

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

Влияние промышленности Норильска и Урала на окружающую среду различных районов Сибири

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

Поступила в редакцию 22.01.2008 г.

Изучается атмосферный перенос тяжелых металлов (Ni, Cu, Pb) от двух крупных промышленных зон России (район Норильска и Урал) над территорией Сибири. Проанализировано распространение воздушных масс и антропогенных аэрозольных примесей от источников в январе, апреле, июле и октябре на протяжении 20 лет с 1981 по 2000 г. по ежедневным 5-суточным траекториям движения воздуха, рассчитанным по модели HYSPLIT 4 и данным реанализа полей давления и ветра NOAA (NCEP/NCAR Reanalysis Data Files). Оценены сезонные и долговременные изменения средних концентраций антропогенных тяжелых металлов, поступивших от рассматриваемых источников, в приземном воздухе и в осадках, а также потоков этих примесей на поверхность в различных районах Западной и Восточной Сибири. Полученные результаты хорошо согласуются с опубликованными данными натуральных наблюдений в фоновых районах. Загрязнение окружающей среды Байкальского региона от Норильска и Урала в среднем пренебрежимо мало по сравнению с воздействием локальных и региональных источников.

Введение

Модельные оценки переноса в атмосфере антропогенных стойких экотоксикантов — один из важных аспектов изучения состояния окружающей среды. В результате пространственного распространения примеси от источников и осаждения ее на подстилающую поверхность через атмосферный канал передается антропогенное воздействие на все природные объекты (почвы, воды рек и водоемов, растения и т.д.), а также — через пищевые цепочки — на животных и людей. Причем возможен атмосферный перенос загрязнений на расстояния до 10 тыс. км [1].

Для осуществления оценок такого мезомасштабного воздействия необходимы, в первую очередь, сведения о составе и мощности атмосферных выбросов источников примесей, которые весьма ограничены по числу загрязнителей и стали доступны лишь в последние годы [2, 3]. Также необходимы данные о параметрах выведения примесей из атмосферы по пути их распространения, которые определяются из косвенных оценок и сильно различаются на территориях разных климатических зон [4–6]. Особые методические трудности для таких исследований обусловлены протяженностью источников и многообразием условий циркуляции атмосферы, формирующих воздушные потоки примесей. Поэтому расчеты с высоким пространственным и временным разрешением очень трудоемки и длительны [5, 6].

Предположение малых размеров источников по сравнению с дальностью распространения примеси и анализ многолетних (10 лет и более) данных о переносе воздушных масс позволяют решить

задачу оценки средних антропогенных воздействий через атмосферу на удаленные территории с помощью методики, предложенной в [7]. Такой подход использовался нами для оценки средних концентраций антропогенных микроэлементов в атмосфере и их потоков на поверхность на полярных островах России (при анализе обратных траекторий переноса воздуха) [8], а также в акваториях российских арктических морей (при анализе прямых траекторий переноса воздуха) [9].

На территории России имеется 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 над северными территориями Американского материка [1, 10, 11]. Для территории Сибири, благодаря преобладанию ветров с западной составляющей, наиболее значимыми крупными источниками антропогенных составляющих являются район Норильска и Урал.

Данная статья посвящена изучению распространения в атмосфере тяжелых металлов (ТМ) от Урала и Норильска и осаждения этих примесей на подстилающую поверхность в различных районах Сибири. Используется подход, основанный на статистической обработке больших массивов траекторий переноса воздушных масс. Оценивается многолетний средний вклад промышленности регионов-источников в загрязнение тяжелыми металлами воздуха, осадков и наземных природных объектов, а также изменение этого вклада за последние 20 лет XX в.

Исходные данные и методика оценок

Исходным материалом для изучения распространения примеси от источников являлись расчеты 5-суточных траекторий движения воздушных масс для каждого дня января, апреля, июля и октября с 1981 по 2000 г. 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. Расчет траекторий 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) [12]. 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 80-х и 90-х гг. Распределения для Урала, полученные от двух точек-источников, усреднялись в каждой ячейке. Эффекты от источников считались независимыми, их общее влияние оценивалось путем простого суммирования в каждой ячейке.

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 среднегодовые и суммарные годовые показатели вычисляли в предположении равной длительности сезонов. Долговременные тенденции изменения характеристик оценивались при сравнении результатов для 80–90-х гг.

Для конкретных оценок нами были выбраны три металла — свинец, никель и медь (Pb, Ni, Cu), — поскольку они характеризуют три различные комбинации эмиссий рассматриваемых источников (табл. 1).

Таблица 1

Эмиссия тяжелых металлов в атмосферу с территорий регионов-источников в последние 20 лет XX в.

Источник	Эмиссия ТМ, т/год			Годы
	Pb	Ni	Cu	
Урал	2000	90	4500	1980-е
	1200	30	2000	1990-е
Норильск	100	3000	3500	1980-е
	40	1400	2000	1990-е

В силу особенностей производства рассматриваемых регионов, свинец выбрасывается в основном на Урале, никель, наоборот, — в районе Норильска, а медь — почти поровну обоими источниками. В табл. 1 приведены используемые в данной статье средние (за 10 лет) значения годовой эмиссии в атмосферу свинца, никеля и меди, получен-

ные при анализе данных о выбросах в атмосферу на Урале (Свердловская область и Челябинск) и в Норильске по данным [2, 3] и аналогичных изданий 1996 и 2001 гг. Видно, что эмиссия этих металлов в 90-х гг. уменьшилась приблизительно в 2 раза по сравнению с 80-ми гг.

Подход к оценкам распространения примеси при ее дальнем переносе в атмосфере был аналогичен описанному в [5, 6, 8]. Считалось, что вблизи источника (в радиусе порядка 20–50 км) происходит осаждение около 20% примеси, а остальные 80% вовлекаются в дальний перенос. При этом по вертикали примесь распределена равномерно в пределах приземного слоя перемешивания, высота которого часто определяется высотой слоя приземной инверсии температуры (или нижнего уровня приподнятой инверсии), — в наших расчетах в среднем около 1 км. По мере удаления от источника происходит экспоненциальное убывание примеси в воздушном потоке за счет ее осаждения на поверхность с соответствующей скоростью. Поскольку при дальнем переносе все рассматриваемые химические элементы распространяются в воздухе преимущественно на аэрозольных частицах субмикронного размера [5], то скорости их осаждения на подстилающую поверхность считаются одинаковыми и неизменными по мере распространения от источника. Однако учитывались сезонные и пространственные вариации скорости осаждения примесей.

В связи с тем что территория Сибири охватывает несколько различных климатических зон, в настоящем исследовании она была поделена на крупные (климатические) участки (рис. 1) [13, 14], для которых при расчетах использовались разные параметры осаждения аэрозоля (табл. 2).

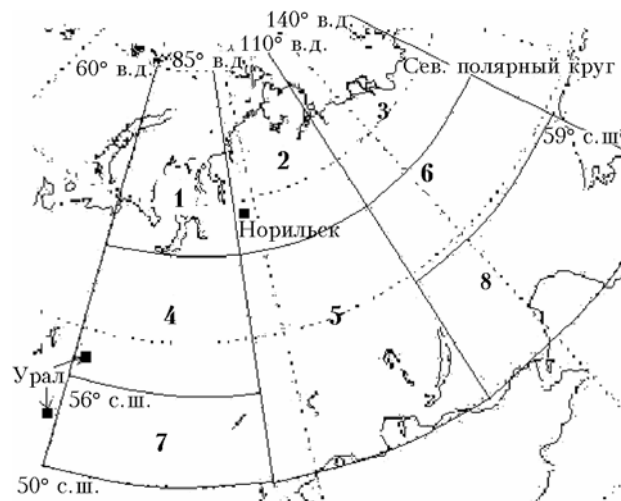


Рис. 1. Условное деление территории Сибири на 8 климатических участков. Границы (сплошные линии) соответствуют указанным параллелям, меридианам и полярному кругу. Черные квадратики — источники загрязнений

Значения скорости сухого осаждения субмикронного аэрозоля над различными подстилающими поверхностями задавались, исходя из данных

Таблица 2

Характеристики, определяющие осаждение ТМ из атмосферы на подстилающую поверхность в разные сезоны на выделенных участках территории Сибири (в соответствии с рис. 1)

Месяц	№ участка							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	<i>Количество осадков, мм/мес</i>							
Январь	15	15	15	20	15	10	10	5
Апрель	20	15	20	25	20	20	15	10
Июль	70	50	50	80	80	80	60	100
Октябрь	60	30	30	60	50	50	30	20
	<i>Скорость осаждения, см/с</i>							
Январь	0,10	0,09	0,09	0,14	0,15	0,13	0,14	0,11
Апрель	0,16	0,12	0,12	0,26	0,39	0,38	0,34	0,27
Июль	0,96	0,73	0,73	1,74	1,74	1,10	1,32	1,34
Октябрь	0,36	0,17	0,18	0,84	0,72	0,70	0,70	0,37
	<i>Доля примеси, осаждающаяся на поверхность с осадками, %</i>							
Январь	18	7	7	16	19	15	28	9
Апрель	24	15	19	38	59	61	51	44
Июль	84	79	79	89	89	84	88	87
Октябрь	64	34	33	82	81	83	83	62

[5, 6, 15, 16], а значения скорости осаждения осадками рассчитывались по многолетним данным о количестве и агрегатном состоянии осадков над территорией Сибири [13] с разными коэффициентами захвата примеси осадками (дождь, снег). В табл. 2 приведены средние значения (используемые в наших расчетах) характеристик, определяющих осаждение примеси на поверхность, и доли примеси, осаждающейся с осадками, для различных участков территории Сибири в разные сезоны.

Основные результаты модельных оценок

Процессы циркуляции атмосферы над севером Евразии в последние 20 лет XX в. заметно изменились. В применении к рассматриваемой задаче это означает, что при сохранении тривиальной закономерности — загрязнение воздуха уменьшается по мере удаления от источника — изменения в распределениях примеси от рассматриваемых источников весьма неоднородны на территории Сибири и для отдельных районов могут быть разнонаправлены в разные месяцы. Кроме того, в этот период произошло снижение эмиссии источников (см. табл. 1). Как же сказываются такие изменения в средних антропогенных нагрузках на природные объекты различных районов?

На рис. 2 качественно показано влияние изменения циркуляции атмосферы на загрязнение различных районов Сибири рассматриваемыми источниками по сравнению с эффектом от уменьшения эмиссии. Оценки проводились по значениям плотности годового потока на поверхность примеси, принесенной от каждого источника. Видно, что в 90-х гг. загрязнение уменьшилось по сравнению с предшествующим 10-летием практически на всей изучаемой территории. При этом на большей части территории Центральной Сибири это произошло не только благодаря ослаблению эмиссии источников,

но и в связи с перестройкой атмосферных процессов. В районах, более удаленных от источников, уменьшение загрязнения окружающей среды от Урала и Норильска не столь велико, так как оно частично (а местами даже полностью) компенсируется за счет изменений циркуляционных процессов в атмосфере.

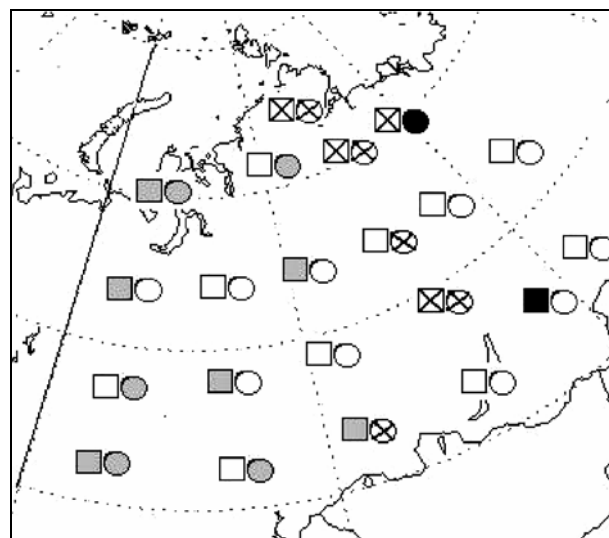


Рис. 2. Влияние изменений циркуляции атмосферы (в 90-х гг. по сравнению с 80-ми) на загрязнение различных районов Сибири выбросами Норильска (квадраты) и Урала (кружки) в сравнении с эффектом от уменьшения эмиссии источников. Обозначения: белый символ — не сказываются; серый — дополнительно уменьшают; перекрещенный — увеличивают, но не компенсируют эффект эмиссии; черный — компенсируют уменьшение эмиссии

Понятно, что пространственная и сезонная изменчивость рассчитанных характеристик загрязнения окружающей среды от двух крупных промышленных регионов в разных районах Сибири весьма велика.

Таблица 3

Средние (для 1990-х гг.) концентрации свинца, никеля и меди в приземном воздухе фоновых районов вблизи или на территории различных географических объектов Сибири в разные месяцы, $\text{нг}/\text{м}^3$

Район	Pb				Ni				Cu			
	Месяц											
	I	IV	VII	X	I	IV	VII	X	I	IV	VII	X
пос. Тикси	0,04	0,02	0,01	0,12	1,36	0,68	0,20	1,36	2,2	1,1	0,3	2,3
п-ов Ямал	0,81	0,27	0,04	0,40	2,59	8,58	0,86	3,44	4,9	12,3	1,3	5,4
г. Норильск	1,28	0,83	0,50	1,03	34,33	25,75	17,16	25,75	49,5	36,9	24,5	37,3
п-ов Таймыр	0,39	0,30	0,03	0,39	10,46	10,46	1,05	10,46	15,1	14,9	1,5	15,1
г. Ханты-Мансийск	1,57	0,96	0,82	0,84	0,19	0,61	0,31	0,75	2,8	2,4	1,8	2,4
г. Тура	0,63	0,48	0,02	0,67	4,40	5,86	0,73	5,86	7,1	8,9	1,0	9,2
Свердловская обл.	15,72	9,46	3,41	11,27	0,39	1,09	0,15	0,53	26,2	16,9	5,8	19,1
Томская обл.	3,15	1,85	0,64	3,69	0,20	0,53	0,26	0,70	5,4	3,8	1,4	7,0
г. Омск	6,73	5,39	4,49	8,97	0,17	0,24	0,11	0,22	11,2	9,1	7,5	15,0
г. Барнаул	1,57	1,57	0,45	2,69	0,04	0,20	0,06	0,17	2,6	2,8	0,8	4,6
оз. Байкал	0,18	0,07	0,00	0,28	0,03	0,73	0,00	0,53	0,3	1,1	0,0	1,2
г. Якутск	0,05	0,01	0,00	0,09	0,67	0,27	0,00	0,67	1,0	0,4	0,0	1,1

В табл. 3 приведены средние (для 1990-х гг.) концентрации Pb, Ni и Cu в приземном воздухе в разные месяцы для 12 фоновых (не городских) районов вблизи (или на территории) различных географических объектов.

По данным табл. 2 и 3 можно рассчитать для этих районов также средние потоки ТМ на поверхность и их содержание в осадках. Мы не приводим эти данные, чтобы не перегружать статью большими таблицами. Для каждого района сезонный ход рассматриваемых показателей загрязнения формируется в результате индивидуального сочетания факторов атмосферного переноса и параметров осаждения примеси. Летний минимум атмосферной концентрации примеси во всех районах связан, в первую очередь, с благоприятными в это время условиями очищения атмосферы (большое количество осадков и высокие скорости осаждения примеси, см. табл. 2). Весной и осенью часто формируются максимумы потока примеси на поверхность и ее содержания в осадках, обусловленные большим количеством осадков (чаще всего жидких) и достаточно высоким содержанием примеси в воздухе в это время (при не самых больших скоростях осаждения).

На рис. 3 показаны средние годовые потоки ТМ на поверхность в рассматриваемых районах Сибири. Эти данные позволяют оценить вклад атмосферного канала (только от двух источников!) в загрязнение окружающей среды конкретного района, а также качественно сопоставить роль изучаемых источников в этом загрязнении (учитывая, что в наших расчетах выбросы меди у обоих источников в 90-х гг. одинаковы, см. табл. 1). Естественно, более загрязненными оказываются территории, ближайшие к источникам. Интересно, что в наиболее восточных районах (Байкал) значение Норильска, как источника загрязнения окружающей среды, выше, чем Урала (рис. 4).

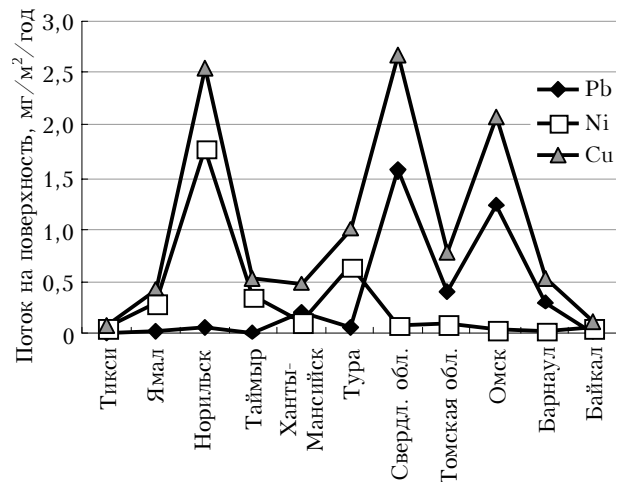


Рис. 3. Средний (в 1990-х гг.) годовой поток ТМ из атмосферы на поверхность в различных фоновых районах Сибири вблизи указанных объектов

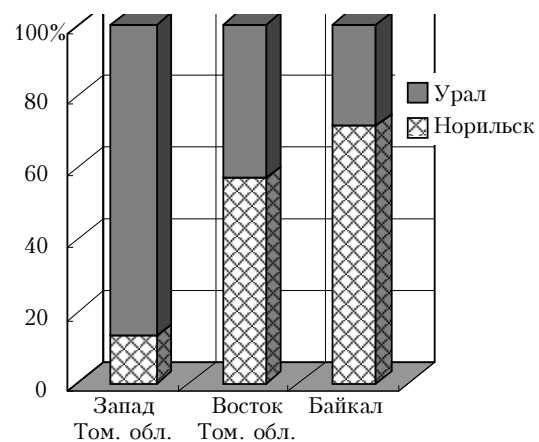


Рис. 4. Изменение долей источников в загрязнении поверхностных объектов в 90-х гг. по мере продвижения с запада на восток (по потокам меди на поверхность от каждого источника при их равных выбросах)

Сравнение с данными измерений

К сожалению, экспериментальные измерения состава (и тем более элементного состава) атмосферного аэрозоля или содержания ТМ в различных наземных природных объектах проводились на огромной территории Сибири лишь в нескольких точках (в основном в городах или около них) [17]. Конечно, в конце XX в. нигде это не осуществлялось регулярно. Поэтому материалы для сравнения полученных нами оценок крайне малочисленны и эпизодичны с точки зрения наших 10-летних усреднений. Мы приведем результаты сопоставлений, которые нам удалось сделать, не претендуя на верификацию наших грубых модельных оценок.

Сравнение наших оценок концентраций ТМ в воздухе вблизи Норильска с измерениями [18] показывает очень неплохое соответствие результатов (рис. 5). Здесь используются максимальные и минимальные значения концентраций ТМ, измеренные на территории города вне дымовых шлейфов промышленных предприятий и вблизи города.

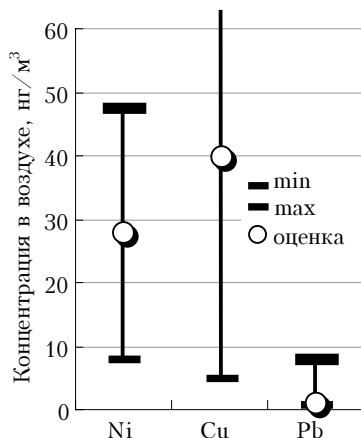


Рис. 5. Сравнение наших оценок концентраций ТМ в воздухе вблизи Норильска с экспериментальными данными (минимальные и максимальные значения из [18])

Попадание наших оценок в столь широкий диапазон значений говорит, конечно, лишь о соответствии порядков величин. Данные табл. 4 свидетельствуют о более точном соответствии наших оценок экспериментальным значениям.

Таблица 4
Концентрации ТМ в приземном воздухе разных районов Сибири в 1990-х гг. по нашим оценкам и по литературным данным

Район	Сезон, год	Концентрации в воздухе, нг/м³			Ссылка
		Pb	Ni	Cu	
Север Западной Сибири	зима, 1999	—	10	—	[19]
	лето, 1999	—	2	4	
	зима, 90-е	—	5,6	—	данная раб.
	лето, 90-е	—	2,1	3,3	данная раб.
ст. Монды, район Байкала	1990–1997	0,2	—	0,3	[20]
	1991–1999	0,13	—	0,66	

Здесь приведены атмосферные концентрации ТМ, полученные при измерениях в фоновых районах на севере Западной Сибири [19] и на фоновой станции Монды в регионе Байкала [20]. Естественно, что наши оценки более адекватно описывают загрязнение тяжелыми металлами приземного воздуха фоновых территорий, которые удалены от локальных и региональных промышленных центров.

Подчеркнем, что для региона Байкала рассмотренные источники (Урал и Норильск) определяют лишь фоновые уровни загрязнения. Реальный уровень загрязнения природных сред формируется местными источниками [20], вклад которых почти на порядок превосходит вклад дальнего атмосферного переноса. В отношении загрязнения вод оз. Байкал, можно утверждать, что дальний атмосферный перенос составляет за год в воды озера меньше 3% от того количества ТМ, которое, по данным [17], поступает туда с водами впадающих рек.

На рис. 6 показано сопоставление полученных нами средних потоков ТМ на подстилающую поверхность с содержанием этих же металлов в почвах для фоновых районов юга Центральной Сибири.

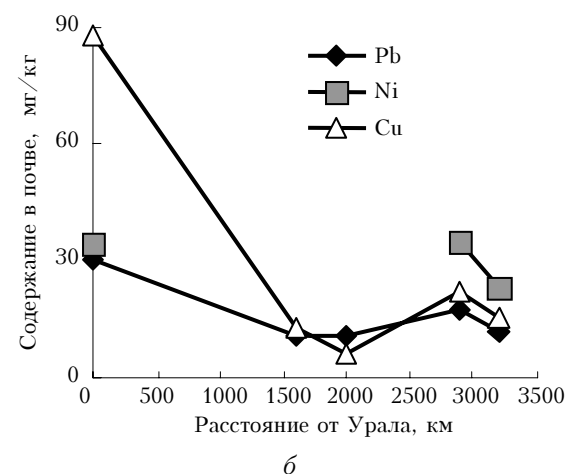
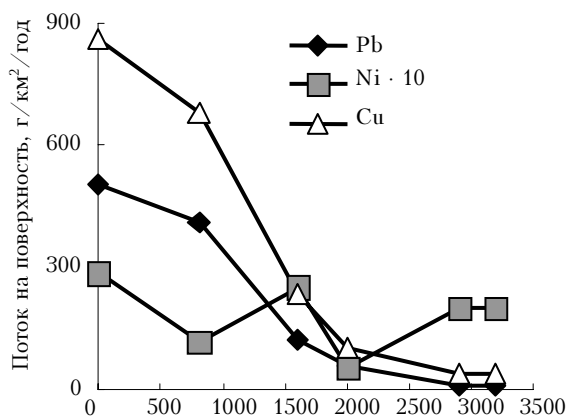


Рис. 6. Сопоставление потоков Pb, Ni, Cu из атмосферы на подстилающую поверхность (а) с содержанием этих же ТМ в почвах (б) [17, 21] в нескольких районах южной части Сибири и Урала: Свердловская, Омская, Томская области, Новокузнецк, Иркутск, Байкал

Отметим, что это регион с развитой промышленностью, характеризующийся повышенным уровнем загрязнения атмосферы в городах [17, 21]. Содержание ТМ в почвах (рис. 6,б) при не слишком большом удалении от Урала (до 2000 км) приблизительно пропорционально средним потокам ТМ из атмосферы на поверхность (рис. 6,а). На больших расстояниях выбросы Урала мало влияют на содержание ТМ в почвах, и, по-видимому, все определяется ближайшими промышленными центрами (Новокузнецк, Иркутск и др.).

Интересно сравнить с нашими результатами оценки средних потоков ТМ из атмосферы на поверхность по содержанию этих элементов в колонках торфа на территории Бакчарского болота в северо-западной части Томской области (по данным доклада авторов [22]). Торф — очень хорошо сохраняющаяся деponирующая среда, состав которой формируется в течение длительного времени и тем самым является результатом естественного временного усреднения. Однако заметим, что миграция ТМ между природными средами — это очень непростой процесс, в котором определяющую роль играют химические взаимодействия и преобразования. Поэтому сравним лишь отношения потоков на поверхность в 90-х и в 80-х гг. для каждого металла: по нашим оценкам — Pb (0,7), Ni (0,4) и Cu (0,5); по оценкам авторов [22] — Pb (0,7), Ni (0,7) и Cu (1,3). Таким образом, для свинца и никеля можно считать, что результаты качественно сходятся, а для меди оценки изменения не совпадают даже качественно. Это может быть связано с разными причинами, обсуждение которых выходит за рамки данной статьи.

Заключение

Нами получены количественные оценки средних концентраций трех тяжелых металлов (Pb, Ni, Cu), принесенных в атмосфере от двух крупных промышленных регионов (Норильск и Урал), в приземном воздухе различных районов Сибири в разные сезоны в конце XX в. Приведены значения параметров, определяющих выведение этих примесей из атмосферы, которые позволяют оценить среднее содержание этих металлов в осадках и их средние потоки на подстилающую поверхность.

В целом в 90-х гг. загрязнение природных объектов Сибири со стороны Урала и Норильска уменьшилось по сравнению с 80-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 конце XX в. Суммарный эффект различен для разных мест, сезонов и примесей.

Содержание антропогенных примесей в воздухе и в осадках в районе Байкала практически полностью определяется эмиссией локальных и региональных источников, а в составе озерных вод — загрязнением впадающих рек. За год дальний ат-

мосферный перенос выбросов регионов Норильска и Урала обеспечивает поток меди на поверхность озера, составляющий лишь несколько процентов от потока, выносимого в озеро речными водами.

Полученные количественные оценки средних распределений тяжелых металлов от двух крупных промышленных регионов в воздухе над территорией Сибири наиболее адекватно описывают реальные атмосферные концентрации этих элементов в фоновых (удаленных от индустриальных центров) районах. Эти результаты могут использоваться для оценки антропогенного воздействия на природные объекты в труднодоступных районах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 16, часть 2 «Природные процессы в полярных областях Земли и их вероятное развитие в ближайшие десятилетия».

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. *Ежегодник* состояния загрязнения воздуха и выбросов вредных веществ в атмосферу городов и промышленных центров Советского Союза. Том «Выбросы вредных веществ» 1989 г. Л.: Гидрометеониздат, 1990. 486 с.
3. *Ежегодник* выбросов загрязняющих веществ в атмосферу городов и регионов Российской Федерации (Россия) 1997 г. СПб.: Гидрометеониздат, 1998. 433 с.
4. *Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н.* Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л.: Гидрометеониздат, 1991. 278 с.
5. *Гальперин М.В., 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.
6. *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.
7. *Виноградова А.А.* Антропогенный аэрозоль над морями Северного Ледовитого океана: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. М., 2004. 39 с.
8. *Виноградова А.А., Пономарева Т.Я.* Сезонные изменения атмосферных концентраций и выпадений антропогенных примесей в Российской Арктике // *Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана.* 2001. Т. 37. № 6. С. 761–770.
9. *Виноградова А.А., Максименков Л.О., Погарский Ф.А.* Антропогенная нагрузка на природную среду Белого моря со стороны промышленных объектов Мурманской области (атмосферный канал) // *Проблемы изучения рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря: Матер. X Междунар. конференции (18–20 сентября 2007 г., Архангельск, Россия).* Архангельск: ООО «Издательский центр СГМУ», 2007. С. 295–299.
10. *Арктика на пороге третьего тысячелетия (ресурсный потенциал и проблемы экологии).* СПб.: Наука, 2000. 247 с.
11. *AMAP.* Arctic Pollution 2002. Oslo, Norway: AMAP, 2002. 111 p.
12. *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>).

13. *Географический атлас*. М.: Главное управление по геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1967. 198 с.
14. *Ломакина Н.Я.* Объективная классификация, климатическое районирование и статистическое моделирование полей температуры, влажности и ветра в пограничном слое атмосферы Западной Сибири // *Аэрозоли Сибири*. XIV Рабочая группа: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2007. С. 29–30.
15. *Расуна J.M., Ottar B., Tomza U., Maenhaut W.* Long-range transport of trace elements to Ny-Alesund, Spitsbergen // *Atmos. Environ.* 1985. V. 19. N 6. P. 857–864.
16. *Гинзбург В.А.* Формирование компонентов баланса свинца в атмосфере над территорией России: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 2005. 25 с.
17. *Обзор загрязнения природной среды в Российской Федерации за 2003 г.* СПб.: Гидрометеонздат, 2004. 153 с.
18. *Белан Б.Д., Задде Г.О., Ивлев Г.А., Краснов О.А., Пирогов В.А., Симоненков Д.В., Толмачев Г.Н., Фанов А.В.* Комплексная оценка состояния воздушного бассейна Норильского промышленного района. Ч. 5. Примеси в приземном слое воздуха. Соответствие состава воздуха гигиеническим нормативам. Рекомендации // *Оптика атмосф. и океана*. 2007. Т. 20. № 2. С. 132–142.
19. *Куценогий К.П., Смирнова А.И., Смоляков Б.С., Чуркина Т.В.* Оценка содержания некоторых компонентов в выбросах промышленных предприятий Южного Урала и Норильска // *Оптика атмосф. и океана*. 2002. Т. 15. № 5–6. С. 460–463.
20. *Аэрозоли Сибири* / Отв. ред. д.ф.-м.н. К.П. Куценогий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 548 с.
21. *Обзор загрязнения природной среды в Российской Федерации за 2006 г.* СПб.: Гидрометеонздат, 2007. 162 с.
22. *Бобров В.А., Прейс Ю.И., Будашкина В.В.* Фракционирование химических элементов в атмосфере южной тайги Западной Сибири // *Аэрозоли Сибири*. XIV Рабочая группа: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2007. С. 69.

A.A. Vinogradova, L.O. Maksimenkov, F.A. Pogarsky. **Industrial influence to Siberian environment from Norilsk and Ural regions.**

Atmospheric transport of heavy metals (Ni, Cu, Pb) from two large industrial areas (Norilsk and Ural) over the Siberia was studied. The 5-day trajectories of air mass transport for every day of January, April, July and October during 1981–2000 were analyzed. The model HYSPLIT 4 with reanalysis database NOAA (NCEP/NCAR Reanalysis Data Files) was applied. The seasonal and long-term variations in the average concentrations of anthropogenic heavy metals (from those sources) in air and precipitations, and in the average fluxes of pollutants onto the surface were estimated for different sites of Siberia. The obtained results are in accordance with the published data measured at background sites. Long-range atmospheric transport contributes only a negligible part of pollutants to the environment of the Baikal region as compared with local industrial sources.