

УДК 552.3/7

DOI: 10.17072/2079-7877-2021-2-135-150

## АЭРОТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДНО-БОЛОТНЫХ ОБЪЕКТОВ ВОДОСБОРА БЕЛОГО МОРЯ (НА ПРИМЕРЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)

**Валерия Геннадьевна Татаринцева**ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6499-9202>, Scopus Author ID: 57205330733,

Researcher ID: ААН-8581-2019, Author ID: 959460, Istina Researcher ID (IRID): 371649182

e-mail: leratatarintseva@gmail.com

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврова  
УрО РАН, г. Архангельск, Россия***Екатерина Ильинична Котова**ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7442-3311>, Scopus Author ID: 57214973923,

Researcher ID: ААФ-8757-2019, Author ID: 663337, Istina Researcher ID (IRID): 371649155

e-mail: ecopp@yandex.ru

*Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, г. Москва, Россия*

Исследовано влияние циркуляционных процессов в атмосфере на уровень загрязнения водно-болотных объектов Архангельской области тяжелыми металлами. Цель работы – изучение многолетних закономерностей движения воздушных потоков (были проанализированы данные за 20 лет, с 2001 по 2020 г.) и сопоставление этих данных с основными источниками тяжелых металлов (на территории России) и количеством металлов, попадающих в атмосферу вблизи исследуемых болот и на их поверхность. В качестве объектов исследования выбраны три болотных массива на территории Архангельской области: Иласский болотный массив (Приморский район), болото Большой Мох (Онежский район) и Трофимовское болото (Мезенский район). Для изучения закономерностей движения воздушных масс был использован метод статистики обратных траекторий с применением модели HYSPLIT. Количественная оценка загрязнения исследуемых объектов проводилась для Pb, Cd, As, Zn, Ni, Cr и Cu на основе официальных данных о выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов и регионов Российской Федерации. Было выявлено, что максимальных концентраций тяжелых металлов для трех болот следует ожидать в зимний период, что связано с метеорологическими характеристиками сезона года. Это свидетельствует о повышении антропогенной нагрузки на болота и связанные с ними водотоки в период снеготаяния. Наибольшие концентрации в воздухе и потоки на поверхность отмечены для Cu, Ni и Cr, причем количественное распределение элементов для трех болот неодинаково. Основным регионом-источником Cu и Ni является Мурманская область. Метод статистики траекторий может быть использован не только для выявления существующих источников загрязнения, но и для прогнозирования и предупреждения возможных экологических катастроф.

**Ключевые слова:** дальний атмосферный перенос, аэрогенное загрязнение, тяжелые металлы, метод статистики траекторий, водно-болотные объекты Архангельской области, экологический мониторинг.

## AIR TECHNOGENIC POLLUTION OF THE WHITE SEA CATCHMENT MIRES (EXAMPLE OF THE ARKHANGELSK REGION)

**Valeria G. Tatarintseva**ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6499-9202>, Scopus Author ID: 57205330733,

Researcher ID: ААН-8581-2019, Author ID: 959460, Istina Researcher ID (IRID): 371649182

e-mail: leratatarintseva@gmail.com

*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research UrB RAS, Arkhangelsk, Russia***Ekaterina I. Kotova**ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7442-3311>, Scopus Author ID: 57214973923,

Researcher ID: ААФ-8757-2019, Author ID: 663337, Istina Researcher ID (IRID): 371649155

e-mail: ecopp@yandex.ru

*P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Moscow, Russia*

The work investigated the influence of atmosphere circulation processes on the level of Arkhangelsk region mires pollution with heavy metals. The aim of the work was to study long-term patterns of air traffic (data for 20 years, from 2001 to 2020 were analysed) and to compare these data with the main Russian emission sources of heavy metals and the quantity of metals in atmosphere and on the mires surface. There were three objects of study located in Arkhangelsk region – Ilas bog (Primorskij region), Bol'shoj moh bog (Onezhskij region) and Trofimovskoe bog (Mezenskij region). The inverse trajectory statistics method using the HYSPLIT model was applied to study air mass patterns. Quantitative assessment of pollution was carried out for Pb, Cd, As, Zn, Ni, Cr and Cu based on official data on pollutants emissions into the atmosphere in cities and regions of the Russian Federation. Maximum heavy metal concentrations for the three mires were found to be expected in winter due to the meteorological characteristics of the season. This indicates an increase in anthropogenic pressure on the mires and related watercourses during snowmelt. It was revealed that Cu, Ni and Cr have the highest concentrations in air and surface fluxes and the quantitative distribution of elements varies between the three mires significantly. Murmansk region is the major emission source of Cu and Ni towards our objects of study. The inverse trajectory statistics method can be used both to identify pollution sources and to predict and prevent possible environmental disasters.

**Key words:** long-range atmospheric transport, aerogenic pollution, heavy metals, trajectory statistics method, Arkhangelsk region mires, environmental monitoring.

### **Введение**

В настоящее время освоение северных территорий России считается одной из приоритетных задач развития страны, ввиду чего решение и предупреждение экологических проблем в регионе принимают особое значение. Специфические условия климата (экстремально низкие температуры, короткий вегетационный период, наличие многолетней мерзлоты и др.) обуславливают высокую чувствительность северной природы к внешним воздействиям.

Ввиду особых климатических условий северные регионы России отличаются высокой заболоченностью – здесь сосредоточены около 70% всех болот страны [10]. Экологические функции болот многообразны – они являются резервуарами пресной воды, выступают природными фильтрами и аккумуляторами загрязняющих веществ, играют важную роль в гидрологическом режиме территорий [1]. Болотные экосистемы и их компоненты уже более 30 лет используются при мониторинге антропогенного загрязнения окружающей среды, в том числе для оценки атмосферного переноса и выпадений загрязняющих веществ, в странах Европы, Скандинавии и некоторых регионах России. Наиболее часто изучают состояние мхов, являющихся биоиндикаторами загрязнения атмосферы тяжелыми металлами в настоящий момент времени, и торфяных отложений, отражающих динамику накопления поллютантов на разных этапах развития болота [9; 14; 20; 27; 29; 31].

Территория Архангельской области относится к поясу интенсивного торфонакопления со значительным преобладанием торфяных болот верхового типа [1]. В работах [16; 17; 19] подтверждена высокая способность торфяных залежей аккумулировать загрязняющие вещества из атмосферы, поверхностных и грунтовых вод для верхового торфа Архангельской области, способного эффективно поглощать нефтяные разливы, а также сорбировать тяжелые металлы. Основными источниками загрязнения атмосферы региона являются крупные предприятия лесопромышленного и топливно-энергетического комплексов, а также автотранспорт. Отметим, что отсутствие в Архангельской области металлургических и горно-обогатительных предприятий не является залогом отсутствия примесей в воздухе – исследования показывают значительное влияние дальнего атмосферного переноса на формирование общего уровня загрязнения атмосферы [6; 24; 26]. Известно, что около 20% выбрасываемых в атмосферу загрязнителей переносится воздушными массами за пределы размещения их источников, причем интенсивность влияния отдаленных источников зависит от множества метеорологических факторов: направления и скорости перемещения воздушных масс, устойчивости атмосферных слоев, наличия садков,

*Экология и природопользование*  
*Татаринцева В.Г., Котова Е.И.*

температуры воздуха и т.д. [15]. Перенос загрязнений в северных регионах, где время нахождения примесей в воздухе велико, возможен на расстояния до 10 тыс. км [8]. По некоторым оценкам [6] вклад дальнего атмосферного переноса в загрязнение Европейской части России свинцом, поступающим от источников зарубежной Европы, может достигать 85%.

Исследования антропогенного влияния, в том числе за счет атмосферного переноса аэрозолей, на болотные массивы водосбора Белого моря проводились рядом авторов [18; 21; 25; 26]. Для болот Архангельской области определяли элементный состав торфяных отложений и химический состав болотных вод. Было показано, что существует вклад атмосферного переноса в загрязнение компонентов болот тяжелыми металлами. Однако исследования о конкретных источниках этих элементов в атмосфере, а также количественные оценки возможного антропогенного воздействия на болотные массивы области за счет атмосферного переноса не проводились. Следует отметить, что труднодоступность некоторых болот (например, находящихся в зоне многолетней мерзлоты), а также погодные условия усложняют детальные исследования, поэтому оценить антропогенное влияние достаточно сложно. Дополнительным источником информации могут служить дистанционные методы, в том числе модельные оценки.

Таким образом, цель работы – проанализировать многолетние закономерности движения воздушных масс и источники атмосферного переноса антропогенных примесей на территории водно-болотных объектов водосбора Белого моря (на примере болотных массивов Архангельской области) и количественно оценить средние многолетние потоки тяжелых металлов на поверхность болот.

### **Объекты и методы исследования**

Для анализа многолетних закономерностей движения воздушных масс в работе был применен метод статистики обратных траекторий (траекторный подход), подробно описанный в [3]. Сущность метода заключается в получении массива данных о траекториях движения воздушных масс к объектам исследования от конкретных источников, причем каждая точка траекторий характеризуется координатами и метеорологическими параметрами (высота слоя перемешивания и количество осадков). Эта информация была получена с использованием модели HYSPLIT на сервере Национального управления океанических и атмосферных исследований США (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA). Модель HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model) – это комплексная система, позволяющая вычислять воздушные траектории частиц и моделировать сложные процессы рассеивания и перемещения частиц атмосферного аэрозоля [32]. Для расчета траекторий модель осуществляет сбор данных различных метеорологических станций, расположенных по всему миру.

Для начала работы с моделью HYSPLIT необходимо ввести данные об объектах исследования (координаты), способе расчета траекторий и задать необходимые параметры на сайте [28]. В качестве объектов исследования были выбраны три болотных массива (рис. 1), расположенных на территории Архангельской области и относящихся к водосбору Белого моря: Иласский болотный массив (ИБМ) в Приморском районе, болотный массив в западной части системы болот Большой Мох (БМ) в Онежском районе и Трофимовское болото (ТБ) в Мезенском районе. Поскольку длины траекторий движения воздушных масс значительно превышают масштабы болотных массивов, для каждого болота была выбрана точка с конкретными координатами: ИБМ – 64.33° N 40.61° E; БМ – 63.82° N, 38.50° E; ТБ – 65.87° N, 44.25° E. Таким образом, расчет траекторий проводился для трех точек с использованием архива данных реанализа метеорологических элементов NCEP/NCAR (REANALYSIS, global, 1948-present).

В данной работе были рассчитаны обратные траектории движения воздушных масс (Trajectory direction: backward), которые позволяют выявлять потенциальные источники

Экология и природопользование  
Татаринцева В.Г., Котова Е.И.

возникновения той или иной примеси в атмосфере [12]. Исходными данными были приняты следующие параметры: старт расчетов в 00 часов UTC; высота приземного воздуха (слоя воздуха над поверхностью) – 50 м; общее время расчета траекторий – 5 сут. (120 ч). Расчеты проводили для 30 дней каждого января, апреля, июля и октября за 20-летний период (2001–2020 гг.), а также по десятилетиям (2001–2010 и 2011–2020 гг.). В результате был получен массив средних за период данных о траекториях движения воздушных масс для каждого сезона года для трех объектов (предполагалось, что данные за один месяц сезона полностью характеризуют сезон).

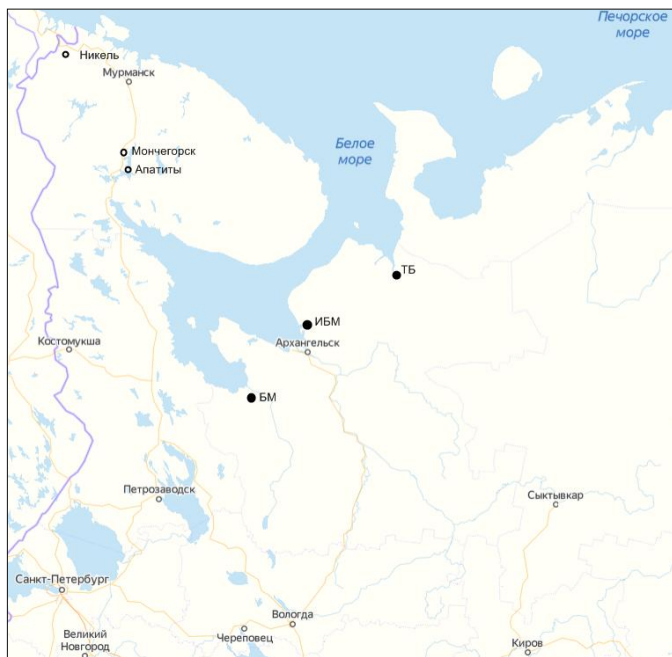


Рис. 1. Расположение объектов исследования  
Fig. 1. Location of the objects of research

Дальнейшие расчеты проводились в Microsoft Excel, где территория Северной Евразии была разбита на ячейки  $1^\circ \times 1^\circ$  с координатами (от  $52^\circ$  до  $69^\circ$  N и от  $4^\circ$  до  $180^\circ$  E) и рассматривалась в качестве пространства, на котором расположены исследуемые объекты и источники загрязнения. Для количественной оценки переноса антропогенных примесей в расчетную таблицу были занесены данные о количестве выбросов тяжелых металлов (Pb, Cd, As, Zn, Ni, Cr и Cu) от конкретных источников, полученные из сборника [13] за 2010 г., который содержит наиболее полную информацию. В расчетах учитывались данные о выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух от источников всех субъектов РФ, представленные территориальными органами Росприроднадзора.

Затем данные о траекториях движения воздушных масс «накладывались» на координатную сетку, и рассчитывалось количество точек траекторий, попавших в конкретную ячейку от источника. Уточним, что количественная оценка загрязнения справедлива только для примесей, переносимых на субмикронных частицах аэрозоля (размер частиц  $<10^{-6}$  м), что справедливо для тяжелых металлов. Кроме того, в расчетах учитывались данные о выбросах только российских источников. Основные показатели, отражающие загрязнение окружающей среды вблизи исследуемых объектов, – это концентрация примеси в приземном слое воздуха и поток примеси на поверхность. Концентрация  $C_{ij}$  в воздухе вблизи рассматриваемого объекта, созданная в результате выбросов  $Q_{ij}$  примеси на поверхность в ячейке сетки с координатами  $(i, j)$ , вычисляется по формуле (1)

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

где  $\alpha$  – доля примеси, оседающая на поверхность вблизи источника (0,1–0,2 см);  $Z_{ij}$ ,  $\text{с/м}^3$  – функция, характеризующая все атмосферные процессы, влияющие на перенос загрязнителя от ячейки  $(i, j)$  к исследуемому объекту, например, осаждение на поверхность, вероятность, длительность и т.д.

Функция  $Z_{ij}$  вычисляется с учетом количества попавших в каждую ячейку точек траекторий, среднего времени движения траектории от источника до исследуемого объекта, средней высоты слоя перемешивания, средней длины траекторий, а также средней скорости осаждения примеси на поверхность – подробнее в [3]. На основе расчетов в программе Map

Info были построены карты-схемы пространственного распределения значений функции  $Z_{ij}$  с целью выявления территорий, способных оказывать влияние на состав атмосферного аэрозоля вблизи исследуемых болотных массивов.

Потоки  $D$  рассматриваемых тяжелых металлов из атмосферы на подстилающую поверхность вычисляли по формуле (2)

$$D = C * K * T, \quad (2)$$

где  $C$  – концентрация примеси в приземном воздухе;  $K$  – скорость осаждения примеси из атмосферы на поверхность;  $T$  – длительность периода, для которого вычисляется плотность потока (в данном случае – один месяц).

Скорости осаждения примеси  $K$  (см/с) меняются в зависимости от сезона и территории, для которой проводятся расчеты. В данной работе, согласно [3], для расчетов были применены следующие значения: январь – 0,16; апрель – 0,87; июль – 1,55; октябрь – 0,73.

### Обсуждение результатов

#### *Анализ многолетних закономерностей перемещения воздушных масс*

Сравнительный анализ карт-схем пространственного распределения функции  $Z$  для трех исследуемых территорий по четырем сезонам позволил выделить ряд закономерностей. Поскольку объекты исследования расположены в пределах Архангельской области на сравнительно близком расстоянии друг от друга, существенных отличий в распределении поступления воздушных масс территориально не обнаружено, поэтому карты-схемы визуально сходны для трех объектов и приведены для одного объекта (рис. 2).

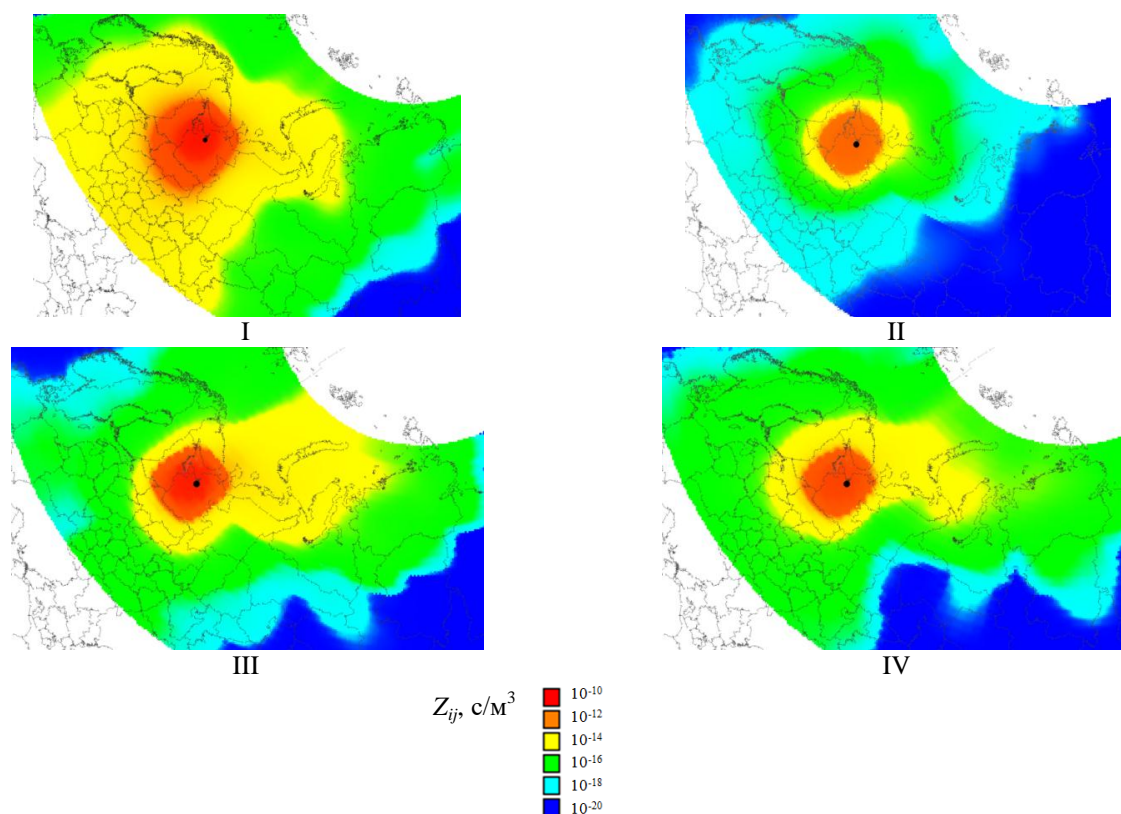


Рис. 2. Карты-схемы пространственного распределения территорий, способных оказывать влияние на состав атмосферного аэрозоля вблизи

Иласского болотного массива за период с 2001 по 2020 г. в различные сезоны года:

I – зима (январь); II – лето (июль); III – весна (апрель); IV – осень (октябрь)

Fig. 2. Spatial patterns of territories influencing the aerosol composition around Ilas mire over the period 2001 to 2020 in different seasons:

I – winter (January); II – summer (July); III – spring (April); IV – autumn (October)

*Экология и природопользование  
Татаринцева В.Г., Котова Е.И.*

Значительное влияние на процессы перемещения воздушных масс оказывает сезон года. Так, в зимние месяцы (рис. 2, I) происходит максимальное расширение ареала территорий, способных оказывать влияние на исследуемые объекты. В частности, значительные смещения отмечены на юг и запад, что во втором случае свидетельствует о выраженном влиянии воздушных масс, проходящих над территориями таких европейских стран, как Финляндия, Швеция, Норвегия. Несмотря на то, что в данной работе вклад зарубежных стран не учитывался, этот факт необходимо принять во внимание при дальнейших исследованиях.

Иная картина наблюдается в летний сезон (рис. 2, II), в период которого воздушные массы циркулируют на наиболее близком расстоянии от объектов исследования. В весенний и осенний периоды ареал влияния смещается в северном и северо-восточном направлениях (рис. 2, III, IV). В действительности большую часть года в Архангельской области преобладают ветры юго-восточного, южного и юго-западного направлений, а зимой и весной возможно влияние северных ветров [22].

В табл. 1 представлены основные регионы-источники тяжелых металлов и мощности их выбросов [13] (для каждого элемента полужирным шрифтом выделены наиболее мощные источники). Сопоставление карт-схем распределения функции  $Z$  с данными табл. 1, а также с исследованиями других авторов [2; 7; 23] позволяет предположить влияние определенных источников на состав атмосферного аэрозоля Архангельской области.

Таблица 1

Мощности выбросов в атмосферу тяжелых металлов (т/год)  
с территорий городов и регионов России за 2010 г.  
Atmospheric emission capacity of heavy metals (t/year) from Russian cities and regions for 2010

Источник	<i>Pb</i>	<i>Cd</i>	<i>As</i>	<i>Zn</i>	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>
г. Мончегорск	4,4	–	2,3	–	1,7	0,002	<b>457,1</b>
Мурманская область*	0,4	0,02	1,3	–	<b>306,2</b>	0,43	<b>150,4</b>
г. Норильск	<b>14,2</b>	–	0,001	0,001	<b>320,2</b>	0,13	<b>315,2</b>
г. Петрозаводск	0,04	–	–	0,47	0,48	1,8	1,1
Республика Башкортостан	0,29	0,01	–	–	–	1,3	12,1
Новгородская область	1,2	0,08	0,33	8,5	0,06	0,25	3,6
Пермский край	0,09	0,005	–	2,5	0,87	6,1	1,7
Свердловская область	<b>85,6</b>	<b>9,9</b>	<b>133,9</b>	<b>745,0</b>	16,5	<b>53,9</b>	<b>448,1</b>
Московская область	1,7	1,1	3,6	–	0,03	7,1	2,2
Челябинская область	5,2	0,3	0,73	–	0,49	6,6	15,2
Ленинградская область	0,06	–	0,01	2,5	0,08	<b>28,2</b>	0,08
Кировская область	0,11	–	0,04	6,3	0,03	0,41	2,0
Владимирская область	2,4	–	0,14	–	–	0,87	4,3
Вологодская область	0,03	–	–	7,1	0,03	0,34	1,2

\*\* Без города Мончегорска

Самым мощным регионом-источником Ni и Cu на севере Европы является Мурманская область (предприятия городов Никель и Мончегорск, а также другие горнорудные и металлургические компании области). Характерно, что, независимо от сезона года, данный регион попадает в область максимальных значений функции  $Z$ . В зимний период можно ожидать влияния выбросов предприятий, расположенных на юге, юго-западе и юго-востоке страны (Московская, Свердловская, Новгородская области, Пермский край и др.), а также Красноярского края, влияние которых усиливается также в весенний и осенний периоды.

#### *Сезонные и пространственные вариации загрязнения*

При анализе межсезонных вариаций накопления тяжелых металлов в атмосфере было выявлено, что наибольшие концентрации всех элементов в воздухе должны быть в зимний период. Такая тенденция отмечена и в других работах [3–5]. Данный факт обусловлен, в



первую очередь, метеорологическими особенностями сезона, а также более широким ареалом поступления аэрозольных примесей, что хорошо иллюстрируют карты-схемы пространственного распределения функции  $Z$  (рис. 2). Таким образом, значительные количества тяжелых металлов выпадают на поверхность болотных массивов в зимний сезон и накапливаются в снежном покрове. При таянии снега часть из них поступает в водотоки, резко повышая антропогенную нагрузку весной и в начале лета, а другая часть остается в торфяной залежи. Дальнейшая миграция металлов, во многом зависящая от свойств торфа и климатических параметров сезона года, является отдельным вопросом для изучения.

Для трех исследуемых болотных массивов из рассматриваемых ТМ наибольшие концентрации в приземном слое, а также значительные потоки на подстилающую поверхность за 20-летний период определены для  $Cu$ ,  $Ni$  и  $Cr$  (табл. 2). Важным фактором накопления этих металлов в атмосфере является не только сезон года, но и расположение болотных массивов относительно предполагаемых источников загрязнения.

Таблица 2

Средние за 20 лет (2001–2020 гг.) годовые потоки ТМ  
на поверхность трех болотных массивов,  $мкг/м^2/год$   
20-year average (2001–2020) annual heavy metals fluxes to the surface of three bogs,  $ug/m^2/year$

$Pb$	$Cd$	$As$	$Zn$	$Ni$	$Cr$	$Cu$
Иласский болотный массив						
9,6	0,34	9,6	33,8	186,2	320,1	801,6
Болото Большой Мох						
9,5	0,36	5,9	39,3	171,5	68,6	463,2
Трофимовское болото						
8,0	0,42	9,9	24,9	495,5	11,8	585,8

Анализ данных за 20-летний период показал, что преобладающим поллютантом для всех территорий является  $Cu$  – расчетные концентрации этого металла в приземном слое воздуха в разы превышают значения для остальных металлов. Рис. 3 иллюстрирует сезонные вариации концентрации в воздухе, а также потоки меди на поверхность в период с 2001 по 2020 г. для трех болот. Хорошо видно, что максимальное содержание  $Cu$  в воздухе предполагается зимой. Отметим, что подобные тенденции наблюдаются и для остальных элементов.

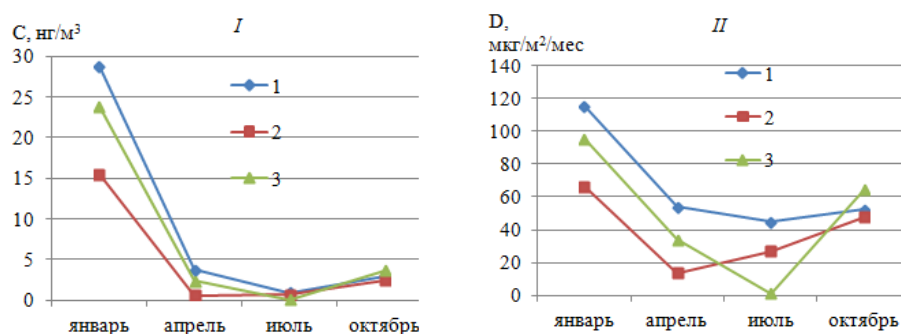


Рис. 3. Сезонные вариации концентрации в воздухе – С (I) и потока на поверхность – D (II)  $Cu$  за период с 2001 по 2020 г.:

1 – Иласский болотный массив, 2 – болото Большой Мох, 3 – Трофимовское болото

Fig. 3. Seasonal variation in air concentrations – C (I) and surface flux – D (II)  $Cu$  from 2001 to 2020:

Ilas mire (1), Bol'shoj Moh mire (2) and Trofimovskoe mire (3)

Наиболее подвержен загрязнению медью Иласский болотный массив, где расчетные годовые потоки  $Cu$  на поверхность болота (табл. 2) превышают потоки металла в 1,4–1,7 раза для двух других болот. Анализ данных о траекториях прохождения воздушных масс показал,

Экология и природопользование  
Татаринцева В.Г., Котова Е.И.

что самым мощным источником меди для трех болот являются предприятия г. Мончегорска, причем преобладающая часть металла поступает именно в зимний период. Среди других источников также можно отметить предприятия Мурманской области (без г. Мончегорска), влияние которых особенно проявляется для территории Мезенского района, и г. Петрозаводск, влияние которого значительно меньше (рис. 4).

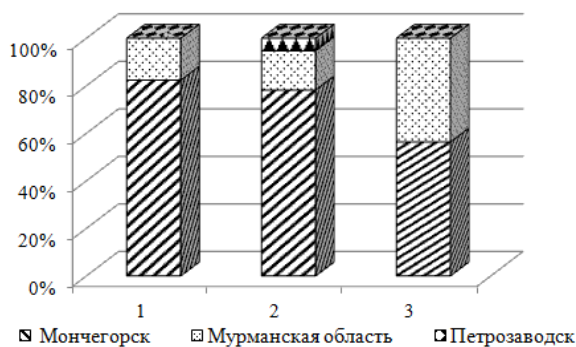


Рис. 4. Вклад основных источников в загрязнение воздуха Cu зимой (январь) за период с 2001 по 2020 г.:

1 – Иласский болотный массив, 2 – болото Большой Мох, 3 – Трофимовское болото

Fig. 4. The contribution of the main heavy metals sources to the winter (January) air pollution of Cu from 2001 to 2020: Ilass mire (1), Bol'shoj Moh mire (2) and Trofimovskoe mire (3)

Основной и самый мощный источник антропогенного Ni располагается также на территории Мурманской области. Интересно отметить, что, хотя максимальная концентрация элемента в воздухе отмечена в зимний период, он также в значительных количествах накапливается весной и осенью (рис. 5).

Загрязнение никелем наиболее характерно для Трофимовского болота, при этом увеличение концентрации в воздухе происходит не за счет влияния других мощных источников, например, г. Норильска, расположенного ближе к Мезенскому

району, а вследствие увеличения переноса примесей с территории Мурманской области. На рис. 5 также показано, что для Трофимовского болота изменение потока никеля на подстилающую поверхность происходит скачкообразно, а максимальный поток наблюдается в осенний период. К сожалению, этот эффект может быть обусловлен некорректностью параметризации скорости осаждения ТМ из атмосферы в переходные сезоны для этого (самого северного) пункта, где апрель и октябрь – скорее, зимние месяцы.

Среди большого количества источников поступления Cr в атмосферу наиболее значимыми для объектов исследования являются Новгородская область, Петрозаводск, Республика Татарстан и Пермский край. Кроме того, обнаружено множество источников, чей вклад в загрязнение атмосферы хромом незначителен, однако, в сумме они дают достаточно высокие концентрации в воздухе (рис. 6). Поступление хрома в атмосферу происходит за счет выбросов предприятий черной металлургии, а также сжигания топлива, главным образом, угля.

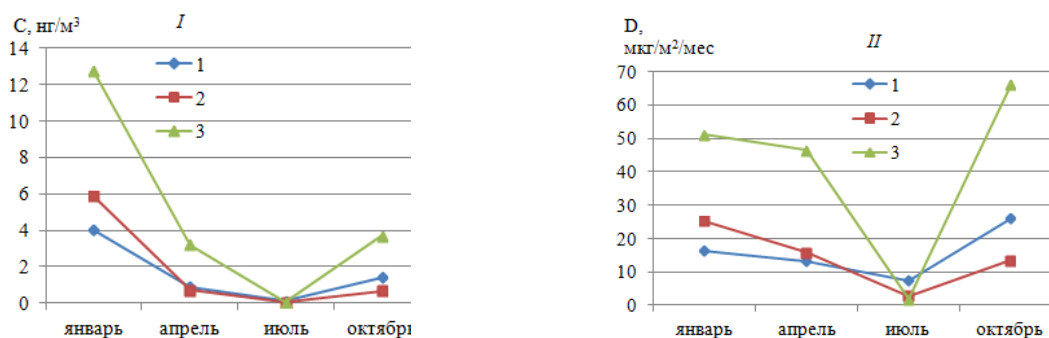


Рис. 5. Сезонные вариации концентрации в воздухе – C (I) и потока на поверхность – D (II) Ni за период с 2001 по 2020 г.:

1 – Иласский болотный массив, 2 – болото Большой Мох, 3 – Трофимовское болото

Fig. 5. Seasonal variation in air concentrations – C (I) and surface flux – D (II) Ni from 2001 to 2020: Ilass mire (1), Bol'shoj Moh mire (2) and Trofimovskoe mire (3)



Экология и природопользование  
Татаринцева В.Г., Котова Е.И.

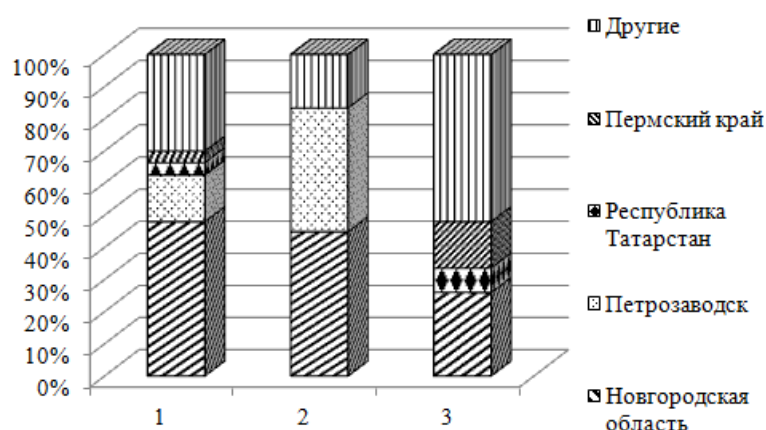


Рис. 6. Вклад основных источников в загрязнение воздуха Cr зимой (январь) за период с 2001 по 2020 г.:

1 – Иласский болотный массив, 2 – болото Большой Мох, 3 – Трофимовское болото (3)

Fig. 6. The contribution of the main heavy metals sources to the winter (January) air pollution of Cr from 2001 to 2020: Ilas mire (1), Bol'shoj Moh mire (2) and Trofimovskoe mire (3)

Наибольшая концентрация в воздухе и поток хрома на поверхность получены для Иласского болота, где основным источником поступления металла является Новгородская область. Интересно отметить, что, несмотря на максимальную концентрацию металла в воздухе зимой, наибольший поток на поверхность приходится на весенний период (17,7 и 42,3 мкг/м<sup>2</sup>/месяц для января и апреля соответственно). Для болота в Онежской области преобладающими являются 2 источника – Петрозаводск и Новгородская область, вклады которых практически

равнозначны. Минимальные концентрации хрома обнаружены в Мезенском районе.

На примере хрома четко видно, что определяющим фактором загрязнения атмосферы являются не только мощность выбросов конкретного источника, но и процессы циркуляции воздушных масс. Несмотря на значительное количество выбросов металла в Свердловской области и Республике Татарстан (табл. 1), эти источники не являются основными и вносят лишь незначительный вклад в загрязнение атмосферы. Так, вклад Свердловской области в загрязнение ИБМ хромом составляет всего 2,4% общего количества, Республики Татарстан – 3,9%, а вклад Новгородской области, где выбросы элемента на порядки ниже, составляет 47,9%.

Сезонные вариации Pb, Cd, As и Zn аналогичны данным, представленным на рис. 4: максимальные концентрации металлов в воздухе отмечены в январе. Значительных отличий в распределении элементов территориально не обнаружено, в то время как вклады различных регионов в загрязнение воздуха вблизи трех болот неодинаковы (рис. 7).

Основными источниками антропогенного свинца для трех болот являются г. Мончегорск и Свердловская область, причем наибольшее влияние Свердловская область оказывает на ТБ Мезенского района. Отметим вклад Владимирской области (особенно для ИБМ и БМ), а также влияние предприятий г. Петрозаводска, которое в наибольшей степени проявляется для болота Онежского района (возможно, ввиду наиболее близкого расположения). Более 80% поступления кадмия приходится на источники Свердловской и Московской областей. Как и в случае со свинцом, выбросы с территории Свердловской области оказывают наибольшее влияние на болото в Мезенском районе. Для мышьяка и цинка имеется большее число источников поступления. Свердловская, Мурманская, Московская области, Мончегорск и Республика Башкортостан – основные источники As. Перенос Zn (помимо Свердловской области) происходит с территорий Вологодской, Кировской, Ленинградской, Новгородской и Челябинской областей, а также Петрозаводска.

#### Межгодовые вариации загрязнения

В наших расчетах межгодовых вариаций загрязнений средние за год значения интенсивности выбросов оставались неизменны. Полученные за десятилетия 2001–2010 гг. и 2011–2020 гг. изменения в потоках металлов в данном случае обусловлены только изменением атмосферных процессов, влияющих на перенос примесей. В табл. 3

Экология и природопользование  
Татаринцева В.Г., Котова Е.И.

представлены концентрации в воздухе и потоки тяжелых металлов на поверхность для ИБМ, БМ и ТБ за два десятилетия (2001–2010 гг. и 2011–2020 гг.), а также для сравнения приведены данные других авторов.

Для трех исследуемых болот в последнее десятилетие (2011–2020 гг.) наблюдается увеличение поступления Pb, Cd, As и Zn, причем в некоторых случаях повышение концентрации в воздухе происходит более чем в 2 раза. Потоки металлов на поверхность также увеличиваются. Исключение составляют потоки Pb и As на территорию ИБМ, где выпадение этих элементов в последние 10 лет (с 2011 по 2020 г.) ниже.

Концентрации Ni и Cr в приземном воздухе во втором десятилетии незначительно снижаются на всей рассматриваемой территории, в то время как для Cu снижение наблюдается лишь для территории ИБМ.

Таблица 3

Концентрации в воздухе и потоки металлов на поверхность за два десятилетия  
(2001–2010 гг. и 2011–2020 гг.)  
Air concentrations and surface fluxes of metals over two decades  
(2001–2010 and 2011–2020)

Объект исследования	Средняя за год концентрация в воздухе (2001–2010 гг.), $\text{нг}/\text{м}^3$							Источник
	Pb	Cd	As	Zn	Ni	Cr	Cu	
Иласский болотный массив	0,16	0,006	0,19	0,58	1,7	2,5	10,4	Данная работа
Болото Большой Мох	0,11	0,006	0,06	0,59	2,5	1,3	5,3	
Трофимовское болото	0,10	0,004	0,11	0,26	5,9	0,17	8,0	
Земля Франца-Иосифа	0,08	0,004	0,01	0,26	0,11	0,03	0,16	[8]
Северная Земля	0,06	0,004	0,02	0,22	0,13	0,06	0,20	
Костомукшский заповедник	–	–	–	–	0,24	–	0,53	[4]
Беломорская биологическая станция	–	–	–	–	1,2	–	4,5	
Арктическая Финляндия*	4,6	–	–	–	0,97	–	14,1	[30]
Белое море**	–	0,02	–	–	0,40	–	7,6	[11]
Средняя за год концентрация в воздухе (2011–2020 гг.), $\text{нг}/\text{м}^3$								
Иласский болотный массив	0,18	0,008	0,18	0,80	1,5	1,8	8,0	Данная работа
Болото Большой Мох	0,19	0,007	0,13	0,81	1,4	1,0	6,3	
Трофимовское болото	0,20	0,02	0,28	0,99	3,8	0,29	8,5	
Беломорская биологическая станция***	–	–	–	–	4,0	–	3,0	[23]
Годовые потоки на поверхность (2001–2010), $\text{мкг}/\text{м}^2/\text{год}$								
Иласский болотный массив	10,4	0,33	10,4	32,6	221,0	341,5	949,7	Данная работа
Болото Большой Мох	9,1	0,36	5,4	35,4	250,9	79,2	628,4	
Трофимовское болото	7,0	0,32	7,8	19,0	609,7	10,3	582,5	
Земля Франца-Иосифа	6,8	0,35	0,88	21	9,9	2,4	14	[8]
Северная Земля	4,3	0,27	1,2	15	9,5	3,9	15	
Костомукшский заповедник	–	–	–	–	18	–	46	[4]
Беломорская биологическая станция	–	–	–	–	140	–	610	
Годовые потоки на поверхность (2011–2020), $\text{мкг}/\text{м}^2/\text{год}$								
Иласский болотный массив	9,8	0,42	9,6	41,3	160,8	298,0	702,5	Данная работа
Болото Большой Мох	11,5	0,42	7,6	51,7	115,3	69,6	452,9	
Трофимовское болото	17,6	1,4	24,4	94,3	392,7	18,6	758,2	

\*1964–2010 гг.; \*\*2009–2010 гг.; \*\*\*2013 г.

Экология и природопользование  
Татаринцева В.Г., Котова Е.И.

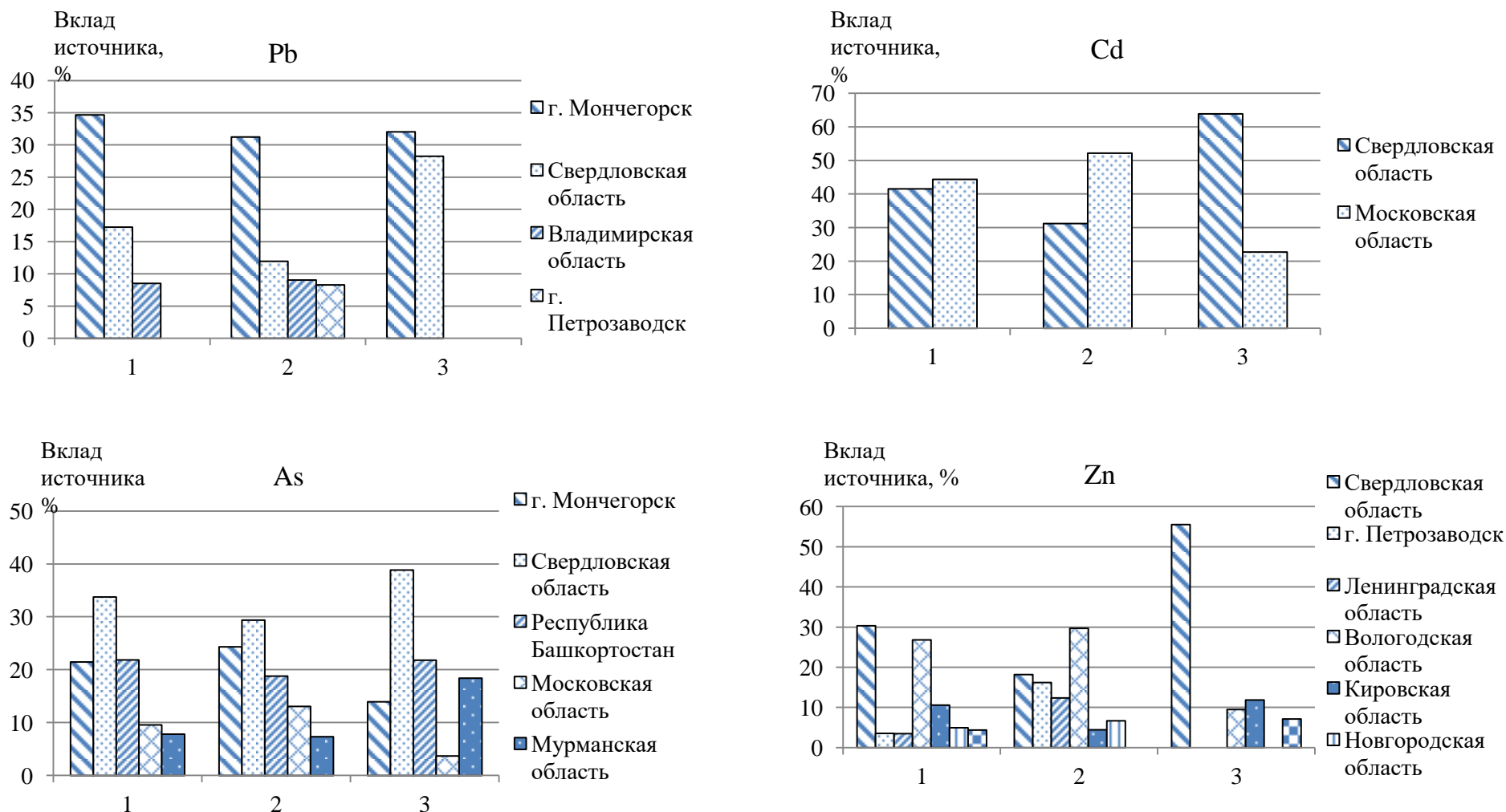


Рис. 7. Вклад основных источников в загрязнение воздуха Pb, Cd, As и Zn зимой (январь) за период с 2001 по 2020 г.:

1 – Иласский болотный массив, 2 – болото Большой Мох, 3 – Трофимовское болото

Fig. 7. The contribution of the main heavy metals sources to the winter (January) air pollution of Pb, Cd, As and Zn from 2001 to 2020:

Ilas mire (1), Bol'shoj Moh mire (2) and Trofimovskoe mire (3)

*Экология и природопользование*  
*Татаринцева В.Г., Котова Е.И.*

Сравнение полученных данных с работами других авторов показало, что зачастую сопоставить результаты модельных оценок для различных объектов достаточно сложно, особенно это касается Ni, Cr и Cu. Концентрации и потоки этих металлов для ИБМ, БМ и ТБ в разы превышают значения, полученные для Костомукшского заповедника [4], Земли Франца-Иосифа и Северной Земли [8]. В то же время сопоставимые с нашими значения концентраций и потоков получены для Беломорской биологической станции [4], а измерения, проведенные в Финляндии, превышают полученные нами значения для Cu [30]. Подобные отличия могут быть связаны как со скоростью осаждения примесей на поверхность, которая зависит от сезона года, так и с расположением рассматриваемых объектов по отношению к источникам загрязнения. На исследованных нами территориях неодинаковы длительности сезонов, в частности, зима заметно длиннее лета, а переходные сезоны могут продолжаться более 3 месяцев. Это может быть одной из причин неточности в расчетах годовых потоков тяжелых металлов.

Расположение территорий, с которыми мы сравнивали полученные данные, относительно источников загрязнения и объектов нашего исследования также имеет значение. Так, Костомукшский заповедник расположен западнее изучаемых болот и, что особенно важно, южнее основных источников ТМ – предприятий Кольского полуострова, поэтому закономерно, что при западном переносе территория заповедника загрязняется значительно меньше. Сравнение наших данных со значениями потоков ТМ для территории Беломорской биологической станции подтверждает это объяснение – расположение станции относительно источников ТМ обуславливает высокий уровень загрязнения металлами, особенно никелем и медью. Кроме того, в данной работе учтены потоки металлов от источников, расположенных только на территории России, при этом вклад европейских стран может быть значительным (рис. 2). Таким образом, данный метод дает представление об основных источниках загрязнения, позволяет выявить многолетние тенденции переноса воздушных масс и приблизительно оценить количество примесей в воздухе и на поверхности исследуемых территорий. Однако нужно понимать, что результаты расчетов зависят от качества метеорологической информации, способа расчета, а также полноты и достоверности официальных данных о выбросах примесей в атмосферу.

### **Заключение**

В статье приведены результаты применения метода статистики обратных траекторий для оценки вклада дальнего атмосферного переноса в загрязнение водно-болотных объектов Архангельской области. На основе многолетних данных о переносе воздушных масс, полученных с использованием модели HYSPLIT, построены карты-схемы потенциального влияния территорий на загрязнение атмосферы тяжелыми металлами вблизи трех болот Архангельской области. Рассчитаны средние концентрации в приземном воздухе и потоки металлов на поверхность за 20 лет (2001–2020 гг.), а также по десятилетиям (2001–2010 гг. и 2011–2020 гг.).

В целом для всех рассматриваемых металлов максимальные концентрации в воздухе и потоки на поверхность отмечены в зимний период, что объясняется метеорологическими условиями сезона. Такая тенденция свидетельствует о резком возрастании антропогенной нагрузки на болота, а также связанные с ними водные объекты в период снеготаяния.

Основным поллютантом для исследуемых болот является Cu вследствие переноса от источников территории Кольского полуострова – г. Мончегорск и других предприятий цветной металлургии Мурманской области. Влияние Мончегорска на состав атмосферного аэрозоля уменьшается при продвижении на восток, и для Трофимовского болота оно минимально. Максимальный поток Ni отмечен на Трофимовском болоте, причем для этого металла преобладающим является единственный регион-источник – Мурманская область, а

Экология и природопользование

Татаринцева В.Г., Котова Е.И.

вклад других регионов незначителен. В отличие от Ni и Cu поступление в атмосферу Cr обусловлено влиянием большего количества источников. Средний поток Cr на поверхность Иласского болотного массива за 20 лет в разы превышает потоки на другие два болота. Значимым источником хрома являются предприятия Новгородской области (для болота Большой Мох существенен также вклад Петрозаводска), однако суммарные потоки от других регионов в целом также оказывают значительное влияние.

Концентрации в воздухе и потоки на поверхность Cu, Cd, As и Zn значительно ниже, чем Ni и Cu. Атмосферный перенос свинца происходит в основном с территорий Свердловской и Мурманской областей (г. Мончегорск), а Cd – Свердловской и Московской областей. Влияние Свердловской области наиболее велико для Трофимовского болота. Важными источниками As, помимо Мончегорска и Свердловской области, являются Республика Башкортостан, Московская и Мурманская области. Поступление Zn обусловлено выбросами Свердловской и Вологодской областей, а также ряда южных регионов страны.

Сравнение полученных нами результатов за два десятилетия с работами других авторов показало, что для различных объектов сопоставление данных весьма затруднительно. Это может быть связано с отличием исходных данных, принятых для расчета. Так или иначе, подобные модельные оценки характеризуют статистически значимые тенденции перемещения воздушных потоков, которые зарегистрированы множеством метеорологических станций. Кроме того, они могут оказаться полезными не только для выявления существующих источников загрязнения, но и при проектировании новых промышленных объектов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90037 «Влияние геоэкологических факторов на свойства торфяных отложений Архангельской области (в пределах Арктической зоны)».*

*The reported study was funded by RFBR, research project No. 20-35-90037 'Influence of geoenvironmental factors on the properties of peat deposits in the Arkhangelsk region (within the Arctic zone)'.*

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность д.г.н. А.А. Виноградовой за ценные советы и помощь в интерпретации полученных результатов.

**Acknowledgments.** The authors thank Doctor of Geographic Sciences A.A. Vinogradova for valuable advice and assistance in interpreting the results.

#### Библиографический список

1. Боч М.С., Мазинг В.В. Экосистемы болот СССР. СПб.: Наука, 1979. 188 с.
2. Виноградова А.А., Пономарева Т.Я. Источники и стоки антропогенных микроэлементов в атмосфере Арктики: тенденции изменения с 1981 по 2005 г. // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 6. С. 471–480.
3. Виноградова А.А. Дистанционная оценка влияния загрязнения атмосферы на удаленные территории // Геофизические процессы и биосфера. 2014. Т. 13. № 4. С. 5–20.
4. Виноградова А.А., Иванова Ю.А. Загрязнение воздушной среды в Центральной Карелии при дальнем переносе антропогенных примесей в атмосфере // Известия РАН. Серия географическая. 2013. № 5. С. 98–108.
5. Виноградова А.А., Иванова Ю.А. Тяжелые металлы в атмосфере над северным побережьем Евразии: межгодовые вариации зимой и летом // Геофизические процессы и биосфера. 2016. Т. 15. № 4. С. 5–17. doi: 10.21455/GPB2016.4-1.
6. Виноградова А.А., Котова Е.И. Вклады источников Европы в загрязнение свинцом и кадмием северных районов Европейской России // Живые и биокосные системы. 2018. № 23. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-23/article-2> (дата обращения: 15.02.2021).
7. Виноградова А.А., Максименков Л.О., Погарский Ф.А. Атмосферный перенос антропогенных тяжелых металлов с территории Кольского полуострова на поверхность Белого и Баренцева морей // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2008. Т. 44. № 6. С. 812–821.
8. Виноградова А.А., Пономарева Т.Я. Атмосферный перенос антропогенных примесей в Арктические районы России (1986–2010 гг.) // Оптика атмосферы и океана. 2012. № 6. С. 475–483.



Экология и природопользование  
Татаринцева В.Г., Котова Е.И.

9. Волкова Е.М., Горелова С.В., Музафаров Е.Н. Биомониторинг антропогенного загрязнения Тульской области на основе анализа накопления тяжелых металлов в торфяных залежах болот // Известия Тульского государственного университета. 2012. Вып. 2. С. 253–263.
10. Вомперский С.Э., Сирин А.А., Сальников А.А., Цыганова О.П., Валяева Н.А. Оценка площади болотных и заболоченных лесов России // Лесоведение. 2011. № 5. С. 3–11.
11. Голубева Н.И., Бурцева Л.В., Матишов Г.Г., Ильин Г.В. Результаты измерений тяжелых металлов в атмосферных аэрозолях в открытых районах арктических морей в 2009–2010 гг. // Доклады Академии Наук. 2013. Т. 453. № 1. С. 72–75. doi: 10.7868/S0869565213230175.
12. Дубинкина Е.С. Моделирование аэрозольных полей на основе совместного анализа данных солнечной фотометрии и информации о динамике атмосферы: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Екатеринбург, 2015. 131 с.
13. Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов и регионов Российской Федерации за 2010 год / ред. А.Ю. Недре. СПб.: НИИ Атмосфера, 2011. 560 с.
14. Королева Ю.В. Биоиндикация атмосферных выпадений тяжелых металлов на территории Калининградской области // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. 2010. Вып. 7. С. 39–44.
15. Костарева Т.В. Учет влияния метеорологических факторов при разработке схем прогноза загрязнения воздуха в городах Пермского края // Географический вестник. 2017. № 2(41). С. 91–99. doi: 10.17072/2079-7877-2017-2-91-99.
16. Кузнецова И.А., Ларионов Н.С. Химический состав и сорбционные свойства торфа – основа ресурсного потенциала типичных верховых болот Северо-Запада России // Успехи современного естествознания. 2018. № 7. С. 165–170. doi: 10.17513/use.36820.
17. Ларионов Н.С., Боголицын К.Г., Богданов М.В., Кузнецова И.А. Характеристика сорбционных свойств верхового торфа по отношению к d- и p-металлам // Химия растительного сырья. 2008. № 4. С. 147–152.
18. Овсянян А.Э., Масык А.Н. Распределение и содержание ртути в почвах Иласского болотного массива Архангельской области // Болота и биосфера. Томск: ТПУ, 2010. С. 218–222.
19. Орлов А.С., Пономарева Т.И., Селянина С.Б., Труфанова М.В., Парфенова Л.Н. Структура и сорбционные свойства верхового торфа приарктических территорий // Успехи современного естествознания. 2017. № 1. С. 18–22.
20. Пожитков Р.Ю., Московченко Д.В., Тигеев А.А. Элементный состав торфяных отложений верхового типа Пур-Тазовского междуречья // Географический вестник. 2020. № 1. С. 154–165. doi: 10.17072/2079-7877-2020-1-154-165.
21. Потанова Т.М., Новиков С.М. Оценка антропогенных изменений химического состава болотных вод и стока растворенных веществ с территории естественных и мелиорированных верховых болот // Вестник СПбГУ. 2006. Вып. 2. С. 85–95.
22. Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. URL: <http://www.sevmeteo.ru/files/arh-nao.pdf> (дата обращения: 18.03.2021).
23. Стародымова Д.П., Виноградова А.А., Шевченко В.П., Захарова Е.В., Сивонен В.В., Сивонен В.П. Влияние антропогенных источников на формирование микроэлементного состава приземного аэрозоля побережья Белого моря // Успехи современного естествознания. 2016. № 11. С. 407–410.
24. Тарханов С.Н., Прожерина Н.А., Коновалов В.Н. Лесные экосистемы бассейна Северной Двины в условиях атмосферного загрязнения: диагностика состояния. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 333 с.
25. Шевченко В.П., Кузнецов О.Л., Политова Н.В., Зарецкая Н.Е., Кутенков С.А., Лисицын А.П., Покровский О.С. Поступление микроэлементов из атмосферы, зарегистрированное в природном архиве (на примере Иласского верхового болота, водосбор Белого моря) // Доклады Академии наук. 2015. Т. 465. № 5. С. 587–592.
26. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Алиев Р.А., Виноградова А.А., Замбер Н.С., Кузнецов О.Л., Новигатский А.Н., Политова Н.В., Филиппов А.С. Атмосферный перенос вещества (включая экотоксиканты) в Белое море и на его водосбор // Биологические ресурсы белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 633–637.
27. Шевченко В.П., Филиппов Д.А., Гордеев В.В., Демина Л.Л. Содержание тяжелых металлов в сфагновых мхах Вологодской области // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4. С. 51–58.
28. Air Resources Laboratory. URL: [https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT\\_traj.php](https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php) (дата обращения: 15.02.2021).
29. Hansson S., Bindler R., De Vleeschouwer F. Using Peat Records as Natural Archives of Past Atmospheric Metal Deposition // Environmental Contaminants. Developments in Paleoenvironmental Research. 2015. Vol 18. Springer, Dordrecht. doi:10.1007/978-94-017-9541-8\_12.
30. Laing J.R., Hopke P.K., Hopke E.F., Husain L., Dutkiewicz V.A., Paatero J., Viisanen Y. Long-term particle measurements in Finnish Arctic: Part I – Chemical composition and trace metal solubility // Atmospheric Environment. 2014. V. 88. P. 275–284. doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.03.002.

31. Schröder W., Pesch R., Hertel A., Schonrock S., Harmens H., Mills G., Ilyin I. Correlation between atmospheric deposition of Cd, Hg and Pb and their concentrations in mosses specified for ecological land classes covering Europe // *Atmospheric Pollution Research*. 2013. V. 4. P. 267–274. doi: 10.5094/APR.2013.029.

32. Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D., Stunder B.J.B., Cohen M.D., Ngan F. NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2015. Vol. 96. P. 2059–2077. doi: 10.1175/BAMS-D-14-00110.1.

### References

1. Boch, M.S., Mazing, V.V. (1979), *Ekosistemy bolot SSSR* [Swamps ecosystems of the USSR], Nauka, St. Petersburg, Russia.

2. Vinogradova, A.A., Ponomareva, T.YA. (2007), “Sources and runoff of anthropogenic trace elements in the Arctic atmosphere: trends from 1981 to 2005”, *Optika atmosfery i okeana*, vol. 20, no. 6, pp. 471–480.

3. Vinogradova, A.A. (2014), “Remote assessment of the effects of atmospheric pollution on remote areas”, *Geofizicheskie processy i biosfera*, vol. 13, no. 4, pp. 5–20.

4. Vinogradova, A.A., Ivanova, Yu.A. (2013), “Air pollution in Central Karelia during the long-range transport of anthropogenic impurities in the atmosphere”, *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, no. 5, pp. 98–108.

5. Vinogradova, A.A., Ivanova, YU.A. (2016), “Heavy metals in the atmosphere over the northern coast of Eurasia: annual variations in winter and summer”, *Geofizicheskie processy i biosfera*, vol. 15, no. 4, pp. 5–17. doi: 10.21455/GPB2016.4-1.

6. Vinogradova, A.A., Kotova, E.I. (2018), “Contributions of European sources to lead and cadmium pollution in the northern regions of European Russia”, *ZHivye i biokosnye sistemy* [Electronic], no. 23, available at: <http://www.jbks.ru/archive/issue-23/article-2>.

7. Vinogradova, A.A., Maksimenkov, L.O., Pogarskiy F.A. (2008), “Atmospheric transfer of anthropogenic heavy metals from the territory of the Kola Peninsula to the surface of the White and Barents Seas”, *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*, vol. 44, no. 6, pp. 812–821.

8. Vinogradova, A.A., Ponomareva, T.Ya. (2012), “Atmospheric transfer of anthropogenic impurities to the Arctic regions of Russia (1986 - 2010)”, *Optika atmosfery i okeana*, no. 6, pp. 475–483.

9. Volkova, E.M., Gorelova, S.V., Muzafarov, E.N. (2012), “Biomonitoring of anthropogenic pollution of the Tula region based on the analysis of the accumulation of heavy metals in peat deposits of swamps”, *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta*, vol. 2, pp. 253–263.

10. Vomperskiy, S.E., Sirin, A.A., Sal'nikov, A.A., Cyganova, O.P., Valyaeva, N.A. (2011), “Estimate of the area of swamp and swamp forests of Russia”, *Lesovedenie*, no. 5, pp. 3–11.

11. Golubeva, N.I., Burceva, L.V., Matishov, G.G., Il'in, G.V. (2013), “Results of measurements of heavy metals in atmospheric aerosols in open areas of the Arctic seas in 2009–2010”, *Doklady Akademii Nauk*, vol. 453, no. 1, pp. 72–75. doi: 10.7868/S0869565213230175.

12. Dubinkina, E.S. (2015), “Modelling of aerosol fields based on joint analysis of solar photometry data and information on atmospheric dynamics”, Abstract of Ph.D. dissertation, Physico-Mathematical Sciences, Ekaterinburg, Russia.

13. Nedre, A.Yu. (ed.) (2011), *Ezhegodnik vybrosov zagryaznyayushchih veshchestv v atmosferyj vozduh gorodov i regionov Rossijskoj Federacii za 2010 god* [Yearbook of emissions of pollutants into the air of cities and regions of the Russian Federation for 2010], SRI Atmosphere, St. Petersburg, Russia.

14. Koroleva, Yu.V. (2010), “Bioindication of atmospheric precipitation of heavy metals in the Kaliningrad region”, *Vestnik Rossijskogo gosudarstvennogo universiteta im. I. Kanta*, vol. 7, pp. 39–44.

15. Kostareva, T.V. (2017), “Taking into account the influence of meteorological factors in the development of air pollution forecast schemes in the cities of the Perm Territory”, *Geograficheskij vestnik*, no. 2 (41), pp. 91–99. doi: 10.17072/2079-7877-2017-2-91-99.

16. Kuznecova, I.A., Larionov, N.S. (2018), “The chemical composition and sorption properties of peat are the basis of the resource potential of North-West Russia bogs”, *Advances in current natural sciences*, no. 7, pp. 165–170.

17. Larionov, N.S., Bogolicyn, K.G., Bogdanov, M.V., Kuznecova, I.A. (2008), “Characteristics of the sorption properties of bog peat to d- and p-metals”, *Himiya rastitel'nogo syr'ya*, no. 4, pp. 147–152.

18. Ovsepyan, A.E., Masyk, A.N. (2010), “Distribution and content of mercury in soils of Ilas mire of Arkhangelsk region”, *Proc. of the scientific conference “Wetlands and biosphere”*, Tomsk Teachers University, Tomsk, pp. 218–222.

19. Orlov, A.S., Ponomareva, T.I., Selyanina, S.B., Trufanova, M.V., Parfenova, L.N. (2017), “Structure and sorption properties of the bog peat of the Arctic territories”, *Advances in current natural sciences*, no. 1, pp. 18–22.

20. Pozhitkov, R.Yu., Moskovchenko, D.V., Tigeev, A.A. (2020), “Elemental composition of bog peat of the Pur-Tazovsky interfluvium”, *Geograficheskij vestnik*, no. 1, pp. 154–165.

## Экология и природопользование

Татаринцева В.Г., Котова Е.И.

21. Potapova, T.M., Novikov, S.M. (2006), "Assessment of anthropogenic changes in the chemical composition of bog water and the runoff of dissolved substances from the territory of natural and meliorated bogs", *Vestnik SPbGU*, vol. 2, pp. 85–95.
22. Northern Authority for Hydrometeorology and Environmental Monitoring [Online], available at: <http://www.sevmeteo.ru/files/arh-nao.pdf> (Accessed 18 March 2021).
23. Starodymova, D.P., Vinogradova, A.A., Shevchenko, V.P., Zaharova, E.V., Sivonen, V.V., Sivonen, V.P. (2016), "Influence of anthropogenic sources on formation of microelement composition of surface aerosol of the White Sea coast", *Advances in current natural sciences*, no. 11, pp. 407–410.
24. Tarhanov, S.N., Prozherina, N.A., Konovalov, V.N. (2004), "Lesnye ekosistemy bassejna Severnoj Dviny v usloviyah atmosfernogo zagryazneniya: diagnostika sostoyaniya" [Forest ecosystems of the Northern Dvina basin under atmospheric pollution conditions: diagnostics], UrO RAS, Ekaterinburg, Russia.
25. Shevchenko, V.P., Kuznecov, O.L., Politova, N.V., Zareckaya, N.E., Kutenkov, S.A., Lisicyn A.P., Pokrovskij O.S. (2015), "Trace elements input from the atmosphere recorded in the natural archive (case of the Ilas mire, White Sea Catchment)", *Doklady Akademii nauk*, vol. 465, no. 5, pp. 587–592.
26. Shevchenko, V.P., Lisicyn, A.P., Aliev, R.A., Vinogradova, A.A., Zamber, N.S., Kuznecov, O.L., Novigatskij, A.N., Politova, N.V., Filippov, A.S. (2009), "Atmospheric transport of substance (including ecotoxicants) to the White Sea and its catchment", *Proc. of the scientific conference "Biological resources of the White Sea and inland waters of the European North"*, KarSC RAS, Petrozavodsk, pp. 633–637.
27. Shevchenko, V.P., Filippov, D.A., Gordeev, V.V., Demina, L.L. (2011), "Heavy metals content in sphagnum of the Vologda region", *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, no. 4, pp. 51–58.
28. Air Resources Laboratory [Online], available at: [https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT\\_traj.php](https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php) (Accessed 15 February 2021).
29. Hansson, S., Bindler, R., De Vleeschouwer, F. (2015), "Using Peat Records as Natural Archives of Past Atmospheric Metal Deposition", *Environmental Contaminants. Developments in Paleoenvironmental Research*, vol. 18, pp. 323–354. doi: 10.1007/978-94-017-9541-8\_12.
30. Laing, J.R., Hopke, P.K., Hopke, E.F., Husain, L., Dutkiewicz, V.A., Paatero, J., Viisanen, Y. (2014), "Long-term particle measurements in Finnish Arctic: Part I – Chemical composition and trace metal solubility", *Atmospheric Environment*, vol. 88, pp. 275–284. doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.03.002.
31. Schröder, W., Pesch, R., Hertel, A., Schonrock, S., Harmens, H., Mills, G., Ilyin, I. (2013), "Correlation between atmospheric deposition of Cd, Hg and Pb and their concentrations in mosses specified for ecological land classes covering Europe", *Atmospheric Pollution Research*, vol. 4, pp. 267–274. doi: 10.5094/APR.2013.029.
32. Stein, A.F., Draxler, R.R., Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., Ngan, F. (2015), "NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System", *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 96, pp. 2059–2077. doi: 10.1175/BAMS-D-14-00110.1.

Поступила в редакцию: 02.04.2021

## Сведения об авторах

**Татаринцева Валерия Геннадьевна**

аспирант, младший научный сотрудник ФГБУН  
Федеральный исследовательский центр комплексного  
изучения Арктики им. академика Н.П. Лавёрова УрО  
РАН;

163000, Россия, Архангельск, ул. наб. Сев. Двины, 23

e-mail: leratatarintseva@gmail.com

**Котова Екатерина Ильинична**

кандидат географических наук, директор Северо-  
Западного отделения, ведущий научный сотрудник  
Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН;

117997, Россия, Москва, Нахимовский пр., д.36

e-mail: ecopp@yandex.ru

## About the authors

**Valeria G. Tatarintseva**

Postgraduate, researcher, N. Laverov Federal Center for  
Integrated Arctic Research UrB RAS;

23, Severnaya Dvina Emb., Arkhangelsk, Russia, 163000

**Ekaterina I. Kotova**

Candidate of Geographical Sciences, Leading Scientist,  
director of the North-Western Branch of the P.P. Shirshov  
Institute of Oceanology;

36, Nahimovskiy pr., Moscow, Russia, 117997

**Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:**

Татаринцева В.Г., Котова Е.И. Аэротехногенное загрязнение водно-болотных объектов водосбора Белого моря (на примере Архангельской области) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2021. № 2(57). С. 135–150. doi:10.17072/2079-7877-2021-2-135-150.

**Please cite this article in English as:**

Tatarintseva, V.G., Kotova, E.I. (2021) Air technogenic pollution of the White Sea catchment mires (example of the Arkhangelsk region). *Geographical bulletin*. No. 2(57). Pp. 135–150. doi:10.17072/2079-7877-2021-2-135-150.