

М.В. МИХАЛЕВ, В.А. ЛОБКИНА

Учет стратиграфии снежного покрова при анализе пространственного распределения загрязнителей, аккумулированных в снеге (Южно-Сахалинск)

Приведены результаты исследований снежного покрова Южно-Сахалинска, проведенных в зимние сезоны 2018/19 и 2019/20 гг. для оценки пылевого загрязнения территории города, а также выявления пространственного распределения ионов Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Na^+ и тяжелых металлов Pb и Zn . Особенностью исследования является определение влияния стратификации снежного покрова на величины депонированных в нем загрязнителей.

Ключевые слова: загрязнение, пылевая нагрузка, Сахалин, снежный покров, структура снега.

Consideration of snowpack stratification in the analysis of spatial distribution of pollutants accumulated in snow (Yuzhno-Sakhalinsk). M.V. MIKHALEV, V.A. LOBKINA (Sakhalin Department of Far East Geological Institute, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk).

The paper presents the results of a snowpack research on the territory of Yuzhno-Sakhalinsk, carried out in winter seasons of 2018–2019 and 2019–2020 to determine the amount of dust pollution accumulated in the snow of the city, as well as determine the spatial distribution of Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Na^+ and heavy metals Pb and Zn . A peculiarity of the research is the determination of the effect of snowpack stratification on the amounts of contaminants deposited in that snowpack.

Key words: pollution, dust pollution, Sakhalin, snowpack, snowpack stratification.

Введение

Исследование загрязнителей, аккумулирующихся в снежной толще, является актуальной геоэкологической проблемой. В период активного снеготаяния депонированные в снеге загрязняющие вещества попадают в почву [3], водные объекты, атмосферу, что может повлечь за собой загрязнение компонентов окружающей среды и оказать негативное влияние на здоровье населения.

Работ, посвященных аккумуляции загрязняющих веществ в снеге на урбанизированной территории, достаточно много [1, 2, 6, 8], при этом большинство исследований основывается на Методических рекомендациях по оценке степени загрязнения атмосферного

*МИХАЛЕВ Михаил Викторович – младший научный сотрудник, ЛОБКИНА Валентина Андреевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник (Сахалинский филиал Дальневосточного геологического института ДВО РАН, Южно-Сахалинск). *E-mail: mvmikhailiov@yandex.ru

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Правительства Сахалинской области молодым ученым № Н-6 от 14.10.2019.

воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве¹ и Руководстве по контролю загрязнения атмосферы². Согласно данным документам, пробы отбираются со всей глубины снега, при этом не учитываются особенности перераспределения снега внутри урбанизированной территории, в том числе метелевым переносом, стратиграфия снежной толщи, а также вертикальные миграции загрязняющих веществ из подстилающей поверхности в снег.

Целью нашего исследования была оценка пространственного распределения ряда загрязнителей, аккумулирующихся в снеге на территории городской застройки Южно-Сахалинска в зимние сезоны 2018/19 и 2019/20 гг., при этом учитывались структура снежного покрова, продолжительность существования слоев снега, сформированных конкретным снегопадом, особенности массопереноса в снеге, в частности интенсивность возгонки водяного пара. Эти факторы в значительной мере определяют режим аккумуляции поллютантов и их миграцию внутри снежной толщи. Проведен сравнительный анализ величин депонированных загрязнителей с учетом и без учета особенностей строения снежной толщи. На территории Сахалинской области подобные исследования ранее не проводились.

Методика исследования

На территории Южно-Сахалинска в зимнем сезоне 2018/19 г. оценивалась величина пылевого загрязнения; в зимнем сезоне 2019/20 г., помимо этого, также было определено пространственное распределение концентраций Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Na^+ , Pb , Zn .

Расположение точек отбора проб представляет собой сеть с расстоянием между точками в направлении север–юг ≈ 2 км, в направлении запад–восток ≈ 1 км. Одиннадцать точек

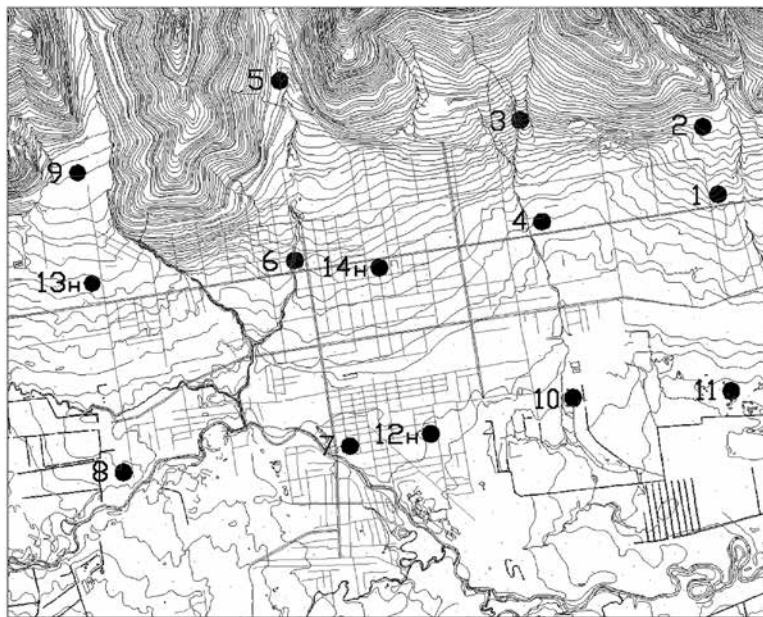


Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб

¹ Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве от 15.05.1990 г. № 5174-90. М.: ИМГРЭ, 1990. – <https://meganorm.ru/Index2/1/4293736/4293736062.htm> (дата обращения: 15.05.2020).

² РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. М.: Гидрометеоздат, 1989. – <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293854/4293854583.pdf> (дата обращения: 15.05.2020).

(1–11) были заложены вдоль основных транспортных магистралей Южно-Сахалинска (ул. Горького, пр. Мира, ул. Железнодорожная, ул. Украинская, ул. Сахалинская, ул. Емельянова, ул. Больничная) (рис. 1), так как именно вдоль транспортных магистралей в снежном покрове наблюдаются наиболее высокие содержания загрязняющих веществ [4, 7, 9]. Во второй зимний сезон сеть отбора проб была дополнена тремя дополнительными точками 12н, 13н, 14н (рис. 1), расположенными на тех же магистралях, для уточнения получаемой информации.

Комплекс снегомерных и стратиграфических работ, проведенных для установления мощности слоев снежной толщи и наблюдения за структурой снежного покрова, его плотностью и др., выполнялся на контрольной площадке (46°56'37,28" с.ш.; 142°45'29,61" в.д.) на территории Сахалинского филиала Ботанического сада-института ДВО РАН, где структура снежной толщи не была нарушена [5]. К этой площадке привязывались участки пробоотбора. Стратиграфические наблюдения позволили установить даты формирования слоев снега, определить их положение в толще, плотность, структуру и текстуру.

Зимний сезон 2018/19 г.

Для оценки пылевой нагрузки мы выбрали слой снега, сформированный снегопадом 15–16 января 2019 г. Пробы взяли 26 января 2019 г., т.е. спустя 10 сут. Преобладающее направление ветров с даты формирования слоя до даты отбора – СЗ (рис. 2, а).

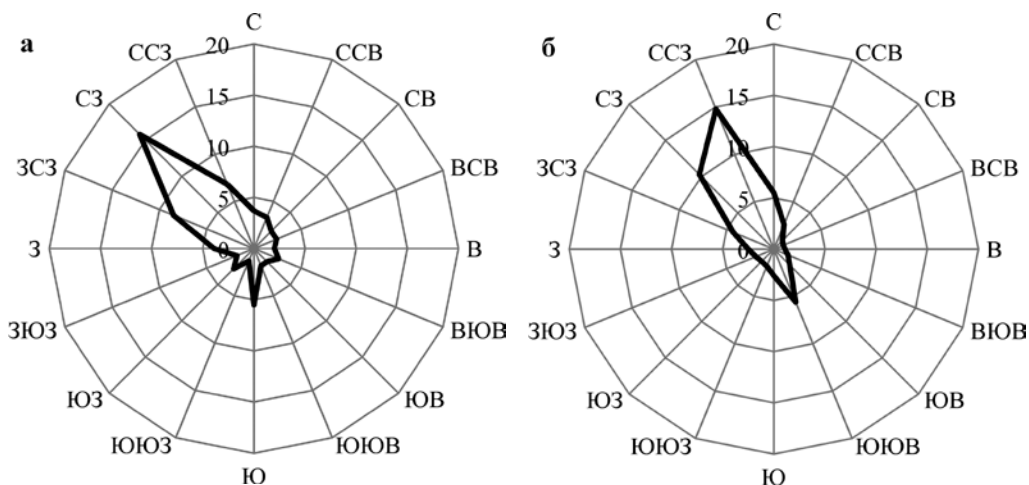


Рис. 2. Роза ветров на даты залегания исследуемых слоев снега: а – 2018/19 г., б – 2019/20 г.

В точках отбора толщина выбранного снежного слоя составила от 5 до 13 см, это связано с разным режимом снегоотложения и метельным перераспределением снега внутри городской застройки. Составную пробу в каждой точке отбирали методом конверта.

Стаивание проб снега происходило при температуре +20 °С в комнатных условиях в пластиковых ведрах. Далее из талой воды были удалены крупные плавающие примеси, и она, объемом 2 л с каждой пробы, была профильтрована. Исследование массового количества взвешенных веществ проводилось гравиметрическим методом (ПНД Ф 14.1:2:4.254-09³).

³ Методика измерений массовых концентраций взвешенных и прокаленных взвешенных веществ в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом (Издание 2017 года). ПНД Ф 14.1:2:4.254-09. – <http://rdocs3.kodeks.ru/document/556339176> (дата обращения: 25.05.2020).

Зимний сезон 2019/20 г.

В декабре 2019 г. в снежном покрове сформировались две корки: нижняя – ждем 17 декабря, верхняя – оттепелью 31 декабря. Между ними находился слой снега, образованный прошедшими между этими событиями снегопадами. Указанные корки прослеживались в течение всего зимнего сезона и являлись естественной преградой массопереноса из приземных слоев снежной толщи.

Пробы снега были отобраны 3 марта 2020 г. (дата максимальных снегозапасов) из слоев снежной толщи, сформированных начиная с 31 декабря 2019 г., т.е. продолжительность их залегания составляла до 63 дней. Преобладающее направление ветров в этот период – ССЗ (рис. 2, б)

Помимо измерения содержания взвешенных веществ, выполненных гравиметрическим методом (ПНД Ф 14.1:2:4.254-09) по методике для предыдущего сезона, определялись массовые концентрации хлорид-иона, сульфат-иона, катионов кальция и натрия с применением системы капиллярного электрофореза «Капель» (ПНД Ф 14.1:2:4.157-99⁴, ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000⁵) и массовое содержание свинца и цинка атомно-абсорбционным методом (М-02-2406-13⁶). Анализы выполнены аккредитованной лабораторией Государственного центра агрохимической службы «Сахалинский».

Результаты аналитических работ и их анализ

Пылевое загрязнение

Применяемые в настоящее время методики направлены на определение концентраций загрязняющих веществ в снежной толще, однако полученные значения не отражают в полной мере особенности депонирования поллютантов в снеге, так как из-за неравномерного выпадения твердых осадков и в результате метелевого переноса мощность сформированных слоев снежной толщи будет различна. Следовательно, за один и тот же период времени загрязняющие вещества будут аккумулироваться разными объемами снега. Таким образом, концентрация загрязняющих веществ в снеге зависит не только от скорости депонирования загрязняющих веществ, но и от скорости прироста снежной толщи внутри городской застройки. Поэтому для определения фактического количества загрязняющих веществ, аккумулированных в снежном покрове на определенной территории, и их пространственного распределения необходимо знать не только концентрацию поллютантов в снеге, но и величину снегозапаса в каждой точке отбора проб.

Определив величину снегозапаса исследуемых слоев снежной толщи, мы определили массу загрязняющих веществ, депонирующихся в снеге за одни сутки. Полученные результаты сравнили с распределением концентраций взвешенных веществ в снежном покрове (табл. 1).

С помощью программного комплекса Golden Software Surfer 15 построены картосхемы распределения концентраций и величин депонирования взвешенных веществ в снежном покрове (рис. 3–6).

⁴ Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций хлорид-ионов, нитрит-ионов, сульфат-ионов, нитрат-ионов, фторид-ионов и фосфат-ионов в пробах природных, питьевых и очищенных сточных вод с применением системы капиллярного электрофореза «Капель» (утв. Госкомэкологией России). ПНД Ф 14.1:2:4.157-99. – <http://docs.cntd.ru/document/1200080615> (дата обращения: 25.05.2020).

⁵ Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций катионов калия, натрия, лития, магния, кальция, аммония, стронция, бария в пробах питьевых, природных, сточных вод методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель». ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000. – <http://docs.cntd.ru/document/1200079417> (дата обращения: 25.05.2020).

⁶ Методика количественного химического анализа. Определение элементов в питьевой, минеральной, природной, сточной воде и в атмосферных осадках атомно-абсорбционным методом. М-02-2406-13. – <http://docs.cntd.ru/document/437146086> (дата обращения: 25.05.2020).

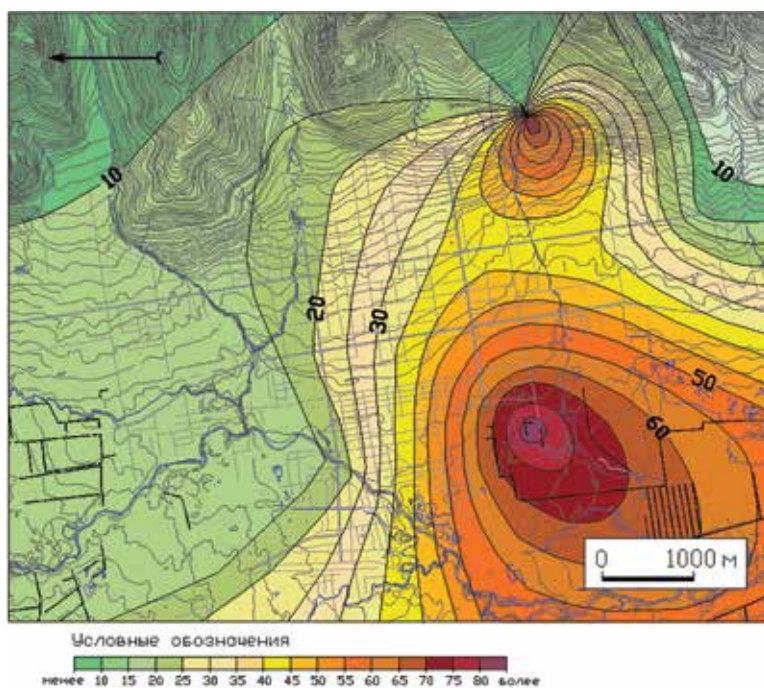


Рис. 3. Картограмма распределения концентраций взвешенных веществ в исследуемом слое снежной толщи в зимнем сезоне 2018/19 г., мг/дм³

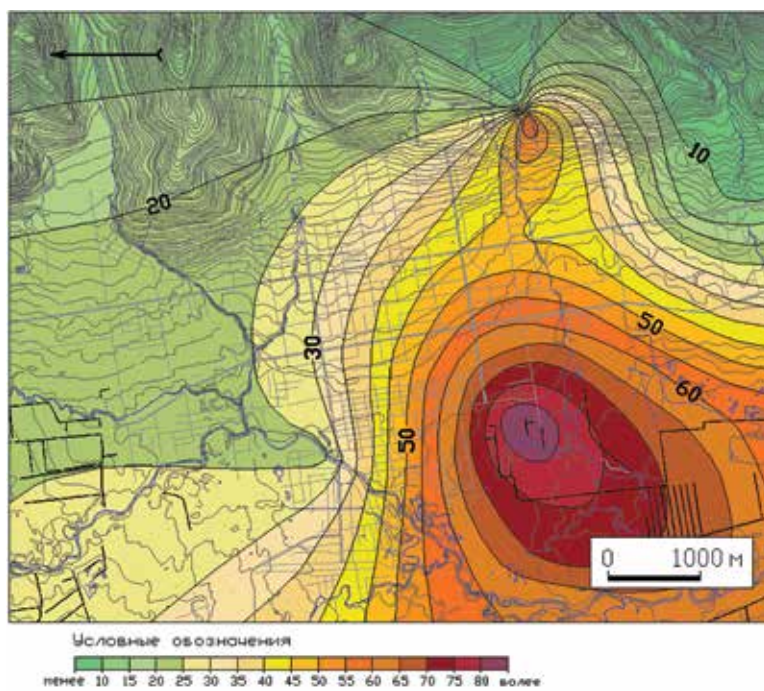


Рис. 4. Картограмма распределения скоростей депонирования взвешенных веществ в исследуемом слое снежной толщи в зимнем сезоне 2018/19 г., (мг/м²) × сут

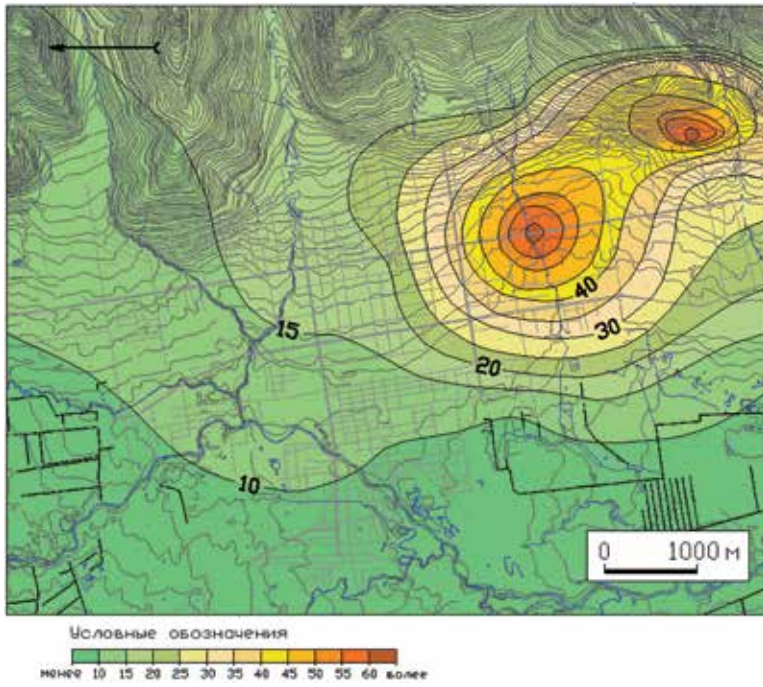


Рис. 5. Картограмма распределения концентраций взвешенных веществ в исследуемых слоях снежной толщи в зимнем сезоне 2019/20 г., мг/дм^3

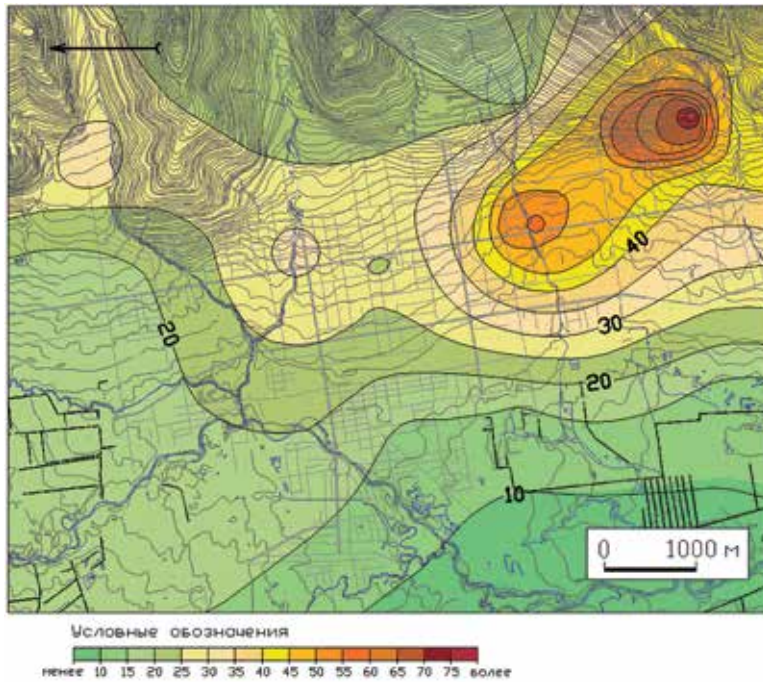


Рис. 6. Картограмма распределения скоростей депонирования взвешенных веществ в исследуемых слоях снежной толщи в зимнем сезоне 2019/20 г., $(\text{мг/м}^2) \times \text{сут}$

Содержание депонированных в снежном покрове Южно-Сахалинска взвешенных веществ в зимние периоды 2018/19 и 2019/20 гг.

Точка	Снегозапас на дату отбора, мм		Концентрация, мг/дм ³		Масса, (мг/м ²) × сут	
	2018/19	2019/20	2018/19	2019/20	2018/19	2019/20
1	14,4	94,5	5,6	24,8	8,1	37,2
2	11,2	81,0	2,1	61,5	2,4	79,1
3	8,0	81,0	74,0	24,4	59,2	31,4
4	12,8	56,7	34,6	62,8	44,3	56,5
5	11,2	75,6	13,5	17,4	15,1	20,9
6	14,4	102,6	19,1	19,6	27,5	31,9
7	17,6	102,6	14,2	11,6	25,0	18,9
8	20,8	132,3	13,5	8,4	28,1	17,6
9	20,8	132,3	9,1	14,8	18,9	31,1
10	11,2	94,5	76,3	9,2	85,5	13,8
11	11,2	75,6	52,0	10,0	58,2	12,0
12н	–	86,4	–	9,8	–	13,4
13н	–	97,2	–	10,4	–	16,1
14н	–	91,8	–	16,8	–	24,5

Примечание. Прочерк – нет данных. Полужирным шрифтом выделены максимальные для сезона значения.

Анализ пылевой нагрузки в зимний сезон 2018/19 г. (рис. 3, 4) показал, что в снежном покрове по ул. Больничная (точки 1, 2) накопление взвешенных веществ в 15 раз меньше, чем по ул. Емельянова (точки 3, 4). Высокий уровень пылевой нагрузки на ул. Железнодорожная (точки 10, 11) связан с проводившейся в тот период реконструкцией улицы, сносом аварийного жилья и возведением новых домов вдоль нее. Средняя по городу скорость депонирования взвешенных веществ в снежном покрове составила 33,84 мг/сут на 1 м².

В зимнем сезоне 2019/20 г. (рис. 5, 6) высокий уровень пылевой нагрузки по ул. Больничной связан со строительными работами. Возведение в районе точки 2 нового жилого микрорайона и сведение древесных насаждений увеличили скорость депонирования пылевых частиц в снегу с 2,35 мг/сут зимой 2018/19 г. до 79,07 мг/сут в 2019/20 гг. Средняя скорость депонирования взвешенных веществ в снежном покрове составила 28,88 мг/сут на 1 м².

Содержание химических элементов (зимний сезон 2019/20 г.)

Концентрации сульфат-иона в пробах (табл. 2) меняются от 1,9 мг/дм³ (точка 9) до 4,2 мг/дм³ (точка 4), средняя концентрация в пробах – 2,95 мг/дм³. Скорость аккумуляции сульфат-иона на 1 м² меняется от 3 мг/сут (точка 5) до 5,49 мг/сут (точка 12н), средняя скорость – 4,24 мг/сут. Поскольку основной источник сульфат-иона – выбросы промышленных предприятий, ТЭЦ, котельных, а крупных промышленных предприятий в Южно-Сахалинске нет и существующая ТЭЦ переведена на газ, то концентрации депонированного здесь в снежной толще сульфат-иона незначительны и слабо варьируют в зависимости от района города.

Колебания значений концентрации хлорид-иона (табл. 2) от 2,65 мг/дм³ (точка 9) до 34,30 мг/дм³ (точка 4), средняя концентрация в пробах – 13,04 мг/дм³. Скорость аккумуляции хлорид-иона на 1 м² от 5,57 мг/сут (точка 9) до 53,34 мг/сут (точка 8), среднее ее значение 18,46 мг/сут. Хлориды хорошо растворимы и обладают высокой миграционной способностью. Основным источником хлоридов в снежном покрове Южно-Сахалинска

Концентрация загрязняющих веществ в пробах и масса аккумулирующегося в снеге загрязнителя

Точка	Хлорид-ион		Сульфат-ион		Кальций		Натрий		Цинк	
	C_v	M_3	C_v	M_3	C_v	M_3	C_v	M_3	C_v	M_3
1	16,50	24,75	3,10	4,65	2,10	3,15	15,00	22,50	0,0120	0,0180
2	10,00	12,86	2,40	3,09	1,78	2,29	11,00	14,14	0,0140	0,0180
3	18,70	24,04	2,80	3,60	3,00	3,86	17,00	21,86	0,0060	0,0077
4	34,30	30,87	4,20	3,78	4,00	3,60	28,00	25,20	0,0070	0,0063
5	7,10	8,52	2,50	3,00	1,03	1,24	6,00	7,20	0,0000	0,0000
6	10,90	17,75	2,80	4,56	1,65	2,69	9,00	14,66	0,0000	0,0000
7	11,10	18,08	3,10	5,05	1,37	2,23	8,00	13,03	0,0100	0,0163
8	25,40	53,34	2,50	5,25	1,49	3,13	17,00	35,70	0,0100	0,0210
9	2,65	5,57	1,90	3,99	0,82	1,72	2,50	5,25	0,0000	0,0000
10	5,90	8,85	2,90	4,35	1,38	2,07	5,00	7,50	0,0050	0,0075
11	14,90	17,88	3,60	4,32	2,20	2,64	11,00	13,20	0,0220	0,0264
12н	13,20	18,10	4,00	5,49	1,64	2,25	10,00	13,71	0,0160	0,0219
13н	5,40	8,33	2,70	4,17	2,10	3,24	4,00	6,17	0,0000	0,0000
14н	6,50	9,47	2,80	4,08	1,24	1,81	5,00	7,29	0,0170	0,0248

Примечание. C_v – концентрация загрязнителя, мг/дм³; M_3 – масса загрязнителя на 1 м², мг/сут.

являются противогололедные реагенты. По этой причине максимальные концентрации наблюдались вдоль крупных автодорог и в районе ул. Больничной (точка 2), где на момент проведения исследования велись строительные работы с привлечением большого количества тяжелой техники.

Концентрация катионов кальция (табл. 2) – от 0,82 мг/дм³ (точка 9) до 4 мг/дм³ (точка 4), средняя – 1,84 мг/дм³. Скорость аккумуляции кальция на 1 м² от 1,24 мг/сут (точка 5) до 3,86 мг/сут (точка 3), средняя скорость 2,56 мг/сут. Основным источником поступления депонированного в снегу кальция является хлорид кальция (CaCl₂), применяемый как противогололедный реагент.

Содержание катионов натрия (табл. 2) в пробах меняется от 2,5 мг/дм³ (точка 9) до 28 мг/дм³ (точка 4), средняя концентрация 10,61 мг/дм³. Скорость аккумуляции натрия на 1 м² – от 5,25 мг/сут (точка 9) до 35,7 мг/сут (точка 8), средняя – 14,81 мг/сут. В поверхностных водах натрий мигрирует преимущественно в растворенном состоянии, т.е. в виде иона. Главным источником натрия в снежном покрове является NaCl – основной противогололедный реагент, применяемый в Южно-Сахалинске. Высокие концентрации этих ионов определены и в пробах талой воды с городских снежных полигонов [3].

Максимальное содержание цинка в пробах (табл. 2) по городу составило 0,022 мг/дм³ (точка 11), в точках 5, 6, 9, 13н содержание цинка в пробах оказалось ниже определяемого предела измерений. Максимальная скорость аккумуляции цинка на 1 м² – 0,026 мг/сут (точка 11). Источниками цинка в пробах снега, скорее всего, являются отходы старых промышленных предприятий и мелких организаций, занимающихся кузовным ремонтом автотранспорта, которые расположены по ул. Железнодорожной.

Содержание свинца во всех пробах оказалось ниже определяемого предела измерений.

Выводы

В условиях городской гетерогенной среды для районирования количества загрязняющих веществ целесообразно использовать величину скорости накопления

поллютантов на 1 м² территории. Данный подход позволяет точнее вычислить количество загрязняющих веществ, которые поступят в окружающую среду в период снеготаяния.

Для более точного районирования загрязнения снежного покрова урбанизированных территорий определение количества депонированных в снежном покрове загрязняющих веществ необходимо проводить, учитывая данные стратиграфических наблюдений снежной толщи.

Максимальная концентрация взвешенных веществ в снежном покрове на территории Южно-Сахалинска в зимнем сезоне 2018/19 г. зафиксирована вблизи перекрестка улиц Железнодорожной и Пограничной (точка 10) – 76,3 мг/дм³, там же установлена максимальная скорость аккумуляции взвешенных веществ – 85,46 мг/сут на 1 м².

В зимнем сезоне 2019/20 г. максимальная концентрация взвешенных веществ в снеге составила 62,8 мг/дм³ на перекрестке пр. Мира и ул. Емельянова (точка 4), максимальная скорость аккумуляции взвешенных веществ – 79,07 мг/сут на 1 м² – на перекрестке улиц Горького и Больничной (точка 2).

На уровень пылевого загрязнения на территории Южно-Сахалинска в наибольшей степени влияют работы по строительству и реконструкции зданий и сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демиденко Г.А., Владимирова Д.С. Оценка антропогенного загрязнения снежного покрова левобережья г. Красноярска // Вестн. КрасГАУ. 2014. № 9. С. 120–124.
2. Лабужева О.М., Носкова Т.В., Лысенко М.С., Овчаренко Е.А., Папина Т.С. Снежный покров городской территории как источник техногенного загрязнения поверхностных вод в период снеготаяния // Принципы экологии. 2016. № 4. С. 33–41. DOI: 10.15393/j1.art.2016.5203.
3. Лобкина В.А., Музыченко А.А., Михалев М.В. Динамика геохимического состояния грунтов в районах размещения снежных полигонов (г. Южно-Сахалинск) // Криосфера Земли. 2019. Т. 23, № 4. С. 60–67.
4. Маврин Г.В., Падемирова Р.М., Мансурова А.И. Влияние интенсивности автотранспорта на загрязненность снежного покрова // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. № 11-2. С. 51–54.
5. Музыченко А.А., Лобкина В.А. Оценка снежности зим на юге острова Сахалин по данным контрольной площадки наблюдения // Вестн. ДВО РАН. 2018. № 6. С. 115–122.
6. Носкова Т.В., Эйрих А.Н., Дрюпина Е.Ю., Серых Т.Г., Овчаренко Е.А., Папина Т.С. Исследование качества снежного покрова г. Барнаула // Ползуновский вестн. 2014. № 3. С. 208–212. – http://elib.altstu.ru/journals/Files/pv2014_03/pdf/208noskova.pdf (дата обращения: 15.07.2020).
7. Рапута В.Ф., Коковкин В.В., Морозов С.В. Экспериментальное исследование и численный анализ процессов распространения загрязнения снегового покрова в окрестностях крупной автомагистрали // Химия в интересах устойчивого развития. 2010. Т. 18, № 1. С. 63–70. – <https://www.sibran.ru/upload/iblock/db6/db6e94d092dd41f9e232523f4a5eaaf7.pdf> (дата обращения: 15.07.2020).
8. Савватеева О.А., Алексеева Л.И., Каманина И.З., Каплина С.П. Оценка загрязнения территории городского поселения от источников антропогенного воздействия на основе химического анализа снежного покрова на примере Дубны // Совр. пробл. науки и образования. 2007. № 5. С. 115–123. – <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=559> (дата обращения: 07.05.2020).
9. Kuoppamäki K., Setälä H., Rantalainen A.-L., Kotze D.J. Urban snow indicates pollution originating from road traffic // Environ. Pollut. 2014. Vol. 195. P. 56–63. – <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749114003583?via%3Dihub> (дата обращения: 15.07.2020).