

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ МЕДЬЮ В ФОНОВЫХ РАЙОНАХ ЕВРОПЫ

Л.В. Бурцева, Е.С. Конькова*

Институт глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля,
РФ, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б; *burtsevalara@yandex.ru

Резюме. Рассмотрено загрязнение медью атмосферного воздуха и осадков в фоновых районах Европы по данным, полученным в 2015 г. и в 2016 г. на 50-ти станциях наблюдения, работающих по программам: «Совместная программа наблюдений и оценки переноса на большие расстояния загрязняющих воздух веществ в Европе» (ЕМЕП), и «Комплексный фоновый мониторинг» (КФМ) на европейской территории России. Выделены основные источники загрязнения и приведены объемы глобальной антропогенной эмиссии меди в атмосферу.

Показано, что в большинстве фоновых районов Европы наблюдается низкое содержание меди в атмосферном воздухе и осадках, варьирующее в пределах среднемесячных значений концентраций $0.02-6.6 \text{ нг/м}^3$ в воздухе и $0.5-4.2 \text{ мкг/дм}^3$ в осадках. Устойчивой закономерности сезонных изменений концентраций меди в воздухе и осадках не выявлено. Коэффициенты обогащения медью атмосферных аэрозолей относительно Кларка этого элемента в земной коре показали крайне слабое влияние меди антропогенного происхождения на состояние загрязнения атмосферы фоновых районов. Поле пространственного распределения концентраций меди в атмосферном воздухе над Европой характеризуется тенденцией роста значений от Скандинавских стран в направлении к континентальным (центральным / центрально-европейским странам) и далее в восточном направлении. В атмосферных осадках наблюдается мозаичная картина.

Ключевые слова. Европейский регион, станции ЕМЕП, станции КФМ, программа мониторинга, тяжелые металлы, загрязнение, атмосферный воздух, осадки, медь, коэффициент обогащения, Кларк меди.

Введение

Аэрозоли тяжелых металлов природного и антропогенного происхождения, существующие в атмосфере, в виде сухих выпадений и с атмосферными осадками поступают на подстилающую поверхность и участвуют в биологических процессах в цепочке «почва – вода – растение – животное – человек». При избытке или недостатке микроэлементов нарушается обмен веществ, что приводит к негативным последствиям для живых организмов. Наибольшее

влияние на биологические процессы оказывают высокотоксичные тяжелые металлы. Ряд из них введен в перечень загрязняющих природную среду веществ, подлежащих систематическому контролю их содержания (мониторингу) как в городской атмосфере, так и в атмосфере фоновых районов (природные территории, не подвергающиеся непосредственному воздействию антропогенных источников эмиссии токсичных веществ).

Наблюдение за состоянием и уровнем загрязнения тяжелыми металлами атмосферы в фоновых районах России осуществляет блок государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды Росгидромета – система комплексного фонового мониторинга (КФМ) (Ровинский, Буянова, 1982). В ряде европейских стран аналогичной системой является «Совместная программа наблюдений и оценки переноса на большие расстояния загрязняющих воздух веществ в Европе» – ЕМЕП (Torseth et al., 2012). В программах фонового мониторинга КФМ и ЕМЕП ртуть, свинец и кадмий, как наиболее токсичные (1-ый класс опасности по ГОСТ 12.1.005-88), входят в список приоритетных загрязнителей, подлежащих контролю.

На основе анализа результатов многолетних наблюдений по программам КФМ и ЕМЕП определен фоновый уровень концентраций свинца и кадмия в атмосферном воздухе и осадках, выявлены их пространственное распределение и динамика изменений в годовом и многолетнем циклах в Восточно-Европейском регионе (Бурцева, Конькова, 2016).

В программах фоновых наблюдений предусмотрено расширение перечня токсичных металлов, подлежащих мониторингу в атмосфере. И первой в этой группе стоит медь.

Медь – элемент, по степени токсичности отнесенный ко 2-му классу опасности (ГН 2.2.5.1313-03), имеет важное значение для жизнедеятельности растений и животных. Медь и ее соединения негативно влияют на прорастание семян, на содержание хлорофилла в листьях, вызывают разрушение фотосинтетического аппарата, повреждают биологические мембраны, нарушают физиологические процессы (фотосинтез, дыхание, рост). Избыточное количество меди оказывает угнетающе действие на микроорганизмы, понижает ферментативную активность почв, приводит к снижению урожайности растений.

Изменение содержания микроэлемента в почве немедленно сказывается на здоровье травоядных животных и человека, приводит к нарушению обмена веществ. Чрезмерное поглощение меди человеком приводит к отложению избытка элемента в мозговой ткани, коже, печени, поджелудочной железе и миокарде.

Несмотря на высокую токсичность меди, до последних лет исследований состояния загрязнения атмосферы этим элементом было крайне мало, что делает актуальным настоящую работу.

Источники антропогенной эмиссии меди

Медь поступает в атмосферу от природных и антропогенных источников в составе субмикронных аэрозольных частиц. Модальный диаметр аэрозолей, с

которыми связана медь, составляет 0.45-0.5 мкм (Ровинский и др., 1987). Аэрозоли меди переносятся воздушными массами на большие расстояния, достигая фоновых районов.

Оценки объёма годового антропогенного глобального потока меди в атмосферу не однозначны. Так на 1983 г. годовой поток оценивался в 20-51 тыс. тонн с медианой в 35 тыс. тонн (Environmental Data Report, 1992), а обобщенные в 1989 г. аналогичные оценки (Петрухин и др., 1989) составляют от 56 до 263 тыс. тонн. Позднее было показано, что потоки меди недооценены (Boyd et al., 2009). Изменение оценок величин потоков как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения обусловлено применением более точных методов расчета, технологическими изменениями в переработке руды, ростом производства меди в соответствии с прогнозируемым увеличением потребления на 3.3% по данным на 2019 г. в 28 государствах Европейского союза (Сетевое издание «Информационное агентство «Финмаркет». Мировой рынок меди)

Отношение объёма антропогенной эмиссии меди к объёму природной в глобальном масштабе, рассчитанное на 1983 г. (Nriagu et al., 1988; Nriagu, 1989), составило значение 1.25, по более поздним расчетам – 0.9 (Thorne et al., 2017). То есть, антропогенные потоки меди в атмосферу близки природным потокам или превышают их. Вклад антропогенной составляющей в загрязнение атмосферы фоновых районов ЕТР медью оценивался в 96% (Бурцева и др., 1990).

Источники антропогенной эмиссии меди в атмосферу многочисленны. В таблице 1 указаны основные источники, доля эмиссии которых рассчитана на основе объемов, представленных в работе (Nriagu et al., 1988). Среди них по объёму выбросов лидируют предприятия по производству меди и никеля. По годовым объёмам выплавки меди, страны европейской части Евразии выстраиваются в убывающий ряд: Россия, Бельгия, Германия, Польша, Франция, Великобритания, Швеция, Финляндия, Испания и другие страны (Информационный портал Евро-русс-бизнес «Металлургия. Великобритания»; Информационный портал «Мировая экономика». Объём выплавки меди по регионам 2015; British Geological Survey, 2019). В Европе выплавляется 22% меди, в России до 4% ее мирового объёма (Уваров, Древалев, 2014; Уваров, 2009).

Таблица 1. Основные источники эмиссии меди в атмосферу и их доля в глобальном годовом объёме

Источники эмиссии меди	Доля эмиссии, %
Сжигание угля	16.7
Сжигание нефтепродуктов	6.9
Производство меди и никеля	64.0
Производство стали	5.8
Бытовые отходы	4.1
Лесные пожары	2.5

Производства по выплавке меди, а следовательно, основные источники её эмиссии в атмосферу, на территориях стран локализованы. Типичным приме-

ром локализации служит размещение предприятий на европейской территории России (ЕТР). Мощные производства меди и никеля располагаются на Кольском п-ове с годовой эмиссией меди 1097 тонн (Boyd at al., 2009) и в Свердловской области. Менее мощное производство находится на Северном Кавказе.

Выявленная существенная антропогенная эмиссия меди, являющейся высокотоксичным элементом, вводят ее в группу загрязняющих природную среду веществ, подлежащих мониторингу в атмосферном воздухе и осадках не только вблизи промышленных конгломераций, но и в фоновых районах, удаленных от них.

Информационная и методическая база

Загрязнение медью атмосферного воздуха и осадков в фоновых районах Европы оценивалось на основе данных, полученных в 2015 и 2016 гг. на сети станций ЕМЕП (ЕМЕР/ССС-Report 3/2017, ЕМЕР/ССС-Report 3/2018), и результатов наблюдений, проведенных в 2016 г. на сети станций КФМ. Для сравнения использовались данные ЕМЕП за 2015 год, поскольку он наиболее информативный по сравнению с 2016 г.

Принципы размещения станций наблюдения ЕМЕП и КФМ близки между собой:

- район расположения станций наблюдения удален от источников антропогенной эмиссии загрязняющих веществ;
- состояние загрязнения природной среды района формируется под влиянием дальнего переноса загрязняющих веществ.

В программы наблюдений первого уровня ЕМЕП и КФМ входит измерение в атмосферных аэрозолях и осадках концентраций таких тяжелых металлов, как свинец и кадмий. Для отбора проб атмосферных аэрозолей, как правило, используются высоко объёмные фильтрующие установки, обеспечивающие осаждение атмосферных аэрозолей на фильтр. Фильтры, используемые в ЕМЕП и КФМ, могут различаться по составу материала фильтра, например, стекловолокно (ЕМЕП) и ацетилцеллюлоза (КФМ), но это допустимо так как по эффективности осаждения атмосферного аэрозоля эти материалы близки между собой (Огородников, 1976).

Продолжительность отбора одной пробы воздуха, в зависимости от программ станций ЕМЕП, варьировала от суток до нескольких часов в сутки. На станциях КФМ отбиралось 10 суточных проб в месяц. На станциях ЕМЕП отбирались недельные пробы осадков, на станциях КФМ – месячные пробы.

Аналитическая аппаратура (ICP-MS и GF-AAS) и применяемые методические приёмы, используемые в системах ЕМЕП и КФМ, позволяют измерять в пробах воздуха и осадков помимо свинца и кадмия ряд других металлов и, в частности, медь.

Измерение концентраций меди в атмосферном воздухе выполнили станции ЕМЕП в 13-ти, в атмосферных осадках – в 17-ти европейских странах. На ЕТР аналогичные измерения выполнили в воздухе и осадках 4 станции КФМ

(годовой цикл измерений) и дополнены эпизодическими измерениями в атмосферном воздухе в двух биосферных заповедниках.

В рамках обеих программ результаты представлялись в виде средних арифметических значений за месячный период в воздухе и средних взвешенных за месячный период в атмосферных осадках.

Таким образом, данные, полученные сетями ЕМЕП и КФМ, представляют репрезентативный массив, что позволяет оценить состояние загрязнения атмосферного воздуха и осадков медью в масштабах Европы.

Анализ объема информации, полученной сетью ЕМЕП, показал, что годовой массив данных за 2015 г. более полный относительно 2016 г. В 2016 г. в ряде европейских стран наблюдения за загрязнением медью атмосферного воздуха не проводились (Франция, Чехия, Кипр, всего 8 станций) или проводились по сокращенному числу станций (Англия, Швеция). Сокращено число станций наблюдения за загрязнением медью атмосферных осадков в Швеции и Финляндии. То есть в 2016 г. в Европе сократилось число фоновых районов, где проводился фоновый мониторинг меди в атмосферном воздухе и осадках. Поэтому детальный анализ состояния загрязнения атмосферы медью в фоновых районах европейской части Евразии выполнен по результатам наблюдений станций ЕМЕП за 2015 г.

Результаты анализа данных о загрязнении атмосферного воздуха и осадков медью и их обсуждение

Число стран и станций наблюдения (табл. 2 и 5) свидетельствует о широком охвате фоновых районов Европы, где проведен мониторинг загрязнения атмосферы медью. В течение годового периода измерены концентрации меди в атмосферных осадках в 50-ти фоновых районах, в том числе в странах, имеющих крупные медеплавильные производства (основные источники эмиссии меди в атмосферу). В 39-ти фоновых районах одновременно с осадками измерялась концентрация меди в приземном воздухе, при этом на территории одной страны наблюдения могли проводиться как в одном фоновом районе, так и в нескольких (до 6).

Полученный массив данных позволяет проанализировать состояние фонового загрязнения атмосферы медью как в масштабах отдельных стран, так и в масштабе большей части территории Европы.

Исходные данные были рассмотрены во взаимосвязи с территориальной принадлежностью фонового района к регионам Европы и учетом числа станций наблюдения на территории одной страны (табл. 2 и 5). В качестве первичных показателей состояния загрязнения медью атмосферы были взяты диапазоны среднемесячных концентраций элемента в атмосферном воздухе или осадках, которые показывают границы колебания концентраций в годовом периоде в одном фоновом районе страны, как, например, в Бельгии, или в пяти фоновых районах, как, например, в Германии. Относительное среднеквадратическое отклонение (ОСКО) показывает разброс среднемесячных концентраций на территории каждой страны во времени при 1 станции

наблюдения, или одновременно во времени и в пространстве при нескольких станциях наблюдения.

Атмосферный воздух

Анализ массива исходных данных и данных, представленных в табл. 2 показывает, что в большинстве фоновых районов в течение годового периода среднемесячные концентрации меди в атмосферном воздухе в регионах Европы варьируют в диапазоне 0.02-6.6 нг/м³. Значения выше верхней границы диапазона наблюдаются не чаще одного раза в годовом цикле в отдельных районах. В Финляндии (9 нг/м³), в Испании (23 нг/м³) и в областях ЕТР: в Астраханской (12.6 нг/м³), Московской (80 нг/м³), Воронежской (154 нг/м³) и на Северном Кавказе (17 нг/м³).

Таблица 2. Диапазон среднемесячных концентраций меди в атмосферном воздухе Европы и показатели ОСКО

Регионы Европы	Страна, область ЕТР	Число станций наблюдения	Диапазон концентраций, нг/м ³	ОСКО, %	
Северная Европа	Исландия	1	0.26-0.95	49	
	Норвегия	3	0.04-0.69	62	
	Швеция	4	0.02-1.8	84	
	Финляндия	3	0.1-1.2	60	
Западная Европа	Англия	4	0.4-3.8	53	
	Франция	5	0.32-3.1	33	
	Германия	5	0.3-3.4	16	
	Бельгия	1	1.7-4.4	27	
Центральная Европа	Чехия	3	0.65-2.9	22	
	Польша	1	0.43-2.6	61	
	Словения	1	1.1-2.8	25	
Южная Европа	Испания	1	1.4-6.2	33	
	Кипр	1	0.55-3.0	40	
Европейская территория России	Астраханская о. ¹⁾	1	1.9-12.6	86	
	Московская о.	1	7.3-80.0	65	
	Воронежская о.	1	2.4-154	100	
	Сев. Кавказ	1	2.9-17.0	68	
	Эпизодические измерения				
	Смоленская о.	1	2.4-5.2	29	
	Волжско-Камский бассейн	1	4.6-6.6	27	

¹⁾ Области на европейской территории России.

Несмотря на отдельные эпизоды повышенных концентраций на фоне общего уровня, фоновое содержание меди в атмосфере на территории Европы крайне низкое по сравнению с предельно допустимой концентрацией в жилых

районах, принятой в России и составляющей в зависимости от вида соединения меди 3000-9000 нг/м³ (Беспамятнов, Кротов, 1985).

Устойчивость (ОСКО) величины концентрации во времени и в пространстве на уровне 49-84% характерна для фоновых районов Северной Европы, и во времени на уровне 65-100% – в фоновых районах ЕТР. В фоновых районах Северной Европы концентрации меди в воздухе крайне низки. При измерении концентраций такого уровня возникают значительные аналитические погрешности, которые могут влиять на разброс значений. На ЕТР максимум ОСКО наблюдается в Воронежской области, где максимально высокие значения фоновых концентраций, что, может быть обусловлено геохимической особенностью территории области.

Устойчив во времени и пространстве (ОСКО 16-40%) уровень концентраций на обширной территории Европы, включающей Францию, Германию, Бельгию, Чехию, Словению, Испанию и о. Кипр.

Характерное для свинца и кадмия повышение концентраций в воздухе в холодное полугодие по сравнению с теплым (Бурцева, Конькова, 2016) для меди на рассматриваемой территории не наблюдается (рис. 1). Концентрации в холодный и теплый сезоны в большинстве фоновых районов соизмеримы. Более чем в 2 раза концентрации выше в холодный сезон в фоновых районах Астраханской области и Польши, в теплый сезон – в Испании, на Северном Кавказе и Воронежской области.

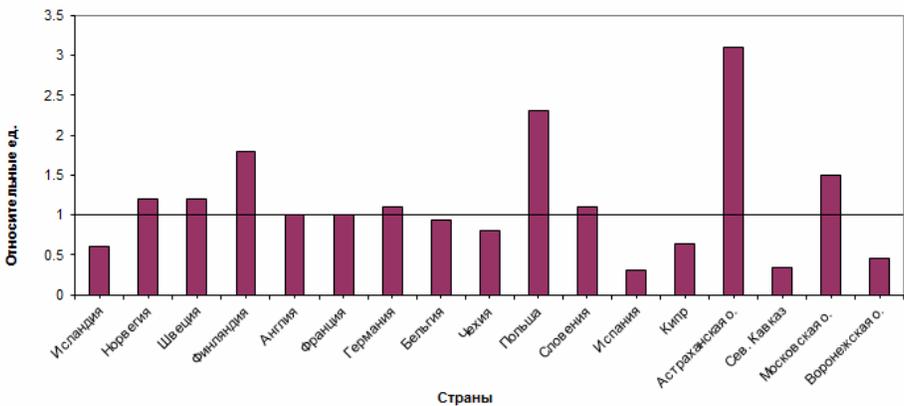


Рисунок 1. Отношение средних концентраций меди в воздухе за холодный сезон к средним концентрациям за теплый сезон года

Для оценки степени влияния меди антропогенного происхождения на формирование состава атмосферных аэрозолей в фоновых районах на рассматриваемой территории рассчитаны коэффициенты обогащения (КО) аэрозолей медью относительно среднего состава земной коры.

Коэффициент обогащения рассчитан по соотношению:

$$KO = (C_{Cu}/C_{Fe})_{\text{проба}} / (C_{Cu}/C_{Fe})_{\text{земная кора}}, \quad (1)$$

где C – содержание меди и железа в пробе и в земной коре (Виноградов, 1962).

Расчеты выполнены для тех фоновых районов, где одновременно с медью измерялись концентрации железа (реперный элемент).

Для ЕТР также рассчитана степень обогащения медью атмосферной пыли относительно содержания меди в земной коре (СО) (Виноградов, 1962) по соотношению:

$$CO = M_{\text{проба}} / M_{\text{земная кора}}, \quad (2)$$

где M – доля меди в атмосферной пыли или в земной коре, %.

Результаты расчетов и литературные данные, представленные в таблицах 3 и 4, показывают, что значения КО и СО в фоновых районах Европы ниже 100. Принято идентифицировать коровое происхождение аэрозолей при $КО \leq 10$ (Шевченко, 2006). Этому критерию соответствуют аэрозоли в фоновых районах Исландии, Кипра, Астраханской и Смоленской областей, Волжско-Камского бассейна.

Таблица 3. Коэффициенты обогащения атмосферных аэрозолей медью относительно среднего состава земной коры (КО)

Регион	Страна	Число станций наблюдения	Коэффициент обогащения		
			Средний	Максим.	Миним.
Северная Европа	Исландия	1	1.4	2.9	1.0
	Финляндия	3	20	84	4.0
Западная Европа	Англия	2	23	42	8.0
	Германия	5	22	74	5.0
Южная Европа	Кипр	1	3.6	9.2	1.0
Российский сектор Арктики	Белое море, (Голубева и др., 2002)		154	212	99
	Карское море, (Голубева и др., 2018)		858	2562	79
	Море Лаптевых, (Шевченко, 2006)			150	10

Таблица 4. Показатели обогащения медью атмосферной пыли на ЕТР относительно Клarka меди в земной коре

Территория ЕТР	Показатель (СО)		
	Средний	Максим.	Миним.
Астраханская о.	3.6	15.7	0.9
Московская о.	17.0	90.0	3.9
Воронежская о.	38.0	159	4.4
Северный Кавказ	13.0	31.4	2.2
Смоленская о.	4.9	8.1	2.4
Волжско-Камский бассейн	2.8	5.0	1.3

Наибольшее обогащение пыли медью в приземном воздухе фонового района (СО=159) отмечается в Воронежской области. Здесь в отличие от других районов расположения станций наблюдения на территории ЕТР существуют геохимические провинции залегания и рудопроявления медно-никелевых руд (Геологическая библиотека, см. URL:<http://www.geokniga.org>), что, по-видимому, способствует природному повышению содержанию меди в атмосферных аэрозолях.

Максимальное значение СО в Воронежской области близко к значениям КО, характерным для атмосферных аэрозолей в акватории моря Лаптевых, но значительно ниже значений, полученных для акваторий Белого и Карского морей, которые находятся в одном секторе Арктики с мощными медно-никелевыми производствами, расположенными на Кольском п-ове и в г. Норильске (табл. 3).

Таким образом, атмосферные аэрозоли в фоновых районах Европы можно интерпретировать как слабо обогащенные медью. Эпизодические ситуации роста содержания меди в атмосферном воздухе в некоторых фоновых районах и неопределенность сезонных изменений могут возникать под влиянием региональных природных процессов.

Картина пространственного распределения концентраций на рассматриваемой территории представлена на рис. 2. В целом, при крайне низких концентрациях, явно заметна тенденция роста концентраций в направлении от Скандинавских стран в сторону континентальных районов и в континентальных фоновых районах в восточном направлении.

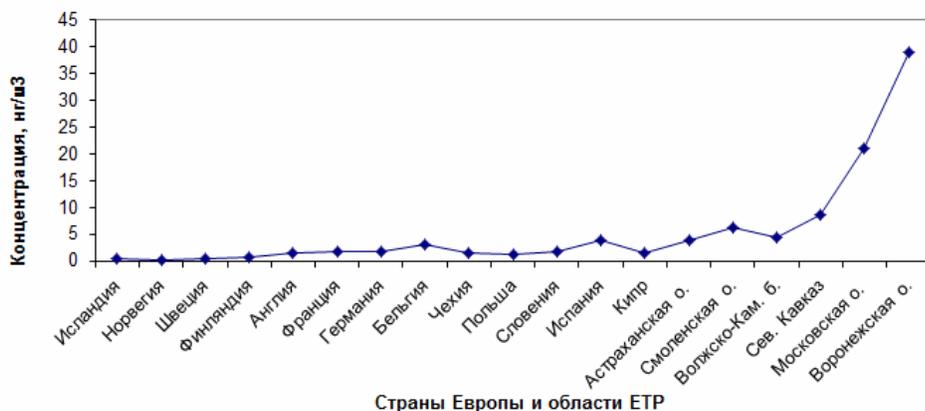


Рисунок 2. Среднегодовые фоновые концентрации меди в атмосферном воздухе европейских стран

(данные регионов Северная, Западная и Центральная Европа за 2015 г., ЕТР – данные за 2016 г.)

Практически однородны фоновые концентрации меди на территории стран от Англии и Франции до Смоленской области. На ЕТР четко выражена неоднородность в пространстве при неопределенности сезонных закономерностей (рис. 1) и при самых высоких (для Европы) значениях фоновых концентраций меди в атмосферном воздухе.

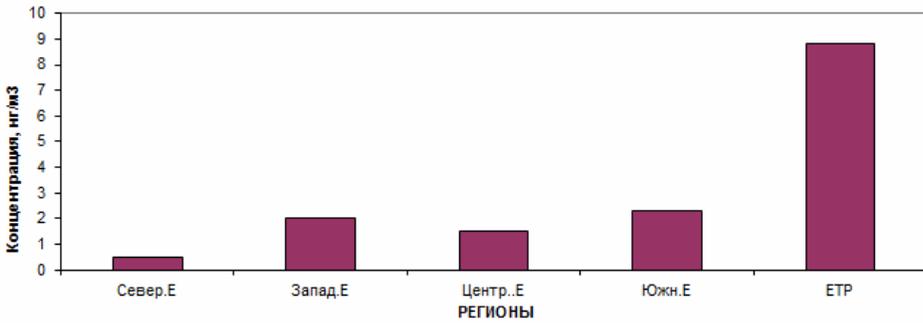


Рисунок 3. Среднегодовые фоновые концентрации меди в атмосферном воздухе регионов европейской части Евразии (данные регионов Северная, Западная и Центральная Европа за 2015 г., ЕТР – данные за 2016 г.)

Исходя из характера пространственного распределения фоновых концентраций меди в приземном слое воздуха на территориях стран, определены средние показатели состояния загрязнения атмосферы медью для регионов (рис. 3). Полученные результаты показывают, что современное среднее фоновое содержание меди в атмосферном воздухе континентальной территории Европы (исключая ЕТР) можно охарактеризовать значением 2 нг/м^3 .

Расчитанные по опубликованным к 1998 году эпизодическим данным средние оценки концентрации меди в атмосферном воздухе составляли для Зарубежной Европы 7.4 нг/м^3 и 6.4 нг/м^3 для ЕТР (Петрухин и др. 1989), а измерения, выполненные ранее в фоновых районах Белоруссии и Московской области показали концентрации соответственно 40 нг/м^3 и 56 нг/м^3 (Бурцева и др., 1990). Некоторое снижение содержания меди в воздухе, несмотря на возрастающие объёмы ее выплавки, можно отнести за счет внедрения современных очистных сооружений, сокращающих объемы эмиссии меди в атмосферу.

Атмосферные осадки

Состояние загрязнения медью атмосферных осадков на территории Европы описывают данные, представленные в табл. 5 по аналогии с табл. 2. ОСКО оценивает разброс среднемесячных взвешенных концентраций на территории каждой страны во времени при 1 станции наблюдения или одновременно во времени и в пространстве при нескольких станциях наблюдения.

Среднемесячные фоновые концентрации меди в атмосферных осадках по данным, полученным на территории Европы в 37-и фоновых районах, не превышают 4.2 мкг/дм^3 . В 17-ти фоновых районах выпадали осадки с более высоким содержанием меди, в результате среднемесячные концентрации возрастали, например, в Норвегии, до 10 мкг/дм^3 или до 70 мкг/дм^3 в Ирландии.

Концентрации меди в осадках, полученные на территории Европы, близки к значениям фиксировавшимся в 2001-2002 гг. на Кольском побережье Баренцева моря ($1.5-11.5 \text{ мкг/дм}^3$) (Голубева и др., 2006; Голубева и др., 2010). в 2006 г – на ЕТР в Московской (5.3 мкг/дм^3), в Воронежской (4.3 мкг/дм^3) и Астраханской областях (1.3 мкг/дм^3), на Северном Кавказе (2.9 мкг/дм^3).

Таблица 5. Диапазоны средневзвешенных за месячный период концентрации меди в атмосферных осадках Европы и показатели ОСКО

Регионы Европы	Страна, область ЕТР	Число станций наблюдения	Диапазон концентраций, мкг/дм ³	ОСКО, %
Северная Европа	Норвегия	1	0.5-10.5	200
	Швеция	4	0.41-1.4	79
	Финляндия	5	0.48-0.7	125
Западная Европа	Ирландия	1	5.0-70	100
	Англия	5	0.09-1.3	52
	Франция	6	0.43-3.2	164
	Германия	3	1.2-1.9	54
	Бельгия	1	1.2-32	100
	Дания	4	1.0-2.4	90
	Нидерланды	2	0.63-2.2	212
Центральная Европа	Словакия	4	1.1-2.6	87
	Польша	2	1.15-3.0	187
	Словения	1	0.17-16.7	52
Южная Европа	Испания	2	5.27-13.0	88
	Португалия	2	0.74-1.4	125
	Италия	1	0.29-2.5	69
Восточная Европа	Эстония	2	3.7-13.0	110
ЕТР России	Астраханская о.	1	0.4-4.2	220
	Московская о.	1	0.92-11.8	58
	Воронежская о.	1	1.8-15.0	72
	Сев. Кавказ	1	0.17-6.2	78

Совместное рассмотрение содержания меди в атмосферных осадках и в воздухе показывает, что в регионах Европы, где самые низкие (Северная Европа) и повышенные (Московская область) концентрации меди в воздухе, могут выпадать осадки одного уровня концентраций. В фоновом районе Бельгии, не отличающимся высоким загрязнением медью приземного слоя атмосферного воздуха (табл. 2), выпадают осадки с повышенной концентрацией, в то время как в Воронежской области, где отмечается наибольшее обогащение пыли медью, максимальная среднемесячная концентрация не превышает 15 мкг/м³. По-видимому, медь, связанная с аэрозолями, существующими в приземном слое атмосферы, оказывает незначительное влияние на формирование загрязнения осадков этим элементом. Можно полагать, что загрязнение медью осадков определяется характером и траекторией перемещения той воздушной массы, в которой образуются облачные системы, из которых выпадают осадки. Поэтому в зависимости от разнообразия воздушных масс возрастает (относительно воздуха) разброс значений среднемесячных концентраций (ОСКО более 200) и сохраняется неопределенность сезонных изменений (рис. 4).

Выделяется ряд территорий, где фоновые среднегодовые концентрации меди в осадках соизмеримы: в Швеции (4 станции), Финляндии (5 станций), Англии (4 станции) не выше 0.69 мкг/дм^3 , в Германии (3 станции) – не выше 1.9 мкг/дм^3 . На этих территориях различия в поступлении меди с осадками на подстилающую поверхность вероятно зависят только от пространственного распределения годовой суммы осадков.

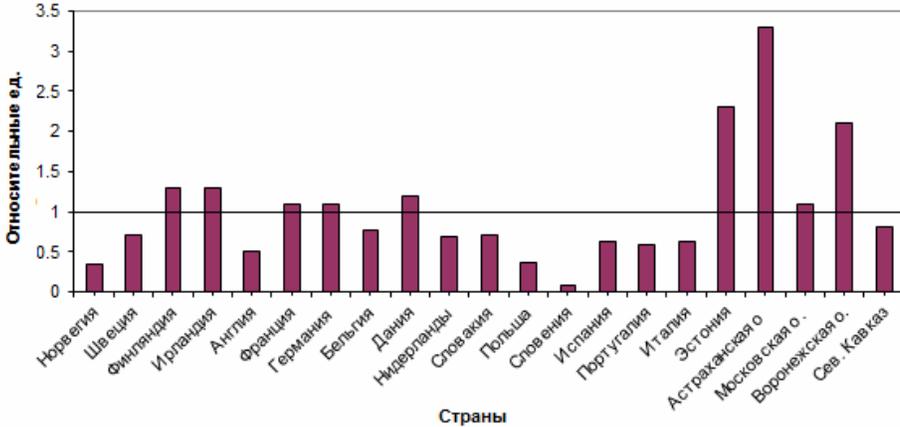


Рисунок 4. Отношение средних концентраций меди в осадках за холодный сезон к средним концентрациям за теплый сезон года

Несмотря на хаотичную изменчивость среднемесячных концентраций меди во времени и в пространстве (см. ОСКО табл. 5), на основе данных, полученных в 50-ти фоновых районах в течение года, складывается определенная закономерность в пространственном распределении ее среднегодовых взвешенных концентраций (рис. 5).

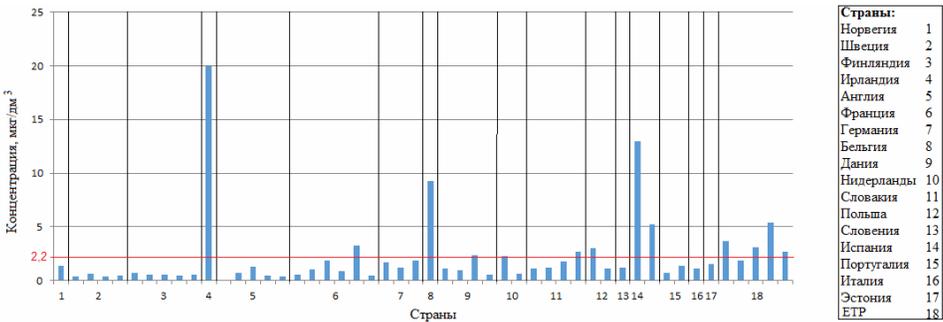


Рисунок 5. Среднегодовые фоновые концентрации меди в атмосферных осадках на территории европейской части Евразии (данные регионов Северная, Западная и Центральная Европа за 2015 г., ЕТР – данные за 2016 г.)

На территориях стран от Франции на восток до ЕТР включительно наблюдается мозаичное распределение среднегодовых концентраций в устойчивом диапазоне $0.5\text{-}5.4 \text{ мкг/дм}^3$. Только в 3-х фоновых районах средневзвешенные

за годовой период концентрации меди оказались выше 5 мкг/дм^3 : в Ирландии – 20 мкг/дм^3 , в Бельгии – 9.3 мкг/дм^3 , в Испании – 13 мкг/дм^3 .

Характер поля среднегодовых концентраций меди в осадках, представленный на рис. 5, сохранялся и в 2016 г. (ЕМЕР/ССС-Report 3/2018, 2016).

Оценка средней фоновой концентрации меди в атмосферных осадках на территории Европы, рассчитанная на основе исходных данных (50 станций наблюдения), составляет 2.2 мкг/дм^3 (рис. 5). Это значение близко к оценке, полученной при анализе результатов измерений, выполненных к 1989 году для территории Европы (Петрухин и др., 1989), и равной 2.6 мкг/дм^3 . Очень близкие значения оценок, разделенных во времени более, чем на 25 лет и на значительные расстояния, свидетельствуют о стабильности фоновое содержания меди в осадках на европейской части Евразии. Поэтому, можно полагать, что вариабельность концентраций как во времени, так и в пространстве, обусловлена естественными природными процессами в границах среднемесячных концентраций $0.17\text{-}70 \text{ мкг/дм}^3$.

Выводы

Среднемесячные концентрации меди в атмосферном воздухе в большинстве фоновых районов Европы варьируют в пределах $0.02\text{-}6.6 \text{ нг/м}^3$. Значения выше верхней границы диапазона наблюдаются в отдельных фоновых районах и не чаще одного раза в годовом цикле. В поле пространственного распределения существуют зоны, где среднегодовые фоновые концентрации меди в воздухе однородны. Это территории стран от Англии и Франции на восток до Смоленской области. Устойчивой закономерности сезонных изменений не выявлено.

Установлено, что атмосферные аэрозоли в фоновых районах Европы слабо обогащены медью. Эпизодические ситуации роста содержания меди в атмосферном воздухе в некоторых фоновых районах и неопределенность сезонных изменений могут возникать под влиянием региональных природных процессов.

Современное среднее фоновое содержание меди в атмосферном воздухе континентальной территории Европы (исключая ЕТР) можно охарактеризовать значением около 2 нг/м^3 , что ниже ПДК для жилых зон для России более чем в 1000 раз.

Некоторое снижение содержания меди в воздухе за период 1998-2015 г., несмотря на возрастающие объёмы выплавки меди, можно отнести за счет внедрения современных очистных сооружений, сокращающих объемы эмиссии меди в атмосферу.

Медь, связанная с аэрозолями, существующими в приземном слое атмосферы в фоновом районе, оказывает незначительное влияние на загрязнение осадков этим элементом. Данный факт подтверждают концентрации одного уровня в осадках, выпадающих в регионах Европы, где самые низкие (Северная Европа) и повышенные (Московская область) концентрации меди в воздухе.

Среднемесячные фоновые концентрации меди в атмосферных осадках в 37-и фоновых районах Европы, не превышают 4.2 мкг/дм^3 , максимальное значение (70 мкг/дм^3) наблюдалось в одном фоновом районе.

Пространственное поле среднегодовых концентраций меди в осадках Европы имеет «лоскутный» характер. Концентрации не выше 0.69 мкг/дм^3 наблюдаются в фоновых районах Швеции, Финляндии, Англии, не выше 1.9 мкг/дм^3 во всех фоновых районах Германии. От Франции на восток, включая ЕТР, наблюдается мозаичное поле среднегодовых концентрацией, но в устойчивом диапазоне $0.5\text{-}5.4 \text{ мкг/дм}^3$.

Степень загрязнения осадков медью имеет стабильный характер, вариативность концентраций в границах среднемесячных концентраций $0.17\text{-}70 \text{ мкг/дм}^3$ обусловлена естественными природными процессами.

Список литературы

Беспамятнов Г.П., Кротов Ю.А. 1985. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. – Л., Химия, Ленинградское отделение, 528 с.

Бурцева Л.В., Конькова Е.С. 2016. Свинец и кадмий в атмосферном воздухе и осадках в фоновых районах Восточно-Европейского региона. – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. XXVII, № 2, с. 59-71.

Бурцева Л., Лапенко Л. Кононов Э., Юшкан Е. 1990. Оценка состояния загрязнения атмосферы фоновых районов СССР тяжелыми металлами. – В кн.: Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. – Л., Гидрометеиздат, с. 3-21.

Виноградов А.П. 1962. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры. – Геохимия, № 7, с. 555-571.

Геологическая библиотека URL:<http://www.geokniga.org>, (дата обращения 25 марта 2019)

ГН 2.1.6.1338-03 Гигиенические нормативы Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

Голубева Н.И., Матишов Г.Г, Бурцева Л.В. 2002. Результаты исследования загрязнения тяжелыми металлами атмосферного воздуха в открытых районах Баренцева и Белого морей. – Доклады Академии Наук, т. 387, № 4, с. 537-540.

Голубева Н.И., Бурцева Л.В., Громов С.А. 2018. Тяжелые металлы в атмосферном воздухе в акватории Карского моря в сентябре - октябре 2011 г. – Океанология, т. 58, № 6, с. 1-10

Голубева Н.И., Матишов Г.Г., Бурцева Л.В. 2006. Атмосферные потоки ТМ в Баренцево море в секторе Кольского полуострова. – В кн.: Фундаментальные исследования океанов и морей. – М., Наука, с. 465-475.

Голубева Н.И., Бурцева Л.В., Гинзбург В.А. 2010. Тяжелые металлы в атмосферных осадках на побережье Баренцева моря. – Метеорология и гидрология, №5, с. 60-70.

ГОСТ 12.1.005–88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

Информационный портал Евро-русс-бизнес «Металлургия. Великобритания» – Электронный ресурс. URL <http://www.euro-russ-business.com/ru/essparvochnik/unitedk/metallurgiya.htm> (дата обращения 8 апреля 2019)

Информационный портал «Мировая экономика». Объём выплавки меди по регионам 2015. – Электронный ресурс. URL <http://www.world-economy.com/> (дата обращения 1 апреля 2019)

Огородников И. 1976. Зарубежные волокнистые фильтрующие материалы (обзор). – В кн.: Атмосферные аэрозоли. Труды института прикладной геофизики. Выпуск 21, с 50-84.

Петрухин В.А., Бурцева Л.В., Лапенко Л.А., Чичева Т.Б., Виженский В.А., Комарденкова И.В. 1989. Фоновое содержание микроэлементов в природных средах (по мировым данным). – В кн.: Мониторинг фонового загрязнения природных сред, вып. 5. – Л., Гидрометеоиздат, с. 4-30.

Ровинский Ф. Буянова Л. 1982. Мониторинг фонового состояния окружающей природной среды в Восточно-Европейском регионе. – В кн.: Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды, вып. 1. – Л., Гидрометеоиздат, с. 5-11.

Ровинский Ф.Я., Петрухин В.А., Виженский В.И., Чичева Т.Б., Бурцева Л.В., Лапченко Л.А., Юшкан Е.И. 1987. Фоновое содержание микроэлементов в природных средах (по мировым данным). – В кн.: Мониторинг фонового загрязнения природных сред, вып. 4. – Л., Гидрометеоиздат, с. 3-50.

Сетевое издание «Информационное агентство «Финмаркет». Мировой рынок меди Электронный ресурс. URL: <http://www.finmarket.ru/database/news/4882917> (дата обращения 8 апреля 2019).

Уваров Е.И., А.А. Древалев. 2014. Развитие медной промышленности России в условиях членства во всемирной торговой организации. – Экономика региона, № 2, с. 104-115.

Уваров Е.И. Анализ и прогноз рынка меди в мире и России. Электронный ресурс. URL <http://www.kp-info.ru> (дата обращения 4 апреля 2019).

Шевченко В.П. 2006. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. – М., Наука, 235 с.

Boyd R., Barnes S., De Caritat P. et al. 2009. Emissions from copper-nickel industry on the Kola Peninsula and Norilsk, Russia. – Atmospheric Environment, 43, pp. 1474-1480.

British Geological Survey. – Available at: <https://www.bgs.ac.uk/> (accessed 4 April 2019)

EMEP/CCC-Report 3/2017 Heavy metals and POP measurements. 2015.– Available at: <https://projects.nilu.no//ccc/reports/cccr3-2017.pdf> (accessed 4 April 2019), 149 p.

EMEP/CCC-Report 3/2018 Heavy metals and POP measurements. 2016.– Available at: https://projects.nilu.no//ccc/reports/cccr3-2018_HM_and_POP_2016-FINAL.pdf (accessed 4 April 2019), 158 p.

Environmental Data Report Third Edition 1991/92 United Nations Environment Programme. A report for the Global Environment Monitoring System, 36 p.

Nriagu J.O., Pacyna J.M. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soil by trace metals. – Nature (London), No. 333, pp. 134-139.

Nriagu J.O., 1989. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. – Nature (London), No. 338, pp. 47-49

Thorne R.J., Pacyna J.M., Sundseth K. and Pacyna E. G. 2017. Fluxes of Trace Metals on a Global Scale. – Encyclopedia of the Anthropocene, vol. 2, pp. 93-102.

Torseth K., Aas W., Breivik K. 2012. Introduction to the European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) and observed atmospheric composition change during 1972-2009. – Atmos. Chem. Phys., vol. 12, pp. 5447 – 5481.

Статья поступила в редакцию: 18.04.2019 г.

После переработки: 07.04.2020 г.

ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC POLLUTION WITH COPPER IN BACKGROUND AREAS OF THE EUROPE

L.V. Burtseva*, E.S. Konkova

Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russian Federation; *burtsevalara@yandex.ru

Summary. The state of copper pollution of atmospheric air and precipitation in the background regions of the Europe was considered according to data obtained in 2015 and in 2016 at 50 observation stations operating according to the programs: “A joint program of observations and assessment of the long-range transport of air pollutants in Europe” (EMEP), and “Comprehensive Background Monitoring” (CPM) in the European territory of Russia. The main sources are identified and the volumes of global anthropogenic copper emission into the atmosphere are given.

It was shown that in most of the background areas of the Europe a low copper content in atmospheric air and precipitation is observed, varying within the limits of monthly mean concentrations of 0.02-6.6 ng/m³ in air and 0.5-4.2 µg/dm³ in precipitation. Stable patterns of seasonal changes in copper concentrations in the air and precipitation have not been identified. Copper enrichment factors for atmospheric aerosols relative to Clark's element in the Earth's crust showed extremely weak influence of anthropogenic copper on the state of atmospheric pollution in background areas. The field of spatial distribution of copper concentrations in atmospheric air is characterized by a tendency of growth from the Scandinavian countries towards the continental and further eastward. In atmospheric precipitation a mosaic pattern is observed.

Keywords. European region, EMEP stations, CFM stations, monitoring program, heavy metals, pollution, air, precipitation, copper, enrichment coefficient, Clark copper.

References

Bespamyatnov G.P., Krotov Yu. A. 1985. *Predel'no dopustimye koncentracii himicheskikh veshchestv v okruzhayushchej srede* [Maximum permissible concentrations of chemicals in the environment]. Leningrad, Himiya, Leningradskoye otdeleniye, 528 p.

Burtseva, L.V. Konkova E.S. 2016. Svinec i kadmij v atmosfernem vozduhe i osadkah v fonovyh rajonah Vostochno-Evropejskogo regiona [Lead and cadmium in atmospheric air and precipitation in the background areas of the East European region]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem – Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems*, vol. XXVII, no. 2, pp. 59-71.

Burtseva L., Lapenko L. Kononov, E., Usan E. 1990. Ocenka sostoyaniya zagryazneniya atmosfery fonovyh rajonov SSSR tyazhelymi metallami

[Assessment of atmospheric pollution of the background regions of the USSR by heavy metals]. *Problemy fonovogo monitoringa sostoyaniya prirodnoj sredy* [Problems of background monitoring of the state of the natural environment]. Leningrad, Hydrometeoizdat, pp. 3-21.

Vinogradov A.P. 1962. Srednee sodержanie himicheskikh elementov v glavnykh tipakh izverzhennykh porod zemnoj kory [The Average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the earth's crust]. *Geohimiya – Geochemistry*, no. 7, pp. 555—571.

Geologicheskaya biblioteka. Geological library. Available at: <http://www.geokniga.org>, (accessed 25 March 2019)

GN 2.1.6.1338-03 *Gigienicheskie normativy Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) zagryaznyayushchih veshchestv v atmosfernom vozduhe naseleennykh mest*. [GN 2.1.6.1338-03 Hygienic standards Maximum permissible concentrations (MPC) of pollutants in the atmospheric air of populated areas]

Golubeva N.,I., Matishov G.G., Burtseva L.V. 2002. Rezul'taty issledovaniya zagryazneniya tyazhelymi metallami atmosfernogo vozduha v otkrytykh rajonah Barenceva i Belogo morej [The results of the study of heavy metal air pollution in the open areas of the Barents and White seas]. *Doklady Akademii Nauk – Reports of the Academy of Sciences*, vol. 387, no. 4, pp. 537-540.

Golubeva N.I., Burtseva, L.V., Gromov S.A. 2018. Tyazhelye metally v atmosfernom vozduhe v akvatorii Karskogo morya v sentyabre – oktyabre 2011 g. [Heavy metals in atmospheric air in the Kara sea in September – October 2011]. *Okeanologiya – Oceanology*, vol. 58, no. 6, pp. 1-10.

Golubeva N.I., Matishov G.G., Burtseva, L.V. 2006. *Atmosferynye potoki TM v Barencevo more v sektore Kol'skogo poluostrova* [Atmospheric flows of HM to the Barents sea in the Kola Peninsula sector]. *Fundamental'nye issledovaniya okeanov i morej* [Basic research of oceans and seas]. Moscow. Nauka, pp. 465-475

Golubeva N.I., Burtseva L.V., Ginzburg V.A. 2010. Tyazhelye metally v atmosferynykh osadkah na poberezh'e Barenceva moray [Heavy metals in precipitation on the Barents Sea coast]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and hydrology*, no. 5, pp. 60-70.

GOST 12.1.005–88 *Sistema standartov bezopasnosti truda. Obshchie sanitarno-gigienicheskie trebovaniya k vozduhu rabochej zony*. GOST 12.1.005–88. [Occupational safety standards System. General sanitary and hygienic requirements for the air of the working area].

Informacionnyj portal Evro-russ-biznes «Metallurgiya. Velikobritaniya». *Elektronnyj resurs* [Information portal Euro-Russ-business "Metallurgy. Great Britain"]. Available at: <http://www.euroruss-business.com/ru/ecsparvochnik/unitedk/metallurgiya.htm> (accessed 8 April 2019).

Informacionnyj portal «Mirovaya ekonomika». *Ob'yom vyplavki medi po regionam 2015. Elektronnyj resurs*. [Information portal "World economy".

Production of copper by regions in 2015]. Available at: [www.ereport.ru>articles/commod/copper.htm](http://www.ereport.ru/articles/commod/copper.htm). (accessed 1 April 2019).

Ogorodnikov I. 1976. Zarubezhnye voloknistye fil'truyushchie materialy (obzor). [Foreign fibrous filtering materials (review)]. Atmospheric aerosols. *Trudy instituta prikladnoj geofiziki – Proceedings of the Institute of applied Geophysics*, issue 21, pp. 50-84.

Petrukhin V.A., Burtseva, L.V., Lapenko L.A., Chichewa T.B., Videnskii V.A., Komardenkova I. V. 1989. Fonovoe sodержanie mikroelementov v prirodnyh sredah (po mirovym dannym). [Background content of trace elements in natural environments (according to world data)]. *Monitoring fonovogo zagryazneniya prirodnyh sred* [Monitoring of background pollution of natural environments], issue. 5. Leningrad, Gidrometeoizdat, pp. 4-30.

Rovinsky F. Buyanova L. 1982. Monitoring fonovogo sostoyaniya okruzhayushchej prirodnoj sredy v Vostochno-Evropskom regione. [Monitoring of the background state of the environment in the Eastern European region]. *Problemy fonovogo monitoringa sostoyaniya prirodnoj sredy* [Problems of background monitoring of the state of the natural environment]. Leningrad, Hydrometeoizdat., vol. 1, pp. 5-11.

Rovinskij F.YA., Petruhin V.A., Vizhenskij V.I., Chicheva T.B., Burceva L.V., Lapchenko L.A., Yushkan E.I. 1987. Fonovoe sodержanie mikroelementov v prirodnyh sredah (po mirovym dannym) [Background content of trace elements in natural environments (according to global data)]. *Monitoring fonovogo zagryazneniya prirodnyh sred* [Monitoring of background pollution of natural environments], vol. 4. Leningrad, Gidrometeoizdat, pp. 3-50.

Setevoe izdanie «Informacionnoe agentstvo «Finmarket». Mirovoj rynek medi Elektronnyj resurs. [Network edition "Information Agency "Finmarket". The world market for copper]. Available at: <http://www.finmarket.ru/database/news/4882917> (accessed 8 April 2019).

Uvarov E.I., Tevelev A.A. 2014. Razvitie mednoj promyshlennosti Rossii v usloviyah chlenstva vo vseмирnoj torgovoj organizacii [Development of the copper industry in Russia in terms of membership in the world trade organization]. *Ekonomika regiona – Economy of the region*, no. 2, pp. 104-115.

Uvarov E.I. *Analiz i prognoz rynka medi v mire i Rossii. Elektronnyj resurs.* [Analysis and forecast of the copper market in the world and Russia]. Available at: <http://www.kp-info.ru> (accessed 4 April 2019)

Shevchenko V.P. 2006. *Vliyanie aerorozlej na sredu i morskoe osadkono-koplenie v Arktike.* [Effect of aerosols on the environment and marine sedimentation in the Arctic]. Moscow, Nayka, pp. 235.

Boyd R., Barnes S., De Caritat P. et al. 2009. Emissions from copper–nickel industry on the Kola Peninsula and Norilsk, Russia. – *Atmospheric Environment*, 43, pp. 1474-1480.

British Geological Survey. – Available at: <https://www.bgs.ac.uk/> (accessed 4 April 2019)

EMEP/CCC-Report 3/2017 Heavy metals and POP measurements. 2015. – Available at: <https://projects.nilu.no//ccc/reports/cccr3-2017.pdf> (accessed 4 April 2019), 149 p.

EMEP/CCC-Report 3/2018 Heavy metals and POP measurements. 2016. – Available at: https://projects.nilu.no//ccc/reports/cccr3-2018_HM_and_POP_2016-FINAL.pdf (accessed 4 April 2019), 158 p.

Environmental Data Report Third Edition 1991/92 United Nations Environment Programme. A report for the Global Environment Monitoring System, 36 p.

Nriagu J.O., Pacyna J.M. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soil by trace metals. – *Nature* (London), No. 333, pp. 134-139.

Nriagu J.O., 1989. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. – *Nature* (London), No. 338, pp. 47-49

Thorne R.J., Pacyna J.M., Sundseth K. and Pacyna E. G. 2017. Fluxes of Trace Metals on a Global Scale. – *Encyclopedia of the Anthropocene*, vol. 2, pp. 93-102.

Torseth K., Aas W., Breivik K. 2012. Introduction to the European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) and observed atmospheric composition change during 1972-2009. – *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 12, pp. 5447-5481.