

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 551.578.42, 551.579.2, 550.46

doi: 10.26110/ARCTIC.2022.117.4.003

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ГОРОДА НАДЫМ

*Александр Сергеевич Печкин¹, Елена Владимировна
Шинкарук², Александр Сергеевич Красненко³*

^{1, 2, 3}Научный центр изучения Арктики, Салехард, Россия

¹a.pechkin.ncia@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-8558-7247>

²elena1608197@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0003-4782-6275>

³aleks-krasnenko@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0001-8910-8525>

Аннотация. Анализ микроэлементного состава и пространственного (или зонального) распределения снежного покрова показал, что концентрации металлов имеют четкую корреляционную связь с показателями сухого остатка и взвешенного вещества. Причиной повторяемости показателей служат несколько факторов: содержание Cr, Co, Ni, Cu и Zn связано с сжиганием нефтепродуктов на стоянках и регулируемых перекрестках (прогрев и движение автомобилей), где содержание взвеси (особенно в морозы) в воздухе оседает локально. Содержание Ti, Mn, Fe и As в снежном покрове, вероятнее всего, связано с песчаной посыпкой дорог общего пользования в период гололеда.
Ключевые слова: снежный покров, качество талой воды, ионный состав, элементный состав, поллютанты, Надым, Ямало-Ненецкий автономный округ.

Цитирование: А.С. Печкин, Е.В. Шинкарук, А.С. Красненко. Экологический мониторинг снежного покрова города Надым // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2022. (117). № 4. С. 52-73. Doi: 10.26110/ARCTIC.2022.117.4.003

Original article

ECOLOGICAL MONITORING OF THE SNOW COVER OF THE CITY NADYM

Aleksandr S. Pechkin¹, Elena V. Shinkaruk², Aleksandr S. Krasnenko³

^{1,2,3}Arctic Research Center, Salekhard, Russia

¹a.pechkin.ncia@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-8558-7247>

²elena1608197@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0003-4782-6275>

³aleks-krasnenko@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0001-8910-8525>

Abstract. Analysis of the trace element composition and spatial (or zonal) distribution of snow cover showed that metal concentrations have a clear correlation with the indicators of dry residue and suspended matter. The reason for the repeatability of the indicators are several factors: the content of Cr, Co, Ni, Cu and Zn is associated with the burning of petroleum products in parking lots and regulated intersections (warming up and driving cars), where the content of suspension (especially in frosts) in the air settles locally. The content of Ti, Mn, Fe and As in the snow cover is most likely due to the sandy sprinkling of public roads during the period of ice.

Keywords: snow cover, melt water quality, ionic composition, elemental composition, pollutants, Nadym, Yamal-Nenets Autonomous Okrug.

Citation: A.S. Pechkin, E. V. Shinkaruk, A.S. Krasnenko. Ecological monitoring of the snow cover of the city Nadym // Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2022. (117). № 4. P. 52-73. Doi: 10.26110/ARCTIC.2022.117.4.003

Введение

Интенсивное промышленное освоение нефтяных и газовых месторождений Ямало-Ненецкого автономного округа исторически тесно связано с высокой степенью урбанизации территории (в городах и поселках округа проживает до 86% населения) [1]. Главными источниками загрязнения крупных населенных пунктов являются техногенные эмиссии, а перенос и накопление поллютантов происходит воздушным и водным

путями [2, 3, 4]. Кроме предприятий топливно-энергетического комплекса, мощным локальным фактором загрязнения в регионе являются промышленные предприятия и хозяйственные системы, связанные и с городскими территориями. Согласно официальным данным об экологической ситуации в ЯНАО [5, 6, 7] суммарные выбросы загрязняющих веществ от деятельности местных обрабатывающих производств, предприятий жилищно-коммунального комплекса и транспорта могут достигать до 10% от всех выбросов по региону. Важно при этом отметить, что подробная информация, связанная с уровнем геохимического загрязнения снежного покрова урбанизированных территорий округа, практически отсутствует.

Состав снега (концентратора атмосферных примесей) служит косвенным показателем загрязнения приземных слоев атмосферы, дает информацию о пространственном распределении химических элементов и интенсивности воздействия источников выбросов за определенный период: период одного снегопада или за весь период снегонакопления [8]. Снежный покров, обладая высокой, но ограниченной по времени сорбционной способностью, в период осадконакопления захватывает существенную часть продуктов техногенезиса из атмосферы. По данным метеонаблюдений, в аэропорту г. Надыма за 10 лет [9] самые ранняя и поздняя даты наличия снежного покрова фиксируются на 20.09.2014 и 07.06.2014 гг., что соответствует периоду более 8 месяцев и является необходимым при изучении экологического состояния урбанизированных территорий Арктической зоны Российской Федерации.

Целью данной работы является определение пространственного распределения загрязнения снежного покрова в период максимального снегонакопления.

Материалы и методы

Мониторинг снежного покрова города Надыма проводится в период с 2020-го по 2022 г. При отборе снежного покрова были охвачены основные функциональные зоны города: селитебная, транспортная, парково-рекреационная, общественно-деловая и промышленно-складская зона (гаражные кооперативы). В качестве фоновых выбраны участки подножья Надымских «сопок», расположенных в 5 км от города (№ точек 1 и 6) (рис. 1).

Отбор снега проводился на участках, не подверженных деятельности коммунальных служб города (уборка и складирование снега), на всю глубину залегания снежного покрова. Пробы снега массой до 8 кг отбирали в пищевые полиэтиленовые пакеты 25 марта 2020 г., 19 марта 2021 г. и

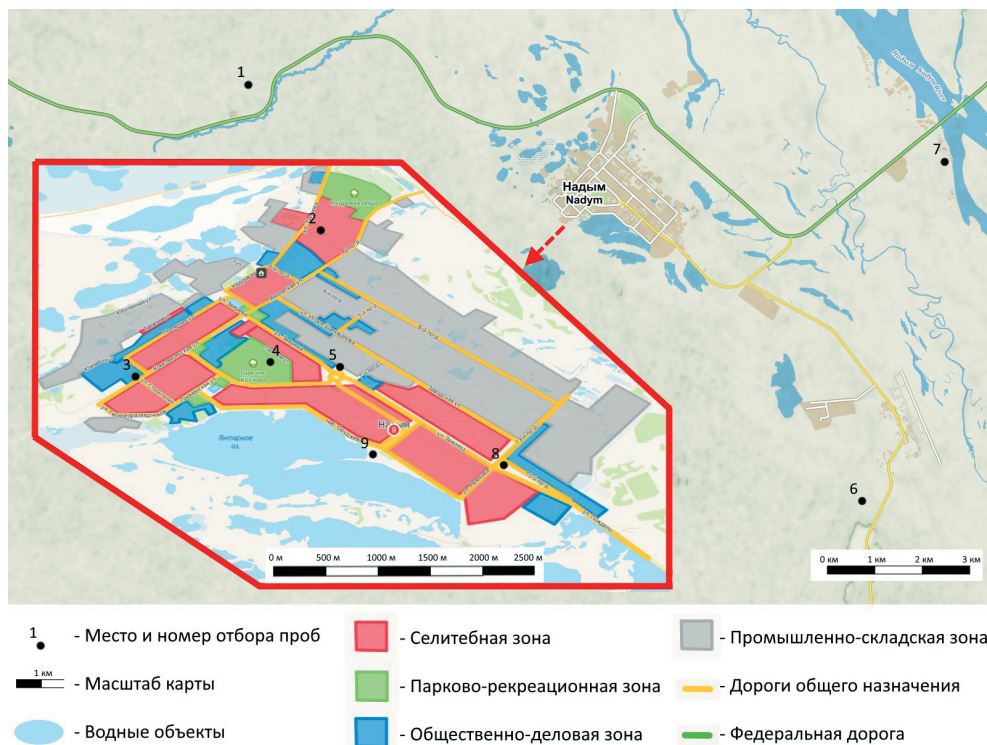


Рис. 1. Схема отбора проб снежного покрова

15 марта 2022 г. При отборе проводилось морфологическое описание горизонтов и определялись объемы снегонакопления при помощи весового снегомера ВС-43 [10].

Снег растапливали при комнатной температуре и фильтровали [10]. Лабораторные исследования проводились на базе ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», г. Надым. Определение элементного состава проводили на рентгеновском энергодисперсионном спектрометре БРА-135F [11]; определение рН – на лабораторном мономере И-160МИ [12]; удельная электропроводность – АНИОН 4120 [13]; сухой остаток и взвешенные вещества – весы лабораторные ВЛ-224АЛ [13]; ионный состав – на спектрофотометре ПромЭкоЛаб Пэ-5400УФ [14].

Оценка степени опасности загрязнения снежного покрова рассчитывалась по показателям коэффициента концентрации химического вещества и суммарного показателя загрязнения в соответствии с «Методическими рекомендациями по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве» [10].

Результаты исследования и их обсуждение

Климат

По агроклиматическому районированию климат города относится к северотаежному типу с суровым ветренным зимним периодом и с дождливым летним. Ближайшая метеостанция расположена в 8 км, в аэропорту. Метеорологические показатели характеризуются низкой среднегодовой температурой воздуха $-3,6$ °С, средней минимальной температурой $-46,5$ °С, средней максимальной температурой $-31,9$ °С. Среднегодовая облачность равна 56%, количество осадков составляет 563,4 мм, число дней с осадками – 255. (таблица 1). Среднегодовое давление составляет 757,7 мм рт. ст., относительная влажность – 78,8%. Среднегодовая скорость ветра составляет 3,3 м/с, преобладающее направление ветра южное (рис. 2). Среднегодовая высота снежного покрова равна 50,3 см, максимальная среднегодовая высота снежного покрова достигает 207 см. Самая ранняя дата наличия снежного покрова – 20.09.2010 г., самая поздняя дата наличия снежного покрова 07.06.2014 г. [9].

Таблица 1. Характеристики температуры воздуха и высота снежного покрова

Год	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Средняя температура воздуха									
2020	6,2	-1,4	-16,5	-15,3	-17,6	-11,5	-6,6	0,9	8,5
2021	9,4	-2,5	-8,6	-22,1	-30,4	-29,2	-16,6	-1,1	6,0
2022	6,0	-0,3	-14,8	-23,6	-18,7	-16,0	-13,2	-4,1	7,6
Максимальная температура воздуха									
2020	20,5	10,2	-1,8	0,4	-1,6	0,9	5,3	8,8	27,2
2021	21,9	12,6	1,2	-0,5	-8,6	-8,4	1,3	9,3	31,4
2022	21,3	10,4	2,4	-4,0	-5,6	-2,1	1,9	10,8	23,5
Минимальная температура воздуха									
2020	-2,7	-12,9	-33,9	-35,0	-41,6	-41,8	-27,0	-10,9	-5,2
2021	-1,7	-26,8	-26,6	-47,3	-47,1	-46,2	-43,3	-20,5	-3,3
2022	-6,5	-17,2	-33,0	-43,9	-33,5	-35,3	-38,5	-21,8	-8,6
Сумма осадков									
2020	73	69	42	25	17	21	27	32	50
2021	19	59	41	20	17	57	28	23	43
2022	58	47	42	39	36	23	21	29	26

Продолжение таблицы 1

Год	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Средняя высота снежного покрова									
2020	-	12,1	31,3	52,8	74	83,5	92,1	61,9	-
2021	-	16,1	21,6	31,4	38,9	53,8	57,8	31,6	-
2022	-	1,8	11,2	35,1	54,4	60,2	65,5	47,7	11,4
Максимальная высота снежного покрова									
2020	-	20	43	66	79	89	95	92	-
2021	-	19	25	35	42	56	62	63	-
2022	-	5	25	41	59	62	68	207	25

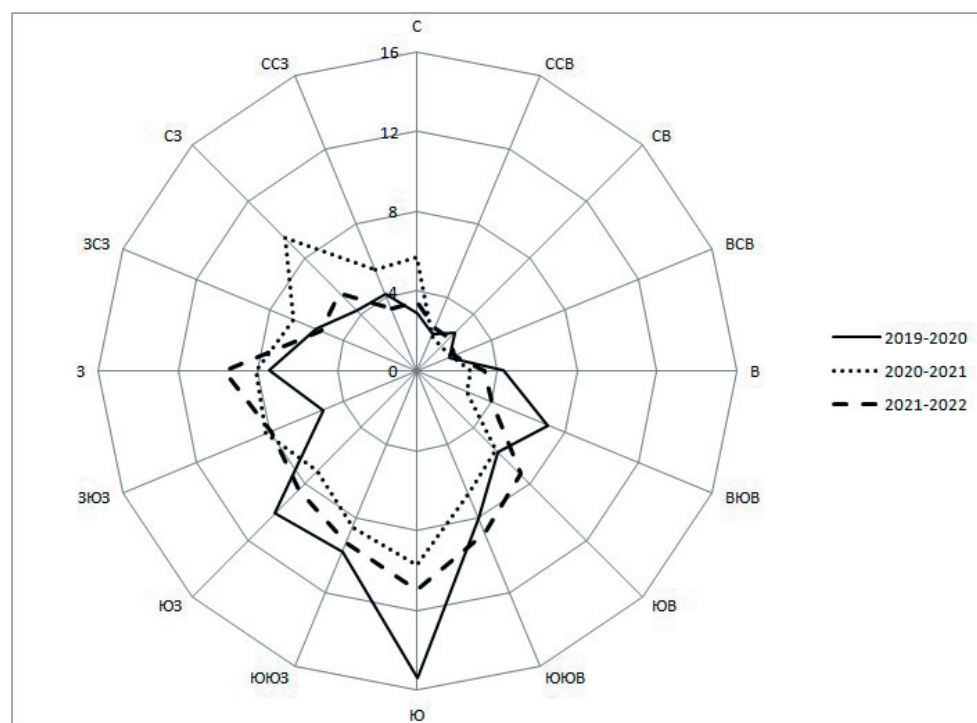


Рис. 2. Направление ветра в г. Надыме

Снегонакопление и морфология

Максимальное накопление снежного покрова на территории г. Надыма фиксируется на вторую – третью декаду марта. В это время года структура снежного покрова еще не видоизменяется: отсутствуют в верхней части коркообразование (радиационное и ветровое) и переувлажнение нижних слоев.

Строение вертикального разреза снежного покрова внутри города схоже со строением на фоновых участках (рис. 3). Исключением, являются встречающиеся горизонты серого цвета, а также на некоторых участках ветровые и радиационные корки.

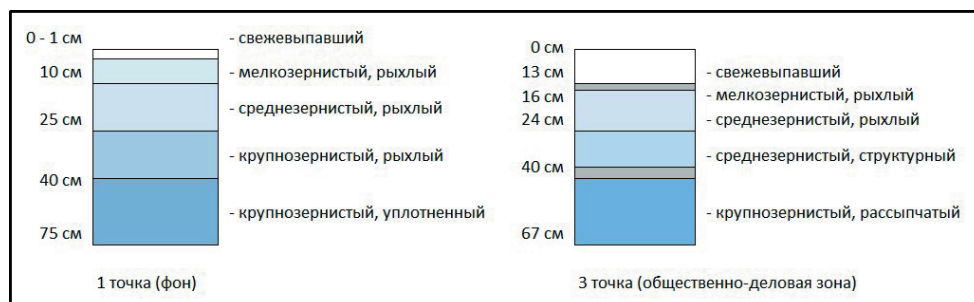


Рис. 3. Схема морфологической структуры снежного покрова на фоновой и урбанизированной территории по состоянию на 2022 г.

Результаты распределения высоты снежного покрова имеют существенные отличия (таблица 2). За пределами города на фоновых участках высота снежного покрова выше, но при этом плотность снега меньше относительно значений данных, полученных в городе. Высота ежегодного накопления снежного покрова в местах исследования также отличается между собой, но средние данные снегонакопления на участках исследования коррелируются с данными метеостанции.

Таблица 2. Места отбора проб и физические характеристики снежного покрова

№ точки	Координаты	Место отбора	Глубина отбора, см. Плотность снега г/см ³		
			25.03.2020	19.03.2021	15.03.2022
1	N 65°33'26,74" E 72°20'8,58"	г. Надым (подножье сопки)	80 15,9	89 15,4	75 17,8
2	N 65°32'51,57" E 72°31'34,97"	г. Надым (ул. Топчева, напротив д. 1)	44 10,6	75 24,2	47 10,9
3	N 65°32'51,57" E 72°31'34,97"	г. Надым (ул. Комсомольская/ Сенькина, сквер)	38 10,6	65 14,8	67 13,7
4	N 65°31'59,48" E 72°31'1,84"	г. Надым (парк им. Козлова)	70 18,7	65 14,8	75 19,1
5	N 65°31'56,52" E 72°32'1,94"	г. Надым (ЗКПД)	52 27,7	72 17,6	57 16,9

Продолжение таблицы 2

№ точки	Координаты	Место отбора	Глубина отбора, см. Плотность снега г/см ³		
			25.03.2020	19.03.2021	15.03.2022
6	N 65°27'39,43" E 72°40'34,77"	г. Надым (сопки 0-м км)	110 29,9	112 17,5	69 18,5
7	N 65°32'29,67" E 72°42'45,16"	г. Надым (гидропост, 107-й)	58 12	43 10,5	78 17,5
8	N 65°31'26,71" E 72°33'16,56"	г. Надым (въезд в город, развилка, перекрёсток ул. Рыжкова/Зверева)	44 13,8	50 9,9	80 20,2
9	N 65°31'29,51" E 72°32'11,05"	г. Надым (оз. Янтарное, напротив бульвара Стрижова)	70 18,7	83 19,2	125 27,8
Среднее количество			62,9 17,5	72,7 16,0	74,8 18,0
Метеостанция г. Надыма (аэропорт), высота, см			макс. - 95 ср. - 62,4	макс. - 63 ср. - 37,2	макс. - 207 ср. - 43,4

Вероятнее всего, распределения высоты снежного покрова внутри города отличаются между собой из-за особенности строения зданий – при проектировании города был сделан акцент на ветрозащиту внутренней дворовой зоны. Так, например, в точке 2 высота снежного покрова в 2020-м и 2021 годах выше, чем в точке 8 за аналогичный период. Распределение масс снежного покрова на фоновых участках (1-я и 6-я точки) отличается в 2020-м и 2022 годах из-за количества выпавших осадков.

Качество снежного покрова

Величина кислотности снега — главный интегральный показатель загрязненности атмосферных осадков, образующейся в результате трансформации пылегазовых выбросов автомобильного транспорта на техногенных территориях [15, 16, 17]. Величина рН суммарных проб снега за исследуемый период изменялась довольно значительно: от 4,21 до 7,62 (таблица 3). Для Надыма максимальные значения рН снега (более 7) за рассматриваемый период были выявлены на 8-й точке (въезд в город) и на 5-й точке (район ЗКПД). Минимальные значения рН снега (ниже 5) на 1-й точке (фоновый участок на сопках) и на 7-й точке (107-й поселок). Фоновые значения отличаются от городских только на 1-й точке, на 6-й точке значения идентичны городским и загородным значениям. Среднее значение рН за период 2020 - 2022 гг. для Надыма составляет 6,56. Таким образом, все пробы, отобранные за рассматриваемый период, по степени кислотности можно отнести к слабокислым и нейтральным осадкам.

Таблица 3. Основные показатели первичного индикатора загрязнения снежного покрова по данным 2021–2022 гг.

№ точки	рН			УЭП, мкСм/см			Сухой остаток, мг/л		Взвешенные в-ва, мг/л	
	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2021	2022	2021	2022
1	4,21	5,58	5,90	7,5	5,30	7,1	5,6±0,1	9±2	4,5±0,8	1,0±0,22
2	6,57	6,85	6,57	11,2	13,20	12,1	12±2	19±3	44±4	11±1
3	6,68	6,93	6,85	13,7	21,50	24,2	41±7	21±3	90±9	11±1
4	6,97	6,79	6,87	8,4	14,00	19,9	16±3	26±4	20±2	8,6±1,5
5	7,18	7,30	7,03	22,5	16,20	27,4	15±2	24±4	89±9	27±3
6	6,82	6,18	6,40	7,9	6,20	11,7	6,4±1,1	20±3	10±1	27±0,5
7	5,38	5,76	6,44	4,9	6,70	8,1	7,6±13	8±1	4,4±0,8	Менее 0,5
8	7,44	7,62	7,20	28,0	24,00	36,6	26±4	35±6	Более 100	51±5
9	6,64	6,44	6,58	5,7	9,8	11,2	17±3	17±3	2,7±0,5	2,4±0,4
Ср.	6,43	6,61	6,65	12,20	12,99	17,59	16,29	19,89	40,51	15,50

В качестве первичного индикатора загрязнения (химического состава) снежного покрова можно рассматривать удельную электропроводимость (УЭП) [18]. Наименьшие значения фиксируются на фоновых участках (1, 6, 7, 9-я точки), максимальные значения вблизи перекрестков и светофоров (5, 8). Различия полученных значений УЭП в снежном покрове, вероятно связаны с распространением солевого аэрозоля вдоль дорог с разной интенсивностью транспортного потока, что приводит к формированию техногенных аномалий в определенных зонах [17].

Представление о степени минерализации воды дает сухой остаток [19]. Данный показатель характеризует содержание в воде нелетучих растворенных веществ (главным образом минеральных) и органических веществ. Значения по данному показателю (таблица 2) в городе варьируются от 5,6 до 35 мг/л, что также отображает участки с повышенной антропогенной нагрузкой.

Согласно РД 52.24.468–2005 [20] взвешенные вещества – это вещества, которые остаются на фильтре при использовании того или иного способа фильтрования. Общепринятым является отнесение к ним частиц минерального и органического происхождения, остающихся на фильтре при фильтровании пробы через фильтр с диаметром пор 0,45 мкм [19]. Содержание твердых, нерастворимых частиц в снеге невелико из-за слабой запыленности атмосферы в зимний период.

В данном случае накопление взвешенных веществ осуществляется при помощи ветрового переноса на открытых местах. Согласно таблице 3, в 2021 году на точках 2, 3, 5 и 8 (все точки расположены в городе) фикси-

руются максимальные значения, а в 2022 году максимальные значения фиксируются на 5, 8 и 6-м (фон) участках, что соответствует изменению ветровой нагрузки (рисунок 2).

Ионный состав

Важной характеристикой химического состава проб атмосферных осадков наряду с кислотностью является их минерализация. Соли, содержащие ион аммония, гидрокарбонаты, хлориды и сульфат-ионы, накапливаются в снежном покрове за счет осаждения аэрозолей диоксида серы, азота и хлорсодержащих частиц из воздуха вместе с пылью под действием сил гравитации. Дополнительным источником аккумуляции являются процессы химического выветривания и растворения карбонатных пород типа известняков, мергелей и доломитов [21, 22].

В основном, показатели характеризуются низким средним содержанием ионов относительно ПДК (таблица 4). Повышенные значения отмечаются на единичных участках, в показателях гидрокарбонатов и сульфатов на точках 3, 5 и 8 – в местах с повышенной антропогенной нагрузкой (регулируемые перекрестки и стоянки). Пониженные значения отмечаются на фоновых точках 1 и 6 и условно фоновых 4, 7 и 9, что также свидетельствует о локализации и аккумуляции выбросов внутри городского пространства.

Таблица 4. Минеральный состав снежного покрова по данным 2021-2022 гг.

№ точки	Cl, мг/л		SO ₂ , мг/л		NH ₄ , мг/л		HCO ₃ , мг/л	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
1	0,228±0,020	0,355±0,030	менее 0,050	менее 0,050	менее 0,050	1,240±0,120	0,244±0,024	0,790±0,080
2	0,351±0,030	0,284±0,020	1,510±0,450	менее 0,050	0,620±0,060	0,500±0,050	2,380±0,240	4,150±0,410
3	0,386±0,030	0,213±0,020	3,200±1,000	менее 0,050	2,420±0,240	1,100±0,110	4,940±0,490	10,900±1,100
4	0,351±0,030	0,178±0,010	0,890±0,270	0,720±0,220	0,750±0,070	1,030±0,100	2,500±0,250	7,400±0,700
5	0,263±0,030	0,142±0,010	1,190±0,360	0,690±0,210	0,920±0,090	1,210±0,120	7,000±0,700	12,60±1,30
6	0,210±0,020	0,213±0,020	0,680±0,200	0,920±0,280	менее 0,050	0,369±0,030	0,244±0,020	1,590±0,160
7	менее 0,020	0,178±0,010	0,520±0,160	менее 0,050	0,054±0,005	0,078±0,008	0,244±0,020	1,220±0,120
8	менее 0,020	0,213±0,020	5,900±1,800	1,900±0,600	1,580±0,160	1,250±0,130	11,800±1,200	17,20±1,70
9	менее 0,020	0,248±0,020	менее 0,050	менее 0,050	0,470±0,047	0,257±0,020	0,850±0,090	2,200±0,220
Ср.	0,211	0,220	1,550	0,500	0,770	0,780	3,360	6,450
Макс.	0,3860	0,355	5,900	1,900	2,420	1,250	11,800	17,200
Мин.	0,020	0,142	0,050	0,050	0,050	0,078	0,244	0,79
Фон ¹	0,82		0,54		0,77		-	
ПДК ²	350		500		1,5		-	

Фон¹ – по данным результатов справочника по применению средних региональных значений... [23, 24].

ПДК² – по данным результатов ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК)» [25, 26].

По всем точкам содержание ионов неоднородно и имеются различия в показателях фоновых и урбанизированных территорий. Концентрация фоновых и рекреационных участков характеризуется низким средним содержанием ионов: хлорид-ионы – в диапазоне от 0,02 до 0,35 мг/л; концентрация сульфатов – от 0,05 до 0,92 мг/л; ион аммония колеблется от 0,05 до 1,24 мг/л; гидрокарбонаты – от 0,24 до 7,4 мг/л. Повышенные показатели отмечаются в Городском парке культуры и отдыха им. Козлова.

Концентрация ионов на урбанизированных участках гораздо выше: хлорид-ионы – в диапазоне от 0,02 до 0,38 мг/л; концентрация сульфатов – от 0,05 до 5,9 мг/л; ион аммония колеблется от 0,05 до 2,42 мг/л; гидрокарбонаты – от 0,24 до 17,2 мг/л. Наиболее повышенные концентрации отмечаются на точках 8, 5, 3, где располагаются перекрестки и транспортные развязки.

При сравнении ионного состава снежного покрова 2021-го и 2022 годов наблюдается повсеместное увеличение значений концентрации в пробах. Вероятно, это возникло по 2 причинам: последствия изменения направления ветра (рисунок 2) и изменение температурных показателей (таблица 1). При скачках температур и особенно при резком потеплении увеличивается вероятность возникновения гололеда на дорогах общего пользования и тротуарах. Во избежание аварий и травмирования скользкие участки дополнительно посыпают песком и противогололедным материалом, что также содержит в себе повышенную концентрацию исследуемых ионов. Кроме того, увеличивается мобильность населения на личном автотранспорте, так как появляется возможность эксплуатации техники в рабочем диапазоне, с наименьшим износом элементов деталей, чем при более низких температурах.

Микроэлементный состав

Селективными индикаторами эмиссии веществ, поступающих в атмосферу в результате антропогенной активности, служат микроэлементный состав и его концентрации в атмосферных осадках [18, 21]. Изучая содержание и соотношения металлов в снежном покрове и их связь с элементами земной коры, можно идентифицировать источники загрязнения и оценить их вклад в общее содержание определяемых металлов за период снегонакопления. В округе поступление в атмосферу некоторых элементов связывают с сжиганием нефтепродуктов и угля, но в большей степени с переносом из подстилающей поверхности (песчаные раздувы, карьеры, отсыпки). К числу основных антропогенных факторов, определяющих микроэлементный состав, относится поступление поллютантов с производственных площадок и объектов инфраструктуры [22].

Содержание в талой воде растворимых форм тяжелых металлов (таблица 5) по Надыму и его окрестностям варьирует от 0,0006 мг/л (для Ni) до 23,8093 (для Fe). Содержание хрома, кобальта, никеля, цинка и мышьяка не превышает 0,174 мг/л. Среднее содержание меди составляет 0,725 мг/л. Марганец встречается на отдельных участках и не превышает 0,489 мг/л. Содержание железа, как и у марганца, встречается на отдельных участках и колеблется от 7,333 до 23,809 мг/л. Содержание титана повсеместно колеблется от 2,682 до 7,051 мг/л.

Таблица 5. Элементный состав в снежном покрове по данным 2020 г.

№ точки	Cr, мг/л	Mn, мг/л	Fe, мг/л	Co, мг/л	Ni, мг/л	Cu, мг/л	Zn, мг/л	As, мг/л	Ti, мг/л
1	0,007	0,001	0,001	0,001	0,001	0,762	0,506	0,032	2,773
2	0,057	0,171	7,333	0,001	0,001	0,693	0,515	0,028	4,904
3	0,073	0,316	14,700	0,001	0,001	0,648	0,493	0,028	6,388
4	0,015	0,000	0,001	0,001	0,001	0,770	0,528	0,032	3,261
5	0,002	0,348	15,622	0,001	0,001	0,590	0,512	0,024	7,051
6	0,013	0,001	0,001	0,001	0,001	0,772	0,526	0,031	3,198
7	0,007	0,001	0,001	0,001	0,001	0,790	0,529	0,034	2,867
8	0,174	0,489	23,809	0,067	0,147	6,403	0,525	0,028	6,569
9	0,006	0,001	0,001	0,001	0,001	0,775	0,521	0,032	2,682
Ср.*	0,039	0,147	6,829	0,007	0,016	1,356	0,517	0,030	4,410
Фон ¹	0,008	0,007	0,120	-	0,012	0,044	0,022	-	-
ПДК ²	0,100	0,100	0,300	0,100	0,100	1,000	1,000	-	-

Фон¹ – по данным результатов справочника по применению средних региональных значений... [23, 24].
 ПДК² – по данным результатов ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК)» [25, 26].

Превышение ПДК фиксируется на следующих участках: марганец – от 0,171 до 0,489 мг/л (2, 3, 5, 8-я точки), железо – от 7,333 до 23,809 мг/л (2, 3, 5, 8-я точки). Никель и медь имеют превышение ПДК в 8-й точке – у никеля в 1,4 раза, у меди в 6 раз. Показатели значений концентрации хрома, кобальта и цинка в снежном покрове не имеют превышений ПДК, но показатели выше, чем фоновые значения по Надымскому району [23].

Фоновые значения хрома, марганца, железа, кобальта и никеля совпадают со значениями данных участков, отобранных за городом. Фоновые значения меди и цинка существенно отличаются от значений, отобранных за городом, – превышения по меди до 13 раз, по цинку – до 26 раз.

В фильтраатах талой воды средние концентрации микроэлементов на всех участках наблюдения можно расположить в следующем порядке: Fe > Ti > Cu > Zn > As > Mn > Cr > Ni > Co, что совпадает со значениями фоновых участков 1-й и 6-й точек (Ti > Cu > Zn > As > Cr > Mn = Fe = Co = Ni). Совершенно другой порядок убывания (Fe > Zn > Cr > Mn > Cu > Ni) наблюдался для микроэлементов фона Надымского района [23].

При сравнении результатов элементного состава с данными фоновых значений Надымского района [23, 24] и данными предельно допустимой концентрации тяжелых металлов [25, 26] имеющиеся участки отбора проб вне зависимости от функциональных зон города условно можно разделить на несколько групп: фоновые – 1-я, 6-я точки; селитебные – 2, 3, 7-я точки; рекреационные – 4-я, 9-я точки и техногенно-нагруженные территории – 5-я, 8-я точки (рисунок 4).

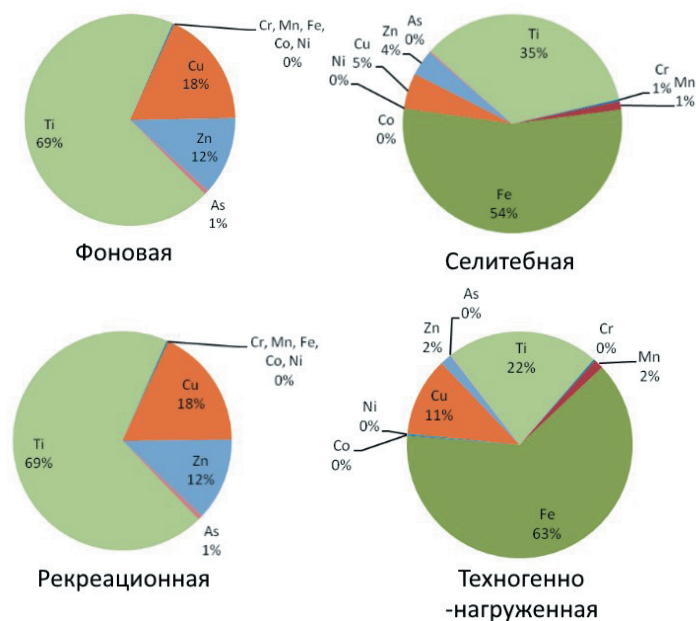


Рис. 4. Диаграммы распределения концентрации тяжелых металлов в разных зонах г. Надыма

Из полученных диаграмм видно, что распределение элементного состава в снежном покрове фоновых участков и рекреационной зоны практически идентичны, что говорит о минимальном накоплении поллютантов в этих районах. Селитебная и техногенно-нагруженная зоны практически совпадают по распределению тяжелых металлов в запасах снега, что вызывает формирование техногенных аномалий из-за влияния отработанных выхлопных газов и переноса пыли и песчаных частиц от отсыпок в периоды гололеда.

Оценка уровня химического загрязнения

Несмотря на то, что концентрация загрязняющих веществ в снежном покрове не является основным показателем, характеризующим загрязнение компонентов окружающей среды, оценка уровня химического загряз-

нения снежного покрова может быть использована в качестве индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения [10, 15, 27]. Проводится по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и гигиенических исследованиях окружающей среды городов с действующими источниками загрязнения [10, 22, 27]. Характеристикой экологического состояния окружающей среды города является значение суммарного показателя загрязнения (Z_c), который равен сумме коэффициентов концентрации химических элементов загрязнителей и выражается следующей формулой [27]:

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1),$$

где n – количество учитываемых химических элементов, а K_c – коэффициент концентрации соответствующего компонента загрязнения, превышающий единицу, и определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в снежном покрове (C_i , мг/кг) к региональному фоновому значению ($C_{фи}$) по формуле:

$$K = C_i / C_{фи}.$$

Сравнение результатов проводилось с уровнем загрязнения снежного покрова (таблица 6).

Таблица 6. Уровни загрязнения снежного покрова металлами [27]

Уровень	Суммарный показатель загрязнения снежного покрова
Низкий	32 - 64
Средний	64 - 128
Высокий	128 - 256
Очень высокий	256

Результаты оценки уровня химического загрязнения в г. Надыме приведены в таблицах 7 и 8.

Таблица 7. Оценка уровня химического загрязнения минерального состава снежного покрова г. Надыма по данным 2021–2022 гг.

№ точки	K_c						Z_c	
	NH ₄	SO ₂	Cl	NH ₄	SO ₂	Cl	2021	2022
	2021			2022				
1	0,06	0,09	0,28	1,61	0,09	0,43	-0,56	1,14
2	0,81	2,80	0,43	0,65	0,09	0,35	3,03	0,09

Продолжение таблицы 7

№ точки	K _c						Z _c	
	NH ₄	SO ₂	Cl	NH ₄	SO ₂	Cl		
	2021			2022			2021	2022
3	3,14	5,93	0,47	1,43	0,09	0,26	8,54	0,78
4	0,97	1,65	0,43	1,34	1,33	0,22	2,05	1,89
5	1,19	2,20	0,32	1,57	1,28	0,17	2,72	2,02
6	0,06	1,26	0,26	0,48	1,70	0,26	0,58	1,44
7	0,07	0,96	0,02	0,10	0,09	0,22	0,06	-0,59
8	2,05	10,93	0,02	1,62	3,52	0,26	12,00	4,40
9	0,61	0,09	0,02	0,33	0,09	0,30	-0,27	-0,27

По результатам химического загрязнения минерального состава снежного покрова территория исследования имеет низкий уровень. В динамике наблюдается спад значений суммарного загрязнения в 2022 году по сравнению с 2021-м. Вероятно, это связано с более теплым зимним периодом 2022 года относительно 2021 года, что сказывается на времени прогрева автомобилей и изменении логистики перемещения, возможности выезда за пределы города Надыма при более благоприятных для этого условиях.

Исключением являются фоновые точки 1 и 6, что также вероятно с потеплением и перераспределением логистики передвижения автомобилей и в связи с увеличением интенсивности движения на участке дороги Надым – Салехард.

Таблица 8. Оценка уровня химического загрязнения элементного состава снежного покрова г. Надыма по данным 2020 г.

№ точки	K _c						Z _c
	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	
1	0,88	0,14	0,01	0,83	17,32	23,00	40,43
2	7,13	24,43	61,11	0,83	15,75	23,41	130,90
3	9,13	45,14	122,50	0,83	14,73	22,41	212,99
4	1,88	0,00	0,01	0,83	17,50	24,00	42,47
5	0,25	49,71	130,18	0,83	13,41	23,27	215,91
6	1,63	0,14	0,01	0,83	17,55	23,91	42,31
7	0,88	0,14	0,01	0,83	17,95	24,05	42,11
8	21,75	69,86	198,41	122,50	145,52	23,86	470,65
9	0,75	0,14	0,01	0,83	17,61	23,68	41,28

Отличаются показатели химического загрязнения элементного состава. Низкие показатели наблюдаются на фоновых и рекреационных точках 1, 4, 6, 7, 9 (от 40,43 до 42,47), высокий уровень фиксируется на 2, 3 и 5-й точках (от 130,90 до 215,91), очень высокий фиксируется на 8-й точке (470,65).

Показатели уровней загрязнения снежного покрова идентичны результатам оценки распределения элементного состава: минимальное накопление поллютантов фиксируется в снежном покрове фоновых участков и рекреационной зоны. Селитебная и техногенно нагруженная зоны имеют высокий и очень высокий уровень, что также вызывает формирование техногенных аномалий из-за влияния отработанных выхлопных газов.

Заключение

Анализ микроэлементного состава снежного покрова показал, что концентрации металлов имеют четкую корреляционную связь с показателями сухого остатка и взвешенного вещества. Причиной повторяемости показателей служат несколько факторов: содержание Cr, Co, Ni, Cu и Zn связано с сжиганием нефтепродуктов на стоянках и регулируемых перекрестках (прогрев и движение автомобилей), где содержание взвеси (особенно в морозы) в воздухе оседает локально. Содержание Ti, Mn, Fe и As в снежном покрове вероятнее всего связано с песчаной посыпкой дорог общего пользования в период гололеда. Эти же выводы подтверждаются при зональном распределении элементного состава снежного покрова.

По результатам уровней химического загрязнения минерального состава снежного покрова наблюдается спад значений суммарного загрязнения в 2022 году по сравнению с 2021. По результатам химического загрязнения элементного состава низкий уровень наблюдается на фоновых и рекреационных участках, высокий уровень на селитебных участках, а высокий и очень высокий – на техногенно нагруженной зоне.

Список источников

1. Муленко В.В., Сапрыкина К.М. Экологические и экономические риски разработки морских нефтегазовых месторождений Крайнего Севера //Территория Нефтегаз. – 2016. – № 2. – С. 94-99.
2. Vilchek G. E., Vykova O. Y. The origin of regional ecological problems within the northern Tyumen Oblast, Russia //Arctic and Alpine Research. – 1992. – С. 99-107.
3. Тентюков М.П. Техногенное загрязнение атмосферы и связанные с ним повреждения почвенного растительного покрова в районах промышленного освоения Субарктики (на примере тундровых ландшафтов Центрального Ямала // Вестник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 2005, № 10(96). – С. 2-7.
4. Московченко Д.В. Особенности многолетней динамики растительности Бованенковского месторождения (полуостров Ямал) //Вестник

- Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования. – 2013. – № 12.
5. Доклад об экологической ситуации в Ямало-Ненецком автономном округе в 2018 г. – Салехард, 2019. – 215 с.
 6. Доклад об экологической ситуации в Ямало-Ненецком автономном округе в 2019 г. – Салехард, 2020. – 347 с.
 7. Доклад об экологической ситуации в Ямало-Ненецком автономном округе в 2020 г. – Салехард, 2021. – 273 с.
 8. Еремина И.Д. Кислотность и химический состав снежного покрова в Москве и Подмосковье за период 1999-2006 гг. / И.Д. Еремина, А.В. Григорьев // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2010. – № 3. – С. 55-60. – EDN MVXLRH.
 9. Rp5.ru расписание погоды [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://rp5.ru/Архив погоды в Надыме>. Заглавие с экрана (дата обращения: 06.07.2022).
 10. Зарина Л.М., Гильдин С.М. Геоэкологический практикум: Учебно-методическое пособие. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2011. – 60 с.
 11. ГОСТ 33850-2016. Межгосударственный стандарт почвы. Определение химического состава методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии.
 12. РД 52.04.878-2019 «Отбор проб при наблюдениях за химическим составом атмосферных осадков».
 13. РД 52.04.878-2019 Отбор проб при наблюдениях за химическим составом атмосферных осадков (Приложение Б).
 14. РД 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы.
 15. Чагина Наталья Борисовна, Айвазова Елена Анатольевна, Иванченко Николай Леонидович, Варакин Евгений Александрович. Анализ снежного покрова придорожных территорий г. Архангельска // Arctic Environmental Research. 2015. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-snezhnogo-pokrova-pridorozhnyh-teritoriy-g-arhangelska> (дата обращения: 08.07.2022).
 16. Московченко Д.В. Особенности формирования химического состава снеговых вод на территории Ханты-Мансийского автономного округа / Д.В. Московченко, А.Г. Бабушкин // Криосфера Земли. – 2012. – Т. 16. – № 1. – С. 71-81. – EDN OSJJGN.
 17. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве № 5174-90, 1990. ИМГРЭ, Москва, 7.
 18. Микроэлементный и изотопный состав снежного покрова Катунского природного биосферного заповедника (Республика Алтай) / Т.С. Папина, А.Н. Эйрих, Н.С. Малыгина [и др.] // Лёд и снег. –

2018. – Т. 58. – № 1. – С. 41-55. – DOI 10.15356/2076-6734-2018-1-41-55. – EDN YSIAMQ.
19. Чаловская О.В. Исследование кислотности атмосферных осадков на урбанизированных территориях и оценка изменений, происходящих в компонентах природной среды: Дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36: Оренбург, 2004, 185 с. РГБ ОД, 61:04-5/2688.
 20. РД 52.24.468-2005 Взвешенные вещества и общее содержание примесей в водах. Методика выполнения измерений массовой концентрации гравиметрическим методом.
 21. Снежко С.И. Источники поступления тяжелых металлов в атмосферу / С.И. Снежко, О.Г. Шевченко // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2011. – № 18. – С. 35-37.
 22. Кукушкин С.Ю. Индикаторы антропогенной нагрузки на природно-территориальные комплексы при освоении нефтегазоконденсатных месторождений севера Западной Сибири: специальность 25.00.36 «Геоэкология (по отраслям)»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук / Кукушкин Степан Юрьевич. – Санкт-Петербург, 2017. – 25 с.
 23. Справочник по применению средних региональных значений содержания контролируемых компонентов на мониторинговых полигонах при оценке состояния и уровня загрязнения окружающей среды на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, подготовленный в 2014 году в рамках НИР по государственному контракту № 18/14 от 25.06.2014 «Осуществление экологического мониторинга Ямало-Ненецкого автономного округа».
 24. Приказ департамента природно-ресурсного регулирования, лесных отношений и развития нефтегазового комплекса Ямало-Ненецкого автономного округа от 27 марта 2017 года № 348 «Об установлении нормативов качества окружающей среды «Фоновое содержание загрязняющих веществ в снежном покрове, в донных отложениях поверхностных водных объектов, в растительности на территории Ямало-Ненецкого автономного округа» с изменениями на 8 сентября 2021 года № 3003.
 25. ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». Гигиенические нормативы.
 26. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения [Электронный ресурс]: Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

27. Лебедев С.В. Эколого-геохимическая оценка загрязнения окружающей среды по данным мониторинга содержания тяжёлых металлов в почвогрунтах и снежном покрове (на примере Василеостровского района Санкт-Петербурга) / С.В. Лебедев, Е.К. Агафонова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2017. – Т. 62. – № 4. – С. 357-369. – DOI 10.21638/11701/spbu07.2017.403.

References

1. Mulenko V. V., Saprykina K. M. Environmental and economic risks of development of offshore oil and gas fields of the Far North // Territory of Neftegaz. – 2016. – №. 2. – Pp. 94-99.
2. Vilchek G. E., Bykova O. Y. The origin of regional ecological problems within the northern Tyumen Region, Russia // Arctic and Alpine Research. – 1992. – pp. 99-107.
3. Tentyukov M.P. Technogenic pollution of the atmosphere and associated damage to the ground vegetation cover in the areas of industrial development of the Subarctic (on the example of tundra landscapes of Central Yamal // Bulletin of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2005, №10(96). – Pp. 2-7.
4. Moskovchenko D. V. Features of long-term vegetation dynamics of the Bovanenkovsky deposit (Yamal Peninsula) // Bulletin of the Tyumen State University. Socio-economic and legal studies. – 2013. – №. 12.
5. Report on the environmental situation in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug in 2018 – Salekhard, 2019. - 215 p.
6. Report on the environmental situation in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug in 2019 – Salekhard, 2020. - 347 p.
7. Report on the environmental situation in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug in 2020 – Salekhard, 2021. - 273 p.
8. Eremina, I. D. Acidity and chemical composition of snow cover in Moscow and the Moscow region for the period 1999-2006 / I. D. Eremina, A.V. Grigoriev // Bulletin of the Moscow University. Series 5: Geography. - 2010. – No. 3. – pp. 55-60. – EDN MVXLPH.
9. Rp5.ru weather schedule [Electronic resource]. - Access mode: <https://rp5.ru/Weather archive in Nadym>. Title from the screen (date of reference: 06.07.2022).
10. Zarina L. M., Gildin S. M. Geoecological workshop: Educational and methodological manual. — St. Petersburg: Publishing House of A. I. Herzen RSPU, 2011. — 60 p.
11. IGOST 33850-2016. Interstate soil standard. Determination of chemical composition by X-ray fluorescence spectrometry
12. RD 52.04.878-2019 «Sampling during observations of the chemical

- composition of atmospheric precipitation»
13. RD 52.04.878-2019 Sampling during observations of the chemical composition of atmospheric precipitation (Appendix B)
 14. RD 52.04.186-89 Guidelines for air pollution control
 15. Chagina Natalia Borisovna, Aivazova Elena Anatolyevna, Ivanchenko Nikolay Leonidovich, Varakin Evgeny Aleksandrovich. Analysis of snow cover of roadside territories of Arkhangelsk // Arctic Environmental Research. 2015. No.2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-snezhnogo-pokrova-pridorozhnyh-teritoriy-g-arhangelska> (accessed: 08.07.2022).
 16. Moskovchenko, D. V. Features of the formation of the chemical composition of snow waters on the territory of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug / D. V. Moskovchenko, A. G. Babushkin // Cryosphere of the Earth. – 2012. – Vol. 16. – No. 1. – pp. 71-81. – EDN OSJJGN.
 17. Methodological recommendations for assessing the degree of atmospheric air pollution of settlements by metals based on their content in snow cover and soil No. 5174-90, 1990. IMGRE, Moscow, 7
 18. Microelement and isotopic composition of the snow cover of the Katunsky Natural Biosphere Reserve (Altai Republic) / T. S. Papina, A. N. Eyrikh, N. S. Malygina [et al.] // Ice and snow. – 2018. – Vol. 58. – No. 1. – pp. 41-55. – DOI 10.15356/2076-6734-2018-1-41-55. – EDN YSIAMQ.
 19. Chalovskaya O. V. Study of atmospheric precipitation acidity in urbanized territories and assessment of changes occurring in the components of the natural environment: Dis. ... Candidate of Technical Sciences: 25.00.36: Orenburg, 2004 185 p. RGB OD, 61:04-5/2688.
 20. RD 52.24.468-2005 Suspended solids and the total content of impurities in waters. Method of performing mass concentration measurements by gravimetric method
 21. Snezhko, S. I. Sources of heavy metals entering the atmosphere / S. I. Snezhko, O. G. Shevchenko // Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University. - 2011. – No. 18. – pp. 35-37.
 22. Kukushkin, S. Y. Indicators of anthropogenic load on natural-territorial complexes during the development of oil and gas condensate fields in the north of Western Siberia: specialty 25.00.36 «Geoecology (by industry)»: abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Geographical Sciences / Kukushkin Stepan Yuryevich. – St. Petersburg, 2017. - 25 p.
 23. Handbook on the use of average regional values of the content of controlled components at monitoring sites in assessing the state and level of environmental pollution in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, prepared in 2014 as part of research under State Contract No. 18/14 dated 25.06.2014 «Implementation of environmental monitoring of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug»

24. Order No. 348 of the Department of Natural Resource Regulation, Forest Relations and Development of the Oil and Gas Complex of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug dated March 27, 2017 On the Establishment of Environmental Quality Standards «Background content of pollutants in snow cover, in Bottom Sediments of Surface Water bodies, in vegetation on the Territory of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug» with as amended on September 8, 2021, N 3003.
25. GN 2.1.5.1315-03 «Maximum permissible concentrations (MPC) of chemicals in the water of water bodies of household drinking and cultural water use». Hygienic standards.
26. On the approval of water quality standards of water bodies of fishery significance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery significance [Electronic resource]: Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated 13.12.2016 No. 552 - Access from the reference.- the legal system «ConsultantPlus».
27. Lebedev, S. V. Ecological and geochemical assessment of environmental pollution according to monitoring data on the content of heavy metals in soils and snow cover (on the example of the Vasileostrovsky district of St. Petersburg) / S. V. Lebedev, E. K. Agafonova // Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences. – 2017. – Vol. 62. – No. 4. – pp. 357-369. – DOI 10.21638/11701/spbu07.2017.403.

Сведения об авторах

Печкин Александр Сергеевич, в 2013 году окончил Саратовский государственный университет по специальности «природопользование». С 2015 года ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (Салехард, Россия), научный сотрудник. Область научных интересов: геоэкология, урбэкология, геохимия.

Шинкарук Елена Владимировна, в 2000 году окончила биологический факультет Тюменского государственного университета по специальности «биология», научный сотрудник химико-аналитической лаборатории ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (Салехард, Россия). Область научных интересов: экология, биология, лабораторные исследования, генетика.

Красненко Александр Сергеевич, в 2003 окончил Ишимский государственный педагогический институт им. П.П. Ершова (в настоящее время ТюмГУ) по специальности «учитель биологии с дополнительной специальностью география». В 2011 году защитил диссертацию по специальности «зоология». С 2015 года работает в «Научном центре изучения Арктики» (г. Салехард, Россия). Старший научный сотрудник сектора охраны

окружающей среды. Область научных интересов: гиробиология, функционирование водных экосистем, донные беспозвоночные, биоиндикация.

Участие авторов

Печкин А.С. – сбор и первичная обработка материала, работа с текстом.
Шинкарук Е.В. – лабораторные исследования проб, работа с текстом.
Красненко А.С. – сбор, определение, анализ материала, работа с текстом.
Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Information about the authors

Aleksandr Sergeevich Pechkin, graduated from Saratov State University with a degree in Nature Management in 2013. Since 2015, he has been a researcher at the Arctic Research Center (Salekhard, Russia). Research interests: geocology, urban ecology, geochemistry.

Elena Vladimirovna Shinkaruk, a graduate of the Faculty of Biology of Tyumen State University with a degree in biology in 2000, a researcher of the chemical analytical laboratory of the Arctic Research Center (Salekhard, Russia). Research interests: ecology, biology, laboratory research, genetics.

Alexander Sergeevich Krasnenko, 2003 - graduated from Ishim State Pedagogical Institute named after P.P. Ershov. P. P. Ershov (now Tyum State University) by speciality - biology teacher with additional speciality - geography. In 2011, he defended his thesis in zoology. Since 2015 he has been working at the Arctic Research Center (Salekhard, Russia). Senior researcher of the environmental protection sector. Research interests: hyrobiology, functioning of aquatic ecosystems, benthic invertebrates, bioindication.

Authors Contribution

A.S. Pechkin - collection and primary processing of material, work with the text.

E.V. Shinkaruk - laboratory examination of samples, work with the text.

A.S. Krasnenko - collection, identification, analysis of material, work with the text.

All co-authors - approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Статья поступила в редакцию 08.07.2022 г., принята к публикации 28.11.2022 г.

The article was submitted on July 08, 2022, accepted for publication on November 28, 2022.