

УДК 614.715:502.62(571.62)

DOI: 10.12737/21445

**НАНО- И МИКРОРАЗМЕРНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ ЗАПОВЕДНИКА «БАСТАК»,
ВЫЗВАННОЕ ТЕХНОГЕННЫМ ВЛИЯНИЕМ ГОРОДА БИРОБИДЖАНА****К.С.Голохваст¹, И.Л.Ревуцкая², Е.С.Лонкина³, А.В.Никитина¹, С.Ф.Соломенник¹, Т.Ю.Романова⁴**¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный федеральный университет», 690990, г. Владивосток, ул. Суханова, 8²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема», 679015, ЕАО, г. Биробиджан, ул. Широкая, 70а³Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный заповедник «Бастак», 679014, ЕАО, г. Биробиджан, ул. Шолом-Алейхема, 69А⁴Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, 690022, г. Владивосток, пр-т 100 лет Владивостоку, 159**РЕЗЮМЕ**

В работе приведены результаты исследования нано- и микрочастиц атмосферных взвесей, содержащихся в снеге г. Биробиджана и заповедника Бастак зимой 2013/2014 г., при помощи лазерной гранулометрии и масс-спектрометрии высокого разрешения с индуктивно связанной плазмой. Показано, что в атмосферных взвешах Биробиджана в экологически значимых количествах (до 72,4%) содержатся техногенные микрочастицы. Выявлено влияние ТЭЦ и автотранспортных развязок на качественный состав атмосферных взвесей. Отмечается, что в воздухе заповедника Бастак также содержится значительное (до 66,3%) количество частиц размером до 10 мкм. Анализ качественного состава атмосферных взвесей Биробиджана подтверждает его статус как города с выраженным уровнем микроразмерного загрязнения атмосферы. Важно отметить, что Биробиджан отрицательно влияет на состав атмосферной взвеси заповедника Бастак.

Ключевые слова: атмосферные взвеси, микрочастицы, техногенные частицы.

SUMMARY**NANO- AND MICRODIMENSIONAL POLLUTION
OF THE ATMOSPHERE OF THE RESERVE
"BASTAK" CAUSED BY TECHNOGENIC
IMPACT OF BIROBIDZHAN CITY****K.S.Golokhvast¹, I.L.Revutskaya², E.S.Lonkina³,
A.V.Nikitina¹, S.F.Solomennik¹, T.Yu.Romanova⁴**¹Far Eastern Federal University, 8 Sukhanova Str., Vladivostok, 690950, Russian Federation²Sholem Aleichem Priamursky State University, 70a Shirokaya Str., Birobidzhan, 679015, Russian Federation³State Natural Reserve "Bastak", 69A Sholem Aleichem Str., Birobidzhan, 679014, Russian Federation⁴Far East Geological Institute FEB RAS, 159 100-letiya Vladivostoka Ave., Vladivostok, 690022, Russian Federation

The results of the research of nano- and microparticles of atmospheric suspensions which were in the snow of Birobidzhan and the Reserve Bastak in the winter of 2013/2014 by means of laser granulometry and mass spectrometry of high resolution with inductively connected plasma are given in the work. It is shown that there are technogenic microparticles (up to 72.4%) of ecologically significant quantities in atmospheric suspensions of Birobidzhan. The influence of combined heat and power plant and motor transportation junctions on qualitative structure of atmospheric suspensions has been revealed. It is noted that the air in Bastak also contains a significant amount (to 66.3%) of particles up to 10 microns. The analysis of qualitative structure of atmospheric suspensions of Birobidzhan confirms its status as a city with the expressed level of microdimensional pollution of the atmosphere. It is important to note that Birobidzhan negatively influences the structure of the atmospheric suspension of the Reserve Bastak.

Key words: atmospheric suspensions, microparticles, technogenic particles.

В атмосферных взвешах современных городов, в отличие от заповедников, содержится большее количество техногенных частиц. С ростом техногенного воздействия в целом на атмосферу Земли, наблюдается рост числа техногенной взвеси во всех городах и природоохранных объектах. Это обусловлено малыми размерами частиц и их способностью долго не оседать.

Целью этой работы было провести качественную и приближенно количественную оценку техногенного воздействия на атмосферу удаленной от города природоохранной зоны. Государственный заповедник «Бастак», основанный в 1997 г. для охраны экосистем северного Приамурья – кедрово-липовых лесов с богатой флорой и фауной, и находящийся близко от города Биробиджана был моделью для нашего исследования.

Материалы и методы исследования

Биробиджан – административный, экономический и культурный центр Еврейской автономной области (ЕАО). Город относится к средним городам Дальнего

Востока, находится в умеренном муссонном климатическом поясе, имеет площадь 150 км² и численность населения 77,7 тыс. человек. В пределах города расположено около 100 стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха.

В качестве природоохранной зоны рассматривается единственная действующая особоохраняемая природная территория федерального значения в ЕАО – государственный природный заповедник «Бастак», площадью около 92 га. Он находится севернее г. Биробиджана на расстоянии 15 км и также находится в муссонной климатической области.

Пробы снега были отобраны на пяти станциях в каждом объекте отбора (рис. 1), расположенных непосредственно в черте г. Биробиджана и заповедника «Бастак», в разные периоды: в Биробиджане (1-й период – 25.11.2013 г.; 2-й период – 02.02.2014 г.; 3-й период – 28.02.2014 г.) и Бастаке (1-й период – 20.11.2013 г.; 2-й период – 29.01.2014 г.; 3-й период – 28.02.2014 г.).

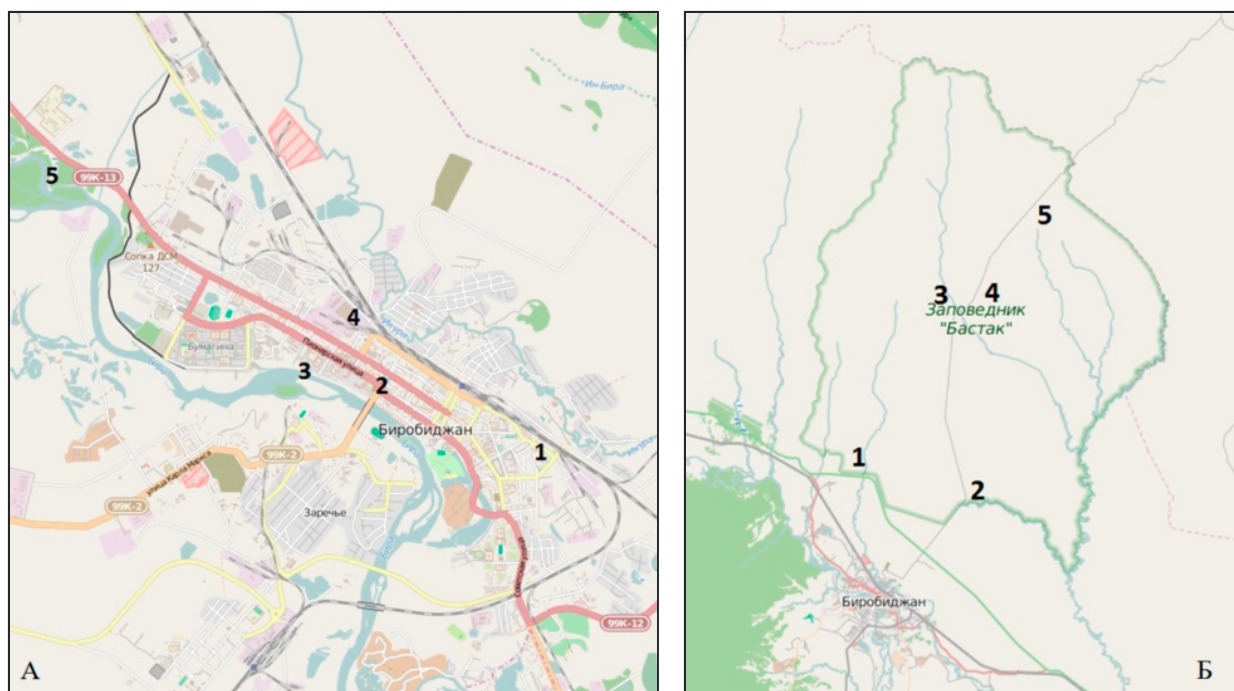


Рис. 1. Карта-схема мест отбора проб снега на территории г. Биробиджана (А) и заповедника «Бастак» (Б). Участники "OpenStreetMap".

Точки отбора в г. Биробиджане: Г1 – недалеко от переезда на пос. Лукаши (влияние ж/д); Г2 – Кольцевая дорога, «Радуга», выезд на мост (влияние автодороги); Г3 – д/с №44 (450 м южнее ТЭЦ); Г4 – пер. Ремонтный, 5 (500 м восточнее ТЭЦ); Г5 – психиатрическая больница, в лесу (контрольная).

Точки отбора в заповеднике «Бастак»: Б1 – возле Читинской трассы, равнина, примерно 100 м от трассы, граница Бастака, правый берег р. Икуры; Б2 – трасса Биробиджан-Кукан, примерно 15 км от Биробиджана, равнина, левый берег р. Глинянки (растительность – осоково-вейниковый луг); Б3 – трасса Биробиджан-Кукан, 30 км от Биробиджана, среднее течение р. Бастак, левый берег (растительность – лиственный марь); Б4 – трасса Биробиджан-Кукан, 30 км от г. Биробиджан, среднее течение р. Бастак, правый берег, на склоне южной экспозиции – привершинная часть (растительность – кедрово-дубовый лес); Б5 – гора Чернуха, средняя часть, на склоне юго-восточной экспозиции (растительность – кедрово-широколиственный лес, достоверно доказано усыхание пихты белокорой).

Снег собирался в Биробиджане и заповеднике Бастак в момент снегопада. Чтобы исключить вторичное загрязнение антропогенными аэрозолями, был собран верхний слой (5-10 см) только что выпавшего снега. Его помещали в стерильные контейнеры объемом 1 л. Через пару часов, когда снег в контейнерах растаял, из каждого образца набирали 40 мл жидкости и анализировали на лазерном анализаторе частиц Analysette 22 NanoTec (Fritsch, Германия), позволяющем в ходе одного измерения устанавливать распределение частиц по размерам, а также определять их форму и ряд морфометрических параметров. Измерения проводились в режиме «nanotec» с установками «quartz/water 20°C».

Также из каждого образца набирали 10 мл жидкости и анализировали на масс-спектрометре высокого

разрешения с индуктивно-связанной плазмой Element XR (Thermo Scientific). Измерения проводили с использованием методики ЦВ 3.18.05-2005. Пробы отфильтровывались от твердого осадка с помощью фильтра 0,45 мкм.

Исследования проводились с использованием оборудования ЦКП «Межведомственный центр аналитического контроля состояния окружающей среды» ДВФУ.

Результаты исследования и их обсуждение

С помощью лазерной гранулометрии нам удалось выяснить соотношение фракций частиц и другие морфометрические характеристики в разные периоды в Биробиджане и Бастаке (табл. 1, 2).

Таблица 1

**Распределение частиц в снеге по фракциям на станциях отбора проб г. Биробиджана (Г1-Г5)
в разные периоды (1-3)**

Фракция, мкм	Г1			Г2			Г3			Г4			Г5		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
менее 1	9,7	2,3	1	10,8	0,6	0	4,1	2,1	0,9	7,5	2,9	0	3,8	3,3	3,1
1-10	41,9	22,1	19	55,1	4,7	25,8	31	23,6	15,7	64,9	30,2	3,9	47,2	36,3	10,2
10-50	19,5	39,6	33,9	36,7	8,2		42,1	55,7	29,5	13,5	33,6		44,6	38,7	3,6
50-100		9,2			0,5		2,7	17,3					4,4	3,9	
100-400		3,7	1,9		30,8	0,3	12,7	1,3			16,8			2,7	6,5
400-700	7,5	13,8	35,5	0,3	46,7	45,9	7,4		4,9	0,9	16,2	9		0,8	41,1
Более 700	21,4	11,3	8,7	7,1	8,5	28			49	13,2	0,3	90,1		14,3	35,5
Средний арифметический диаметр, мкм	234,01	183,3	277,64	74,47	410,2	492,8	29,04	29,04	485,26	130,9	138,17	892,84	16,48	152,64	553,66
Мода, мкм	800,52	680,52	597,61	13,36	491,79	658,77	35,41	35,41	882,46	2,72	13,81	911,59	34,28	15,72	726,2

Таблица 2

**Распределение частиц в снеге по фракциям на станциях отбора проб заповедника «Бастак» (Б1-Б5)
в разные периоды (1-3)**

Фракция, мкм	Б1			Б2			Б3			Б4			Б5		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
менее 1	2,2	3	3,9	7,6	3,4	0,1	3,1	3,6	0,2	2	1,1	1	4,3	1,1	2,5
1-10	61,6	24,3	33,4	53,6	22,2	10,3	46,6	30,9	37,9	25,9	11,9	27,3	62	11,4	44
10-50	13,4	27,4	31,9	0,9	28,1	4,5	39,2	18,3	40	23,5	32,4	21,5	11,7	28,5	20
50-100		7			17,4					8,6	17,6			20,6	
100-400		18,2			17			8,7		3,1	27,1			30,5	
400-700	1,9	19	18,2	4,2	11,3	4,1	0,5	21,6	1,8	9,9	9,9	5,6	1,9	7,9	10,7
Более 700	20,9	1	12,6	33,7	0,6	81	10,6	6,9	20,1	27		44,6	20,1		22,8
Средний арифметический диаметр, мкм	207,26	154,58	215,32	332,2	117,56	800,88	110,29	257,7	201,9	311,06	137,9	445,54	199,67	128,7	262,67
Мода, мкм	882,46	491,79	680,52	854,25	87,93	911,59	13,36	560,02	13,81	800,52	367,13	882,46	882,46	367,13	774,94

Как видно из таблицы 1, атмосфера Биробиджана насыщена микроразмерными частицами опасного для здоровья человека размерного ряда – менее 10 мкм. Это так называемая респираторная фракция, которая проникает глубоко в легкие (рис. 2).

Такие частицы, представленные на рисунке 2, являются продуктом выхлопов автомобилей – сажа, пеплы, металлосодержащие частицы.

В районе ТЭЦ отмечается самая большая доля частиц с размером менее 10 мкм – 72,4% (рис. 3).

В целом, столь выраженное микроразмерное загряз-

нение атмосферы Биробиджана обусловлено тем, что в пределах города расположено около 100 стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха. Промышленные предприятия сосредоточены в основном в западной и северо-западных частях города, Биробиджанская ТЭЦ – в центре. В структуре выбросов на протяжении нескольких лет ведущее место принадлежит теплоэнергетике и автотранспорту. Стоит отметить, что по территории города проходит Транссибирская железнодорожная магистраль.

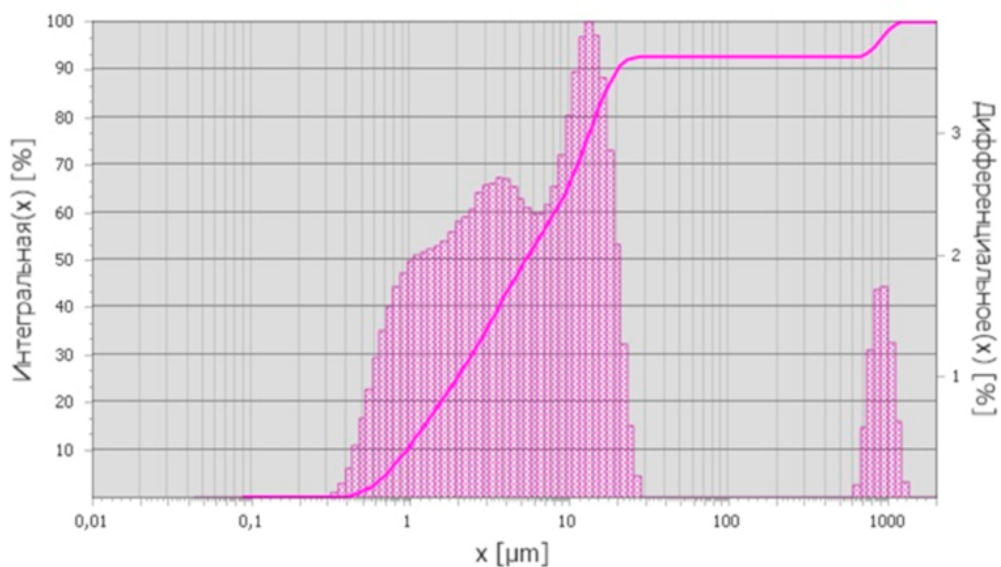


Рис. 2. Типовая гистограмма долей частиц атмосферной взвеси в образце снега, собранного в районе Г2 (Кольцевая дорога, выезд на мост).

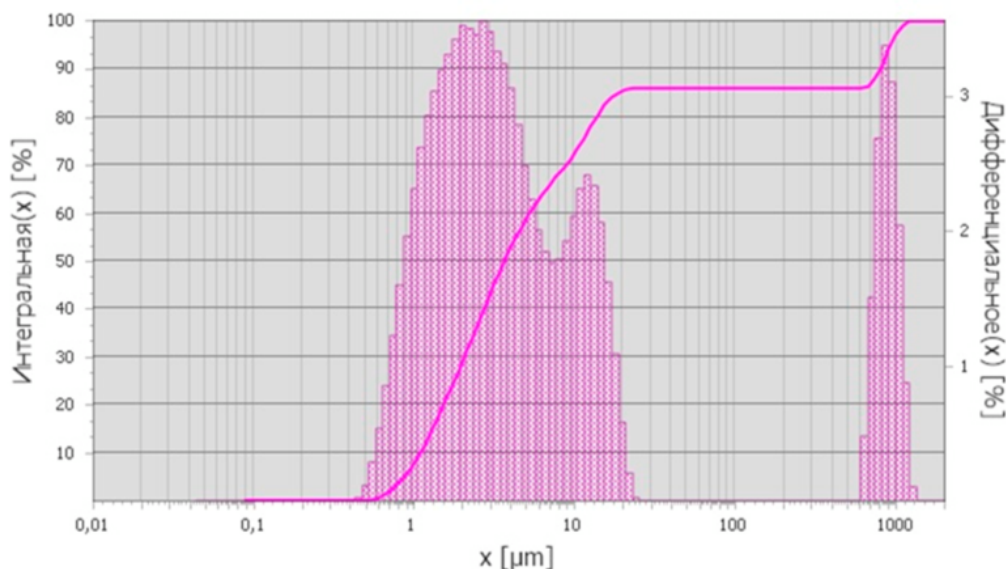


Рис. 3. Типовая гистограмма долей частиц атмосферной взвеси в образце снега, собранного в районе Г4 (ТЭЦ).

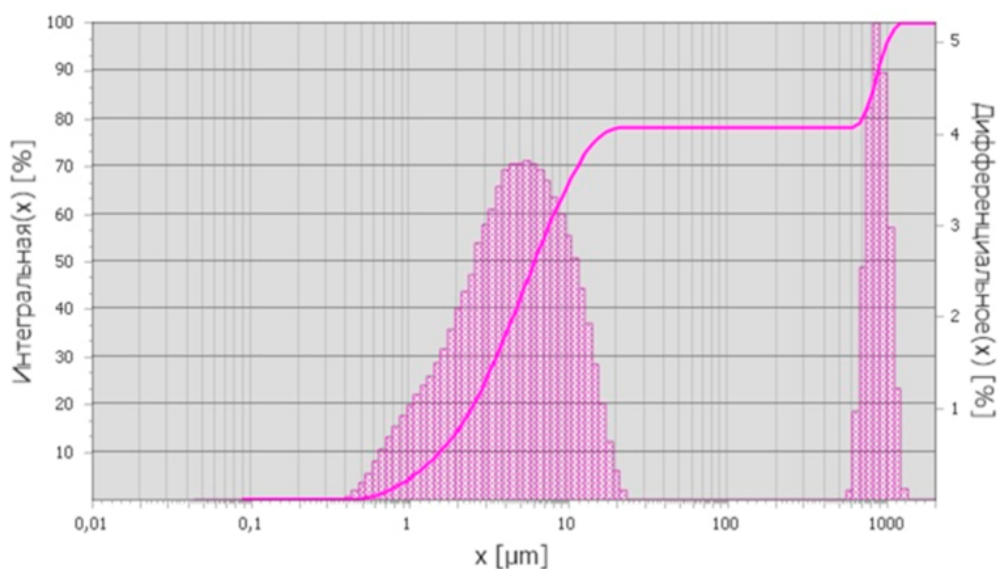


Рис. 4. Типовая гистограмма долей частиц атмосферной взвеси в образце снега, собранного в районе Б5 (гора Чернуха).

Ранее мы исследовали состав и размерность атмосферной взвеси Биробиджана и его влияние на заповедник «Бастак» [1, 2]. В частности, в воздухе природоохранной зоны нами, наряду с природными, были обнаружены техногенные микрочастицы различного генезиса.

За прошедшие три года, к сожалению, картина к лучшему не изменилась. С точки зрения размерных форм, в атмосферной взвеси Бастака продолжают преобладать микрочастицы. Даже в самой отдаленной от Биробиджана части заповедника мы обнаружили выраженную долю частиц менее 10 мкм – 66,3% (рис. 4).

Расстояние 15 км, которое разделяет город и заповедник, не является достаточным, поскольку, как известно, частицы размером 10-100 мкм переносятся в тропосфере на сотни – первые тысячи километров, а взвеси с диаметром частиц 1-10 мкм – до 10 тысяч километров [3]. В среднем, взвеси присутствуют в атмосфере примерно 5 суток [4].

При изучении содержания тяжелых металлов в снеге методом масс-спектрометрии, в пробах, собранных в Биробиджане было выявлено повышенное содержание Cr, а в образцах, отобранных в Бастаке – единичные случаи повышения Ni и Zn, что не коррелировало друг с другом (табл. 3).

Таблица 3

Результаты масс-спектрометрии снеговых проб, собранных в г. Биробиджане и заповеднике «Бастак» (мкг/л)

Период, точки отбора		Cr	Fe	Ni	Zn	Cd	Pb	As
		<i>Бастак</i>						
1	Б1	0,04±0,01	1,86±0,56	0,26±0,08	7,30±2,19	0,003±0,001	0,15±0,04	0,13±0,04
	Б2	0,04±0,01	2,71±0,81	0,21±0,06	8,21±2,46	0,003±0,001	0,13±0,04	0,18±0,05
	Б3	0,14±0,04	2,03±0,61	11,97±3,59	20,56±6,17	0,0013±0,0004	0,024±0,007	0,09±0,02
	Б4	0,27±0,08	1,05±0,31	0,56±0,17	19,48±5,84	0,004±0,0013	0,14±0,04	0,23±0,07
	Б5	0,03±0,01	0,72±0,22	1,14±0,34	8,66±2,59	0,0013±0,0004	0,13±0,04	0,12±0,04
2	Б1	0,07±0,02	4,88±1,46	0,8±0,24	25,55±7,66	0,003±0,001	0,05±0,01	0,33±0,098
	Б2	0,06±0,02	2,55±0,76	0,73±0,22	2,48±0,74	0,11±0,03	0,29±0,08	0,1±0,03
	Б3	0,07±0,02	6,86±2,06	0,43±0,13	27,66±8,29	0,17±0,05	0,24±0,07	0,80±0,24
	Б4	0,12±0,03	3,49±1,05	0,58±0,17	45,33±13,59	0,16±0,05	0,87±0,26	0,78±0,23
	Б5	0,14±0,04	3,05±0,91	0,34±0,1	27,03±8,11	0,115±0,034	0,57±0,17	1,01±0,30
3	Б1	0,29±0,08	4,61±1,38	3,3±0,99	187,58±6,27	0,056±0,017	0,13±0,04	0,1±0,03
	Б2	0,12±0,04	0,84±0,25	0,52±0,16	23,04±6,91	0,017±0,005	0,03±0,01	0,05±0,016
	Б3	0,03±0,01	0,44±0,13	0,24±0,07	20,98±6,29	0,03±0,01	0,03±0,01	0,06±0,02
	Б4	0,04±0,01	0,56±0,17	0,33±0,1	21,03±6,31	0,09±0,026	0,03±0,01	0,08±0,02
	Б5	0,09±0,03	0,62±0,18	0,21±0,06	9,40±2,82	0,033±0,01	0,05±0,01	0,06±0,02
		<i>Биробиджан</i>						
1	Г1	1,49±0,45	30,53±9,16	0,37±0,11	23,93±7,18	0,011±0,003	0,51±0,15	0,69±0,21
	Г2	1,78±0,534	7,3±2,2	0,38±0,11	14,82±445	0,008±0,002	0,58±0,17	0,60±0,18
	Г3	2,23±0,67	3,13±0,94	0,35±0,11	27,14±8,14	0,012±0,003	1,57±0,47	0,56±0,17
	Г4	3,22±0,96	3,92±1,18	0,33±0,09	11,36±3,41	0,005±0,002	0,34±0,103	0,39±0,12
	Г5	2,80±0,84	0,85±0,25	0,92±0,27	19,52±5,86	0,004±0,001	0,17±0,05	0,47±0,14
2	Г1	0,33±0,098	2,14±0,64	0,41±0,12	23,07±6,92	0,007±0,002	0,32±0,09	0,25±0,07
	Г2	0,17±0,05	1,56±0,47	0,72±0,21	7,41±2,22	0,03±0,001	0,086±0,02	0,87±0,26
	Г3	0,22±0,07	1,27±0,38	0,33±0,09	40,79±12,24	0,04±0,01	0,31±0,09	0,22±0,07
	Г4	0,27±0,08	0,94±0,28	0,45±0,14	42,59±12,78	0,12±0,04	0,31±0,09	0,64±0,19
	Г5	0,8±0,24	0,97±0,29	0,29±0,09	6,19±1,86	0,024±0,007	0,13±0,04	0,14±0,04
3	Г1	0,17±0,05	0,16±0,05	0,32±0,1	17,08±5,12	0,032±0,01	0,02±0,006	0,04±0,01
	Г3	0,21±0,06	0,17±0,05	0,2±0,06	5,5±1,65	0,01±0,003	0,02±0,007	0,08±0,02
	Г4	0,23±0,07	0,18±0,05	0,22±0,06	4,0±1,2	0,012±0,003	0,04±0,01	0,04±0,01

Как мы видим, тяжелые металлы присутствуют в снеговых пробах в Биробиджане и Бастаке примерно в равных количествах. Это обусловлено легким переносом атмосферной взвеси на 15 км и отсутствием вблизи и внутри исследованных объектов промышленных предприятий, которые бы являлись выраженным источником этих металлов. Хотя всё же стоит отметить, что в целом, в Биробиджане концентрации некоторых значимых с точки зрения экотоксикологии металлов (Cr) выше, чем в заповеднике.

В качестве заключения необходимо отметить, что заповедники в последнее время испытывают выраженное влияние цивилизации. Как мы можем видеть на примере Биробиджана и Бастака, такое соседство не идет на пользу природоохранным зонам.

В дальнейшем при планировании заповедников, заказников и национальных парков необходимо учитывать розу ветров и расстояние до ближайшего населенного пункта.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ для молодых докторов наук (МД-7737.2016.5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Голохваст К.С., Ревуцкая И.Л., Лонкина Е.С., Никифоров П.А., Гульков А.Н., Христофорова Н.К. Гранулометрический анализ взвешенных частиц в снеге г. Биробиджана и государственного заповедника «Ба-

стак» // Вода: химия и экология. 2013. №2. С.116–123.

2. Голохваст К.С., Ревуцкая И.Л., Лонкина Е.С., Чеккрызов И.Ю., Памирский И.Э., Гульков А.Н., Христофорова Н.К. Характеристика состава атмосферных взвесей государственного заповедника «Бастак» // Экология человека. 2013. №5. С.24–28.

3. Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 389 с.

4. Warneck P. Chemistry of the natural atmosphere. San Diego, CA: Academic Press, 1988. 757 p.

REFERENCES

1. Golokhvast K.S., Revutskaya I.L., Lonkina E.S., Nikiforov P.A., Gulkov A.N., Khristoforova N.K. Comparison of granulometric characteristics of suspended particles in the snow of Birobidzhan city and Federal Reserve "Bastak". *Water: Chemistry and Ecology* 2013; 2:116–123 (in Russian).

2. Golokhvast K.S., Revutskaya I.L., Lonkina E.S., Chekryzhov I.Yu., Pamirsky I.E., Gulkov A.N., Khristoforova N.K. Characteristic of atmospheric suspensions composition in State Reserve "Bastak". *Ekologiya cheloveka* 2013; 5:24–28 (in Russian).

3. Lisitsyn A.P. Oceanic sedimentation processes. Moscow: Nauka; 1978 (in Russian).

4. Warneck P. Chemistry of the natural atmosphere. San Diego, CA: Academic Press; 1988.

Поступила 11.05.2016

Контактная информация

Кирилл Сергеевич Голохваст,

доктор биологических наук,

заместитель директора по развитию Школы естественных наук,

профессор кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере Инженерной школы,

директор Научно-образовательного центра по направлению нанотехнологии,

Дальневосточный федеральный университет,

690990, г. Владивосток, ул. Суханова, 8.

E-mail: droopy@mail.ru

Correspondence should be addressed to

Kirill S. Golokhvast,

PhD, DSc, Deputy Director on Development of Natural Sciences School,

Professor of Department of Safety in Technosphere of Engineering School,

Director of SEC in Nanotechnology,

Far Eastern Federal University,

8 Sukhanova Str., Vladivostok, 690990, Russian Federation.

E-mail: droopy@mail.ru