 лет. Корреляционный анализ межгодовой изменчивости концентраций ТМ в воздухе каждого пункта показывает, что рассматриваемые ТМ можно объединить (по наличию или отсутствию синхронных вариаций их концентраций год от года) в некоторые группы, имеющие свои наиболее значимые источники. На рис. 5 для примера показана межгодовая изменчивость направлений переноса воздуха к пункту, расположенному на Кольском п-ове (см. рис. 5, а), и рассчитанных концентраций семи ТМ в воздухе этого района (см. рис. 5, б–г). Рассмотрим результаты такого анализа с точки зрения выявления наиболее значимых источников ТМ для каждого пункта.

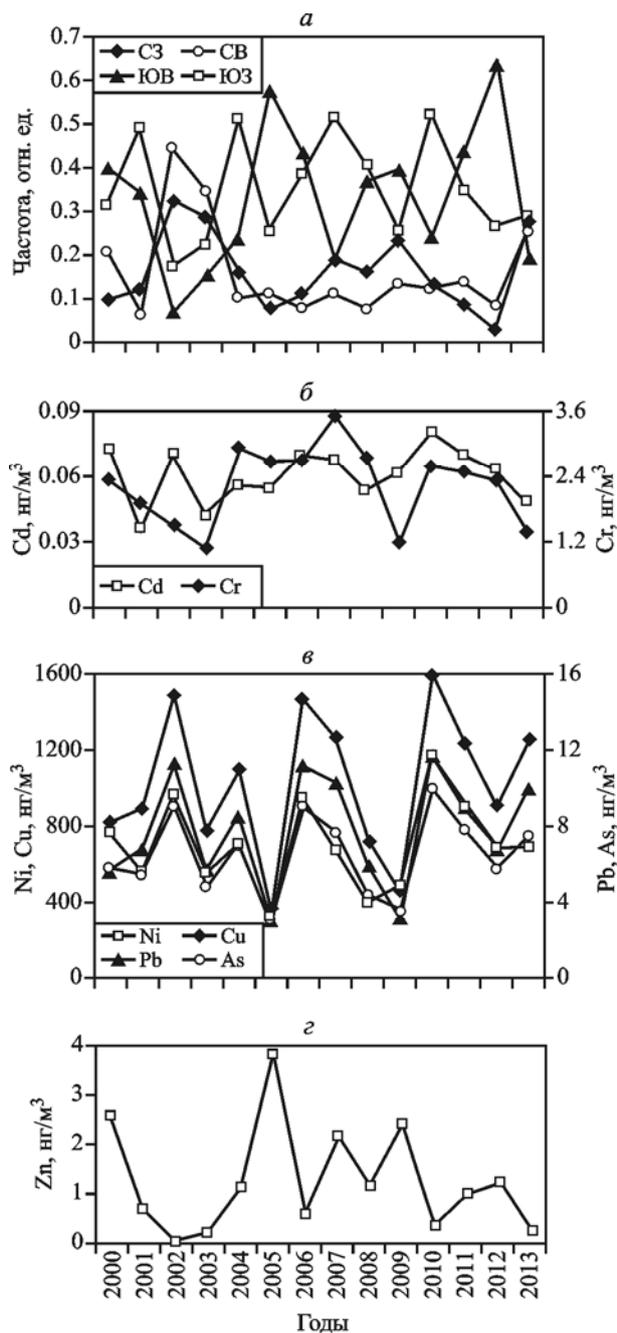


Рис. 5. Частоты переноса воздуха из разных секторов (а) и концентрации рассматриваемых ТМ в приземном воздухе (б–г) в зимний период на Кольском п-ове в разные годы

НЗ – зимой удивительным кажется отсутствие корреляций концентраций Ni и Cu, что объясняется наличием двух примерно равноудаленных мощных источников этих ТМ (Кольский п-ов и район г. Норильск), расположенных к западу и к востоку от этого пункта. Свердловская обл. является наиболее значимым источником остальных ТМ с добавлением в разные годы вкладов от всех источников, перечисленных выше для пункта Кол, заметен вклад юга Урала в увеличение концентрации Ni и Cu. **Летом**, как

Кол – зимой коррелируют изменения концентраций Pb, Ni, Cu, As, происхождение которых связано, прежде всего, с предприятиями Мурманской обл., а также для Pb в разные годы важны источники, расположенные на территории Свердловской обл., и источники северо-запада и центра ЕТР (г. Петрозаводск, г. Новгород, предприятия Ивановской, Владимирской и Нижегородской областей). Концентрация Zn изменяется синхронно с концентрациями элементов первой группы, но с отрицательными коэффициентами корреляции, что указывает на принципиально иное происхождение этого металла в годы, когда воздушные массы от ближних источников почти не поступают. Наиболее значимые источники Zn – более удаленные Свердловская и Челябинская области, города Вятка (бывш. Киров) и Новый Уренгой. Из данных, приведенных на рис. 5, видно увеличение концентрации Zn в годы с максимально частым переносом воздуха из юго-восточного сектора. Величины концентраций Cd и Cr не коррелируют с концентрациями других ТМ и между собой, для них значимы источники Челябинской, Московской и Саратовской областей (для Cd), а также Ленинградской и Архангельской областей, г. Набережные Челны и г. Пермь (для Cr). **Летом** число источников всех ТМ, кроме цинка, ограничивается наиболее близкими – это предприятия Мурманской обл.; для Cr – еще г. Архангельск и г. Тихвин. Для Zn, как и зимой, источники свои – г. Петрозаводск, Вологодская и Ленинградская области, города Новгород и Вятка.

и на Кольском п-ове, для всех ТМ наиболее значимы источники Мурманской обл., а также городов Норильск, Усинск, Нарьян-Мар, Воркута для Pb, Ni, Cu, г. Петрозаводск, Вологодской и Ленинградской областей для Cd, Zn, Cr, г. Воркута и г. Тихвин для Cr.

ГЗ – зимой три ТМ – Pb, Ni, Cu – поступают синхронно от двух основных источников (г. Норильск и Свердловская обл.); остальные ТМ (Cd, As, Zn, Cr) – от Свердловской обл., городов Орск, Пермь, Новый Уренгой, в отдельные годы обнаружены меньшие вклады от Челябинской (Zn) и Тюменской (Cr) областей. **Летом** район г. Норильск поставляет большинство загрязнений Pb, As, Ni, Cu и Cr, хотя Cd поступает преимущественно от предприятий Мурманской обл., а Zn – от г. Новый Уренгой.

УЛЗ – зимой три ТМ (Pb, Ni, Cu) поступают синхронно от двух основных источников – г. Норильск и Мурманская обл.; остальные ТМ (Cd, As, Zn, Cr) – от предприятий Якутии, Новосибирской и Кемеровской областей. **Летом** антропогенные доли концентраций всех ТМ очень низкие. Вопрос о наиболее значимых источниках решать не имеет смысла, так как каждый год воздушные массы могут захватить выбросы какого-то одного из нескольких источников, расположенных далеко друг от друга.

Отметим, что межгодовая изменчивость концентраций разных ТМ в разных пунктах тем выше, чем чаще проявляются вклады отдельно расположенных и удаленных источников. Это приводит к увеличению таких характеристик формальной статистики, как относительное стандартное отклонение (ОСО), различие среднего и медианного значений (Cp_M), размах колебаний концентрации ТМ (MAX–MIN). Эти показатели для всех пунктов: 1) выше летом, чем зимой; 2) выше для Zn, чем для остальных ТМ; 3) увеличиваются с запада на восток. Если зимой в пункте Кол для Zn они максимальны и равны 90, 0.13 и 308 % от средней концентрации соответственно, то летом в УЛЗ – ОСО > 300 %, Cp_M > 97 %, MAX–MIN > 1200 % от средней концентрации Zn.

В целом можно говорить о сильной межгодовой изменчивости путей переноса воздушных масс к рассматриваемым пунктам на севере России. А благодаря изолированности и большим различиям эмиссий источников антропогенных ТМ на территории России отмечаются не только сильные колебания загрязненности воздуха в целом в арктических районах, но различные соотношения концентраций разных металлов в отдельные годы.

На рис. 6 эти особенности показаны на примере вариаций зимних оценок (при максимальном антропогенном загрязнении). Как отмечалось выше, Ni и Cu составляют наибольшие доли среди изучаемых антропогенных металлов в воздухе каждого из рассматриваемых пунктов (см. рис. 4), и их основные источники достаточно очевидны. Поэтому на рис. 6 показаны соотношения остальных пяти ТМ – как в среднем за 14 лет, так и в разные годы для каждого пункта. Хорошо видно, что во всех пунктах есть аномальные годы распределений элементов, когда средние пропорции существенно нарушаются. Например, при общей примерно одинаковой загрязненности этими ТМ в пунктах Кол и НЗ (см. рис. 4) в районе НЗ преобладают Zn и Cr, а на Кольском п-ове – Pb и As. Также в районе ГЗ весьма значительна конкуренция между Zn и Pb год от года, а в районе УЛЗ, где уровень загрязнения в целом минимален, преобладающее в среднем содержание Pb в некоторые годы может смениться на загрязнение Cd из Якутии (2002, 2004 и 2013 годы, см. рис. 6, з). Поскольку ТМ из атмосферы оседают на поверхность, все это может быть важно для поверхностных сред (почвы, воды рек и озер), их экологии и состояния окружающей среды в целом.

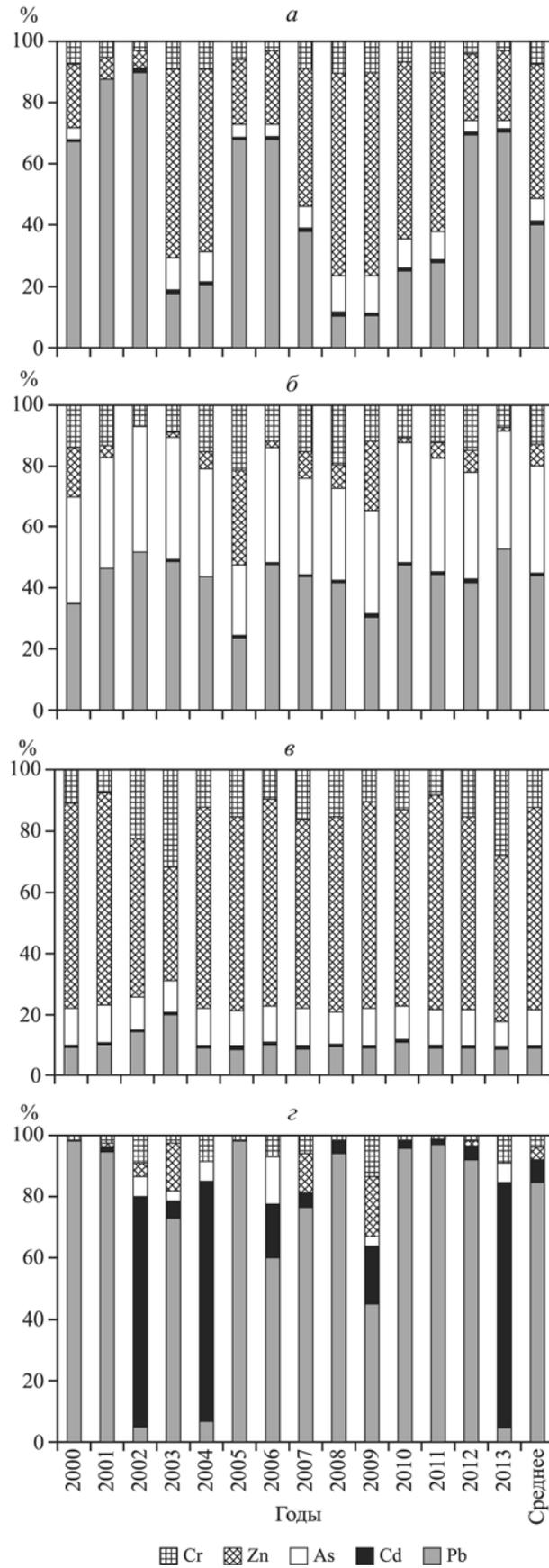


Рис. 6. Межгодовые вариации состава Pb, Cd, As, Zn, Cr в воздухе ГЗ (*a*), Кол (*б*), НЗ (*в*) и УЛЗ (*г*)

Выводы

Анализ направлений дальнего переноса воздушных масс в Российскую Арктику статистически подтверждает преобладание северного переноса воздуха на всем Евразийском побережье Северного Ледовитого океана летом, в отличие от зимы, когда в рассматриваемых районах преобладает южный перенос воздуха.

С точки зрения формирования режимов циркуляции атмосферы, отмечен индекс атмосферной циркуляции POL, изменения которого синфазны (с вероятностью выше 95%) вариациям направлений переноса воздуха на севере ЕТР. На севере АТР, кроме связей с индексом POL, выявлены также связи направлений переноса воздуха с индексами SCA и EA/WR.

Относительно пространственных и сезонных различий загрязнения северных районов России тяжелыми металлами выявлено в целом монотонное убывание антропогенных концентраций тяжелых металлов в приземном воздухе с запада на восток вдоль северного побережья Евразии, а также наибольшее загрязнение удаленных районов через атмосферу зимой и минимальное – летом.

Сильная межгодовая изменчивость циркуляции атмосферы оказывает влияние на вариации загрязненности атмосферы разных районов Российского Севера различными антропогенными ТМ. В разные годы суммарный состав рассмотренных ТМ разный. Для ТМ, имеющих очень удаленные наиболее значимые источники, межгодовые вариации максимальны.

Необходимо подчеркнуть, что результаты измерения содержания антропогенных примесей в воздухе фоновых районов в течение одного сезона или даже одного года не должны быть основой для долгосрочных выводов и прогнозов экологов, экономистов или политиков. Также неправомерны общие выводы об уровне загрязнения окружающей среды, которые сделаны по результатам наблюдения за одной примесью и/или только в одном месте.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-05-00059). Авторы благодарны организаторам сайта ARL NOAA за предоставленную возможность свободно использовать модель HYSPLIT для расчета траекторий движения воздушных масс.

Литература

- Виноградова А.А.* Микроэлементы в составе арктического аэрозоля (обзор) // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 1993. Т. 29, № 4. С. 437–456.
- Виноградова А.А.* Дистанционная оценка влияния загрязнения атмосферы на удаленные территорий // Геофизические процессы и биосфера. 2014а. Т. 13, № 4. С. 5–20.
- Виноградова А.А.* Сезонные и долговременные вариации индексов атмосферной циркуляции и перенос воздуха в Российскую Арктику // Оптика атмосферы и океана. 2014б. Т. 27, № 6. С. 463–472.
- Виноградова А.А.* Потоки свинца и кадмия из атмосферы на поверхность на Европейской территории России – по данным международной программы EMEP // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12. С. 111–115.

- Виноградова А.А., Пономарева Т.Я. Атмосферный перенос антропогенных примесей в арктические районы России (1986–2010 гг.) // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 6. С. 475–483.
- 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. Физика атмосферы и океана. 2008. Т. 44, № 6. С. 812–821.
- Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов и регионов Российской Федерации за 2010 год / Под ред. А.Ю. Недре. СПб: ОАО «НИИ Атмосфера», 2011. 560 с.
- Пановский Г.А., Брайер Г.В. Статистические методы в метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 209 с.
- Ровинский Ф.Я., Громов С.А., Бурицева Л.В., Парамонов С.Г. Тяжелые металлы: Дальний перенос в атмосфере и выпадение с осадками // Метеорол. и гидрол. 1994. № 10. С. 5–14.
- Hirdman D., Sodemann H., Eckhardt S., Burkhardt J.F., Jefferson A., Mefford T., Quinn P.K., Sharma S., Strom J., Stohl A. Source identification of short-lived air pollutants in the Arctic using statistical analysis of measurement data and particle dispersion model output // Atmos. Chem. Phys. 2010. V. 10. P. 669–693.
- Persistent toxic substances, food security and indigenous peoples of the Russian North: Final report. Oslo, Norway: AMAP, 2004. 192 p.
- Travnikov O., Ilyin I., Rozovskaya O., Varygina M., Aas W., Uggerud H.T., Mareckova K., Wankmuller R. Long-term changes of heavy metal transboundary pollution of the environment (1990–2010). 2012. 63 p. (EMEP Status Rep. 2/2012). URL: <http://www.msceast.org>

Сведения об авторах

ВИНОГРАДОВА Анна Александровна – доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт физики атмосферы им А.М. Обухова РАН. 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 3. Тел.: +7 (495) 959-50-76. E-mail: anvinograd@yandex.ru

ИВАНОВА Юлия Алексеевна – инженер, Институт физики атмосферы им А.М. Обухова РАН. 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 3. Тел.: +7 (495) 959-50-76. E-mail: ulia_sml@mail.ru

HEAVY METALS IN THE ATMOSPHERE NEAR THE NORTHERN EURASIAN COAST: VARIATIONS FROM YEAR TO YEAR IN WINTER AND SUMMER

A.A. Vinogradova, Yu.A. Ivanova

Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. This work studies variations from year to year in long-range atmospheric transport to 4 points situated along the coast of Northern Eurasia (2 – in European part and 2 – in Asian one). Winter (January) and summer (July) conditions are analyzed together with indexes of atmospheric circulation (IAC) during 2000–2013. Surface air concentrations of 7 anthropogenic heavy metals (HM) have been calculated, their spatial and seasonal variations are discussed. The main conclusions are: in summer

the northern air transport prevails at all four points, in contrast with wintertime when the southern air transport prevails; correlations between air transport directions and index POL are available for European points, indexes SCA and EA/WR can be seen as possible connections for Asian points; air pollution decreases from the West to the East through the Eurasian Northern coast; at each point the most HM concentrations are in winter, the less ones – in summer; strong variations in air pollution from year to year are caused by air transport differences, especially for HM with extreme distant sources. We'd like to highlight that measurement results from only one season or even one year should not be used by ecologists, economists or politicians for long-term conclusions or forecasts. Also, it's not right to do any conclusions on environmental conditions from measurements of only one pollution component or at only one point.

Keywords: environment, Russian Arctic, nature reserves, heavy metals, long-range atmospheric transport, anthropogenic sources, temporal variations.