

ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НЕКОТОРЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

В. А. Дрозд

Дальневосточный федеральный университет (Владивосток, Российская Федерация)

С. В. Панченко

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (Москва, Российская Федерация)

П. П. Хороших, В. В. Чернышев, А. С. Холодов, В. В. Чайка, В. В. Ткачев

Дальневосточный федеральный университет (Владивосток, Российская Федерация)

К. С. Голохваст

Дальневосточный федеральный университет, Владивостокский филиал ФГБНУ «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» — НИИ медицинской климатологии и восстановительного лечения (Владивосток, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 22 октября 2018 г.

Приведены результаты исследования гранулометрического состава атмосферных выпадений по пробам свежего снега трех населенных пунктов Республики Саха (Якутия): городов Якутска, Нерюнгри и поселка городского типа Тикси. Показано, что в воздухе Якутска и Нерюнгри в отдельные периоды отсутствуют частицы крупнее 100 мкм. Доля частиц, размер которых меньше 10 мкм, в среднем составляет около 30%, но в отдельных точках может превышать 50%. В воздухе небольшого поселка Тикси доля частиц PM_{10} не превышает 30%, но зато содержит до 70% частиц размером более 50 мкм.

Ключевые слова: атмосферные взвеси, загрязнение воздуха, PM_{10} , $PM_{2,5}$, Якутск, Тикси, Нерюнгри, экология, микро-частицы.

Введение

Загрязнение окружающей среды нередко становится причиной снижения иммунитета, роста числа хронических заболеваний. Здоровье человека особенно чувствительно к загрязнению окружающей среды в арктических регионах, где к негативным факторам прибавляется суровый климат [1]. Поиск связей между загрязнением воздушной среды и здоровьем населения — одна из актуальных задач современной эпидемиологии. С воздействием загрязненного атмосферного воздуха эксперты Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) связывают около трех миллионов дополнительных смертей ежегодно [2].

Атмосферные взвеси как абиотический фактор среды изучаются сравнительно недавно, и часто системные наблюдения за размерным (гранулометрическим) и вещественным составом взвесей в городах России, в особенности в районах Крайнего Севера, отсутствуют [3].

Снежный покров обладает рядом свойств, делающих его удобным индикатором как загрязнения самих атмосферных осадков, так и последующего загрязнения поверхностных вод и почв. Снежный покров, будучи естественным планшетом-накопителем, показывает величину сухих и влажных выпадений загрязняющих веществ в холодный сезон и служит также эффективным индикатором кислотности атмосферных осадков [4]. Снежный покров может быть использован и для решения более сложных геофизических задач — определения веществ-

ного состава и мощности выбросов предприятий, доли выбросов загрязняющих веществ, увлекаемой в дальний и локальный перенос.

Республика Саха (Якутия) — регион с одним из самых суровых климатов в России и в мире, при этом она имеет собственный набор экологических проблем [5]. Столица республики Якутск является неблагоприятной территорией по санитарно-гигиеническим показателям качества питьевой воды из распределительной сети. В условиях отсутствия водоочистных сооружений проводится только обеззараживание воды жидким хлором, что ведет к избыточному образованию в сети водоснабжения хлороформа — продукта соединения остаточного хлора с органическими соединениями [6]. Наблюдается загрязнение почв в Якутии различными поллютантами [7; 8].

В некоторых работах отмечается и загрязнение атмосферного воздуха Якутска [9]. В настоящее время в рамках общих наблюдений на территории Сибири и Дальнего Востока ведется мониторинг атмосферного аэрозоля Якутии [10; 11].

Однако для получения более корректных оценок риска для здоровья населения ряд параметров атмосферного аэрозоля до настоящего времени изучен слабо. Так, практически отсутствуют работы по дисперсному составу аэрозолей в этом арктическом регионе. Недостаточно данных и по элементному составу атмосферных выпадений.

Настоящая работа носит поисковый характер. К числу решаемых задач относятся подбор инструментария для исследования атмосферного аэрозоля и попытка связать между собой различные экспериментальные данные. Экспериментально в работе исследовался дисперсный состав атмосферной взвеси (особенно микродиапазона) в трех населенных пунктах, различных по населению, промышленному потенциалу и географическому положению: крупнейшем городе Якутске с населением 311 760 человек (центральная часть), небольшом городе Нерюнгри (население — 57 247 человек) с угольной промышленностью (юг) и поселке городского типа (пгт) Тикси с населением 4604 человека (север, побережье Северного Ледовитого океана).

Материалы и методы

Регулярный мониторинг загрязнения атмосферного воздуха в Республике Саха (Якутия) выполняется силами Управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС). Данные по концентрации ряда веществ за последние годы в Якутске и Нерюнгри представлены в табл. 1.

Можно говорить о некоторой стабильности по концентрациям взвешенных веществ (ВВ) и микроэлементов в приземной атмосфере рассматриваемых городов. Если посмотреть на среднемесячные значения (в месяц делалось от 50 до 108 замеров

Таблица 1. Среднегодовая концентрация ряда веществ в атмосферном воздухе городов Республики Саха (Якутия) за 2013—2017 гг., мкг/м³

Вещество	2013	2014	2015	2016	2017	Среднее за пять лет
Нерюнгри						
Взвешенные вещества	163	155	125	111	125	136
Железо	1,6	2,2	1,6	1,3	1,2	1,6
Марганец	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03
Медь	0,03	0,09	0,12	0,11	0,09	0,09
Никель	0,03	0,05	0,02	0,02	0,006	0,02
Свинец	0,06	0,05	0,01	0,02	0,005	0,03
Хром	0,02	0,03	0,03	0,02	0,012	0,02
Цинк	0,41	0,37	0,17	0,23	0,13	0,26
Якутск						
Взвешенные вещества	165	180	152	176	223	179
Железо	1,1	1,1	0,7	1,4	0,6	1,0
Марганец	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,019
Медь	0,05	0,04	0,04	0,00	0,03	0,031
Никель	0,03	0,03	0,02	0,013	0,013	0,020
Свинец	0,012	0,02	0,014	0,005	0,006	0,011
Хром	0,03	0,03	0,02	0,014	0,010	0,019
Цинк	0,52	0,65	0,36	0,07	0,03	0,32

Источник: Ежегодник «Состояние загрязнения атмосферного воздуха в городах на территории деятельности ФГБУ «Якутское УГМС»» за 2015—2017 гг.

Таблица 2. Средняя за месяц концентрация ВВ в зимний период 2015—2017 гг. на постах УГМС в Нерюнгри и Якутске, мкг/м³

Место отбора проб	11.15	12.15	01.16	02.16	03.16	11.16	12.16	01.17	02.17	03.17
Нерюнгри, пост 1	128	135	102	125	106	117	159	108	118	110
Нерюнгри, пост 2	110	126	107	97	96	143	194	141	102	110
Якутск, пост 1	162	81	134	143	162	33	153	255	169	166
Якутск, пост 2	175	73	109	111	143	44	110	168	183	187
Якутск, пост 3	218	178	116	139	218	61	205	232	249	285

на каждом из постов: в Нерюнгри на двух постах УГМС, а в Якутске — на трех постах), то, например, для ВВ среднемесячные значения в зимний период отражали ситуацию, складывающуюся за год или за более продолжительный период (за последние пять лет) (табл. 2).

Предполагая на основании данных УГМС относительную стабильность загрязнения природных сред в рассматриваемых городах, можно с применением методики расчета выпадений в период снегопада

[12] оценить концентрацию контролируемого поллютанта в снежном покрове. Такие оценки выполнены нами для цинка (табл. 3). В этой же таблице приведены данные фактически измеренных концентраций цинка в снеге в различных точках нашей планеты.

Экспериментальная часть

Атмосферные взвеси изучались в свежее выпавшем снеге в населенных пунктах Республики

Таблица 3. Концентрации цинка в снежном покрове в различные периоды и в разных точках Земли

Место отбора	Период	Концентрация в снеге, мкг/л
Центральная Гренландия *1	1991—1995 гг.	0,03
Монреаль, Канада *2	Январь-февраль 1993 гг.	29—143
Каунсил, Аляска, США *3	Март 2002 г.	0,75
Селавик, Аляска, США *3	Январь 2002 г.	1,71
Серро Колорадо, Чили *4	Октябрь 2003, 2008, 2009 гг.	29,59
Инсбрук, Австрия *5	Январь-февраль 2006 г.	1370
Познань, Польша *6	Январь-март 2013 г.	13,2
Нерюнгри, Якутия *7	2013—2017 гг.	10—160
Якутск, Якутия *7	2013—2017 гг.	10—250

*1 Barbante C., Boutron C., Morel C. et al. Seasonal variations of heavy metals in central Greenland snow deposited from 1991 to 1995 // J. of Environmental Monitoring. — 2003. — 5. — P. 328—335.

*2 Loranger S., Tétraud M., Kennedy G., Zayed J. Manganese and other trace elements in urban snow near an expressway // Environmental Pollution. — 1996. — 92. — P. 203—211.

*3 Douglas T. A., Sturm M. Arctic haze, mercury and the chemical composition of snow across northwestern Alaska // Atmospheric Environment. — 2004. — 38. — P. 805—820.

*4 Cereceda-Balic F., Palomo-Marin M. R., Bernalte E. et al. Impact of Santiago de Chile urban atmospheric pollution on anthropogenic trace elements enrichment in snow precipitation at Cerro Colorado, Central Andes // Atmospheric Environment. — 2012. — 47. — P. 51—57.

*5 Engelhard C., De Toffol S., Lek I. et al. Environmental impacts of urban management — the alpine case study of Innsbruck // Science of the Total Environment. — 2007. — 32. — P. 286—294.

*6 Siudek P., Frankowski M., Siepak J. Trace element distribution in the snow cover from an urban area in central Poland // Environ. Monit. Assess. — 2015. — 187. — P. 225. — DOI: 10.1007/s10661-015-4446-1.

*7 Оценка авторов настоящей работы.

Таблица 4. Точки отбора проб снега в исследуемых населенных пунктах

Точка отбора	Якутск	Нерюнгри	Тикси
1	Улица Гора Хатынг-Юрях, 1	Улица Карла Маркса, 4	Улица Трусова, 14
2	Улица Байкалова, 6а	Чурапчинская улица, 24	Морская улица, 20
3	Площадь Дружба народов (проспект Ленина, 46/1)	Проспект Дружбы народов, 14	Огородная улица, 1 *
4	Автострада 50 лет Октября, 8	Проспект геологов, 1	Морская улица, 42а
5	Улица Дзержинского, 2	Южно-Якутская улица, 22	Восточная улица, 1
6	Улица Кеши Алексеева 13	Северная улица, 8	—

* Точка 3 в Тикси не отбиралась. Роль района «центральная часть» выполняла точка 2.

Саха — Якутске, Нерюнгри и Тикси. Снег собирался в момент снегопадов в марте 2018 г.

Во всех трех городах пробы снега отбирались согласно авторской логической схеме — в экологически значимых ключевых районах: рекреации (точка 1), жилом районе (точка 2), центральной части (точка 3), подъездной трассе (точка 4), крупной дороге внутри населенного пункта (точка 5) и на ТЭЦ или заводе (точка 6) (табл. 4, рис. 1—3).

Для исключения вторичного загрязнения снежного покрова антропогенными аэрозолями отбирался лишь верхний слой (5—10 см) только что выпавшего снега. Пробу помещали в стерильные контейнеры вместимостью 3 л. После доставки проб в лабораторию талый снег упаривали на роторном испарителе при температуре 40°С для получения более концентрированного раствора, пока его объем не уменьшался до 60 мл. Большую часть пробы (50 мл)



Рис. 1. Станции отбора проб в Якутске. Расшифровка станций — в табл. 4. Участники © Openstreetmap
 Fig. 1. Sampling stations in Yakutsk. Transcript of stations in the table 4. Contributors © Openstreetmap

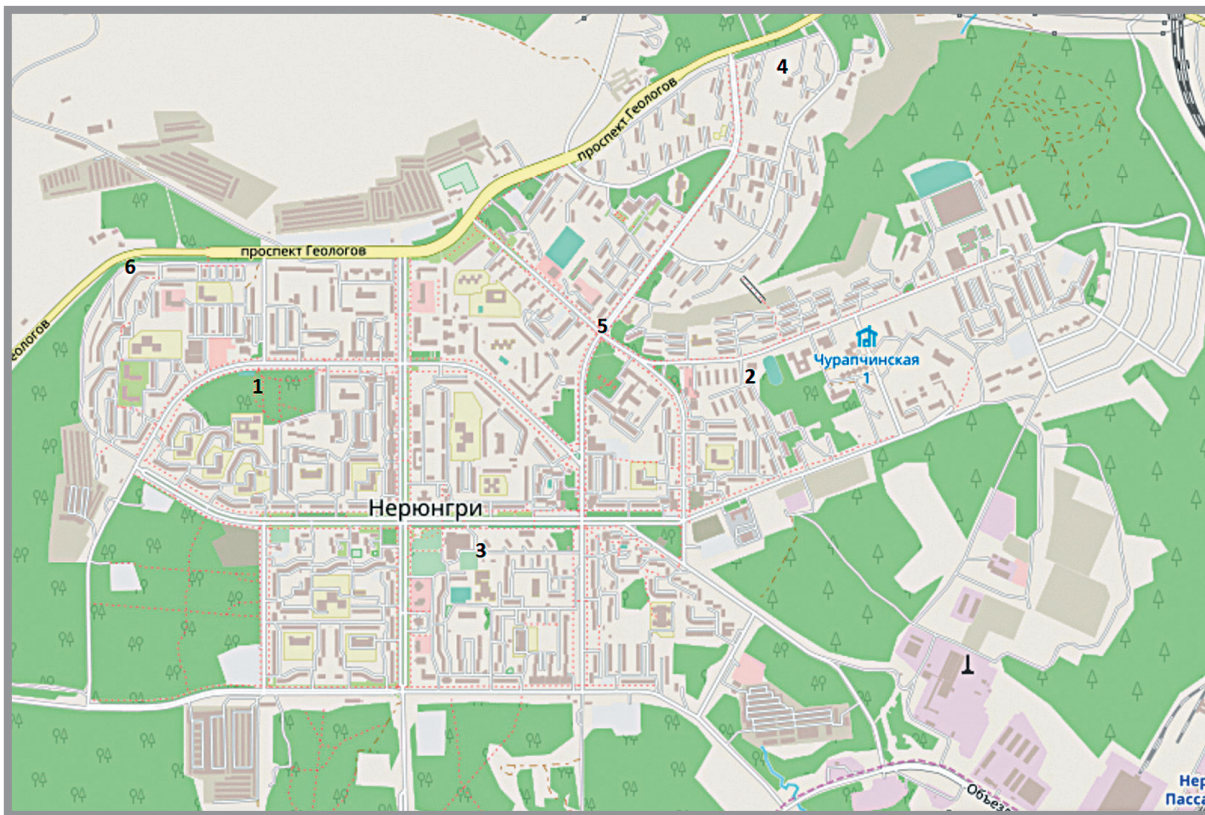


Рис. 2. Станции отбора проб в Нерюнгри. Расшифровка станций – в табл. 4. Участники © Openstreetmap
Fig. 2. Sampling stations in Neryungri. Transcript of stations in the table 4. Contributors © Openstreetmap



Рис. 3. Станции отбора проб в Тикси. Расшифровка станций – в табл. 4. Участники © Openstreetmap
Fig. 3. Sampling stations in Tiksi. Transcript of stations in the table 4. Contributors © Openstreetmap

анализировали на лазерном анализаторе частиц «Fritsch Analysette 22 NanoTech» (ФРГ). Измерения проводились в диапазоне от 0,08 до 2000 мкм. Другая часть пробы (10 мл) упаривалась до получения сухого остатка с последующим нанесением на углеродный скотч. Эти образцы были сделаны для элементного и морфологического анализов с помощью электронного микроскопа «Carl Zeiss ultra+» с EDX-приставкой «Oxford instruments X-max», а также энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра «Shimadzu EDX-7000».

При исследованиях использовалось оборудование ЦКП «Межведомственный центр аналитического

контроля состояния окружающей среды» Дальневосточного федерального университета.

Результаты и обсуждение

Данные по гранулометрическому составу частиц, осажденных из приземного слоя воздуха в период снегопада, приведены в табл. 5.

При сравнении результатов исследования проб, представленных в табл. 5, наглядно выявляется разница между дисперсным составом пыли городов и поселка. Внутри населенного пункта наименьшее значение фракции PM_{10} характерно для зон рекреации.

Таблица 5. Гранулометрические характеристики частиц атмосферной взвеси в Якутске, Нерюнгри и Тикси

Фракция, мкм	Содержание частиц различного фракционного состава в пробах, %					
	1	2	3	4	5	6
Якутск						
Менее 1	4,1	5,6	6,3	11,2	6,3	6,1
1—10	2,9	33,3	32,9	60	30,7	32,3
10—50	61,9	59	57,5	28,8	53,5	58,4
50—100	1,1	2,1	3,3	0	9,5	3,2
100—400	0	0	0	0	0	0
400—700	0	0	0	0	0	0
Более 700	0	0	0	0	0	0
Нерюнгри						
Менее 1	4,3	4,9	4	4,5	5,1	4,5
1—10	25,3	28,1	26,1	26,2	29,7	27,5
10—50	64,8	59,1	60	59,2	60,2	59,7
50—100	5,6	7,9	9,9	10,1	5	8,3
100—400	0	0	0	0	0	0
400—700	0	0	0	0	0	0
Более 700	0	0	0	0	0	0
Тикси						
Менее 1	0,9	2,7		2,3	2,2	3,6
1—10	10,9	26		22	21,5	16,5
10—50	18,4	24		19,4	46	11,1
50—100	11	8,5		8,7	20,4	0
100—400	24,8	22		24,4	9,9	14
400—700	8,1	1,3		6,9	0	16,2
Более 700	25,9	15,5		16,3	0	38,5

Во всех остальных точках Якутска и Нерюнгри наблюдается значимая доля (около 30%) частиц размером менее 10 мкм. Это, по-видимому, связано с влиянием выбросов ТЭЦ и автомобильного парка. Оба фактора в арктических условиях имеют особенности. Отопительный сезон длиннее (соответственно ТЭЦ работает дольше), чем в более теплых регионах. Автомобили, работающие на дизельном топливе, порой не глушатся в особо холодные периоды. Во всех пробах снега, отобранных в этих двух городах, отсутствовали твердые частицы, размер которых превышал 100 мкм.

В пробах из пгт Тикси доля частиц PM_{10} сопоставима с городскими пробами (около 29%). Наличие значительной доли крупнодисперсных частиц свидетельствует о более благоприятной экологической обстановке, и наоборот, там, где отсутствует крупная фракция, скорее всего будет присутствовать высокая концентрация мелкодисперсного аэрозоля.

Для изучения компонентного состава атмосферных взвесей было отобрано пять проб сухого остатка для изучения на электронном микроскопе и энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре. В Якутске и Нерюнгри взяты по две пробы из условно чистых районов и парковых зон (пробы № 1) и мест, расположенных в непосредственной близости от крупных источников выбросов (пробы № 6). В Тикси ввиду относительно его небольшой площади для изучения взята проба из центра поселка (проба № 1).

Исследования методом электронной микроскопии выявили в пробах высокое содержание твердых частиц различных форм и размеров (рис. 4 и 5). По данным спектрального анализа, судя по высокому содержанию в пробах кремния и алюминия, были обнаружены частицы алюмосиликатов (табл. 6 и 7).

Выборочное исследование отдельных частиц методом элек-

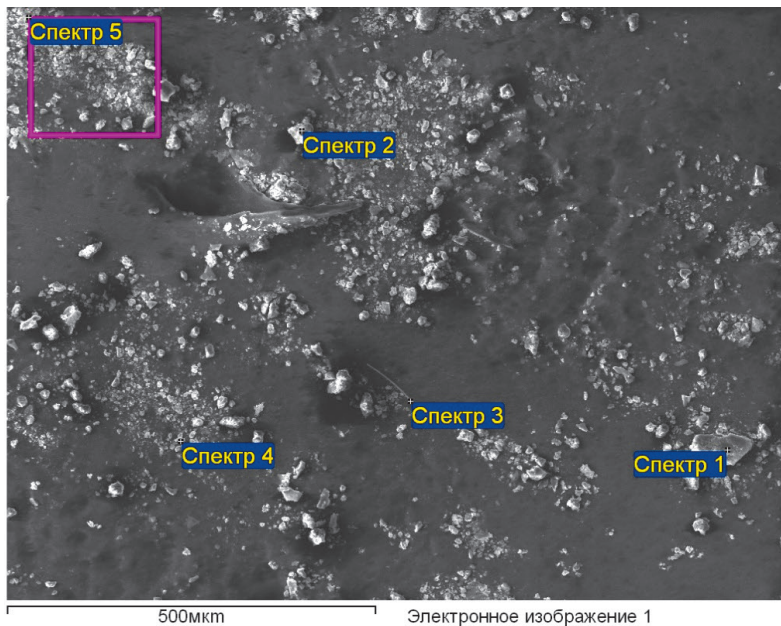


Рис. 4. Снимок пробы № 1 методом лазерной микроскопии
Fig. 4. A snapshot of sample No. 1 by laser microscopy

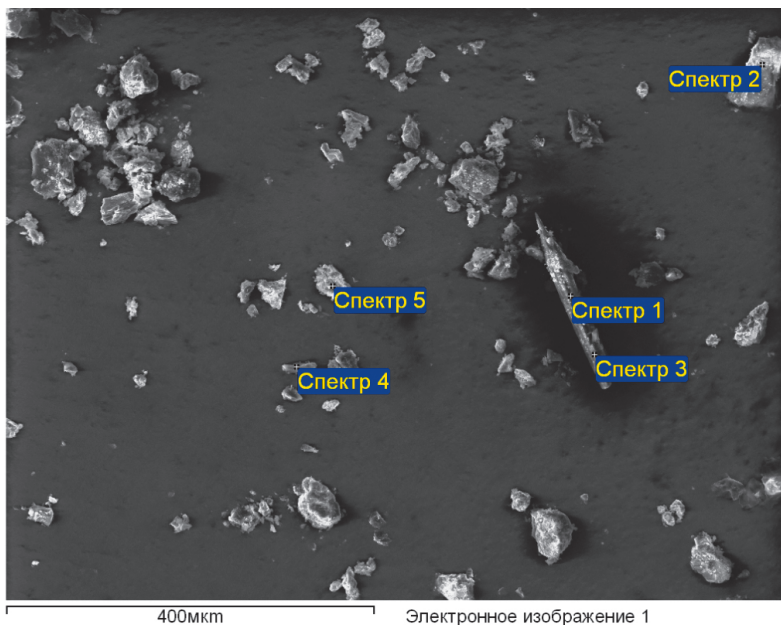


Рис. 5. Снимок пробы № 4 методом лазерной микроскопии
Fig. 5. A snapshot of sample No. 4 by laser microscopy

тронной микроскопии оказалось не слишком эффективным в связи с большой площадью проб. В результате было принято решение о проведении исследований с помощью энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра «Shimadzu EDX-7000». Исследование проб на этом приборе позволило получить сведения о процентном соотношении элементного состава частиц в каждой пробе (табл. 8).

Из полученных результатов были предварительно вычтены результаты измерения чистой пробы, поэтому в таблице отсутствуют данные о содержании в пробах алюминия, так как из него были выполнены предметные столики. В пробах № 2—4 наблюдаются высокие концен-

Таблица 6. Результаты спектрометрического анализа пробы № 1

№ спектра	Содержание химических компонентов в исследуемых точках, %												
	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Zn
1	9,79	37,03		3,38	6,09	10,65	0,22	0,49	2,69	0,53	0,53	28,16	0,43
2	7,65	54,61			0,32	37,08						0,34	
3	28,54	34,94	1,54	3,71	3,83	12,49	0,29	0,77	10,22	0,90		2,77	
4	13,05	46,40		0,29	0,21	0,44			39,61				
5	Да	43,40	41,80	0,81	0,53	1,52	4,37	0,42	0,45	5,77			0,93

Таблица 7. Результаты спектрометрического анализа пробы № 4

№ спектра	Содержание химических компонентов в исследуемых точках, %												
	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe
1	25,92	30,50	1,47	4,41	5,44	16,87				0,82	9,78	0,48	4,31
2	17,74	44,50		4,60	6,74	11,03				0,31	0,26	0,52	14,30
3	23,12	25,27	0,92	3,72	5,54	17,96				1,01	14,74	0,65	7,07
4	86,01	13,02			0,34	0,42		0,14	0,07				
5	43,29	36,48	0,58	0,51	3,23	8,55	0,26	0,34	1,33	0,83	3,55		1,06

трации свинца (11,8—53,3%). Это подтверждает приведенное ранее утверждение о высокой антропогенной нагрузке на исследуемые селитебные территории. Особый интерес вызывает наличие в некоторых пробах высокого содержания серебра и висмута. Это объясняется их содержанием в составе примесей золоторудных месторождений Анабарского щита и Оленекского поднятия [13]. Таким образом, можно сделать вывод, что высокое содержание этих элементов в составе атмосферных взвесей может быть связано с активной добычей полезных ископаемых в регионе.

Выводы

В результате проведенных исследований получены данные относительно фракционного состава частиц атмосферных взвесей ряда населенных пунктов Республики Саха (Якутия). Выявлено, что воздух Якутска и Нерюнгри ввиду преобладания частиц PM₁₀ и PM₅₀ имеет выраженное микроразмерное загрязнение. Возможной причиной сложившейся обстановки может являться влияние антропогенных факторов. В пробах, отобранных в Тикси, наблюдается схожая ситуация. Исключением является преобладание доли крупноди-

Таблица 8. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа проб

№ пробы	Точка отбора пробы	Элементный состав частиц, %							
		Pb	Bi	Ag	Si	Ca	K	S	Fe
1	Якутск, улица Гора Хатынг-Юрях, 1				78,294		12,648		
2	Якутск, улица Кеши Алексеева, 13	43,356	29,120	21,406	4,412		0,837		
3	Нерюнгри, улица Карла Маркса, 4	52,341	34,099		11,016				
4	Нерюнгри, Северная улица, 8	11,809		33,850	13,364		2,426		
5	Тикси, улица Трусова, 14			0,072	75,497	22,046	1,252	0,583	0,363

Продолжение табл. 8.

№ пробы	Точка отбора пробы	Элементный состав частиц, %							
		Sr	V	Cu	Ti	Zn	Mn	Cr	Ni
1	Якутск, улица Гора Хатынг-Юрях, 1				4,535	1,887	1,556		1,079
2	Якутск, улица Кеши Алексева, 13				0,458		0,411		
3	Нерюнгри, улица Карла Маркса, 4				0,611	1,228	0,492	0,213	
4	Нерюнгри, Северная улица, 8				1,344	15,800	19,654		1,752
5	Тикси, улица Трусова, 14	0,053	0,026	0,019	0,090				

сперсных частиц, что свидетельствует о более благоприятной экологической обстановке в этом районе. Исследования элементного состава атмосферных взвесей в некоторых пробах выявили значительное содержание тяжелых металлов, таких как свинец, висмут, серебро и др. По мнению авторов, причиной этого может являться хозяйственная деятельность человека, связанная с добычей полезных ископаемых.

Результаты данной работы следует учитывать при планировании развития территорий Арктической зоны Российской Федерации, при ранжировании различной деятельности, используя методологию оценки риска. Ряд методов углубленного анализа атмосферного аэрозоля следует постепенно вводить в практику регулярного государственного мониторинга.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка и практическая апробация методов экологической оценки объектов использования атомной энергии Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» для долгосрочного обеспечения безопасности на стадиях подготовки к их выводу из эксплуатации и вывода из эксплуатации с учетом совокупных антропогенных (радиационных, химических и иных) рисков Дальневосточного федерального округа».

Литература

1. Orttung R. W., Reisser C. Urban sustainability in Russia's Arctic: lessons from a recent conference and areas for further investigations // *Polar Geography*. — 2014. — Vol. 37, iss. 3. — P. 193—214. — DOI: 10.1080/1088937X.2014.919362.
2. Chriscaden K., Osseiran N. ВОЗ публикует оценочные данные (с разбивкой по странам) по воздействию загрязнения воздуха на здоровье человека. — Женева, 2016, 27 сент. — URL: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2016/air-pollution-estimates/ru/>.

3. Голохваст К. С., Никифоров П. А., Кику П. Ф. и др. Атмосферные взвеси Владивостока: гранулометрический и вещественный анализ // *Экология человека*. — 2013. — № 1. — С. 14—19.

4. Назаров И. М., Ренне О. С., Фридман Ш. Д. и др. Снежный покров как индикатор загрязнения атмосферы // *Тр. Ин-та физики и математики АН Литов. ССР*. — 1976. — Вып. 3. — С. 7—12.

5. Бурцева Е. И., Кычкин В. Р. Роль экологического фактора в платежах за загрязнение окружающей среды в Республике Саха (Якутия) // *Вестн. Сев.-Вост. федер. ун-та им. М. К. Аммосова*. — 2006. — Т. 3, № 2. — С. 41—50.

6. Петрова П. Г., Борисова Н. В., Маркова С. В. и др. Влияние экологических факторов среды на состояние здоровья детей города Якутска // *Вестн. Сев.-Вост. федер. ун-та им. М. К. Аммосова. Сер. Мед. науки*. — 2006. — № 2 (03). — С. 12—18.

7. Лифшиц С. Х., Кершенгольц Б. М., Чалая О. Н. и др. Изучение способности модельной системы мерзлотная почва Якутии — растения к восстановлению при загрязнении нефтью // *Химия в интересах устойчивого развития*. — 2008. — Т. 16, № 5. — С. 537—545.

8. Тарабукина В. Г., Иванов В. В., Макаров В. С., Кудинова Э. А. Загрязнение почвенного покрова выбросами объектов промышленного комплекса в условиях Южной Якутии // *Проблемы регион. экологии*. — 2009. — № 3. — С. 28—31.

9. Куклин Д. А., Буторина М. В. Охрана воздушной среды: зонирование территории г. Якутска по факторам загрязнения атмосферы // *Вестн. Сев.-Вост. федер. ун-та им. М. К. Аммосова. Сер. Экономика. Социология. Культурология*. — 2017. — № 2 (06). — С. 13—21.

10. Antokhina P. N., Arshinova V. G., Arshinov M. Y. et al. Distribution of Trace Gases and Aerosols in the Troposphere Over Siberia During Wildfires of Summer 2012 // *J. of Geophysical Research: Atmospheres*. — 2018. — Vol. 123, iss. 4. — P. 2285—2297. — DOI: 10.1134/S102485601803003X.

11. Lagun V. E., Klepikov A. V., Danilov A. I. Polar meteorology: Results of Russian research in 2011-2014 // Izvestiya — Atmospheric and Ocean Physics. — 2017. — Vol. 53 (5). — P. 564—578. — DOI: 10.1134/S0001433817050073.

12. Гусев Н. Г., Беляев В. А. Радиоактивные выбросы в биосфере: 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 256 с. — ISBN 5-283-03025-3.

13. Кравченко А. А., Герасимов Б. Б., Березкин В. И. и др. Предпосылки поисков золоторудных месторождений в метаморфических комплексах Арктической зоны Республики Саха (Якутия) (Анабарский щит и Оленекское поднятие) // Вестн. Сев.-Вост. федер. ун-та им. М. К. Аммосова. Сер. Науки о Земле. — 2018. — № 4 (12). — С. 5—13.

Информация об авторах

Дрозд Владимир Александрович, аспирант, инженер по радиационной безопасности, Научно-образовательный центр «Нанотехнологии», Дальневосточный федеральный университет (690091, Россия, Владивосток, ул. Суханова, д. 8).

Панченко Сергей Владимирович, старший научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Россия, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: ranch@ibrae.ac.ru.

Хороших Павел Павлович, магистрант, главный специалист аппарата проректора по научной работе, Дальневосточный федеральный университет (690091, Россия, Владивосток, ул. Суханова, д. 8).

Чернышев Валерий Валерьевич, кандидат биологических наук, старший преподаватель, кафедра нефтегазового дела и нефтехимии, Дальневосточный федеральный университет (690091, Россия, Владивосток, ул. Суханова, д. 8).

Холодов Алексей Сергеевич, аспирант, заместитель начальника управления, Инженерная школа, Дальневосточный федеральный университет (690091, Россия, Владивосток, ул. Суханова, д. 8).

Чайка Владимир Викторович, кандидат биологических наук, директор, Научно-образовательный центр «Нанотехнологии», Дальневосточный федеральный университет (690091, Россия, Владивосток, ул. Суханова, д. 8).

Ткачев Владимир Вадимович, ведущий инженер-специалист, кафедра компьютерных систем, Школа естественных наук, Дальневосточный федеральный университет (690091, Россия, Владивосток, ул. Суханова, д. 8).

Голохваст Кирилл Сергеевич, доктор биологических наук, проректор по научной работе, Дальневосточный федеральный университет (690091, Россия, Владивосток, ул. Суханова, д. 8), Владивостокский филиал ФГБНУ «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» — НИИ медицинской климатологии и восстановительного лечения (690105, Россия, Владивосток, Русская ул., д. 73Г), e-mail: golokhvast.ks@dvmfu.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Дрозд В. А., Панченко С. В., Хороших П. П. и др. Опыт исследования гранулометрического состава атмосферных выпадений некоторых населенных пунктов Республики Саха (Якутия) // Арктика: экология и экономика. — 2019. — № 2 (34). — С. 35—46. — DOI: 10.25283/2223-4594-2019-3-35-46.

EXPERIENCE IN STUDYING THE PARTICLE SIZE DISTRIBUTION OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION OF SOME SETTLEMENTS OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

Droz V. A.

Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russian Federation)

Panchenko S. V.

Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation),

Khoroshikh P. P., Chernishev V. V., Kholodov A. S., Chaika V. V. Tkachev V. V.

Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russian Federation)

Golokhvast K. S.

Far Eastern Federal University, Vladivostok Branch of the Far Eastern Scientific Center of the Physiology and Pathology of Breath — Institute of Medical Climatology and Rehabilitation (Vladivostok, Russian Federation)

The article was received on October 22, 2018

Abstract

The article presents the results of studying the particle size, morphological and chemical composition of atmospheric precipitation collected in samples of fresh snow in three settlements of the Republic of Sakha (Yakutsk, Neryungri and Tiksi villages). When comparing the results of the sample study, the difference between the dispersed dust composition of cities and villages is clearly manifested. Inside settlements, the lowest value of the PM₁₀ fraction is typical for recreation areas.

It is shown that in some periods there are no particles larger than 100 microns in the air of Yakutsk and Neryungri. The fraction of particles is less than 10 µm, on average is about 30%, but in some places may exceed 50%. In the air of a small village Tiksi the share of PM₁₀ particles does not exceed 30%, but it contains up to 70% of particles larger than 50 microns. The elemental composition analysis revealed high concentrations of Pb, Ag and Bi in some samples. This confirms the earlier statement about the high anthropogenic load on the territory of the studied settlements. Of particular interest is the presence of high content of silver and bismuth in some samples. High concentrations of bismuth and silver are explained by their content in the composition of the impurities of gold deposits of the Anabar shield and the Onelek uplift. Thus, it can be concluded that the high content of these elements in the composition of atmospheric suspensions may be associated with active mining in the region. The results of this work should be taken into account when planning the Arctic coast development, and ranking various activities, using the risk assessment methodology.

Keywords: atmospheric suspensions, air pollution, PM₁₀, PM_{2.5}, Yakutsk, Tiksi, Neryungri, ecology, microparticles.

This work was completed within the framework of the project “Development and practical testing of methods for environmental assessment of nuclear power facilities of the state atomic energy Corporation “Rosatom” for long-term safety at the stages of preparation for their decommissioning and decommissioning, taking into account the total anthropogenic (radiation, chemical and other) risks of the Far East Federal District”.

References

1. Orttung R. W., Reisser C. Urban sustainability in Russia's Arctic: lessons from a recent conference and areas for further investigations. *Polar Geography*, 2014, vol. 37, iss. 3, pp. 193—214. DOI: 10.1080/1088937X.2014.919362.
2. Chriscaden K., Osseiran N. WHO releases country estimates on air pollution exposure and health impact. Geneva, 2016, 27 September. Available at: <https://www.who.int/news-room/detail/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>.
3. Golokhvast K. S., Nikiforov P. A., Kiku P. F. et al. Atmosfernye vzvesi Vladivostoka: granulometricheskii i veshchestvennyi analiz. [Atmospheric suspensions of Vladivostok: grain size and petrographic analysis]. *Ekologiya cheloveka*, 2013, no. 1, pp. 14—19. (In Russian).
4. Nazarov I. M., Renne O. S., Fridman Sh. D. et al. Snezhnyi pokrov kak indikator zagryazneniya atmosfery. [Snow cover as an indicator of atmospheric pollution]. Tr. In-ta fiziki i matematiki AN Litov. SSR, 1976, iss. 3, pp. 7—12. (In Russian).
5. Burtseva E. I., Kychkin V. R. Rol' ekologicheskogo faktora v platezhakh za zagryaznenie okruzhayushchei sredy v Respublike Sakha (Yakutiya). [The role of environmental factor in payments for environmental pollution in the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Vestn. Sev.-Vost. feder. un-ta im. M. K. Ammosova*, 2006, vol. 3, no. 2, pp. 41—50. (In Russian).
6. Petrova P. G., Borisova N. V., Markova S. V. et al. Vliyanie ekologicheskikh faktorov sredy na sostoyanie zdorov'ya detei goroda Yakutsk. [The influence of environmental factors on the health of children in the city of Yakutsk]. *Vestn. Sev.-Vost. feder. un-ta im. M. K. Ammosova. Ser. Med. nauki*, 2006, no. 2 (03), pp. 12—18. (In Russian).
7. Lifshits S. Kh., Kershengol'ts B. M., Chalaya O. N. i dr. Izuchenie sposobnosti model'noi sistemy merzlotnaya pochva Yakutii — rasteniya k vosstanovleniyu pri zagryaznenii nef't'yu. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya*. [Study of the ability of the model system permafrost soil of Yakutia — plants to recover from oil pollution], 2008, vol. 16, no. 5, pp. 537—545. (In Russian).
8. Tarabukina B. G., Ivanov V. V., Makarov V. S., Kudinova Z. A. Zagryaznenie pochvennogo pokrova vybrosami ob'ektov promyshlennogo kompleksa v usloviyakh Yuzhnoi Yakutii. [Pollution of soil cover by emissions of industrial complex objects in the conditions of southern Yakutia]. *Problemy region. ekologii*, 2009, no. 3, pp. 28—31. (In Russian).
9. Kuklin D. A., Butorina M. V. Okhrana vozduшной sredy: zonirovaniye territorii g. Yakutsk po faktoram zagryazneniya atmosfery. [Air protection: zoning of the territory of Yakutsk by air pollution factors]. *Vestn. Sev.-Vost. feder. un-ta im. M. K. Ammosova. Ser. Ekonomika. Sotsiologiya. Kul'turologiya*, 2017, no. 2 (06), pp. 13—21. (In Russian).
10. Antokhina P. N., Arshinova V. G., Arshinov M. Y. et al. Distribution of Trace Gases and Aerosols in the Troposphere Over Siberia During Wildfires of Summer 2012. *J. of Geophysical Research: Atmospheres*,

2018, vol. 123, iss. 4, pp. 2285—2297. DOI: 10.1134/S102485601803003X.

11. *Lagun V. E., Klepikov A. V., Danilov A. I.* Polar meteorology: Results of Russian research in 2011-2014. *Izvestiya — Atmospheric and Ocean Physics*, 2017, vol. 53 (5), P. 564—578. DOI: 10.1134/S0001433817050073.

12. *Gusev N. G., Belyaev V. A.* Radioaktivnye vybrosy v biosfere: 2-e izd., pererab. i dop. [Radioactive emissions in the biosphere; 2nd edition, revised and supplemented]. Moscow, Energoatomizdat, 1991, 256 p. ISBN 5-283-03025-3. (In Russian).

13. *Kravchenko A. A., Gerasimov B. B., Berezkin V. I. et al.* Predposylki poiskov zolotorudnykh mestorozhdenii v metamorficheskikh kompleksakh Arkticheskoi zony Respubliki Sakha (Yakutiya) (Anabarskii shchit i Oleneskoe podnyatie). [Preconditions for search of gold deposits in metamorphic complexes of Arctic zone of the Republic of Sakha (Yakutia) (Anabar shield and Olenek uplift)]. *Vestn. Sev.-Vost. feder. un-ta im. M. K. Ammosova. Ser. Nauki o Zemle*, 2018, no. 4 (12), pp. 5—13. (In Russian).

Information about the authors

Drozd Vladimir Aleksandrovich, Postgraduate, Radiation Safety Engineer, Far Eastern Federal University (8, Suhanova Street, Vladivostok, Russia, 690091).

Panchenko Sergey Vladimirovich, Senior Researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulsкая Street, Moscow, Russia, 115191), e-mail: panch@ibrae.ac.ru.

Khoroshikh Pavel Pavlovich, Master Student, Chief Expert of the Vice-Rector for Research Office, Far Eastern Federal University (8, Suhanova Street, Vladivostok, Russia, 690091).

Chernishev Valery Valeryvich, PhD of Biological Science, Chief Lecturer, Far Eastern Federal University (8, Suhanova Street, Vladivostok, Russia, 690091).

Kholodov Aleksey Sergeevich, Postgraduate, Deputy Head of Department, Far Eastern Federal University (8, Suhanova Street, Vladivostok, Russia, 690091).

Chaika Vladimir Viktorovich, PhD of Biological Science, Director of the Nanotechnology Research and Educational Center, Far Eastern Federal University (8, Suhanova Street, Vladivostok, Russia, 690091).

Tkachev Vladimir Vadimovich, Leading Specialist, Department of Computer Systems, School of Natural Sciences, Far Eastern Federal University (8, Suhanova Street, Vladivostok, Russia, 690091).

Golokhvast Kirill Sergeevich, Doctor of Biological Science, Vice-Rector for Research, Far Eastern Federal University (8, Suhanova Street, Vladivostok, Russia, 690091), Vladivostok Branch of the Far Eastern Scientific Center of the Physiology and Pathology of Breath — Institute of Medical Climatology and Rehabilitation (73G, Russkaya Street, Vladivostok, Russia, 690105), e-mail: golokhvast.ks@dvfu.ru.

Bibliographic description

Drozd V. A., Panchenko S. V., Khoroshikh P. P., Chernishev V. V., Kholodov A. S., Chaika V. V., Tkachev V. V., Golokhvast K. S. Experience in studying the particle size distribution of atmospheric precipitation of some settlements of the Republic of Sakha (Yakutia). *Arctic: Ecology and Economy*, 2019, no. 3 (35), pp. 35—46. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-3-35-46. (In Russian).

© Drozd V. A., Panchenko S. V., Khoroshikh P. P., Chernishev V. V., Kholodov A. S., Chaika V. V., Tkachev V. V., Golokhvast K. S., 2019