

# ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ анализ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ

## в СНЕГЕ г. Биробиджана и ГОСУДАРСТВЕННОГО заповедника «БАСТАК»

Приведены результаты исследования нано- и микрочастиц атмосферных взвесей, содержащихся в снеге Биробиджана и государственного заповедника «Бастак» зимой 2011-2012 гг. Показано применение лазерного анализатора частиц для изучения качественного и количественного состава взвесей атмосферных осадков. Выявлено распределение взвешенных в воздухе частиц различных размеров и генезиса в различающихся антропогенной нагрузкой районах города и заповедника.



### Введение

**З**аповедник — это особо охраняемая территория или акватория, полностью или частично исключённая из хозяйственного использования в целях сохранения природных комплексов, охраны видов животных и растений, а также наблюдения за природными процессами.

Цель данной работы — выяснить, насколько сильно антропогенная нагрузка современного города может влиять на расположенную относительно близко природно-охранную зону.

В качестве источника антропогенной нагрузки был выбран г. Биробиджан — административный, экономический и культурный центр Еврейской автономной области (ЕАО). Город относится к средним городам Дальнего Востока, находится в умеренном

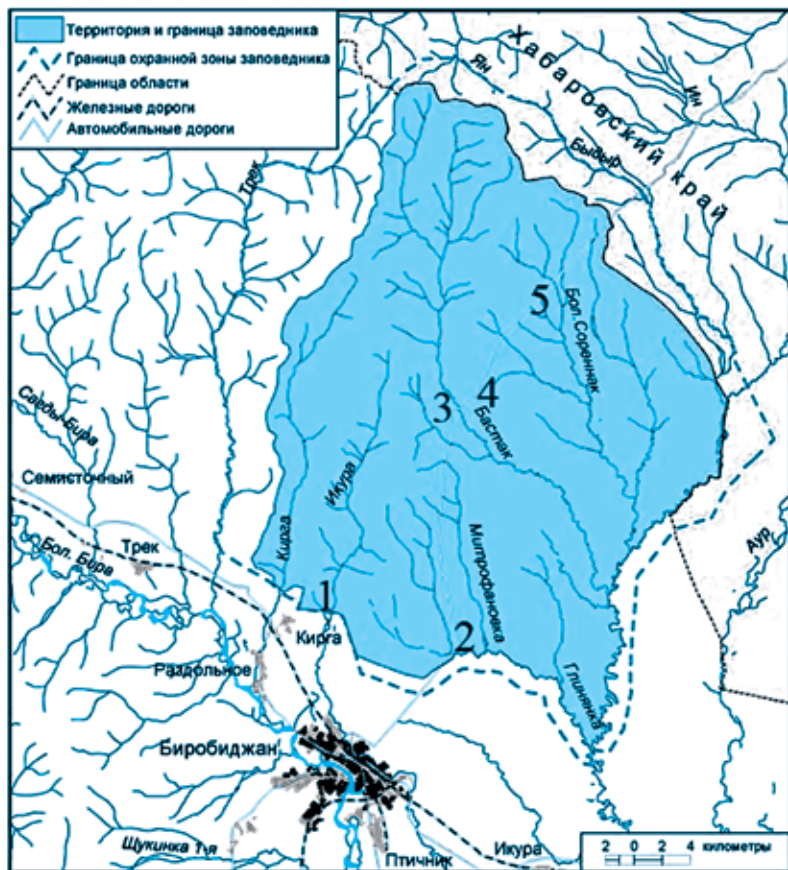
**К.С. Голохваст\***,  
доцент кафедры  
нефтегазового  
дела и нефтехимии,  
Инженерная  
школа, ФГОУ ВПО  
Дальневосточный  
федеральный университет

**И.Л. Ревуцкая**,  
кандидат биологических наук, доцент  
кафедры общей  
экологии, ФГБОУ  
ВПО Приамурский  
государственный  
университет им.  
Шолом-Алейхема,  
Биробиджан

муссонном климатическом поясе, имеет площадь 150 км<sup>2</sup> и численность населения 77,7 тыс. человек. В пределах города расположено около 100 стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха. Промышленные предприятия сосредоточены, в основном, в западной и северо-западной частях города, Биробиджанская ТЭЦ — в центре. В структуре выбросов на протяжении нескольких лет ведущее место принадлежит теплоэнергетике и автотранспорту. По территории Биробиджана проходит Транссибирская железнодорожная магистраль.

В качестве природоохранной зоны рассматривается единственная в ЕАО действующая особоохраняемая природная территория федерального значения — государственный природный заповедник «Бастак». Он находится севернее г. Биробиджан на расстоянии 15 км, в муссонной климатической области. Территория заповедника представлена компактным участком общей площа-

\*Адрес для корреспонденции: droopy@mail.ru



**Рис. 1.** Карта-схема мест отбора проб снега на территории заповедника «Бастак» (взята из [1] с разрешения авторов) (станции отбора проб расшифрованы в тексте).

дью около 92000 га. Здесь же проходит автомобильная дорога Москва — Владивосток и Транссибирская железнодорожная магистраль. С западной стороны заповедник граничит с территорией Бирского лесхоза, леса которого активно эксплуатируются. Северный и северо-восточный предел проходят по границе с Хабаровским краем, с восточной стороны заповедник граничит с Биробиджанским лесхозом [1].

Данное исследование продолжает серию работ, посвященных сбору данных о количественном и качественном составе взвесей городов Дальнего Востока [3-6].

## Материалы и методы исследования

Пробы снега собирались 26.12.2011 г. на 5 станциях, различающихся экологическими условиями, расположенных на территории заповедника «Бастак» (станция Б) (рис. 1).

Среди них наиболее экологически напряженной является станция вблизи фе-

**Е.С. Лонкина,**  
научный сотрудник, ФГБУ «Государственный заповедник «Бастак»

**П.А. Никифоров,**  
старший преподаватель кафедры технологии металлов и металловедения, Инженерная школа, ФГОУ ВПО Дальневосточный федеральный университет

деральной трассы Чита — Хабаровск (1 Б) с наиболее активным движением автомобильного транспорта. Точки 2 Б, 3 Б, 4 Б также располагаются недалеко от дороги, однако автотрасса Биробиджан — Кукан используется достаточно редко, в связи с чем является менее экологически напряженной. Точка 5 Б находится в 300 м восточнее автотрассы Биробиджан — Кукан, поэтому не испытывает антропогенного воздействия со стороны автотрассы. Однако именно в точке отбора 5 Б отмечено усыхание взрослых особей пихты белокорой.

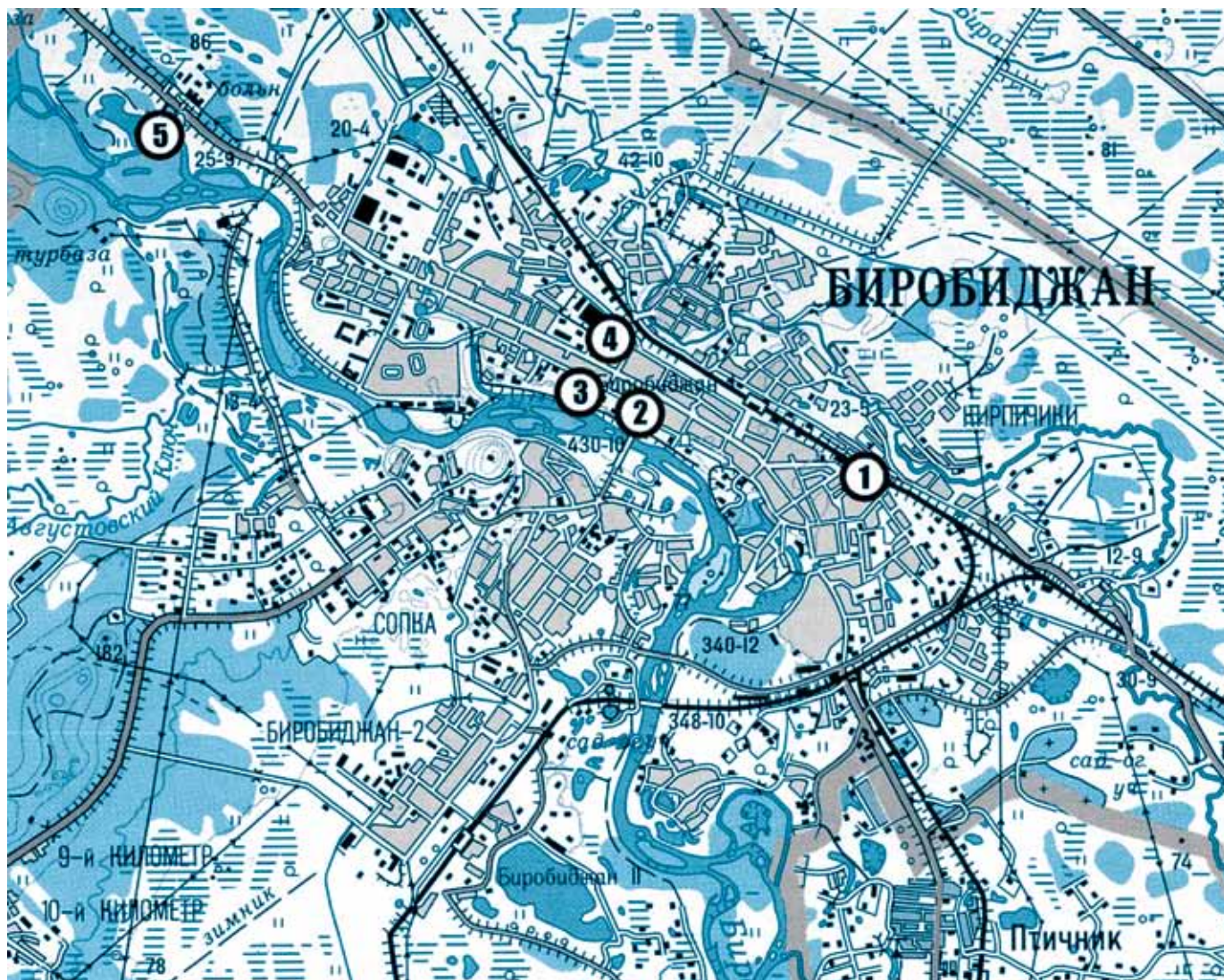
Снег собирался по методике [2] в момент снегопада зимой 2011-2012 гг. Гранулометрический анализ осуществляли на лазерном анализаторе частиц Analysette 22 NanoTech (фирма «Fritsch»).

Пробы снега были отобраны также на пяти станциях 25.11.2011 г., расположенных непосредственно в черте г. Биробиджана (станции Г) (рис. 2). Первая станция (Г 1) расположена недалеко от железнодорожного переезда через Транссибирскую железнодорожную магистраль на пос. Кирпичики (позволяет учитывать влияние выбросов железнодорожного транспорта на жилую застройку). Вторая станция (Г 2) находится в районе кольцевой автомобильной дороги с сильным потоком автотранспорта, остановка «Радуга» (позволяет учитывать влияние выбросов автомобильного транспорта на жилой район города). Третья станция (Г 3) размещена в санитарно-защитной зоне Биробиджанской ТЭЦ, около детского дошкольного учреждения № 44, которое удалено от ТЭЦ на 450 м (позволяет учитывать влияние организованных выбросов ТЭЦ на жилую застройку города). Четвертая станция (Г 4) — переулок Ремонтный, д. 5 также находится в пределах санитарно-защитной зоны Биробиджанской ТЭЦ, но в отличие от ст. Г 3 учитывает влияние неорганизованных выбросов ТЭЦ на жилые районы города и удалена от главной трубы ТЭЦ на 500 м. Станция Г 5 является «контрольной точкой», расположена в лесной зоне в районе психиатрической больницы, на удалении от городской застройки и частного сектора.

## Результаты и их обсуждение

Анализируя полученные результаты, можно разделить аэрозольные частицы по размерам на семь классов: 1) от 0,1 до 1 мкм (соответствует PM1), 2) от 1 до 10 мкм (соответствует PM10), 3) от 10





**Рис. 2.** Карта-схема мест отбора проб снега на территории г. Биробиджана (станции отбора проб расшифрованы в тексте).

до 50 мкм, 4) от 50 до 100 мкм, 5) от 100 до 400 мкм, 6) от 400 до 700 мкм и 7) более 700 мкм.

Размеры и процентное соотношение фракций в пробах взвеси показаны на рис. 3-12), где приведены кривые распределения частиц по фракциям, полученные для каждой из станций.

Район 1 Б характеризуется наличием двух мелкодисперсных фракций (около Читинской трассы, равнина, примерно 100 м от трассы, граница заповедника «Бастак», правый берег р. Икуры. Растительность: осоково-вейниковый луг).

Район 2 Б характеризуется наличием одной мелкодисперсной фракции (трасса Биробиджан — Кукан, примерно 15 км от Биробиджана, равнина, левый берег р.

**А.Н. Гульков,** профессор, заведующий кафедры нефтегазового дела и нефтехимии, Инженерная школа, ФГОУ ВПО Дальневосточный федеральный университет

**Н.К. Христофорова,** профессор кафедры общей экологии, Школа естественных наук, ФГОУ ВПО Дальневосточный федеральный университет

Глинянки. Растительность: осоково-вейниковый луг).

Район 3 Б характеризуется наличием двух фракций (трасса Биробиджан — Кукан, 30 км от Биробиджана, среднее течение р. Бастак, левый берег. Растительность: лиственничная марь).

Район 4 Б характеризуется наличием двух фракций — наноразмерной и мелкодисперсной (трасса Биробиджан — Кукан, 30 км от г. Биробиджан, среднее течение р. Бастак, правый берег, на склоне южной экспозиции (привершинная часть). Растительность: кедрово-дубовый лес.)

Район 5 Б характеризуется наличием восьми фракций с разной степенью проявления (гора Чернуха, средняя часть, на склоне юго-восточной экспозиции. Растительность:



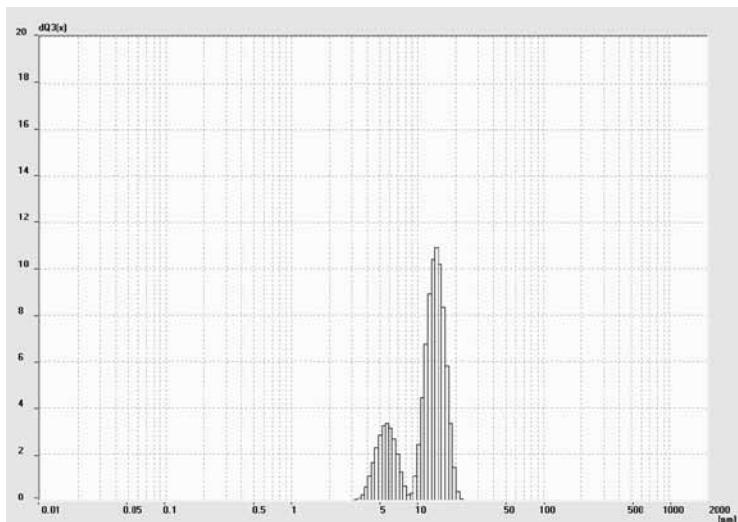


Рис. 3. Размеры частиц и их доля (в %) в пробах взвеси из района 1 Б.

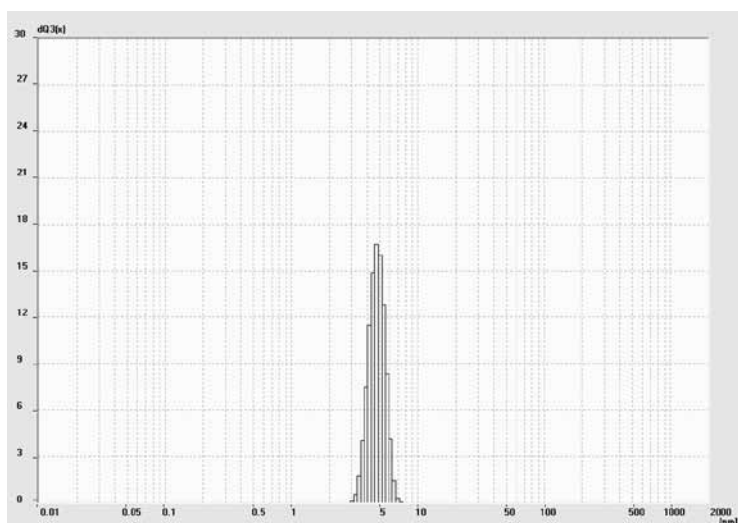


Рис. 4. Размеры частиц и их доля (в %) в пробах взвеси из района 2 Б.

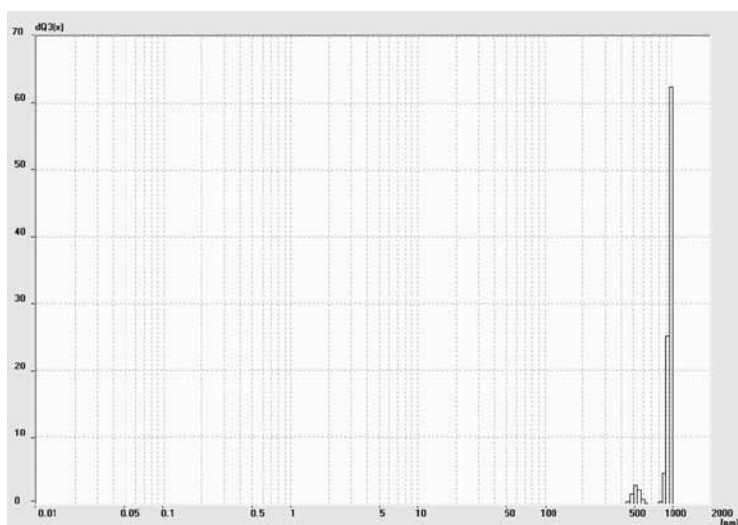


Рис. 10. Размеры частиц и их доля (в %) в пробах взвеси из района 3 Б.

кедрово-широколиственный лес, достоверно доказано усыхание пихты белокорой).

Район Г 1 характеризуется наличием трёх фракций (железнодорожный переезд на пос. Кирпичики, Транссибирская железнодорожная магистраль).

Район Г 2 характеризуется наличием четырёх фракций (кольцевая автомобильная дорога, остановка «Радуга»).

Район Г 3 характеризуется наличием семи фракций (санитарно-защитная зона Биробиджанской ТЭЦ, около детского дошкольного учреждения № 44).

Район Г 4 характеризуется наличием шести фракций (санитарно-защитная зона Биробиджанской ТЭЦ, пер. Ремонтный, д. 5).

Район Г 5 характеризуется наличием четырёх фракций (лесная зона за городом, контрольный район).

Обобщает эти рисунки табл. 1, позволяющая увидеть картину полностью.

Как можно видеть, частицы с диаметром менее 10 мкм в достаточно значимом количестве встречаются в районах 1 Б, 2 Б, 4 Б, 5 Б.

Наибольшее количество мелких частиц, взвешенных в атмосферном воздухе, выявлено в районах 2 Б (3-7 мкм) и 4 Б (0,2-0,5 и 5-8 мкм). Возникает вопрос об источнике таких частиц в атмосфере государственного заповедника при отсутствии техногенной нагрузки (кроме трассы Биробиджан — Кукан) и при том, что почти 60 % территории заповедника «Бастак» покрыто лесом.

Считается, что частицы взвесей размером менее 10 мкм чаще всего являются техногенными, однако единственный техногенный источник пыления — автотрасса Биробиджан — Кукан, используется достаточно редко.

Можно выдвинуть несколько рабочих версий для объяснения этого факта. Возможным источником нано- и микрочастиц размером до 10 мкм в атмосферных взвесах, согласно мнению некоторых исследователей [7], может являться бурение или взрыв горной породы. Такие работы действительно проводились в районе строящегося горно-обогатительного комбината в поселке городского типа Известковый (около 100 км от заповедника к западу) в момент забора проб. Согласно метеорологическим данным на утро 26 декабря 2011 г. (день забора проб) на территории Биробиджана и заповедника «Бастак» дул западный ветер. Доказательством этой версии служат те факты, что частицы взвеси размером 1-10

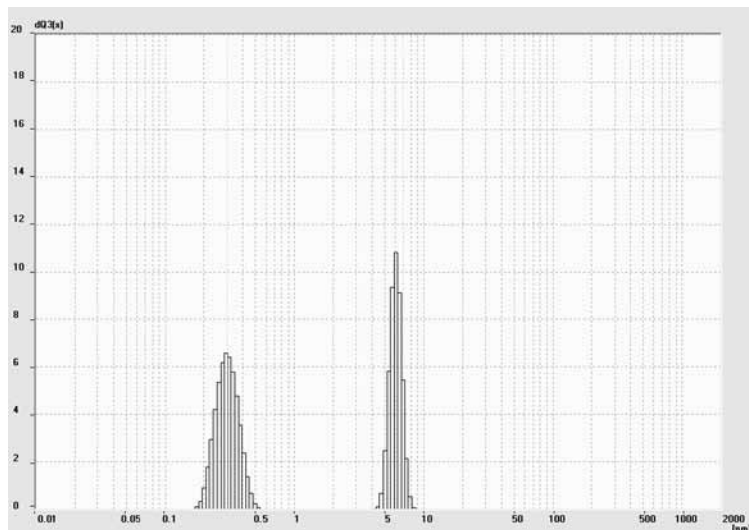


Рис. 11. Размеры частиц и их доля (в %) в пробах взвеси из района 4 Б.

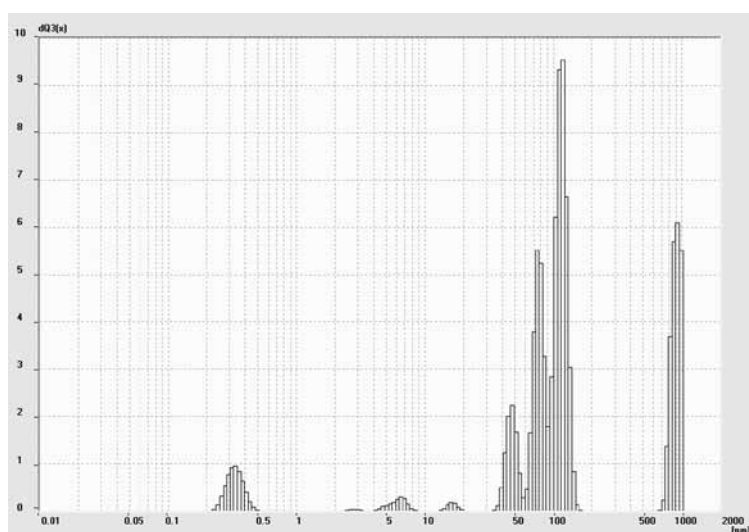


Рис. 12. Размеры частиц и их доля (в %) в пробах взвеси из района 5 Б.

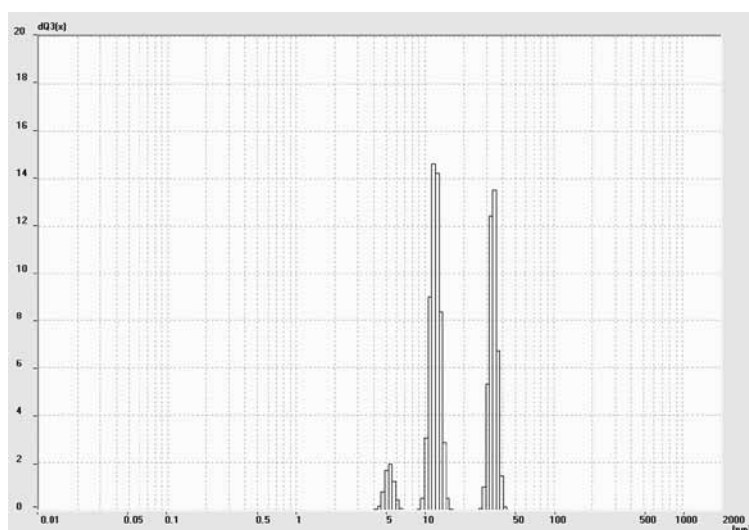


Рис. 5. Размеры частиц и их доля (в %) в пробах взвеси из района Г 1.

мкм переносятся в тропосфере до 10 тыс. км [8] и взвеси присутствуют в атмосфере примерно 5 сут [9].

Возможным источником пыления для таких размерных форм частиц могут быть также пыльные бури из пустынь Монголии и Китая [10. 11]. Безусловно, что без подробного электронно-микроскопического и минералогического анализа определить их качественный состав и, соответственно, источник пыления невозможно.

На станциях отбора проб 1 Б, Г 1, Г 2 и Г 5, расположенных вблизи от автомобильной и железнодорожной трасс, было отмечено довольно высокое содержание взвесей с размером от 10 до 50 мкм, которые, скорее всего, являются частицами сажи, асфальта и автомобильной резины.

Наиболее крупные частицы взвесей (до 1 мм) встречались в образцах из районов Г 3, Г 5, 3 Б, находящихся в относительно благополучной экологической зоне (санитарно-защитная, загородная зона и внутри заповедника).

Более детальные физические характеристики частиц взвеси, обнаруженных в снеге, которые также получены с помощью лазерного анализатора, приведены ниже (табл. 2).

Следует обратить внимание на то, что с точки зрения гранулометрии частицы наиболее мелкого размерного состава обладают огромной удельной площадью поверхности (до 113744,66 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup> в районе 4 Б) и могут сорбировать на себе токсические вещества.

## Заключение

**А**нализируя гранулометрические и морфометрические характеристики частиц исследованных районов необходимо сделать несколько выводов.

Соотношение и размерность атмосферных взвесей Биробиджана позволяют отнести этот город к числу относительно экологически благополучных, поскольку наиболее опасные частицы с гигиенической точки зрения (менее 10 мкм) не выявляются в значимых концентрациях (до 10 %). Несмотря на это, есть районы (Г 1, Г 2, Г 4 и Г 5) в которых отмечаются довольно высокие концентрации частиц 3-го размерного класса (10-50 мкм), которые с точки зрения гигиенической оценки являются потенциально опасными из-за повышения нагрузки на дыхательные пути. Также стоит отметить районы (Г 1 и Г 3) ввиду наличия частиц

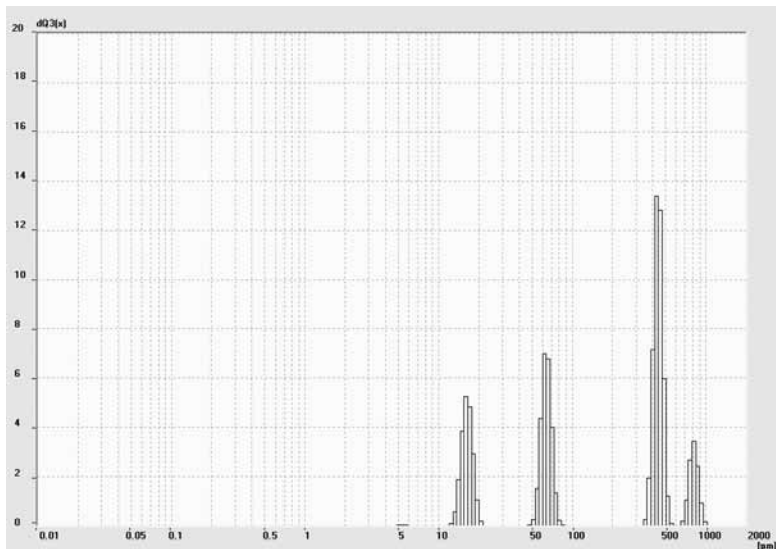


Рис. 6. Размеры частиц и их доля (в %) в пробах взвеси из района Г 2.

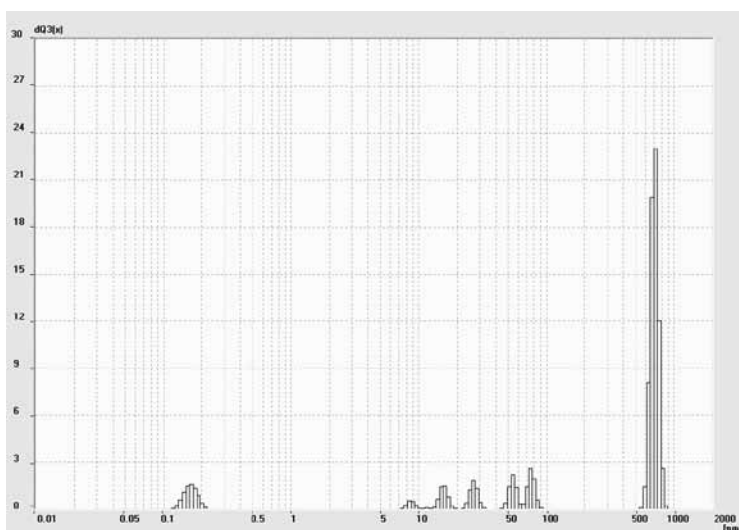


Рис. 7. Размеры частиц и их доля (в %) в пробах взвеси из района Г 3.

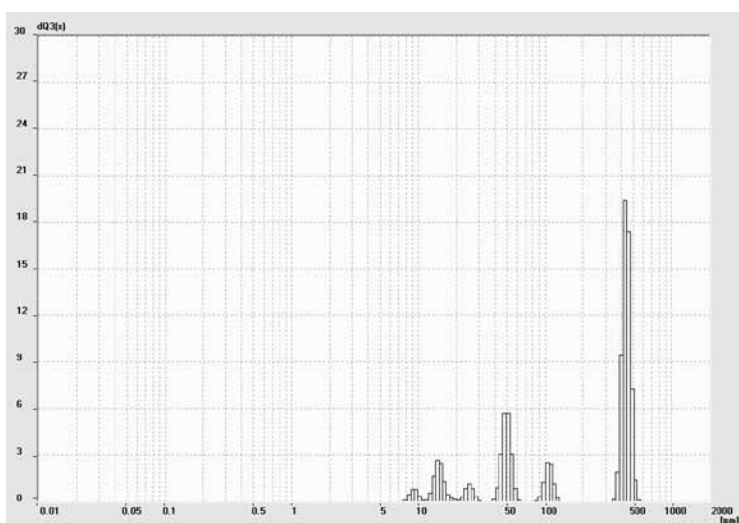


Рис. 8. Размеры частиц и их доля (в %) в пробах взвеси из района Г 4.

с высокой удельной площади поверхности (до  $29696,51 \text{ см}^2/\text{см}^3$ ), которые могут нести на своей поверхности большое количество токсикантов.

Важным результатом данной работы можно считать обнаружение в заповеднике «Бастак» высоких концентраций наиболее опасных для здоровья, с точки зрения размерности, фракций 1-го и 2-го класса (до 10 мкм), которые, скорее всего, являются техногенными. Особое опасение вызывают районы 2 Б и 4 Б, как уже было отмечено выше при обсуждении результатов. Районы 1 Б, 3 Б и 5 Б по гранулометрическому соотношению являются благополучными с точки зрения эколого-гигиенической оценки, так как содержат преобладающие концентрации крупных частиц.

Полученные данные позволяют провести первичное эколого-гигиеническое районирование Биробиджана и заповедника «Бастак» по содержанию частиц атмосферных взвесей, а также переосмыслить влияние техногенных источников на природно-охранные зоны.

Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ 12-04-13002-ДВФУ\_а и Гранта Президента для молодых ученых МК-1547.2013.5.

## Литература

1. Рубцова Т.А. Особо охраняемые природные территории Еврейской автономной области: состояние и перспективы развития // Т.А. Рубцова, А.Ю. Калинин. Владивосток: Дальнаука, 2011. 138 с.
2. Патент на полезную модель № 100263 / Голохваст К.С., Гульков А.Н., Паничев А.М. Устройство для исследования природных взвесей в воздухе. Опубликовано 10.12.2010. Бюл. №34. Приоритет 08.07.2010.
3. Голохваст К.С. Анализ нано- и микрочастиц, содержащихся в снеге г. Владивосток / К.С. Голохваст, Н.К. Христофорова, П.Ф. Кику, А.М. Паничев, Е.Г. Автомонов, П.А. Никифоров, А.Н. Гульков // Вода: химия и экология, 2011. № 9. С. 81-86.
4. Голохваст К.С. Первые данные по вещественному составу атмосферных взвесей Владивостока / К.С. Голохваст, И.Ю. Чекрызов, А.М. Паничев, П.Ф. Кику, Н.П. Христофорова, А.Н. Гульков // Изв. Самарского науч. центра РАН, 2011. Т. 13. № 1 (8). С. 1853-1857.
5. Голохваст К.С. Гранулометрический анализ взвешенных микрочастиц в атмосферных осадках г. Хабаровска / К.С. Голохваст, Е.А. Алейникова, П.А. Никифоров, А.Н. Гульков,



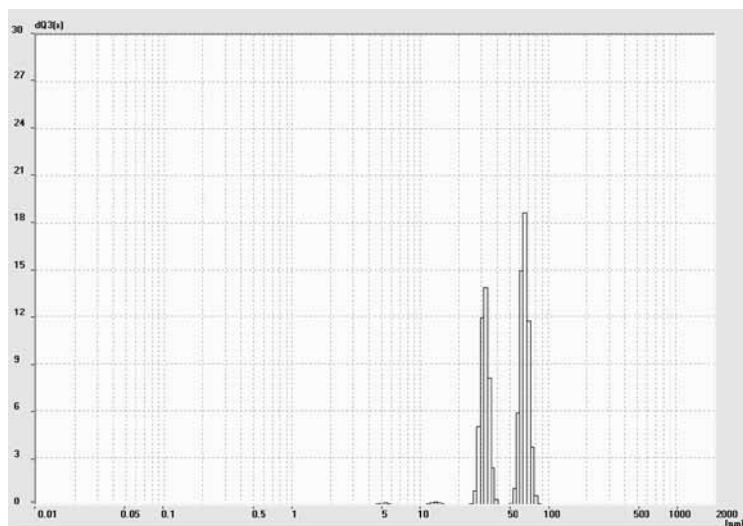


Рис. 9. Размеры частиц и их доля (в %) в пробах взвеси из района Г 5.

Таблица 1

Распределение частиц в снеге по фракциям на станциях отбора проб\*

Фракция, Ø МКМ, %	1 Б	2 Б	3 Б	4 Б	5 Б	Г 1	Г 2	Г 3	Г 4	Г 5
1 0,1-1				0,2-0,5 52 %	0,3-0,5 5 %			0,2-0,3 8 %		
2 1-10	4-8 25 %	3-7 100 %		5-8 48 %	4 1 % 5-8 5 %	4-6 7 %	5 1 %			5 1 %
								7-10 2 %	8-10 4 %	
3 10-50	10-30 75 %				20-30 2 % 40-50 10 %	10-20 50 % 30-40 43 %	20-30 20 %	20-30 5 %	20-30 8 %	18-20 1 % 30-40 43 %
4 50-100					70-90 20 %		50-80 25 %	50-60 7 %	40-60 20 %	
5 100-400					100-150 35 %					50-90 55 % 100-200 8 %
6 400-700			450-550 7 %				400-500 40 %			400-500 75 %
7 700 и бо- лее			800-1000 93 %		700-1000 22 %		700-1000 14 %	600-800 65 %		

\* черным цветом выделены крайне опасные для здоровья фракции, серым – опасные.

Н.К. Христофорова // Вода: химия и экология, 2012. № 6. С. 117-122.

6. Голохваст К.С. Некоторые аспекты моделирования атмосферных взвесей исходя из вещественного состава / К.С. Голохваст, И.Ю. Чекрызов, И.Л. Ревуцкая, Е.В. Соболева, О.Л. Щека, В.В. Чернышев, П.А. Никифоров, Е.Г. Автомонов, Н.К. Христофорова, А.Н. Гульков //Изв. Самарского НЦ РАН, 2012. Т. 14. № 1 (9). С. 2401-2404.

7. Трубецкой К.Н. Техногенные минеральные наночастицы как проблема освоения недр / К.Н. Трубецкой, С.Д. Виктор, Ю.П. Галченко, В.Н. Одинцев // Вестник РАН. 2006. Т. 76. № 4. С. 318-324.

8. Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. М.: Изд-во Наука, 1978. 389 с.

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

Таблица 2

Физические параметры частиц взвеси, содержащихся в снеге в различных районах Биробиджана и заповедника «Бастак»\*

Параметры /район	1 Б	2 Б	3 Б	4 Б	5 Б	Г 1	Г 2	Г 3	Г 4	Г 5
Средний арифметический диаметр, мкм	11,93	4,77	932,24	2,99	268,74	20,47	297,21	484,82	271,39	50,84
Мода, мкм	14,04	4,78	1003,38	5,97	116,52	11,66	427,22	718,40	427,22	66,77
Медиана, мкм	12,85	4,73	968,00	0,40	108,63	13,01	393,49	667,00	401,47	59,33
Отклонение, мкм <sup>2</sup>	17,73	0,49	14956,92	8,65	118949,42	130,24	69941,21	101735,10	39239,94	310,29
Средне-квадратичное отклонение, мкм	4,2	0,70	122,29	2,94	344,89	11,41	264,46	318,96	198,09	17,61
Коэффициент отклонения, %	35,30	14,79	13,12	98,05	128,33	55,75	88,98	65,79	72,99	34,65
Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /см <sup>3</sup>	6048,95	12862,93	66,17	113744,66	11473,20	4114,23	1085,72	29696,51	1010,05	1390,86

\* черным цветом выделены крайне опасные для здоровья показатели

9. Кондратьев И.И. Фоновые потоки аэразального вещества юга Дальнего Востока России, как региональная основа оценки загрязнения атмосферы. Автореф. дис.....к-та. географ.наук. Владивосток, 2000. 26 с.

10. Кондратьев И.И. Синоптические и геохимические аспекты аномального выноса пыли на юге

Приморского края / И.И. Кондратьев, А.Н. Качур, С.Г. Юрченко, Л.И. Мезенцева, Г.Т. Рощупкин, Г.И. Семькина // Вестник ДВО РАН, 2005. № 3. С. 55-65.



K.S.Golokhvast, I.L.Revutskaya, E.S.Lonkina, P.A.Nikiforov, A.N.Gulkov, N.K.Khristoforova

## COMPARISON OF GRANULOMETRIC CHARACTERISTICS OF SUSPENDED PARTICLES IN THE SNOW OF BIROBIDZHAN CITY AND FEDERAL RESERVE «BASTAK»

The paper presents the results of a study of air suspended nano-and microparticles containing in snow in winter 2011-2012 in Birobidzhan city and Federal Reserve «Bastak». It is shown application of the particle laser analyzer for the study of qualitative and quantitative composition of atmospheric precipitation. It is revealed the distribution of particles differing in sizes and genesis in the city and reserve areas with differences in anthropogenic press.

**Key words:** suspension, micro particles, PM10, PM4, PM2,5, PM1, ecological factor