

Оценка аэротехногенной нагрузки тяжёлых металлов на земли сельскохозяйственного назначения в Московской области

© 2015. А. А. Ермаков¹, к. б. н., директор, Е. А. Карпова², д. б. н., в.н.с.,
А. Г. Малышева³, д.б.н., профессор, Р. И. Михайлова³, д.м.н., профессор,
И. Н. Рыжова³, к.м.н., в.н.с., Н. К. Сидоренкова¹, к.б.н., зав. отделом,

¹Государственный центр агрохимической службы «Московский»,

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,

³НИИ Экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сысина
Минздрава России,

e-mail: 0876ermak@mail.ru,

В статье представлены результаты определения концентрации тяжёлых металлов (ТМ) в снежном покрове на реперных участках (РУ) Московской области. Целью работы была оценка аэротехногенного потока растворённой формы ТМ в агроландшафты Московской области. ТМ определяли атомно-абсорбционным методом в фильтрованной снеговой воде после её предварительного концентрирования. Аэротехногенный поток ТМ рассчитывали исходя из содержания металла в объёме талого снега, собранного с единицы площади на всю глубину снегового покрова. По уровню аэротехногенного потока ТМ РУ Московской области разделены на три группы. Диапазоны значений минимальных годовых потоков ТМ (близкие к фоновым) были следующими: цинк – от 2,76 до 20,5; медь – от 0,06 до 0,11; свинец – от 0,11 до 0,24; кадмий – от 0,015 до 0,022; никель – от 0,18 до 0,27; марганец – от 0,24 до 1,03; хром – от 0,28 до 0,3 кг/км². Минимальная аэротехногенная нагрузка практически всех ТМ выявлена в Ступинском и Талдомском районах. Максимальные годовые потоки ТМ, превышающие имеющиеся в литературе данные для агроландшафтов Московской области, следующие: цинк – от 42,72 до 51,05 кг/км² (Воскресенский, Павлово-Посадский, Егорьевский районы); свинец – 2,92 кг/км² (Павлово-Посадский район); кадмий – от 0,12 до 0,35 кг/км² (Клинский, Каширский, Раменский, Одинцовский и Павлово-Посадский районы); никель – от 1,37 до 1,51 кг/км² (Раменский и Павлово-Посадский районы); марганец – от 2,14 до 8,42 кг/км² (Серпуховский, Сергиево-Посадский, Чеховский, Домодедовский, Каширский, Егорьевский, Коломенский, Одинцовский, Павлово-Посадский районы); хром – от 1,14 до 1,73 кг/км² (Наро-Фоминский, Орехово-Зуевский, Павлово-Посадский, Раменский и Клинский районы).

Results of research of concentration of the heavy metals (HM) in snow cover on the reference points sites (RPS) of the Moscow region are presented in article. The assessment of an aero technogenic stream of the dissolved HM form in agrolandscapes of the Moscow region was the purpose of work. HM determined by AAS method in the filtered snow water after its preliminary concentrating. The aero technogenic stream of HM was counted according to the content of metal in volume of the thawing snow collected from unit of area at all depth of snow cover. On the level of an aerotechnogenic stream of reference points sites of the Moscow region are divided into three groups. Ranges of values of the minimum annual streams of HM (close to background) were the following: zinc – from 2,76 to 20,5; copper – from 0,06 to 0,11; lead – from 0,11 to 0,24; cadmium – from 0,015 to 0,022; nickel – from 0,18 to 0,27; manganese – from 0,24 to 1,03; chrome – from 0,28 to 0,3 kg/km². The minimum aero technogenic loading practically of all HM is revealed in Stupino and Taldom areas. The maximum annual streams of HM exceeding the data which are available in literature for agrolandscapes of the Moscow region, were the following: zinc - from 42,72 to 51,05 kg/ km² (Voskresensk, Pavlovo-Posad, Egoryevsk areas); lead - 2,92 kg/ km² (the Pavlovo-Posad area); cadmium - from 0,12 to 0,35 kg/ km² (The Klin, Kashira, Ramenskoe, Odintsovo and Pavlovo-Posad areas); nickel – from 1,37 to 1,51 kg/ km² (Ramenskoe and Pavlovo-Posad areas); manganese – from 2,14 to 8,42 kg/ km² (Serpukhov, Sergiyev-Posad, Chekhov, Domodedovo, Kashira, Egoryevsk, Kolomna, Odintsovo, Pavlovo-Posad areas); chrome – from 1,14 to 1,73 kg/ km² (Naro-Fominsk, Orekhovo-Zuyevo, Pavlovo-Posad, Ramenskoe and Klin areas).

Ключевые слова: тяжёлые металлы, реперные участки, агроландшафты, снеговые воды, аэротехногенная нагрузка

Keywords: heavy metals, reference points sites, agro-landscapes, snow waters, air technogenic loading

Введение

При проведении агроэкологического мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и растениеводческой продукции не-

обходимо оценивать источники поступления загрязняющих веществ. Атмосферные осадки являются одним из источников поступления в агроландшафты химических элементов, включая тяжёлые металлы (ТМ).

От интенсивности и состава выпадений в большой мере зависит уровень загрязнения почв и качество сельскохозяйственной продукции, особенно в агроценозах, находящихся вблизи промышленных городов. Причём аэротехногенное загрязнение может влиять на содержание ТМ в растениях не только опосредованно через корневое поглощение из почвы, но и непосредственно при фолитарном поступлении [1].

Помимо воздействия на безопасность сельскохозяйственной продукции, повышенные содержания ТМ в снеговом покрове при таянии поступают в водоёмы, оказывая влияние на состояние компонентов водных экосистем.

Наибольшую опасность в экологическом отношении представляют ТМ, присутствующие в атмосферных выпадениях в растворимой форме. Именно они наиболее активно поглощаются растениями, почвенной и водной биотой.

Дождь и снег – неравнозначны для оценки аэротехногенного воздействия на исследуемый ландшафт. Снежный покров, если он не подвергался интенсивному таянию, является более корректным индикатором аэротехногенных выпадений, так как аккумулирует в себе все загрязняющие атмосферу компоненты, но в отличие от дождей и твёрдых летних аэрозолей не несёт в своем составе терригенные частицы [2].

Целью исследования была оценка аэротехногенного потока растворённой формы ТМ в агроландшафты Московской области.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в 2009, 2012 и 2013 гг. на реперных участках (РУ) Московской области в рамках работ ФГУ ГЦАС «Московский». Расположение участков на карте и их координаты показаны на рисунке.

Отбор и подготовку проб снегового покрова осуществляли в соответствии с Методическими рекомендациями [3].

После таяния проб снеговую воду фильтровали через фильтр «синяя лента». В фильтрованной снеговой воде определяли концентрацию ТМ атомно-абсорбционным методом с пламенной и электротермической атомизацией проб после их предварительного концентрирования [4].

Аэротехногенную нагрузку ТМ в растворённой форме рассчитывали исходя из содержания металла в объёме талого снега, собранного с единицы площади:

$$P = C \cdot V / S \cdot t, \text{ или за год - } P \cdot 364,$$

где C — концентрация металла в фильтрате талой воды (мг/л), V — объём растаявшего снега

(л), собранного с площади S (м²) на всю глубину снегового покрова, t — время экспозиции снегового покрова, начиная с начала его установления и до момента отбора проб (сут.) [3].

Средняя за 3 года высота снегового покрова на реперных участках варьировала от 37 до 59 см.

Все приведённые в таблице 1 показатели — средние за 3 года.

Результаты и обсуждение

Уровень загрязнения снеговых вод обычно оценивается при сопоставлении фактических значений содержания ТМ на исследуемых площадках с нормативными и фоновыми.

Поскольку содержание ТМ в атмосферных осадках может влиять на качество поверхностных вод и соответственно на состояние водных экосистем, мы сравнили концентрацию ТМ в снеговых водах с ПДК для водоёмов рыбохозяйственного назначения (табл. 1).

Содержание кадмия, свинца, никеля и хрома в снеговом покрове на всех РУ Подмоскovie было ниже ПДК. Почти в половине исследуемых точек (Можайский, Наро-Фоминский, Егорьевский, Коломенский, Луховицкий, Орехово-Зуевский, Ступинский и Талдомский районы) концентрация меди не превышала установленной нормы (1 мкг/л). На остальных РУ превышение ПДК варьировало от 1,1 до 7,7 раза.

Практически на всех РУ (за исключением РУ в Ступинском районе) содержание цинка в снеговом покрове было выше ПДК. В Луховицком, Серпуховском и Одинцовском районах превышение было незначительным (в 1,1–1,6 раза). В других районах оно составляло от 2,1 до 9,4 раза.

Что касается концентрации цинка и меди в атмосферных выпадениях, то она даже в фоновых (эталонных) районах мира (табл. 2) в результате глобального загрязнения атмосферы может приближаться и даже достигать ПДК для водоёмов рыбохозяйственного значения. Поэтому считаем более корректным оценивать уровень загрязнения снегового покрова ТМ в исследуемых точках сравнением с фоновыми значениями.

Концентрация большинства ТМ в снеговых водах агроландшафтов Московской области на реперных точках Луховицкого, Орехово-Зуевского, Ступинского и Талдомского районов находится в пределах фоновых значений (табл. 1, 2). По сравнению с фоновыми районами на всех исследуемых точках Подмоскovie превышено содержание хрома, что может свидетельствовать о том, что для Европейской территории России (центральной её части) фоновые значе-

Схема расположения реперных участков в Московской области



№	Район	Название ближайшего населенного пункта	№ реп-го участка	Географические координаты	
				широта	долгота
1	Одинцовский	Богачево	1	55°40'	37°15'
2	Можайский	Храброво	3	55°30'	36°09'
3	Раменский	Хлыново	5	55°35'	38°15'
4	П-Посадский	Евсеево	6	55°48'	38°40'
5	Истринский	Пречистов	9	55°55'	36°52'
6	Клинский	Лаврово	10	56°20'	36°45'
7	Домодедовский	Вельяминово	13	55°27'	37°48'
8	Каширский	Космово	14	54°50'	38°10'
9	Н-Фоминский	Горчухино	16	55°23'	36°42'
10	Подольский	Новгородово	18	55°25'	37°32'
11	Чеховский	Сергеево	19	55°09'	37°28'
12	Воскресенский	Федино	22	55°18'45"	38°37'30"
13	Егорьевский	Новая	23	55°12'50"	38°53'30"
14	Коломенский	Лукерьино	24	55°06'	38°39'
15	Луховицкий	Карцево	25	54°50'50"	39°05'30"
16	О-Зуевский	Кабаново	26	55°44'50"	38°57'
17	С-Посадский	Глинково	27	56°17'45"	38°1'
18	Серпуховский	Дракино	28	54°51'	37°16'30"
19	Ступинский	Дубнево	29	55°06'30"	38°06'50"
20	Талдомский	Юркино	30	56°42'40"	37°36'

ния концентрации данного металла в снеговом покрове могут иметь более высокий уровень. Если ориентироваться на данные по реперным участкам Луховицкого, Орехово-Зуевского, Ступинского и Талдомского районов (фоновые уровни большинства ТМ), то региональный фон хрома в растворимой форме в снеговом покрове Московской области может находиться в пределах 0,5–2,0 мкг/л.

Практически для всех РУ концентрация ТМ в снеговых водах не превышает значений, выявленных ранее для агроландшафтов Подмоскovie (табл. 2). Исключение составляют РУ в Павлово-Посадском и Воскресенском районах, где содержание в снеге цинка (86 и 94 мг/л соответственно) достигает верхней границы (90 мг/л) уровня, характеризующего агроландшафты южной части региона по данным [7]. Концентрация кадмия

(0,58 мкг/л) в снеге на РУ в Павлово-Посадском районе превышает этот уровень (0,41 мкг/л). Полученные данные свидетельствуют о наличии интенсивного источника загрязнения атмосферного воздуха (соответственно и снегового покрова) вблизи РУ в Павлово-Посадском и Воскресенском районах. Снеговые воды в этих районах по сравнению с другими РУ характеризуются также относительно высокой минерализацией (48–72 мкгСм/см), величиной рН (6,4–6,6), что может свидетельствовать о запылённости воздуха. Чем выше рН осадков, тем запылён-

нее воздух [12]. Для большинства других исследованных районов эти показатели находятся в пределах от 14 до 40 мкгСм/см и от 4,8 до 6,2 единицы рН [13]. Снеговой покров на РУ в Павлово-Посадском районе отличается и максимальным содержанием кальция, магния, калия, сульфатов и гидрокарбонатов, что может быть связано с поступления в атмосферу района техногенных карбонатов в составе пыли [13].

Поток (плотность выпадения) ТМ на поверхность агроландшафтов на РУ Московской области показан в таблице 3. Для оценки

Таблица 1

Средняя концентрация ТМ в снеговых водах (мкг/л)
на реперных участках агроландшафтов Московского региона

Район	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Mn	Cr
ПДК для водоёмов рыбохозяйственного назначения [5]	10	1	6	5	10	–	50
Одинцовский	13	1,5	0,40	0,33	1,1	10,2	1,2
Можайский	23	0,9	0,25	0,11	1,2	3,1	1,3
Раменский	54	1,8	1,4	0,39	2,9	2,8	2,6
П-Посадский	86	3,0	4,9	0,58	2,5	14,2	2,0
Истринский	21	1,2	0,2	0,10	0,9	3,4	1,7
Клинский	43	7,7	0,40	0,20	0,3	1,7	2,8
Домодедовский	28	2,8	3,2	0,11	1,4	5,0	2,2
Каширский	33	4,8	0,9	0,30	1,6	5,2	1,8
Н-Фоминский	40	0,8	0,7	0,16	1,5	3,3	2,0
Подольский	47	7,0	0,9	0,08	1,3	3,6	0,7
Чеховский	36	4,1	2,1	0,19	0,7	4,2	1,1
Воскресенский	94	2,9	4,3	0,03	1,0	0,6	1,0
Егорьевский	67	0,2	1,1	0,18	0,6	3,7	0,7
Коломенский	58	0,3	0,7	0,04	0,3	7,6	0,5
Луховицкий	11	0,2	0,4	0,03	0,8	2,3	1,1
О-Зуевский	46	0,3	0,8	0,02	0,6	2,2	2,0
С-Посадский	75	1,5	0,8	0,03	0,3	4,6	1,2
Серпуховский	16	1,1	1,2	0,04	0,9	3,8	0,5
Ступинский	5	0,2	0,2	0,03	0,5	2,2	0,5
Талдомский	37	0,1	0,4	0,04	0,3	0,4	0,5

Таблица 2

Концентрация тяжёлых металлов в снеговых водах фоновых районов мира и агроландшафтов Подмосковья

Элемент	Агроландшафты Московской области		Фоновые районы мира		
	Северная и восточная часть [6]	Южная часть [7]	Северный Байкал [8]	г. Эверест [9,10]	Арктика [9, 11]
Pb	0,4–3,6	3,6		0,013–0,14	0,2
Cd	0,02–0,32	0,41	–	–	0,2
Zn	10–58	90	6–7	0,029–4,95	1,4–10
Cu	0,9–3,7	41		0,01–0,7	–
Ni	1,0–3,8	–	0,08	–	0,6
Cr	1,5–3,0	–	0,27	–	0,3
Mn	3,8–6,8	39	–	2,94	3,3

Таблица 3

Аэротехногенный поток ТМ (кг/км² в год) на поверхность РУ в Подмоскowie

Район	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Mn	Cr
Одинцовский	7,8	0,9	0,24	0,2	0,66	6,16	0,71
Можайский	12,23	0,47	0,13	0,057	0,62	1,66	0,71
Раменский	25,75	0,86	0,66	0,186	1,37	1,32	1,22
П-Посадский	51,05	1,8	2,92	0,35	1,51	8,42	1,17
Истринский	12,47	0,71	0,12	0,058	0,52	2,04	1,0
Клинский	26,35	4,73	0,24	0,12	0,19	1,03	1,73
Домодедовский	13,18	1,32	1,51	0,051	0,66	2,38	1,01
Каширский	15,11	2,21	0,41	0,14	0,72	2,37	0,82
Н-Фоминский	22,94	0,47	0,4	0,091	0,85	1,89	1,14
Подольский	23,57	3,5	0,45	0,04	0,66	1,83	0,35
Чеховский	19,52	2,23	1,12	0,102	0,38	2,28	0,61
Воскресенский	50,28	1,54	2,31	0,015	0,51	0,32	0,52
Егорьевский	42,72	0,13	0,72	0,113	0,38	2,37	0,45
Коломенский	26,22	0,14	0,32	0,022	0,14	3,44	0,23
Луховицкий	4,88	0,088	0,18	0,015	0,35	1,03	0,49
О-Зуевский	27,0	0,18	0,47	0,011	0,35	1,30	1,15
С-Посадский	36,87	0,74	0,39	0,015	0,15	2,24	0,61
Серпуховский	8,91	0,62	0,68	0,022	0,5	2,14	0,28
Ступинский	2,76	0,11	0,11	0,015	0,27	1,20	0,28
Талдомский	20,51	0,062	0,24	0,022	0,18	0,24	0,3

Таблица 4

Поток ТМ в растворимой форме на агроландшафты Подмоскowie кг/км² в год

Элемент	Агроландшафты в восточной части Московской области [1, 6]	Агроландшафты в северной части Московской области [1, 6]	Агроландшафты в южной части Московской области [14]
Cd	0,036–0,06	<0,006–0,11	0,05
Cu	0,27–0,64	0,37–1,16	8,5
Cr	0,68	0,48–1,00	–
Mn	1,20–1,52	1,20–2,08	–
Ni	0,35–0,84	0,31–1,08	0,6
Pb	0,21–0,80	0,094–0,15	2,5
Zn	2,96–6,2	6,88–19,6	36

уровня потоков ТМ на почвенную поверхность исследуемых территорий необходимо сопоставление полученных данных с имеющимися в литературе сведениями о величинах выпадений в фоновых или сельскохозяйственных районах (табл. 4). Необходимо отметить, что по имеющимся литературным данным [6, 7, 14] концентрация растворимой формы ТМ в снеговом покрове и плотность её выпадения на агроландшафты южной части Подмоскowie были для большинства ТМ значительно выше, чем в северной и восточной частях региона. Возможно, это связано с тем, что данные по южной части Подмоскowie были получены в 80-х гг. XX века, когда интенсивность промышленного производства и загрязнение атмосферного воздуха на территории страны были максимальны-

ми. Однако, ранжируя современный поток ТМ на исследуемые РУ Московской области, мы ориентировались на эти два уровня.

Ежегодные выпадения растворимой формы цинка на РУ в Одинцовском, Можайском, Истринском, Домодедовском, Чеховском, Каширском, Луховицком, Серпуховском, Талдомском и Ступинском районах Московской области в период с 2009 по 2013 г. составляли от 2,76 до 20,5 кг/км² и были в пределах значений, выявленных в работах [1,6] для агроландшафтов северной и восточной частей Подмоскowie в начале XXI века (2,96–19,6 кг/км² в год). Поток металла на поверхность полей в Раменском, Клинском, Наро-Фоминском, Подольском, Коломенском, Орехово-Зуевском, Сергиево-Посадском и Талдомском районах был выше. Диапазон зна-

чений варьировал от 19,52 до 36,87 кг/км² в год и был в пределах уровня выпадений растворимой формы цинка, определённого в работе [14] для агроландшафтов южной части Подмоскovie (36 кг/км² в год). Максимальный поток цинка (от 42,72 до 51,05 кг/км² в год), как и следовало ожидать исходя из концентрации металла в снеговой воде, отмечен для РУ в Воскресенском и Павлово-Посадском, а также в Егорьевском районах.

На поверхность РУ большинства районов Московской области выпадения растворимой формы меди составляли от 0,062 до 0,9 кг/км² в год и не превышали значений этого показателя, выявленного в работах [1,6] для агроландшафтов севера и востока Подмоскovie (табл. 3, 4). Причём в Талдомском, Луховицком, Ступинском, Егорьевском, Коломенском и Орехово-Зуевском районах поступления металла на РУ находились в пределах от 0,062 до 0,18 кг/км² в год, т. е. были значительно ниже литературных данных для северной и восточной частей региона (0,27–1,16 кг/км² в год), что свидетельствует о крайне низком уровне загрязнения воздуха растворимой формой меди в данных районах. В Домодедовском, Воскресенском, Павлово-Посадском, Каширском, Чеховском, Подольском и Клинском районах годовой поток металла был выше: от 1,32 до 4,73 кг/км². Однако он не превышал уровня, определённого в работе [14] для агроландшафтов южной части региона (8,5 кг/км² в год).

В подавляющем большинстве исследуемых РУ выпадения растворимой формы свинца находились в диапазоне от 0,11 до 0,72 кг/км² в год, что соответствовало уровню атмосферных поступлений в агроландшафты северной и восточной частей Московской области (0,09–0,8 кг/км² в год). В Чеховском, Домодедовском и Воскресенском районах поток металла на поверхность РУ составлял от 1,12 до 2,31 кг/км² в год и не превышал выпадений свинца на агроландшафты южной части региона (2,5 кг/км² в год). И только в Павлово-Посадском районе на РУ поступало 2,92 кг/км² свинца ежегодно.

В большинстве районов Московской области атмосферные выпадения растворимой формы кадмия на поверхность РУ за год составляли от 0,011 до 0,11 кг/км² и находились в пределах значений, выявленных в работах [1, 6, 14] для агроландшафтов Подмоскovie (<0,006–0,11 кг/км² в год). В Клинском, Каширском, Раменском, Одинцовском и Павлово-Посадском районах поток металла на РУ был выше и варьировал от 0,12 до 0,35 кг/км² в год.

По уровню атмосферного поступления растворимой формы никеля выделяются РУ в Ра-

менском и Павлово-Посадском районах. Плотность выпадения металла там составляла от 1,37 до 1,51 кг/км² в год, что было выше потока никеля на агроландшафты Подмоскovie (0,31–1,08 кг/км² в год), выявленного в работах [1, 6, 14]. Выпадения металла на поверхность РУ большинства исследуемых районов области (от 0,35 до 0,85 кг/км² в год) были в пределах этих значений. В Коломенском, Сергиево-Посадском, Талдомском, Клинском и Ступинском районах на РУ поступало значительно меньше никеля – от 0,14 до 0,27 кг/км² в год.

Минимальные количества растворимого марганца поступали на РУ в Талдомском, Воскресенском, Клинском и Луховицком районах (0,24; 0,32; 1,03 и 1,03 кг/км² в год соответственно), что значительно ниже потока металла на агроландшафты Подмоскovie (1,20–2,08 кг/км² в год). В пределах этого потока (от 1,20 до 2,04 кг/км² в год) находились атмосферные выпадения марганца на РУ в Ступинском, Раменском, Орехово-Зуевском, Можайском, Подольском, Наро-Фоминском и Истринском районах. На поверхность РУ в других исследуемых районах Московской области поступления металла в течение года составляли от 2,14 до 8,42 кг/км².

Максимальные выпадения растворимой формы хрома за год отмечались на РУ в Наро-Фоминском (1,14 кг/км²), Орехово-Зуевском (1,15 кг/км²), Павлово-Посадском (1,17 кг/км²), Раменском (1,22 кг/км²), и Клинском (1,73 кг/км²) районах, что превышало поток металла на агроландшафты Подмоскovie по данным [1, 6], составляющий от 0,48 до 1,0 кг/км² в год. Атмосферные поступления хрома на РУ в большинстве других районов были в пределах этого потока. Минимальными значениями данного показателя характеризовались выпадения металла на РУ в Коломенском, Серпуховском, Ступинском, Талдомском и Подольском районах – от 0,23 до 0,35 кг/км² в год.

Обобщая полученные данные, можно сделать вывод о том, что наименьший уровень аэротехногенного потока большинства ТМ выявлен для РУ в Ступинском и Талдомском районах Подмоскovie, что свидетельствует о минимальном уровне загрязнения атмосферного воздуха (и минимальной аэротехногенной нагрузке на ландшафты) в данных районах. Концентрации большинства металлов в снеговом покрове на РУ в Ступинском и Талдомском районах находятся в пределах фонового уровня, что может служить основанием и для оценки потока ТМ на РУ в этих районах как фонового.

Специфика промышленного производства и предприятий энергетического комплекса в го-

родах, а также неодинаковая автотранспортная нагрузка в разных районах области способствуют загрязнению снегового покрова различными ассоциациями ТМ. Для РУ различных районов приводятся ассоциации ТМ, характеризующиеся максимальным потоком ТМ, превышающим значения, выявленные в работах [1,6,14] для агроландшафтов Подмосковья.

Так, в первую очередь выделяется РУ в Павлово-Посадском районе, для которого определён максимальный поток большинства ТМ (цинка, свинца, кадмия, никеля и марганца).

В Раменском районе РУ характеризуются высоким уровнем атмосферных выпадений кадмия, никеля и хрома, в Клинском районе – кадмия и хрома.

Для многих РУ отмечается высокий уровень атмосферных поступлений одного из ТМ. Так, максимальный поток цинка на поверхность РУ выявлен в Воскресенском и Егорьевском районах (наряду с Павлово-Посадским районом). Наибольшие выпадения кадмия (помимо указанных выше) определены на РУ в Каширском и Одинцовском районах, хрома – в Наро-Фоминском и Орехово-Зуевском районах.

Выводы:

1. По данным исследования снегового покрова на РУ Московской области, минимальная аэротехногенная нагрузка ТМ, выпадающих в растворимой форме на агроландшафты, выявлена в Ступинском и Талдомском районах. Поток ТМ на РУ в указанных районах можно оценивать как фоновый.

2. Максимальный аэротехногенный поток растворимых форм ТМ, связанный с существенным региональным загрязнением воздуха, определён на следующих РУ Подмосковья:

– наибольшие атмосферные поступления целой ассоциации ТМ выявлены в Павлово-Посадском (цинка, свинца, кадмия, никеля и марганца), Раменском (кадмия, никеля и хрома) и Клинском (кадмия и хрома) районах.

– высокий уровень выпадений одного из ТМ отмечен в Воскресенском (цинк), Егорьевском (цинк), Каширском (кадмий), Одинцовском (кадмий), Наро-Фоминском (хрома), Орехово-Зуевском (хрома) районах.

Литература

1. Карпова Е.А. Оценка реального вклада основных антропогенных источников поступления тяжёлых металлов в агроэкосистемы Московского региона // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2006. № 2 (2). С. 79–86.

2. Сысо А.И., Яцков М.И., Даниленко А.А., Привалова О.Г., Смоленцев Б.А. Загрязнение тяжёлыми металлами снегового покрова г. Новосибирска в 2003-2004 гг. // Тяжёлые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде: Доклады III Межд. научно-практ. конф. Семипалатинск. Казахстан. 2004. Т. 2. С. 409–415.

3. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. № 5174-90.

4. Дмитриев М.Т., Казнина Н.И., Пинигина И.А. Справочник. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде. М.: Химия, 1989. 368 с.

5. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: Изд. ВНИРО, 1999. 11 с.

6. Карпова Е.А., Сидоренкова Н.К. Оценка аэротехногенного потока микроэлементов на агроландшафты пригорода Москвы по результатам анализа снега // Актуальные проблемы геохимической экологии: Мат-лы V Межд. биогеохимической школы. 2005. Семипалатинск. Казахстан. С. 124–126.

7. Учватов В.П. Геохимические потоки и геохимический баланс тяжёлых металлов как показатель устойчивости ландшафта к антропогенным нагрузкам // Почвы, биогеохимические циклы и биосфера. Развитие идей Виктора Абрамовича Ковды / Под ред. Н.Ф. Глазовского). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. С. 179–199.

8. Ветров В.А., Кузнецова А.И. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал. Новосибирск: Издательство СО РАН НИЦ ОИГГМ, 1997. 236 с.

9. Zhang Q.G., Kang S.Ch., Cong Z.Y., Hou S.G., Lin Y.Q. Elemental composition in surface snow from the ultra-high elevation area of Mt. Qomolangma (Everest) // Chinese Science Bulletin. 2008. V. 53. № 2. P. 289–294.

10. Duan J., Wang L., Ren J., Han J. Seasonal variations in heavy metals in Mt. Qomolangma Region snow // Journal of Geographical Science. 2009. V. 19. № 2. P. 249–256.

11. Евсеев А.В. Аэротехногенные металлы – поллютанты в ландшафтах Российской Арктики // Геохимия биосферы. 2006. Москва-Смоленск. С. 130–131.

12. Хромова Т.И., Первунина Р.И., Малахов С.Г. Химический состав осадков в Подмосковье // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах: Тр. IY Всес. Сессии. Л.: Гидрометеоздат, 1985. С. 199–206.

13. Ермаков А.А., Малышева А.Г., Михайлова Р.И., Рыжова И.Н. Основные гидрохимические показатели снеговой воды, поступающей на земли сельскохозяйственного назначения в Московской области // Проблемы агрохимии и экологии. 2014. № 3. С. 40–45.

14. Черных Н.А. Влияние атмосферных осадков на содержание тяжёлых металлов в дерново-подзолистой почве // Агро XXI. 1998. № 5. С. 1–6.