

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»

На правах рукописи

Холодов Алексей Сергеевич

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ
МАЛЫХ И СРЕДНИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ПРИМОРСКОГО
КРАЯ МИКРОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
Голохваст Кирилл Сергеевич
доктор биологических наук,
профессор РАН

Владивосток

2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. АТМОСФЕРНЫЕ ВЗВЕСИ: СВОЙСТВА, ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ В АТМОСФЕРУ, ВЛИЯНИЕ НА ЧЕЛОВЕКА.....	10
1.1. Атмосферные взвеси.....	10
1.1.1 Источники загрязнения атмосферы взвесями.....	16
1.1.2. Атмосферные взвеси городов.....	23
1.1.3 Атмосферные взвеси населенных пунктов Приморского края.....	27
1.2. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на здоровье.....	32
ГЛАВА 2. РАЙОН РАБОТ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	45
2.1 Район работ.....	45
2.1.1 Арсеньевский городской округ.....	46
2.1.2 Городской округ Большой Камень.....	47
2.1.3 Дальнегорский городской округ.....	48
2.1.4 Дальнереченский городской округ.....	51
2.1.5 Кавалеровский район.....	52
2.1.6 Кировский район.....	53
2.1.7 Красноармейский район.....	55
2.1.8 Лесозаводский городской округ.....	57
2.1.9 Находкинский городской округ.....	58
2.1.10 Ольгинский район.....	61
2.1.11 Пограничный район.....	63
2.1.12 Спасский городской округ.....	64
2.1.13 Тернейский район.....	68
2.1.14 Уссурийский городской округ.....	70
2.1.15 ЗАТО Фокино.....	72
2.1.16 Хасанский район.....	73
2.1.17 Чугуевский район.....	76
2.2. Материалы и методы исследования.....	78
2.2.1 Отбор снеговых проб.....	79
2.2.2 Обор проб хвои.....	79
2.2.3 Лазерная гранулометрия.....	80
2.2.4 Атомно-эмиссионная спектрометрия.....	81
2.2.5 Рентгенофлуоресцентная спектрометрия.....	82
2.2.6 Рамановская спектроскопия.....	82

2.2.7 Сканирующая электронная микроскопия.....	83
ГЛАВА 3. КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ВЗВЕСЕЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ПРИМОРСКОГО КРАЯ	85
3.1. Гранулометрический состав взвесей больших населенных пунктов (от 100 до 250 тыс. жителей).....	86
3.2. Гранулометрический состав взвесей среднего населенного пункта (от 50 до 100 тыс. жителей).....	89
3.3. Гранулометрический состав взвесей малых населенных пунктов (подкатегория от 20 до 50 тыс. жителей).....	90
3.4. Гранулометрический состав взвесей малых населенных пунктов (подкатегория от 10 до 20 тыс. жителей).....	100
3.5 Гранулометрический состав взвесей малых населенных пунктов (подкатегория до 10 тыс. жителей).....	104
3.6 Качественный анализ атмосферных взвесей.....	114
3.6.1 Спасск-Дальний.....	114
3.6.2. Дальнегорск.....	126
3.6.3 Посьет.....	133
ГЛАВА 4 ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ПРИМОРСКОГО КРАЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	138
4.1. Населенные пункты с численностью жителей до 10 тысяч человек...	138
4.2. Населенные пункты с численностью жителей от 10 до 50 тысяч человек.....	141
4.3. Населенные пункты с численностью жителей от 50 до 250 тысяч человек.....	148
4.4 Методика ранжирования населенных пунктов (на примере Приморского края).....	150
ВЫВОДЫ.....	153
ЛИТЕРАТУРА.....	155
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	184

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Одной из важнейших современных проблем является загрязнение атмосферного воздуха в городах. Ухудшение качества приземного слоя атмосферы – один из геоиндикаторов изменения природной среды под воздействием урбанизации и хозяйственной деятельности человека. Атмосферный воздух населенных пунктов загрязнен нано- и микрочастицами, имеющими как природное, так и техногенное происхождение: составными частями выхлопных газов автомобилей, различными дымовыми выбросами, продуктами пыления производств, частицами почвы, переносимыми с потоками воздуха газо-аэрозольными примесями и др. (Лисицын, 1978; Голохваст и др., 2012; Симонова и др., 2013; Кондратьев, 2014; Brines et al., 2015; Vu et al., 2015).

Продолжительное воздействие высоких концентраций частиц взвеси на организм человека связывают с развитием патологических изменений в бронхолегочной системе, сердечно-сосудистых заболеваний и т.д. среди жителей крупных городов, а также населенных пунктов с неблагоприятной экологической обстановкой (Brook et al., 2004; Симонова и др., 2013).

В крупных городах России (Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Владивосток и др.), на техногенно загрязненных участках и на территории заповедников ведется регулярный мониторинг состояния атмосферного воздуха согласно требованиям ГОСТ и гигиенических нормативов, а также с учетом рекомендаций ВОЗ.

Большой пласт работы проделан сотрудниками Тихоокеанского института географии ДВО РАН по изучению атмосферного аэрозоля и осадков на территории Дальневосточного федерального округа, включая вопросы трансграничного переноса воздушных потоков в Приморье (Качур, 1976; Елпатьевский и др., 1993; Свинухов, 1997; Кондратьев, 2014).

В то же время, атмосферный воздух небольших городов, поселков и деревень остается малоизученным. Зачастую в небольших городах находятся

градообразующие предприятия, оказывающие настолько значительное влияние на состояние окружающей среды, что их можно приравнять к мегаполисам (Kholodov et al., 2018b). Особенно ярко эта тенденция проявляется в тех случаях, когда предприятия в моногородах относятся к горнодобывающей, металлургической, строительной промышленности, или же занимаются транспортировкой сыпучих грузов (Голохваст и др., 2015).

Проведенные нами предварительные исследования показывают, что атмосферный воздух небольших городов и поселков содержит опасные для здоровья человека микрочастицы менее 10 мкм в диаметре (по международной классификации PM_{10} (particulate matter)) и потенциально опасные (10-50 мкм в диаметре) в значимых долях. Как нами было установлено, техногенным источником этого размерного класса частиц являются автомобили и котельные, работающие на угле. Кроме того, микрочастицы способны долгое время оставаться в воздухе, внося вклад в фоновую концентрацию РМ (Кодинцев и др., 2015; Голохваст и др., 2016; Kholodov et al., 2017b).

Актуальность данной работы определяется тем, что на сегодняшний день отсутствуют систематические данные о составе атмосферных взвесей небольших населенных пунктов Российской Федерации, в том числе и Приморского края.

Цель работы – дать геоэкологическую оценку загрязнения воздуха в малых (с населением до 10 и до 50 тыс. человек) и средних (с населением до 100 тысяч человек) населенных пунктах Приморского края.

Для достижения цели предстояло решить **следующие задачи**:

1. Изучить гранулометрический состав частиц, взвешенных в атмосферном воздухе малых (с населением до 10 и до 50 тысяч человек), средних (с населением до 100 тысяч человек) и, для сравнения, больших (с населением до 250 тысяч человек) населенных пунктов Приморского края;

2. Исследовать физико-химические и морфометрические свойства частиц атмосферной взвеси, находящейся в воздухе малых и средних населенных пунктов изучаемой территории;

3. Верифицировать влияние градообразующих предприятий (цементный завод, открытый угольный терминал и горно-обогатительный комбинат) на атмосферное загрязнение населенных пунктов с населением до 10, до 50 и до 100 тысяч человек (на примере Приморского края);

4. Дать на основании собственных натурных наблюдений и физико-химического состава частиц взвесей геоэкологическую оценку населенным пунктам Приморского края.

Научная новизна. Впервые с помощью комплексного отбора и анализа проб изучено загрязнение воздуха микроразмерными взвесями в 24 населенных пунктах Приморского края (17 районах и городских округах).

География отбора проб: Арсеньевский городской округ – г. Арсеньев; Городской округ Большой Камень – г. Большой Камень; Дальнегорский городской округ – г. Дальнегорск; Дальнереченский городской округ – удаленный район Дальнереченска ЛДК; Кавалеровский район – п. Кавалерово; Кировский район – п. Горные Ключи и село Уссурка; Красноармейский район – села Новопокровка и Измайлиха; Лесозаводский городской округ – г. Лесозаводск; Находкинский городской округ – г. Находка, бывший поселок Козьмино (ныне удаленный район Находки) и Порт Восточный; Ольгинский район – пгт Ольга; Пограничный район – пгт Пограничный; Спасский городской округ – г. Спасск-Дальний; Тернейский район – пгт Терней и пгт Пластун; Уссурийский городской округ – г. Уссурийск; ЗАТО Фокино – г. Фокино; Хасанский район – пгт Славянка и п. Посьет; Чугуевский район – села Чугуевка и Уборка.

Впервые показано, что основными размерными классами частиц атмосферной взвеси в населенных пунктах с населением менее 50 тысяч человек являются частицы диаметром менее 10 мкм (PM_{10}) и более 700 мкм;

а в населенных пунктах с населением от 50 до 250 тысяч человек – частицы диаметром менее 10 мкм и менее 50 мкм.

Показана зависимость содержания микроразмерных частиц антропогенного происхождения (цемента, угля, рудных минералов, металлов и др.) в воздухе населенных пунктов Приморского края от числа жителей и наличия градообразующих предприятий.

Предложена методика ранжирования населенных пунктов с использованием системы геоэкологически значимых критериев.

Теоретическое и практическое значение работы. Полученные результаты должны быть использованы: 1) при проведении гигиенического мониторинга атмосферного воздуха, при этом особое внимание необходимо уделить населенным пунктам из группы «относительно неблагополучных»; 2) для разработки предложений по пересмотру границ санитарно-защитных зон предприятий строительной промышленности, добычи руд, открытых складов и мест перегрузки угля.

Опубликованные материалы используются в учебном процессе и научных исследованиях в Дальневосточном федеральном университете.

Методология и методы диссертационного исследования. Методология исследования базируется на фундаментальных и прикладных работах, в которых были изучены свойства взвесей, процессы их генезиса и переноса (Качур, 1976; Лисицын, 1978; Елпатьевский и др., 1993; Свинухов, 1997; Кондратьев, 2004; Сенотрусова, 2004; Аэрозоли Сибири, 2006; Глазовский, 2006; Шевченко, 2006; Безуглая, Смирнова, 2008; Кондратьев, 2014).

Было проведено количественно-качественное исследование атмосферных взвесей в 24 населенных пунктах Приморского края (17 районах и городских округа) в период с 2015 по 2018 г. Пробы были отобраны в населенных пунктах, различающихся ландшафтом, климатическими условиями, количеством жителей, наличием тех или иных предприятий, воздействующих на окружающую среду. В каждом населенном

пункте были отобраны пробы свежеснегавпавшего снега, а в ряде населенных пунктов дополнительно отбирали пробы хвои.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Воздух небольших (до 100 тысяч человек) населенных пунктов Приморского края содержит микрочастицы опасных размерных классов (до 1, до 10 и до 50 мкм) в значимых долях, что в целом относит их к средней степени загрязнения, сопоставимого с крупными городами (от 500 тысяч человек и более).

2. В населенных пунктах с градообразующими предприятиями (г. Спасск-Дальний, п. Посьет, г. Дальнегорск) повышена доля микроразмерных частиц атмосферной взвеси антропогенного генезиса (цемента, угля, минералов). Доля частиц атмосферной взвеси диаметром 10 мкм (PM₁₀) в этих населенных пунктах доходит до 50% от общего числа частиц в воздухе.

3. Предложенная методика ранжирования позволяет дать оценку влияния урбанизации и хозяйственной деятельности человека на атмосферный воздух населенных пунктов Приморского края.

Степень достоверности результатов. Пробы были проанализированы новейшими методами: лазерной гранулометрии, атомно-эмиссионной спектрометрии, рентгенофлуоресцентной спектрометрии, рамановской спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии.

Личный вклад автора. Автор участвовал в отборе проб, гранулометрическом анализе, обработке результатов, проведении анализов методами рамановской спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии. Автор принимал непосредственное участие в подготовке всех опубликованных по материалам диссертации статей и тезисов докладов.

Апробация результатов. Результаты, представленные в диссертационной работе, докладывались на международных научных конференциях: «Современные технологии и развитие политехнического образования» (Владивосток, 2016); «Asia-Pacific Conference on Fundamental Problems of Opto- and Microelectronics» (Хабаровск, 2016); «Экологические

проблемы промышленных городов» (Саратов, 2017); «Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering (IDPME-2017)» (Санкт-Петербург, 2017); «Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport» (EMMFT 2017) (Хабаровск, 2017); «Far East Con-2018» (Владивосток, 2018); а также на III Инновационном горном симпозиуме (Кемерово, 2018).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 14 статей, включая 6 статей в изданиях, рекомендованных ВАК, и 8 статей в зарубежных журналах, индексируемых БД Scopus (идентификатор автора в Scopus: 57040943100), а также тезисы 2 докладов на научных конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 184 страницах. Содержит введение, обзор литературы, характеристику обследованных территорий, материалы и методы исследования, результаты автора и их обсуждение, выводы, список сокращений и условных обозначений. Список использованной литературы включает 229 источников, в том числе 106 иностранных. Диссертация иллюстрирована 48 таблицами и 81 рисунком.

Благодарности. Выражаю благодарность своему научному руководителю профессору РАН, д.б.н. К.С. Голохвасту за всестороннюю поддержку в процессе работы над диссертацией.

Также выражаю благодарность сотрудникам ДВФУ: д.т.н. В.И. Петухову, д.т.н. А.И. Агошкову, д.б.н. Н.К. Христофоровой, к.т.н. С.М. Угаю, к.б.н. В.В. Чайке, к.б.н. Ю.А. Галышевой, к.х.н. А.М. Захаренко, В.А. Дрозду.

Благодарю главного научного сотрудника ТИГ ДВО РАН и профессора ДВФУ д.г.н. С.М. Говорушко, заместителя директора по научной работе ДВГИ ДВО РАН д.г.-м.н. И.А. Тарасенко, ведущего научного сотрудника – руководителя лаборатории рентгеновских методов ДВГИ ДВО РАН к.г.-м.н. А.А. Карабцова, научного сотрудника лаборатории геохимии ДВГИ ДВО РАН И.Ю. Чекрыжова.

ГЛАВА 1. АТМОСФЕРНЫЕ ВЗВЕСИ: СВОЙСТВА, ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ В АТМОСФЕРУ, ВЛИЯНИЕ НА ЧЕЛОВЕКА

1.1. Атмосферные взвеси

Человек давно осознал взаимосвязь между качеством окружающей среды и здоровьем. Древние греки верили, что «злые ветры» наказывают моряков, и знали, что некоторые вещества в газообразном состоянии могут убить человека. Были известны случаи тяжелых заболеваний среди рабочих рудников, а также ранняя смертность металлургов, кожевников, горнорабочих. В XVI веке немецкий ученый Георгий Агрикола и швейцарец Парацельс дали описание клинической картине заболеваний горняков, страдающих от заболеваний дыхательных путей (Сенотрусова, 2004; Skinner, 2007).

Человечество с древних времен подвергалось воздействию естественных минералов из коры выветривания, находящихся во взвешенном состоянии, но ситуация многократно усугубилась с появлением антропогенных факторов, которые изменили естественные природные условия во многих уголках Земли. В ряде регионов условия проживания человека, в том числе атмосферный воздух, являются неблагоприятными, и могут приводить к различным негативным последствиям для здоровья.

Человечество также в ответе за производство искусственных, синтетических материалов, которые представляют собой «химический коктейль», циркулирующий в природе таким же образом, что и взвесь минералов, в том числе, в атмосфере (Skinner, Berger, 2003; Skinner, 2007).

Атмосфера — это газообразная оболочка планеты, состоящая из смеси различных газов (около 78 % составляет азот, 21 % – кислород, и менее 1 % – ряд других газов: аргон, неон, углекислый газ, метан, гелий, водород, криптон, ксенон, оксид азота, озон, двуокись серы), водных паров и твердых частиц в виде взвеси (аэрозоля) (Степановских, 2001; Петросова и др., 2014).

Атмосфера характеризуется непрерывным перемешиванием и переносом всех ее компонентов. Обмен и перераспределение вещества на Земле отчасти происходит именно в атмосфере при помощи процессов испарения, выбросов веществ и выпадения осадков (Рис.1) (Шевченко, 2006).



Рисунок 1. Круговорот веществ в атмосфере, гидросфере и литосфере. Пути проникновения частиц, газов и микроэлементов в растения и организмы животных и людей. Рис. по: (Fordyce, 2005; Skinner, 2007)

По разным оценкам, в атмосфере Земли постоянно присутствует взвесь минералов массой от 20 млн т. до 1,6 млрд т. (Гаррелс, Маккензи, 1974; Лисицын, 1978; Юшкин и др., 2007), которая осаждается на землю в составе атмосферных осадков и в виде сухих выпадений. В дождевых каплях содержатся десятки химических элементов и различные органические соединения. На пути к земле каждая капля атмосферных осадков вбирает в себя новые порции солей и пыли, таким образом, 1 литр дождевой воды «захватывает» с собой примеси, содержащиеся в 300 тыс. литров воздуха (Кульский и др., 1982).

Кроме того, в атмосфере под действием солнечной энергии непрерывно идут различные химические и фотохимические реакции, в результате которых образуются новые вещества. Воздушный бассейн можно сравнить с

огромным реактором, непрерывно производящим одни вещества и разлагающим на исходные компоненты другие (Безуглая, Смирнова, 2008). Таким образом, атмосфера представляет собой уникальную экологическую систему, оказывающую существенное влияние на состав и свойства частиц взвесей (Kulmala et al., 2008).

Атмосферные взвеси, или атмосферные аэрозоли, – это собирательное понятие, включающее в себя твердые взвешенные вещества, жидкие частицы и те частицы, которые образуются в процессе превращения газов. Частицы взвесей, содержащихся в атмосфере, оказывают влияние на качество воздуха, климат, химию и физику атмосферы, при этом состав атмосферных взвесей очень сложен (Akimoto, 2003; Кондратьев, 2004; Аэрозоли Сибири, 2006; Menon et al., 2008; Quinn et al., 2008; Kulmala et al., 2009; Mahowald et al., 2011; Bond et al., 2013).

Каждой отдельной взвешенной частице присущи следующие важнейшие характеристики: размер, форма, структура, химический состав и агрегатное состояние вещества частицы. Аэрозоли состоят из большого числа частиц, поэтому для их описания необходимо знать концентрацию частиц в единице объёма воздуха. При этом размер частиц и их концентрация являются главными характеристиками аэрозолей, которые определяют их свойства. Частицы взвеси перемещаются вместе с газом, при этом на них влияют и другие силы: сила тяжести (процесс седиментации), инерции, электромагнитного поля и т. д.

Размеры аэрозольных частиц обычно выражаются в микрометрах (микронах), но могут применяться и другие единицы измерений, например, ангстрем ($1 \text{ мкм} = 10^4 \text{ ангстрем}$) (Райст, 1987).

Размеры частиц варьируются в диапазоне от нанометров до десятков микрометров, при этом мелкие частицы могут «слипаться» (процесс коагуляции), образуя более крупные частицы; а крупные, в свою очередь, могут разрушаться до более мелких размеров (процесс дезинтеграции). Нижней границей размера частицы считают частицу, содержащую около 10

молекул и не отражающуюся от твердой поверхности при ударе об нее; верхней границей – такой размер, при котором частица способна передвигаться вместе с воздушной средой.

Над континентами преобладают частицы размером от 2 до 3 мкм; над океаном – более мелкие, размером около 0,25 мкм.

По классификации, предложенной Л.С. Ивлевым и Ю.А. Довгалоком (1999), выделяют три класса аэрозольных частиц: мелкодисперсные (радиус менее 0,1 мкм), среднелдисперсные (от 0,1 мкм до 1 мкм) и грубодисперсные (более 1 мкм).

В настоящее время для обозначения мелких частиц используется обозначение РМ (от англ. “particulate matter”). В экологических исследованиях выделяют размерные классы РМ₁, РМ_{2,5} и РМ₁₀ (до 1, 2,5 и 10 мкм в диаметре, соответственно). Установлено, что в процентном соотношении РМ₁₀ составляют треть от всего объема взвешенных веществ, а РМ_{2,5} – 20% (Безуглая, Смирнова, 2008).

По классификации, предложенной К.С. Голохвастом (2013а), атмосферные взвеси можно разделить на 7 размерных классов: 1) менее 1 мкм (соответствует РМ₁); 2) от 1 до 10 мкм (соответствует РМ₁₀); 3) от 10 до 50 мкм; 4) от 50 до 100 мкм; 5) от 100 до 400 мкм; 6) от 400 до 700 мкм; 7) более 700 мкм.

По классификации Н.А. Фукса (1955) аэрозоли делят на три класса: пыли, дымы и туманы. Пыли образуются дисперсионным способом, т.е. при измельчении твердых и жидких тел, а также при переходе порошкообразных тел во взвешенное состояние под воздействием воздушных потоков. Размеры частиц в пылях находятся в пределах 5...100 мкм. Дымы образуются конденсационным способом и представляют собой устойчивые аэрозоли. Размер частиц в дымах составляет 5...0,1 мкм и менее. Туманы могут образовываться конденсационным и дисперсионным способами. Дисперсная фаза в туманах всегда состоит из жидких частиц, в которых могут содержаться растворенные вещества или твердые частицы в виде суспензии.

Жидкие аэрозольные частицы имеют сферическую форму, твердые частицы могут принимать разнообразные формы, среди которых можно выделить «пластинки» или «чешуйки» (один из размеров в 3-5 раз меньше остальных) и «волокна» или «иглы» (один из размеров в 3-5 раз больше остальных). При столкновении твердые частицы могут образовывать агрегаты произвольной формы, состоящие из нескольких частиц.

Частицы размером 10-100 мкм могут переноситься в атмосфере на расстояния до нескольких тысяч километров, частицы размером до 10 мкм – до 10 тысяч километров (Лисицын, 1978; Salvador et al., 2016). Мелкие частицы ($PM_{2.5}$) способны долгое время оставаться в воздухе (несколько дней и даже недель), а крупные частицы размером более 10 мкм осаждаются быстрее, при этом концентрация частиц взвеси может сильно варьироваться во времени в одном и том же месте (Warneck, 1988; Куценогий, Куценогий, 2000; Богатилов, 2003). Большие и мелкие взвешенные частицы представляют собой сложное соединение органических и неорганических веществ.

Для определения разовых и среднесуточных концентраций взвешенных частиц в воздухе населенных пунктов и санитарно-защитных зон промышленных предприятий используют системы мониторинга, в том числе автоматические системы. Определяют массу взвешенных частиц пыли, задержанных специальным фильтром при прохождении через него определенного объема воздуха (ГОСТ 17.2.4.05-83; ГОСТ Р ИСО 10155-2006; ГОСТ 17.2.3.01-86; РД 52.04.186-89; Shrestha et al., 2002).

Однако применение данного метода в малонаселенных районах сопряжено с рядом трудностей ввиду необходимости установки определенного числа станций на контролируемой территории. Кроме того, применяют и иные пробоотборники различных конструкций (Белан и др., 2007; Lagudu et al., 2011; Wagner et al., 2012), а также автоматические анализаторы частиц (Уланова и др., 2016).

Для определения качественного и количественного состава атмосферных взвесей нередко используют осадки (дождевую воду и снег) (Василенко и др., 1985; Качур и др., 1989; Нецветева и др., 2000; Санина и др., 2003; Степанова и др., 2003; Гордеев, Лисицын, 2005; Кошелев, 2005; Игнатенко и др., 2007; Янченко, 2007; Еремейшвили, Степанова, 2010; Удачин и др., 2010; Василевич и др., 2011; Шумилова, Садиуллина, 2011; Кондратьев, 2014; Голохваст и др., 2016б). Снег укрывает почву и уменьшает естественное выделение пыли; снежный покров не активен ни в химическом, ни в биологическом отношении, поэтому химический состав верхнего слоя снежного покрова отражает состояние нижнего слоя атмосферы, ее техногенное загрязнение (Скворцов, Чудненко, 2010; Турбина 2010; Степанова, Фомина, 2015; Veremchuk et al., 2018).

При отборе проб снега и их анализе руководствуются государственным стандартом ГОСТ 17.1.5.05-85 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков» (2010), «Методическими рекомендациями по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве» (1990) и иными документами.

Также распространен метод смыва с игл хвойных деревьев, который имеет преимущества перед методом отбора снеговой воды из-за своей «всесезонности» (Горшков и др., 2006; Бородина, 2012; Грабовская, Фомичева, 2016; Кодинцев и др., 2017). Хвойные растения отличаются меньшей устойчивостью к загрязнителям атмосферного воздуха по сравнению с лиственными породами и могут использоваться как биоаккумуляторы аэрогенных загрязнений (Ревич, 2010).

Существует ряд современных методов для исследования частиц атмосферных взвесей (Wagner et al., 2012; Голохваст, 2013б; Golokhvast et al., 2015). Для газовой компоненты применяют газовую хроматографию, масс-спектрометрию, хемилюминесценцию, инфракрасный бездисперсионный анализ, математическое моделирование; для вещественной компоненты –

рентгеновскую дифракцию, рентгеновскую спектроскопию поглощения с использованием синхротронного излучения, лазерную гранулометрию, голографический метод, сканирующую электронную микроскопию, оптическую диагностику, масс-спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой, вторичную ионную масс-спектрометрию, взвешивание на прецизионных весах, дымометрию, цифровой анализ фото- и видеоизображений, математическое моделирование, ГИС-технологии.

Не все эти методы используются в прикладной экологии, многие остаются уделом физиков-оптиков, географов и ученых других фундаментальных естественнонаучных областей. Вероятно, это объясняется тем, что эти методы дорогостоящи и требуют высокой квалификации исследователей в конкретных областях (Kholodov, Golokhvast, 2016).

1.1.1 Источники загрязнения атмосферы взвесями

Взвешенные частицы поступают в атмосферу из многочисленных источников, как природных, так и техногенных (в результате различных антропогенных процессов). Природные взвеси поступают в атмосферу без участия человека, как результат естественных процессов, и состоят из пылевых почвенных аэрозолей, солевых кристаллов, продуктов вулканических извержений, космической пыли, микроорганизмов, органических химических соединений и т.д.) (Степановских, 2001; Мельчаков, 2008; Глушко, 2010; Петросова и др., 2014).

Главным источником атмосферных частиц по массе считаются минеральная пыль, обусловленная ветровой эрозией почв (дефляцией), и частицы морской соли, поступающие из океана. Частички взвеси, поднимающиеся в атмосферу над континентами, представляют собой осколки горных пород, содержащие кремний и алюминий. Атмосферные аэрозоли над океаном образуются в результате испарения капель морской воды. Такие взвеси состоят из хлорида натрия с примесью карбонатов,

сульфатов, калия, магния и кальция, органических соединений (Богатиков, 2003; Шевченко, 2006; Posfai, Buseck, 2010; Alonso-Pérez et al., 2012).

Весомый вклад в состав атмосферных взвесей вносят лесные пожары, продукты горения которых могут переноситься на значительные расстояния и оказывать существенное влияние на климат. Образующиеся во время пожаров зола и сажа содержат частицы углерода, неорганические вещества и минералы, содержащиеся в растении, смолистые вещества (Akagi et al., 2011; Carvalho et al., 2011; Martins et al., 2012; Hu et al., 2013).

Другим важным, но нерегулярным по периодичности источником поступления в атмосферу аэрозолей являются вулканы. Продукты извержения вулканов состоят из мелкодисперсной лавы, смеси серной кислоты, сульфатов и соединений никеля и хрома, частиц почвы и горных пород. Вулканы способны выбрасывать в атмосферу огромные объемы взвешенных частиц, причем высота столба выбрасываемого пепла может превышать 11 км, благодаря чему частицы достигают стратосферы и переносятся на значительные расстояния, оказывая существенное влияние на жизнедеятельность людей и окружающую среду.

Так, облако пепла, возникшее в результате извержения вулкана Эйяфьядлайёкюдль в Исландии в 2010 году, накрыло целый ряд стран в Северной и Центральной Европе, вызвав перебои в воздушном сообщении между странами (Ansmann et al., 2012). Взвешенные вулканические частицы тогда достигли России, и небольшое их количество выпало в Москве.

Техногенные или искусственные взвеси образуются и поступают в атмосферу в результате сжигания всех видов топлива и при производственных процессах. По месту расположения техногенные источники загрязнения атмосферы делят на стационарные и передвижные.

Под стационарным источником загрязнения атмосферы понимают любой неподвижный технологический агрегат (установку, устройство, аппарат и т.п.), выделяющий в процессе эксплуатации загрязняющие атмосферу вещества. Источник может функционировать постоянно или

временно в границах некоторого участка. Сюда же относят другие объекты, способные загрязнять атмосферный воздух (хвостохранилища, полигоны отходов, резервуары и т.д.) (Защита атмосферного воздуха..., 2003; Приказ Росстата от 01.10.2010 № 336). Под передвижными источниками понимают все виды транспорта.

Основным стационарным источником загрязнения атмосферы являются предприятия теплоэнергетики. Вся цепочка производства тепловой энергии – добыча, транспортировка, переработка сырья, выработка энергии – является источником загрязняющих выбросов, влияющих на население как небольших поселков, так и крупных городов (Ревич, 2010). По оценке специалистов, вклад тепловой энергетики в загрязнение воздушного бассейна оценивается от 27 до 30%, при этом твердые взвешенные частицы составляют 31% от общего количества выбросов (Христофорова, 2005; Говорушко, 2016).

Известно, что применяемые сегодня технологии энергетики на угле и нефти наносят вред природе и человеку из-за выбросов летучей золы, сернистого газа, оксидов азота и углеводородов (Буторина и др., 2003), при этом выбросы мелкодисперсных взвешенных частиц на отечественных угольных ТЭЦ примерно в десять раз выше, чем на аналогичных предприятиях в странах ЕС из-за применения недостаточно совершенных технологий улавливания выбросов (Ревич, 2010). Высота труб крупных котельных достигает 70 м, поэтому их выбросы рассеиваются в атмосфере на значительные расстояния (Христофорова, 2005).

Современная угольная электростанция мощностью 1 млн кВт ежегодно расходует около 3 млн. т угля и выбрасывает в окружающую среду 7 млн тонн CO₂, 120 тыс. тонн двуокиси серы, 20 тыс. тонн оксидов азота и 750 тыс. тонн летучей золы (Говорушко, 2016).

В процессе добычи, переработки и перевалки угля в атмосферный воздух выбрасывается множество веществ, основными загрязнителями являются взвешенные вещества (пыли угля и угольной золы, пыли песка и

породы), диоксиды серы и азота, редкоземельные элементы (Христофорова, 2005; Экологический мониторинг в районах угледобычи, 2017; Ishtiaq et al., 2018).

Важным стационарным техногенным источником загрязнения атмосферы являются предприятия промышленности. Среди них обогатительные фабрики, металлургические, цементные и другие заводы. Аэрозольные частицы, которыми эти предприятия загрязняют атмосферу, крайне разнообразны и зависят от типа промышленности и характера деятельности предприятия. В составе выбросов обнаруживают соединения кремния, кальция и углерода, асбест, оксиды металлов: железа, магния, марганца, цинка, меди, никеля, свинца, сурьмы, висмута, селена, мышьяка, бериллия, кадмия, хрома, кобальта, молибдена и т.д.

Производство цемента и других вяжущих материалов, например, асбестоцементных изделий, основными технологическими процессами которого являются измельчение и химическая обработка шихт, полуфабрикатов и получаемых продуктов в потоках горячих газов, сопровождается выбросами в атмосферу пыли и взвешенных веществ, оксидов азота (NO_x), оксида серы (SO_2), оксида углерода (CO), летучих органических веществ. В ходе хранения, дробления, транспортировки сырья, фасовки и погрузки цемента также образуются и выбрасываются загрязняющие вещества. (Буторина и др., 2003; Фалалеева, Фалалеев, 2010; Mehraj et al., 2013b; Mishra, Siddiqui, 2014; Дзюба, Парамонова, 2015; Fell, Nordby, 2017).

Портландцемент, один из наиболее часто используемых видов цемента, представляет собой смесь искусственных минералов, образовавшихся при обжиге: трехкальциевого силиката (алита) 3CaO-SiO_2 – 40...65% по массе; двухкальциевого силиката (белита) 2CaO-SiO_2 – 15...40%; трехкальциевого алюмината (целита) $3\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ – 5...15%; четырехкальциевого алюмоферрита $4\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ – 10...20% (Bazas, 1980; Домокеев, 1989; Fell, Nordby, 2017); в состав также входят оксид магния, селен, таллий и

небольшое количество шестивалентного хрома (Aminian et al., 2014; Donato et al., 2016; Eom et al., 2017).

На то, чтобы произвести 1 т цемента, требуется около 3 т сырья, которое в результате дробления, помола и обжига превращается в мелкую пыль, в основном состоящую из смеси карбоната кальция (CaCO_3) и извести (CaO), а также ряда примесей (Говорушко, 2016).

Деятельность шахт, рудников и карьеров является мощнейшим фактором воздействия на окружающую среду. К постоянным источникам аэрозольного загрязнения относятся промышленные отвалы вскрышных пород, образующихся при добыче сырья. Источником пыли и ядовитых газов также служат массовые взрывные работы (Буторина и др., 2003; Христофорова, 2005).

Городские свалки и полигоны отходов, предприятия по сжиганию мусора также вносят вклад в формирование загрязнения атмосферы. Сжигание биомассы, например, травы, тоже является источником поступления микроразмерных частиц в атмосферу (Wagner et al., 2012).

Наибольший вклад в антропогенное загрязнение атмосферы современных городов вносят выбросы моторного транспорта, которые могут составлять до 51% загрязнений воздушной среды в современном городе, являясь основным источником поступления взвешенных частиц в атмосферный воздух городов (Христофорова, 2005; Amato et al., 2011; Vu et al., 2015; Pant, Harrison, 2013; Gope et al., 2018).

Автомобильные двигатели внутреннего сгорания загрязняют атмосферу вредными веществами, которые выбрасываются с отработавшими газами, картерными газами и топливными испарениями. Отработавшие газы содержат продукты неполного сгорания (оксид углерода, углеводороды, альдегиды, твердые частицы углерода, перекисные соединения и водород), продукты термических реакций взаимодействия азота с кислородом (оксиды азота), неорганические соединения веществ, присутствующих в топливе (сернистый ангидрид, соединения свинца и т.д.) – всего около 40 различных

веществ. Ключевыми причинами масштабного воздействия моторного транспорта на загрязнение атмосферного воздуха являются огромное количество эксплуатируемых транспортных средств, низкое качество топлива, износ двигателей, топливной и выхлопной систем.

Опасность выбросов вредных веществ от автотранспортных средств усугубляется тем, что выхлопы осуществляются в приземном слое непосредственно вблизи органов дыхания человека. При этом автомобили не локализованы только городскими магистралями, а встречаются повсеместно, на дворовых территориях, в парковых зонах и т.д. В государственном докладе о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации ежегодно отмечаются превышения гигиенических нормативов содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на территории городских поселений в местах, расположенных на автомагистралях в зоне жилой застройки (О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия..., 2017).

Отдельную опасность представляют взвешенные вещества, поднимающиеся в воздух от контакта автомобильных покрышек с дорожным покрытием (Pant, Harrison, 2013; Gope et al., 2018). Так, согласно исследованиям воздуха вблизи автодорог (Montague, 1995), в 1 м³ воздуха обнаруживается от 4 до 7 тысяч фрагментов резины, из которых более 50% составляют частицы фракции PM₁₀.

Железная дорога является источником попадания в атмосферу металлической пыли, которая образуется в результате истирания тормозных колодок, рельсов и колес. Кроме того, при перевозке промышленных грузов в окружающую среду попадают угольная и рудная пыль, нефтепродукты (Турбина, 2010; Говорушко, 2014).

Наиболее распространенные источники происхождения частиц опасных для здоровья размерных классов PM_{2.5} и PM₁₀ представлены в Таблице 1.

Источники происхождения частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10}

Источник происхождения	Размерный класс частиц	
	$PM_{2.5}$	PM_{10}
Природные частицы	Сажа (черный углерод), образующаяся в результате естественного горения; другие углеродные выбросы	Минеральная пыль, пыльца, споры и т.д.
Техногенные частицы	Продукты работы двигателей, промышленные выбросы	Выбросы ТЭС и предприятий, продукты износа автомобильных покрышек, покрытия дорог, дорожные материалы, песок

К.С. Голохвастом (2013) на основании литературных данных была предложена классификация частиц атмосферных взвесей по природе происхождения, включающую в себя природные и техногенные частицы, а также частицы неустановленного происхождения. Согласно этой классификации, природные частицы делят на:

а) неорганические (частицы минералов коры выветривания, продукты химических реакций в верхних слоях атмосферы, метеорная и вулканическая пыль);

б) органические (аэропланктон, пыльца, частицы опавших листьев растений, шерсть животных, насекомые и части их тел, пепел лесных пожаров, фрагменты морской органики (фрагменты водорослей, иглокожих, раковины моллюсков)). Под аэропланктоном в данной классификации понимается совокупность взвешенных в воздухе живых организмов (бактерии, грибы, мхи, водоросли, споры, пыльца, фитопланктон, мелкие семена и членистоногие) (Heidorn, 2005; Golokhvast, 2014). Организмы в аэропланктоне встречаются даже на высоте до 9 тыс. м (Holzapfel, 1978).

Техногенные частицы включают в себя:

а) неорганические (сажа ТЭЦ и котельных, кусочки резины и асфальта, частицы выхлопов автомобилей (сажа и микрочастицы металлов), выбросы промышленных предприятий, отходы и выбросы строительной индустрии, синтетические волокна);

б) органические (выбросы пищевых производств, результаты горения мусора, в том числе и сельскохозяйственного).

1.1.2. Атмосферные взвеси городов

Исследователи вводят понятие «качество атмосферы», под которым понимают совокупность свойств атмосферы, определяющих степень воздействия физических, химических и биологических факторов на людей, растительный и животный мир, а также на материалы, конструкции и окружающую среду в целом. Качество атмосферы зависит от ее загрязнения, которое определяется как привнесение в нее примесей, которые не содержатся в природном воздухе или изменяют исходный состав атмосферы, соотношение между ингредиентами природного состава воздуха (ГОСТ 17.2.1.04-77; Буторина и др., 2003). Загрязняющие вещества могут присутствовать в воздухе в виде газа, пыли и атмосферных взвесей.

Состав атмосферных взвесей различается в регионах с разными условиями. Природная составляющая частиц взвеси варьируется в зависимости от местности. Состав техногенной компоненты атмосферной взвеси зависит от источников загрязнения атмосферы на исследуемой территории. Нахождение корреляции между составом частиц и направлением ветра позволяет связать происхождение частиц, их траектории и химический состав. Например, появление морской соли среди частиц взвеси размером более 0,8 мкм можно объяснить перемещением воздуха через море.

Аэрозоли, которые долго перемещались над сельскими районами, характеризуются высоким содержанием минеральных частиц. Когда потоки воздуха проходят через густонаселенные районы, наблюдается повышение количества углесодержащих частиц и частиц, появление которых связано с выхлопными газами. Время, в течение которого аэрозоли перемещаются над конкретными областями (например, над городскими, сельскими или

промышленными районами), оказывает существенное влияние на их химический состав (Trimborn et al., 2002; Bein et al., 2007; Лебедев, 2013).

Атмосферная взвесь в воздухе населенных пунктов загрязнена нано- и микрочастицами, имеющими как природное, так и техногенное происхождение: составными частями выхлопных газов автомобилей, различными дымовыми выбросами, продуктами пыления производств, переносимым ветром вулканическим пеплом и др. (Голохваст и др., 2012б; Симонова и др., 2013; Brines et al., 2015; Vu et al., 2015). Воздействие таких частиц на организм человека и животных связывают с развитием патологических изменений в бронхолегочной системе, сердечно-сосудистых заболеваний и т.д. среди жителей крупных городов, а также населенных пунктов с неблагоприятной экологической обстановкой (Brook et al., 2004; Симонова и др., 2013).

В городах на относительно компактной территории концентрируется большое количество автотранспорта, людей, предприятий, что делает их центром техногенного воздействия на природу (Кику и др., 2017). Всего в городах насчитывают до нескольких сотен различных загрязнителей воздуха (Буторина и др., 2003).

Следует отметить, что все типы частиц, перечисленные в разделе 2.1.1, встречаются в атмосфере городов. Взвешенные частицы присутствуют в атмосферном воздухе в виде сложной смеси химических веществ, в том числе содержащей тяжелые металлы. Так, по данным исследования атмосферной взвеси 114 городов (Безуглая, Смирнова, 2008), в них в значимых концентрациях были обнаружены частицы свинца, марганца, меди, никеля, цинка.

При переносе на некоторое расстояние частица может собирать на своей поверхности неорганические и органические соединения, включая биологические частицы (например, вирусы, бактерии и грибки, представляющие опасность для здоровья человека и способные послужить причиной биологического загрязнения воздуха) (Ревич и др., 2004; Posfai,

Buseck, 2010; Maskey et al., 2016; Zhang et al., 2016). Природные взвеси обычно состоят из частиц нескольких классов и достаточно однородны, тогда как типичные техногенные взвеси крайне разнородны (Голохваст, 2013б).

Теплоэнергию производят как на крупных энергетических предприятиях (ГРЭС, ТЭЦ), так и на малых котельных. По оценкам специалистов, на территории РФ насчитывается около 140 ТЭС, работающих на угле, а число котельных насчитывает десятки тысяч (Ревич, 2010).

В небольших населенных пунктах распространены индивидуальные или малые системы отопления, которые вследствие недожога топлива в малых котлах выбрасывают повышенные объемы вредных веществ (NO_x , CO, взвешенные вещества в нано- и микроразмерном диапазоне) и приводят к ухудшению экологической обстановки. Как правило, небольшие котельные расположены непосредственно в жилой зоне, и при малой высоте труб (18-30 м) они отравляют воздух в жилых кварталах, являясь источниками пыли, сернистого газа, оксидов азота, оксида углерода и канцерогенных веществ (Христофорова, 2005; Турбина, 2010).

В состав микрочастиц автомобильных выхлопов входят сажа, пеплы, минеральные частицы, а также тяжелые металлы, которые находятся как в свободном виде, так и в сорбированном виде на поверхности сажевых и пепловых частиц: V, Cr, Al, P, Mn, Ni, K, Sr, Cd, Cu, Fe, Zn, Na, Ba, Zr и др. (Pant, Harrison, 2013; Chernyshev et al., 2018a; Chernyshev et al., 2018b; Gope et al., 2018). В ряде случаев котельные и автотранспорт могут оказывать большее воздействие на состояние окружающей среды, чем предприятия (Lagudu et al., 2011; Kumar et al., 2012; Kholodov et al., 2017a). Кроме того, выхлопы являются источником ультратонких частиц размером до 100 нанометров (Kumar et al., 2014).

Потенциальную опасность для здоровья человека представляют частицы до 10 мкм в диаметре, причем наиболее опасным считается диапазон от 0,5 до 5 мкм, поскольку эти частицы не оседают в верхних дыхательных путях, и именно их вдыхает человек (Буторина и др., 2003). Для оценки

аэрозольной обстановки в населенном пункте нужно знать, сколько частиц каких размеров содержится в атмосферном воздухе, поэтому экологи проводят мониторинг загрязнения воздуха по различным параметрам.

Взвешенные частицы с аэродинамическим диаметром 2,5 и 10 микрон (классы $PM_{2.5}$ и PM_{10}) могут иметь самый различный химический состав, структуру, концентрацию, источники возникновения и уровень воздействия. Авторы масштабного обзора, посвященного загрязнению PM частицами городов 51 страны мира (Karagulian et al., 2015), приводят данные по усредненному вкладу источников поступления PM частиц в атмосферу (Таблица 2).

Таблица 2

Усредненный вклад источников поступления PM частиц в атмосферу городов мира. По: (Karagulian et al., 2015)

Источник PM частиц	$PM_{2.5}$	PM_{10}
Автотранспорт	25%	25%
Промышленность	15%	18%
Сжигание всех видов топлива (кроме автотранспорта)	20%	15%
Неопределенные антропогенные источники	22%	20%
Природные пыль и соль	18%	22%

Известно, что концентрации взвешенных частиц размерных классов $PM_{2.5}$ и PM_{10} могут значительно варьироваться в разных районах городских поселений (Kumar et al., 2012). Концентрации частиц также варьируются в одной и той же точке отбора в зависимости от времени суток, дня недели, месяца и сезона (Hong et al., 2017). Так, исследования показывают, что в густонаселенных городах с большой плотностью автомобильного движения концентрация углеродсодержащих частиц взвеси $PM_{2.5}$ и PM_{10} в будние дни выше, чем в выходные (Tiwari et al., 2015). Также известно, что выбросы

частиц из выхлопной системы автомобилей в среднем выше зимой, чем летом (Vu et al., 2015).

Печное отопление в зимний сезон значительно увеличивает количество частиц сажи и летучей золы в атмосферном воздухе населенного пункта (Shi et al., 2003). Сезонность явления также связана с метеорологическими условиями, например, пылевыми бурями, переносом взвешенных веществ на большие расстояния, в том числе, через границы государств (Akimoto, 2003; Proias et al., 2012; Кондратьев, 2014; Yadav et al., 2017).

1.1.3 Атмосферные взвеси населенных пунктов Приморского края

Приморский край находится на юге Дальнего Востока, стыке крупнейшего на планете материка (Евразии) и крупнейшего океана (Тихого) (Берсенеv и др., 2006). На севере Приморье граничит с Хабаровским краем, на западе – с Китайской Народной Республикой, на юго-западе – с Корейской Народно-Демократической Республикой, а с юга и востока омывается Японским морем. Площадь края составляет 164,7 тысяч кв. км, и кроме материковой части в нее входят многочисленные острова, расположенные в заливе Петра Великого – Русский, Попова, Рейнеке и др.

Приморский край является наиболее заселенной и освоенной территорией Дальнего Востока (Сенотрусова, 2004). По состоянию на 2018 г. в Приморском крае проживает 1 миллион 912 тысяч человек; плотность населения составляет 11,61 чел./км². Таким образом, при площади края равной 3% от площади всего Дальневосточного федерального округа, в нем проживает около одной трети населения (Лучанинова и др., 2012; Христофорова, 2005). В состав Приморского края входит 12 городских округов и 22 муниципальных района, на территории которых расположены 22 городских и 101 сельское поселение. Краевой центр – Владивосток.

В целом, климат края можно охарактеризовать как умеренный муссонный; при этом рельеф территории края неоднороден, поэтому

неоднородны и климатические условия (Кубай и др., 2012; Кику и др., 2017). Край разделен горным хребтом Сихоте-Алинь на западный восточный районы, кроме того, Приморье отличается большой протяженностью с северо-запада на юго-восток (Кику и др., 2017).

Зима в Приморском крае сухая и холодная, погода ясная. Весна продолжительная, прохладная, с частыми колебаниями температуры. Лето тёплое и влажное, в июле-августе часты тайфуны и туманы. Осень, как правило, тёплая, сухая, с ясной погодой. Средняя температура в июле составляет $+17...+26^{\circ}\text{C}$. По количеству солнечного тепла Приморье не уступает Крыму (Христофорова, 2005). Средняя температура в январе на побережье составляет $-8...-18^{\circ}\text{C}$, при этом ветры и влажность понижают ее в два раза. В материковых районах, где климат более сухой, температура зимой опускается до -38° . Самая низкая температура ($-48,8^{\circ}\text{C}$) была зарегистрирована в январе 1951 г. в Красноармейском районе в с. Мельничное (Кубай и др., 2012).

В Приморском крае выделяют три биоклиматические зоны: биозону побережья (Тернейский, Ольгинский, Шкотовский и Хасанский районы; города Находка, Фокино, Большой Камень, Владивосток); переходную биозону (г. Дальнегорск, Партизанск, Уссурийск, Артем, населенные пункты Кавалеровского, Партизанского, Лазовского, Уссурийского и Надеждинского районов); и континентальную биозону (центральные и северные районы края) (Кику и др., 2017).

В ряде районов Приморья наблюдается сложная экологическая обстановка, вызванная несоответствием размещения производственных объектов, расселения населения и экологической емкости территорий. (Кику и др., 2017). В целом, в городах азиатской части России и в Приморском крае, в том числе, средняя концентрация взвешенных частиц в атмосферном воздухе на 30% выше, чем в городах европейской части, и составляет 143 мкг/м^3 при российском нормативе 150 мкг/м^3 (Ревич, 2010). Неблагополучные участки включают в себя акваторию Амурского залива

Японского моря, долину реки Рудной (Дальнегорский городской округ), значительную часть бассейна озера Ханка (Шаров, 2005; Берсенев и др., 2006; Поляков и др., 2008; Наумов, Подкопаева, 2013).

Экологические проблемы на первых двух участках вызваны ведением хозяйственной деятельности без учета общей величины антропогенной нагрузки на экосистемы и возможностей их самовосстановления. Третий неблагоприятный участок связан с естественным значительным содержанием в грунтах мышьяка и тяжелых металлов, а также с хозяйственной деятельностью (Берсенев и др., 2006).

Атмосферный воздух в Приморском крае загрязняется, в первую очередь, выбросами предприятий энергетики, строительной, горнохимической и металлургической промышленности, транспорта и связи (порты, железнодорожные узлы) (Берсенев и др., 2006).

По данным Н.К. Христофоровой (2005), на территории Приморского края установлено около 470 отопительных и промышленных агрегатов, а количество мелких котельных достигает 1400 (Берсенев и др., 2006). В них сжигают более 2,3 млн т. угля и 1,8 млн т. мазута в год. Основные риски для здоровья населения от данной деятельности определяются видом сжигаемого топлива, высотой труб, местными климатическими условиями, близостью таких агрегатов к жилью человека. Отмечается, что в континентальных районах Дальнего Востока атмосфера обладает низкой способностью к самоочищению, поэтому вредные вещества могут накапливаться в атмосферном воздухе до высоких концентраций даже при небольших объемах выбросов (Ревич, 2010).

В Приморском крае добывают и перерабатывают много видов природного сырья, здесь находятся месторождения каменного и бурого угля, свинца, цинка, олова, вольфрама, серебра, золота, германия, плавикового шпата, бора (Дальнегорское месторождение боросиликатных руд – крупнейшее в России), графита, вермикулита, драгоценных камней и других видов минерального сырья (Бакланов и др., 1997; Берсенев и др., 2006; Кики

и др., 2017). Горнодобывающая промышленность развита в г. Дальнегорске, в Кавалеровском и Яковлевском районах.

Предприятия химической промышленности расположены в г. Дальнегорске, в Надеждинском, Партизанском, Красноармейском, Ханкайском районах. Среди специфических загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу городов Приморского края, можно отметить свинец, цинк, пары борной кислоты, фтористые соединения, серную кислоту, дрожжевую пыль, фурфурол, метанол, бенз(а)пирен (Кику и др., 2017).

Материалы для строительной индустрии производят во Владивостоке, Артеме, Уссурийске, Арсеньеве, Спасске-Дальнем, в Шкотовском, Кавалеровском, Надеждинском, Партизанском, Уссурийском, Лесозаводском, Михайловском, Октябрьском, Спасском, Черниговском районах (Кику и др., 2017). В г. Спасск-Дальний находится крупный цементный завод и комбинат асбоцементных изделий. Исследователи неоднократно подчеркивают, что цементные заводы являются крупными источниками твердых частиц, загрязняющих природную среду (Алябышева и др., 2010; Mehraj et al., 2013b; Mishra, Siddiqui, 2014; Fell, Nordby, 2017).

Угольная промышленность развита в Артеме, Партизанске, в Хасанском, Шкотовском, Надеждинском, Уссурийском, Михайловском, Октябрьском, Пожарском, Черниговском районах (Кику и др., 2017). Говоря об угле, нельзя не отметить, что все большее развитие получает транспортировка угля морем на экспорт в КНР (и др. страны Азии), повсеместно строятся перевалочные угольные терминалы, которые, в основном, перегружают уголь открытым способом, нанося ущерб окружающей среде и здоровью жителей, т.к. в угольной пыли могут присутствовать до 20 токсичных и радиоактивных элементов (например, Hg, As, Sb, Cd, Pb и другие) (Голохваст, Блиновская, 2014; Филонова и др., 2016; Kirichenko et al., 2017).

Помимо перечисленных выше предприятий и производств, окружающая среда населенных пунктов Приморского края загрязняется

выбросами предприятий лесной промышленности (г. Дальнереченск, Лесозаводск, Уссурийск), судоремонта (г. Большой Камень), авиапредприятий (г. Артем, Арсеньев) (Кику и др., 2017).

Другой экологической проблемой является постоянный рост количества автомобилей и загруженность городских автомагистралей. Автотранспорт является источником поступления в атмосферу до 40% оксида углерода, 95% углеводородов, более 40% окислов азота, а также других веществ, включая твердые частицы (сажу) (Буторина и др., 2003; Pant, Harrison, 2013; Кику и др., 2017; Gore et al., 2018). Крупные города и многие населенные пункты Приморья расположены вблизи или вдоль автомагистралей федерального значения, что приводит к росту заболеваемости населения (Христофорова, 2005). По данным П.Ф. Кику (2017), на 2017 г. объем выбросов от автотранспорта в Приморье в среднем составлял 34%, а во Владивостоке, Находке, Уссурийске на автотранспорт приходилось от 40% до 60% всех выбросов в атмосферу.

Наиболее неблагоприятное состояние воздушного бассейна наблюдается в промышленных центрах и крупных городах края. Владивосток, Спасск-Дальний, Уссурийск лидируют по загрязнению такими веществами, как бенз(а)пирен, диоксид азота и взвешенные вещества (пыль) (Коломейцева, Христофорова, 2012; Столбун и др., 2012; Голохваст, 2013а; Дрозд и др., 2015а; Дрозд и др., 2015б; Котляр, 2016). Постоянный рост числа транспортных средств, увеличение выработки электроэнергии, использование высокотемпературного и высокосернистого топлива в электроэнергетике и малых котельных края приводит к росту объемов выбросов вредных веществ в атмосферу (Берсенев и др., 2006).

В крупных населенных пунктах Приморского края ведется регулярный мониторинг состояния атмосферного воздуха. Контролируется содержание 17 показателей: взвешенные вещества (пыль), диоксид серы, растворимые сульфаты, оксид углерода, диоксид и оксид азота, аммиак, сероводород,

формальдегид, бенз(а)пирен, тяжелые металлы (хром, никель, свинец, марганец, медь, цинк, железо).

Стационарные посты наблюдений функционируют во Владивостоке, Артеме, Дальнегорске, Находке, Партизанске, Уссурийске, Большом Камне; кроме того, еще в 12 муниципальных образованиях края работают 14 маршрутных постов наблюдений (Кику и др., 2017). Превышение ПДК веществ в пробах атмосферного воздуха было зафиксировано в 2010-2014 гг. во Владивостоке, Уссурийске, Находке, Артеме, Большом Камне, Партизанске, в Пожарском районе (Кику и др., 2017).

Таким образом, состав веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов Приморья весьма разнообразен благодаря физическим и географическим особенностям территории края (рельеф, метеоусловия и т.д.), большому количеству добываемых и перерабатываемых природных ресурсов, обилию предприятий энергетики, работающих на жидком и твердом топливе, большому количеству автотранспорта. Особенности Приморского края таковы, что контролировать состояние загрязнения атмосферного воздуха необходимо не только в густонаселенных городах, но и в средних и малых по численности населения пунктах.

1.2 Влияние загрязнения атмосферного воздуха на здоровье

Из всех сред, с которыми взаимодействует человек в процессе жизнедеятельности, наибольшее воздействие на него оказывает воздушная среда. Это неудивительно, ведь акт дыхания является непрерывным, и за сутки человек пропускает через себя около 15 л воздуха. При этом организм человека чутко реагирует на малейшие изменения в компонентном составе вдыхаемого воздуха и отвечает естественными реакциями на наличие примесей даже естественного происхождения.

В зависимости от своего состава атмосферные взвеси могут быть высокотоксичными или же практически безвредными, но даже в этом случае

они представляют опасность благодаря своим физическим свойствам. Известно, что с уменьшением размера частиц увеличивается их активность и проникающая способность (Чомаева, 2015). Среди атмосферных взвесей наибольшую опасность для здоровья человека представляют мелкие частицы размером до 5 мкм, находящиеся в воздухе в виде аэрозоля. Благодаря своим физическим свойствам они легко проникают непосредственно во внутреннюю среду организма, не задерживаясь в верхних дыхательных путях, а попадая сразу в альвеолы и получая почти прямой контакт с кровью. Частицы PM_{10} имеют не такую сильную проникающую способность, тем не менее, они также считаются опасными для здоровья. Кроме того, мелкие взвешенные вещества попадают в организм не только через легкие, но и через кожу.

Так, присутствовавшие с зарождения человечества в естественном атмосферном фоне частицы минералов, вулканическая пыль и т.д. могут вызвать специфические заболевания, например, пневмокониозы. Пневмокониозы представляют собой группу заболеваний, связанных с накоплением пыли в легких и реакцию легочной ткани на ее присутствие. Вызываются они воздействием минералов, имеющих важное промышленное значение – асбестом, углем и кремнеземом. Пневмокониозы, вызванные кварцевой пылью (SiO_2), называют силикозом, силикатами (кремниевой кислотой) – силикатозом, угольной пылью – сидерозом, асбестовой – асбестозом, алюминиевой – алюминозом и т.д. (Энциклопедия по безопасности..., 2001; Юшкин, 2004; Чомаева, 2015).

Реакция организма человека на появившиеся около века назад техногенные загрязнители атмосферы (выбросы ТЭЦ, выхлопные газы, отходы производств и т.д.) еще более радикальна, так как токсичные субстанции, поступающие ингаляционным путем, часто действует в десятки раз сильнее, чем при поступлении через желудочно-кишечный тракт. В состав этих выбросов входят тяжелые металлы, многие из которых относятся к I и II классам опасности согласно ГОСТ 12.1.005-88.

Существует статистически установленная связь между загрязнением атмосферного воздуха и общей заболеваемостью населения. Согласно публикациям (Гичев, 2004; Христофорова, 2005; Степкин и др., 2008; Гильмундинов и др., 2013; Кику и др., 2017), вклад загрязнения воздуха в частоту и выраженность наиболее распространенных заболеваний системы органов дыхания, пищеварения, кожи, аллергических реакций и т.д. составляет до 30% от общей суммы факторов, влияющих на здоровье.

Эффект от воздействия получивших широкое применение в последнее время искусственных наноматериалов и наночастиц на органы человека и вовсе слабо изучен современной наукой, но известно, что благодаря своим размерам такие частицы попадают в организм не только через легкие, но и через кожу, могут проникать напрямую в мозг через носовые пазухи (Протасов, 2001; Hoet et al., 2004; Христофорова, 2005; Глушкова и др., 2007; Голохваст, 2013б; Adverse Effects..., 2012; Кику и др., 2017). Особенность атмосферного загрязнения в том, что оно создается не абсолютным влиянием отдельного вещества, а смесью веществ, которые в своей совокупности воздействуют на организм человека (Безуглая, Смирнова, 2008).

Другая особенность воздействия загрязнения атмосферного воздуха на человека состоит в том, что вещества, попадающие в организм, могут проявить себя незамедлительно, а могут – через значительное время. Влияние загрязнения невидимо, и часто неясно, что же явилось причиной заболевания. Так, между воздействием на человека асбеста и развитием рака легких может пройти 20-40 лет.

Воздействие факторов окружающей среды малой интенсивности выражается в нарушении адаптационных возможностей организма, т.е. помимо заболеваний, связанных непосредственно с воздействием на организм конкретного химического вещества, выделяют так называемые «экологозависимые» заболевания или «экозависимые патологии». Суть таких заболеваний в том, что, возникнув из-за инфекции или иного фактора, они развиваются или усугубляются благодаря загрязнению окружающей среды. В

первую очередь это болезни органов дыхания (БОД), в том числе бронхиальная астма, из чего можно сделать вывод, что именно БОД являются одним из важнейших индикаторов оценки экологического благополучия территории.

Кроме того, в число «экологозависимых» заболеваний входят сердечно-сосудистые заболевания, врожденные пороки, нарушения нервно-психического развития детей, злокачественные новообразования (рак легких, молочной железы, щитовидной железы) и многие другие изменения состояния здоровья, связанные с генетическими, иммунологическими, инфекционными и иными факторами (Zieliński et al., 1998; Энциклопедия по безопасности..., 2001; Сенотрусова, 2004; Brook et al., 2004; Dockery, Stone, 2007; Безуглая, Смирнова, 2008; Дорн и др., 2008; Симонова и др., 2013; Кикун и др., 2017; Veremchuk et al., 2018).

Особенно чувствительны к воздействию мелких частиц пожилые люди и дети. Отмечается, что в крупных городах и на загрязненных территориях заболевания дыхательных путей и кожи, аллергические изменения у детей наблюдаются вдвое чаще и длятся до двух с половиной раз дольше, чем на контрольных экологически безопасных территориях, ввиду того, что органы дыхания детей находятся в состоянии роста и потому более подвержены воздействию загрязняющих воздух веществ (Христофорова, 2005; Турбина, 2010; Bertoldi et al., 2012; Marcon et al., 2014; Кикун и др., 2017). Например, заболеваемость бронхиальной астмой у детей вдвое выше в промышленных городах, чем на экологически безопасных территориях, а вблизи цементных заводов – втрое выше (Новикова, 2005; Bertoldi et al., 2012).

Принято считать, что наибольший вред факторы, сопутствующие цементному производству, оказывают на здоровье людей, непосредственно занятых на этом производстве, так как основными опасностями на таком производстве являются частицы цемента, которые выбрасываются в окружающую среду на всех стадиях производства, упаковки и транспортировки цемента (Gizaw et al., 2016).

В литературе приводятся результаты большого пласта исследований, посвященных воздействию частиц цементной пыли на работников цементных заводов (El-sewefy, Metwalli, 1970; Bazas, 1980; Aminian et al., 2014; Tungu et al., 2014; Rafeemanesh et al., 2015; Donato et al., 2016; Fell, Nordby, 2017; Moghadam et al., 2017; Rachiotis et al., 2018). Аэродинамический диаметр частиц цемента в среднем составляет 0,05-5,0 микрометров, благодаря чему они беспрепятственно проникают в респираторную систему (Mehraj et al., 2013b; Marcon et al., 2014; Mishra, Siddiqui, 2014; Eom et al., 2017).

Вредное воздействие цементной пыли и сопутствующих веществ может вызывать раздражение и заболевания дыхательных путей (астму, хронический бронхит, силикоз (или цементоз)), кожи (например, аллергический дерматит), слизистых оболочек носоглотки и полости рта, органов пищеварения и др. (Oguntoke et al., 2012; Mehraj et al., 2013b; Aminian et al., 2014; Tungu et al., 2014; Rafeemanesh et al., 2015; Gizaw et al., 2016; Fell, Nordby, 2017; Moghadam et al., 2017).

В медицинской литературе давно описаны специфические заболевания легких – цементозы (разновидность пневмокониоза), которые считаются наиболее значимыми профессиональными опасностями для работников цементной промышленности (El-sewefy, Metwalli, 1970; Bazas, 1980; Aminian et al., 2014; Moghadam et al., 2017).

Кроме того, эпидемиологические исследования свидетельствуют о высоком риске развития раковых заболеваний у работников цементных предприятий, так как сырье для производства цемента может содержать свободную двуокись кремния, шестивалентный хром, кадмий, которые являются канцерогенами (Bazas, 1980; Donato et al., 2016; Eom et al., 2017).

Люди, проживающие недалеко от цементных производств, подвергаются воздействию загрязняющих веществ, в том числе канцерогенов, также как и работники цементных заводов, но при этом у простых жителей отсутствуют средства индивидуальной защиты, которыми

пользуются рабочие. Эпидемиологические исследования населения, живущего вблизи цементных заводов, показывают высокие уровни респираторных и кожных заболеваний, раздражения глаз (Bertoldi et al., 2012; Oguntoke et al., 2012; Mehraj et al., 2013b; Marcon et al., 2014; Nkhama et al., 2017).

В развивающихся странах зачастую содержание частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$ вокруг цементных производств выше предельно допустимых концентраций, что ведет к увеличению числа и тяжести характерных заболеваний (Oguntoke et al., 2012; Nkhama et al., 2017). Однако, согласно литературе, повышенную заболеваемость детей, проживающих рядом с цементными заводами, отмечают даже в развитых странах, где содержание частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$ не превышает ПДК (Mehraj, Bhat, 2013; Marcon et al., 2014).

Есть сведения и о повышенном уровне раковых заболеваний, о росте смертности жителей недалеко от цемзаводов (Giordano et al., 2012; Eom et al., 2017).

Кроме того, цементная пыль, распространяясь за пределы предприятия, наносит ущерб окружающей среде, оказывая воздействие на все ее компоненты. Одним из главных индикаторов воздействия промышленных выбросов на окружающую природную среду является растительность, поскольку именно она первой принимает на себя воздействие техногенного пресса (Bazas, 1980; Краева, 1995; Mandre et al., 2000; Mehraj, Bhat, 2013; Горчакова, 2014; El-Moaty et al., 2016).

Воздействие выбросов цементного завода приводит к изменению видового состава растительности, ослаблению жизненного состояния отдельных видов: в частности, у сосны наблюдается пожелтение и некротические пятна на хвое, что способствует снижению обводненности и фотосинтеза и увеличению скорости транспирации (процесса движения воды через растение) (Краева, 1995; Горчакова, 2014).

Попадая на листья, цементная пыль в сочетании с влагой образует на них плотную корку. Это снижает освещенность и поступление

фотосинтетической активной радиации (Говорушко, 2009). Также подвергается изменению химический состав почв; отмечается неблагоприятное качество вод на участках рек, расположенных ниже сброса сточных вод промышленных городов.

Угольная пыль, образующаяся при добыче, перевалке и переработке угольного сырья, является сильнейшим загрязнителем воздуха, обуславливающим высокий уровень заболеваемости людей, находящихся в зоне распространения такой пыли. Вдыхание угольной пыли вызывает целый спектр респираторных заболеваний, среди них неизлечимое заболевание пневмокониоз, хроническое обструктивное легочное заболевание, диффузный фиброз, хронический бронхит и другие хронические респираторные заболевания (Petsonk et al., 2013; Laney, Weissman, 2014; Филонова и др., 2016; Экологический мониторинг..., 2017).

Пневмокониозы при вдыхании угольной пыли могут развиваться за 10 лет, но известны случаи, когда болезнь проявлялась за 6 лет (Perret et al., 2017). В угольной пыли содержатся тяжелые металлы (Pb, Cr, Cd, Ni, Cu, Co, Zn и др.), токсическое действие которых на организм человека выразится в гипертонии, головной боли, боли в животе, повреждении нервных окончаний, костных болезнях, заболеваниях легких, печени и почек, малокровии, умственной отсталости, внезапной остановке сердца и развитии рака (Ishtiaq et al., 2018). Риск развития эмфиземы при вдыхании угольной пыли выше, чем при курении табака (Perret et al., 2017).

Отмечается, что выбросы предприятий топливно-энергетического комплекса, работающих на угле, обуславливают 15-20% дополнительной смертности населения, связанной с загрязнением атмосферного воздуха (Ревич, 2010). Так, в исследовании влияния запрета на оборот жирного угля в Дублине (Ирландия) на здоровье населения, отмечается, что выброс «черного дыма» с высоким содержанием сажи в городе снизился на 70%; смертность, связанная с респираторными заболеваниями, упала на 15%, с сердечно-сосудистыми – на 10% (Clancy et al., 2002).

Длительное проживание рядом с автомобильными автострадами связывают с развитием хронических респираторных заболеваний, болезней сердца и снижением продолжительности жизни; особенно вредны выхлопы дизельных двигателей (Penttinen et al., 2001; Hoek et al., 2002; Mills et al., 2005; Лучанинова и др., 2012; Pant, Harrison, 2013; Gope et al., 2018; Veremchuk et al., 2018). Кроме того, состояние дорог в России и Дальневосточном регионе таково, что две трети дорог не имеют твердого покрытия, препятствующего пылению (Кику и др., 2017).

Сжигание биомассы, в частности, сухой травы, увеличивает содержание в воздухе частиц $PM_{2.5}$ и сажи, повышенные концентрации которых в воздухе связывают с детской астмой (Wagner et al., 2012).

Как было отмечено выше, наиболее опасными являются мелкодисперсные частицы РМ. Согласно исследованиям (Soukup et al., 2000; Saldiva et al., 2002), химический состав частиц не менее важен для оценки влияния РМ на здоровье человека, чем их концентрация. Так, известно, что высокие концентрации частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} , содержащих бром, ванадий, медь, органический углерод, могут вызвать воспаление легких. Источником этих частиц является сжигание всех видов топлива.

Некоторые последствия воздействия наиболее опасных для здоровья частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} представлены в Таблице 3.

Таблица 3

Воздействие частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} на здоровье человека

Продолжительность воздействия	Размерный класс частиц	
	$PM_{2.5}$	PM_{10}
Кратковременное воздействие	Астма, бронхиты, инфекции дыхательных путей, ишемическая болезнь сердца и др.	Астма и бронхиты, инфекции дыхательных путей
Длительное воздействие	Хронические бронхиты, аллергии, астма, утолщение артерий, снижение уровня и продолжительности жизни	Хронические бронхиты, снижение уровня и продолжительности жизни

В мире широко изучаются проблемы воздействия загрязнения атмосферного воздуха на здоровье людей. Известно, что загрязнение воздуха является причиной смерти более 2 млн человек ежегодно (Remoundou, Koundouri, 2009). Исследователи подсчитали, что ежегодный материальный ущерб, связанный с воздействием одних только взвешенных частиц на здоровье людей (совокупно по смертности и заболеваемости) в 1990-х – начале 2000-х гг. составил: в Австрии в 3600 млн долл., Франции – 24300 млн долл., Швеции – 3000 млн долл., Великобритании – 21150 млн долл. В США ущерб от воздействия атмосферных взвесей составил 40000-50000 млн долл. в год, а Китае 60970 млн долл. (Pearce, 1996; Рахманин и др., 2003).

Оценка воздействия взвешенных частиц на здоровье жителей РФ в денежном эквиваленте затруднительна, известно лишь, что средние концентрации взвешенных веществ в городах России в 2-3 выше, чем в городах других стран. Считается, что до 60% населения проживает на экологически неблагополучных территориях (Гичев, 2004; Безуглая, Смирнова, 2008; Кику и др., 2017). Загрязнение воздуха выше действующих нормативов в РФ формируется за счет взвешенных веществ, оксида углерода, диоксида азота, диоксида серы и углеводородов. Содержание пыли в воздухе городских и сельских поселений в 2016 г. превысило максимальные разовые предельно допустимые концентрации в трети всех отобранных проб (О состоянии..., 2017).

В мировой практике стандарты содержания мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе установлены официальными документами Всемирной организации здравоохранения и Евросоюза (National ambient air quality..., 2006; WHO air quality guidelines..., 2006). В крупных городах мира осуществляется мониторинг наиболее опасной фракции взвешенных в воздухе частиц размером менее 10 мкм (PM_{10}).

В США с 1987 г. нормируется не общее количество взвешенных частиц, а концентрация фракции PM_{10} , что позволило оценить долю этой фракции в общем количестве атмосферных взвесей (в среднем она составляет

57%). Во многих городах Европы частицы PM_{10} и $PM_{2.5}$ в атмосферном воздухе изучают в рамках различных программ, создают сети мониторинга мелких взвешенных частиц (Сенотрусова, 2004; Brook et al., 2004). С момента принятия первых стандартов концентраций частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$ в США и Европе поставлена цель планомерного снижения концентраций таких частиц в воздухе, что отражается в постепенном снижении ПДК в госстандартах, которые обновляются раз в несколько лет. Создана и поддерживается европейская база данных по источникам загрязнения атмосферы РМ частицами (Pernigotti et al., 2016).

В России до недавнего времени контролировали лишь общее количество взвешенных веществ, что не давало полного представления о составе окружающей воздушной среды. На станциях мониторинга выполняются ежедневные наблюдения за концентрациями примесей три раза в сутки. При этом, ввиду ограниченных ресурсов, места расположения станций выбираются таким образом, чтобы лучше охарактеризовать районы наибольшего загрязнения.

Как известно, нормативы жилой застройки во многих российских городах нарушались, и поэтому в них промышленные предприятия нередко располагаются в жилых районах. Условно станции сети мониторинга делят на фоновые (жилые районы), автотранспортные (вблизи автомагистралей), промышленные (вблизи промышленных предприятий), но, фактически, любая станция может быть отнесена к любой зоне, т.к. в условиях городской застройки под влиянием розы ветров, физико-географических особенностей рельефа и других факторов она подвергается воздействию тех или иных загрязнителей атмосферного воздуха (Безуглая, 1980; Сенотрусова, 2004; Симонова и др., 2013).

Сравнительно недавно в России введен в действие гигиенический норматив, регулирующий предельно допустимые концентрации взвешенных веществ $PM_{2.5}$ и PM_{10} в атмосферном воздухе (документ введен в 2010 г., с изменениями от 2017 г.). Среднесуточная предельно допустимая

концентрация (ПДК) составляет 0,035 мг/м³ (для РМ_{2,5}) и 0,06 мг/м³ (для РМ₁₀); максимальная разовая – 0,16 мг/м³ и 0,3 мг/м³; среднегодовая – 0,025 мг/м³ и 0,04 мг/м³, соответственно (ГН 2.1.6.3492-17).

В 2016 г. были введены в действие руководящие документы РД 52.04.830-2015 «Массовая концентрация взвешенных частиц РМ₁₀ и РМ_{2,5} в атмосферном воздухе» и РД 52.04.840-2015 «Применение результатов мониторинга качества атмосферного воздуха, полученных с помощью методов непрерывных измерений», которые установили гравиметрический метод измерений массовой концентрации взвешенных частиц диаметром менее 10 мкм и менее 2,5 мкм как эталонный, а также позволили определять концентрации тонкодисперсных частиц с помощью автоматических анализаторов, используя корректировочный коэффициент (Уланова и др., 2016).

Концентрация частиц – важная экологическая характеристика, позволяющая оценить качество атмосферного воздуха. В Таблице 4 приведено сравнение стандартов концентраций частиц РМ_{2,5} и РМ₁₀ в России, США, Европе и некоторых странах Азии.

Таблица 4

Стандарты концентраций РМ_{2,5} и РМ₁₀, мкг/м³, в атмосферном воздухе в России и некоторых других странах*

Стандарт	Средняя за год, мкг/м ³	Среднесуточная ПДК, мкг/м ³
РМ _{2,5} , Россия	25	35
РМ ₁₀ , Россия	40	60
РМ _{2,5} , США	12	35
РМ ₁₀ , США	Не нормируется	150
РМ _{2,5} , Европейский союз	25 µg/m ³	Не нормируется
РМ ₁₀ , Европейский союз	40 µg/m ³	50 µg/m ³
РМ _{2,5} , Китай	35	75
РМ ₁₀ , Китай	70	150
РМ _{2,5} , Япония	15	35
РМ ₁₀ , Япония	Не нормируется	100
РМ _{2,5} , Южная Корея	25	50
РМ ₁₀ , Южная Корея	50	100

* Данные по: (ГН 2.1.6.3492-17; Air quality standards...; Ambient air quality standard GB..., 2012; Reviewing National ambient air quality standards..., 2012)

В России ведется постоянный эколого-гигиенический мониторинг состава атмосферных взвесей в крупных городах, на техногенно загрязненных территориях и в заповедниках (Аналитический обзор..., 2009; Артамонова, 2012; Голохваст, 2013а; Авдеева и др., 2016). Однако определенный интерес представляют средние и малые (по численности населения) населенные пункты, а также территории, на которых проживает небольшое количество людей. Некоторые исследователи считают, что фоновые концентрации атмосферных взвесей техногенного происхождения в отдаленных и малонаселенных районах представляют меньшую угрозу здоровью человека из-за того, что срок их нахождения в атмосфере сравнительно недолог (Akimoto, 2003).

Мы же полагаем, что концентрацию и состав взвешенных частиц нано- и микроразмерных классов в небольших городах необходимо систематически изучать, потому что, во-первых, зачастую в небольших городах находятся градообразующие предприятия, оказывающие значительное влияние на состояние окружающей среды, что может приравнять такие города к мегаполисам по экологическому состоянию (Kholodov et al., 2018b), в особенности, если это предприятия горнодобывающей, металлургической, строительной промышленности (Голохваст и др., 2015б).

Во-вторых, проведенные исследования показывают, что атмосфера небольших городов и поселков даже при отсутствии загрязняющих окружающую среду предприятий и производств может содержать опасные для здоровья человека микрочастицы (менее 10 мкм) и потенциально опасные (10-50 мкм) в значимых долях, причиной чему служат автомобили и работающие на угле котельные. Кроме того, микрочастицы способны долгое время оставаться в воздухе, внося вклад в фоновую концентрацию РМ (Кодинцев, Голохваст, 2015; Голохваст и др., 2016а; Drozd et al., 2016; Холодов и др., 2016а; Холодов и др., 2016б; Kholodov et al., 2017а; Kholodov et al., 2017b; Kholodov et al., 2017с).

Анализ литературы по воздействию атмосферных взвесей на человека позволяет сделать вывод о том, что твердые частицы могут представлять значительную опасность в зависимости от их размера, морфометрических и физико-химических характеристик. В первую очередь поражаются органы дыхания людей, проживающих вблизи градообразующих предприятий, рядом с автомагистралями, вредными производствами.

Можно заключить, что серьезную опасность представляют разновидности респираторных заболеваний (кониозов), возникающих под воздействием взвешенных частиц угля, цемента и горных пород. Воздух многих средних и малых (по числу жителей) населенных пунктов Приморского края загрязняется атмосферными взвесями, содержащими указанные выше частицы.

Так, например, в г. Спасск-Дальний находятся крупный цементный завод и комбинат асбоцементных изделий. В поселке городского типа Посъет осуществляется перевалка угля и погрузка его на суда. В г. Дальнегорск развита горнодобывающая и, до недавнего времени, химическая промышленность. Возникает необходимость оценить распространение антропогенных атмосферных взвесей от источника их выброса в окружающую среду, их размерность, физико-химические свойства и воздействие на жителей Приморского края.

ГЛАВА 2. РАЙОН РАБОТ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Район работ

Нами было проведено исследование атмосферных взвесей в населенных пунктах Приморского края. Исследование проводилось в период с 2015 по 2018 гг. в 17 районах и городских округах. Пробы были отобраны в 24 населенных пунктах, различающихся географическим расположением, климатическими условиями, количеством жителей, наличием тех или иных предприятий, воздействующих на окружающую среду. В каждом населенном пункте были отобраны пробы свежеснегавшего снега, а в ряде населенных пунктов дополнительно отбирали пробы хвои. Точки отбора проб выбирались рядом с предприятиями, вдоль крупных улиц и магистралей, а также в жилых и парковых зонах. На Рис. 2 представлена карта Приморского края с населенными пунктами, в которых проводились исследования.

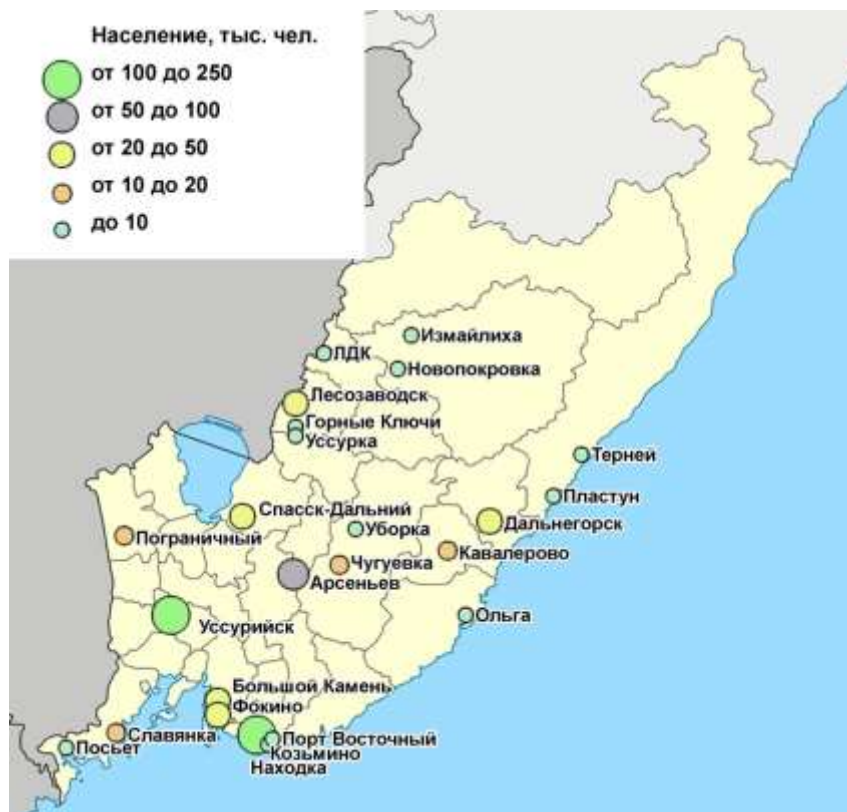


Рисунок 2. Районы отбора проб атмосферных взвесей в Приморском крае

Методики отбора проб и их анализа изложены в разделе 3.2 Материалы и методы исследования.

2.1.1 Арсеньевский городской округ

Арсеньевский городской округ состоит из единственного населенного пункта – города Арсеньева, который расположен в 160 км к северо-востоку от Владивостока в долине реки Арсеньевка. Население города на 2017 г. составляло более 52,7 тыс. человек. Градообразующими предприятиями являются авиастроительная компания ПАО ААК «Прогресс» и машиностроительный завод ПАО «Аскольд». Воздух города загрязняется выбросами котельных, домов с печным отоплением, выхлопом автотранспорта. Пробы снега в городе отбирали зимой 2017 г. Карта района отбора проб представлена на Рис. 3, описание точек отбора проб – в Таблице 5.



Рисунок 3. Район отбора проб снега в г. Арсеньев

Описание точек отбора снеговых проб в г. Арсеньеве

№ точки	Описание точки отбора
1	Территория АЗС, ул. Новикова
2	Территория гаражного общества, ул. Новикова
3	Частный жилой дом по ул. Жуковского
4	Парковка возле торгового центра
5	Перекресток ул. Островского и ул. Ломоносова, 10 м от дороги
6	Ул. Шербакова, 49, рядом с Котельной №2.
7	Частный жилой сектор, Печной пер.
8	Автовокзал г. Арсеньева
9	Промзона, рядом с котельной
10	Перекресток ул. Новикова и Ленинской, 10 м от дороги

2.1.2 Городской округ Большой Камень

Городской округ Большой Камень находится на юге Приморского края на восточном берегу Уссурийского залива. В состав округа входят три населенных пункта: два села и административный центр округа г. Большой Камень, в котором и были отобраны пробы снега. По численности населения город находится на седьмом месте среди городов Приморского края; по состоянию на 2017 г. в городе проживало 38,5 тыс. человек. В Большом Камне работает несколько крупных предприятий: ДВЗ «Звезда» (судостроительное и судоремонтное градообразующее предприятие, строящее гражданские суда, реконструирующее и утилизирующее атомные подводные лодки), ЗСО «Восток» (достроечная площадка Амурского судостроительного завода), ОАО «Рыболовецкий колхоз «Новый мир» (добыча и переработка рыбы), ОАО «Большекаменский хлебокомбинат».

Пробы снега были отобраны зимой 2015 г. Карта района отбора проб представлена на Рис. 4, описание точек отбора проб – в Таблице 6.



Рисунок 4. Район отбора проб снега в г. Большой Камень

Таблица 6

Описание точек отбора снеговых проб в г. Большой Камень

№ точки	Описание точки отбора
1	Точка отбора проб на Аллее Труда, вблизи судостроительного и судоремонтного предприятия Дальневосточный завод «Звезда»
2	Корабельная площадь
3	Ул. Академика Крылова, зеленые насаждения
4	Ул. Академика Курчатова, жилой квартал
5	Ул. Блюхера, жилой квартал
6	Ул. Гагарина, точка отбора недалеко от транспортного кольца
7	Точка отбора возле жилого дома по ул. Горького, 9
8	Перекресток ул. Карла Маркса и ул. Академика Крылова, 10 м от транспортной развязки
9	Вдоль дороги по ул. Маслакова
10	Ул. Приморского Комсомола, точка отбора проб недалеко от автозаправки
11	Частный жилой дом в Пушкинском переулке

2.1.3 Дальнегорский городской округ

Дальнегорский городской округ находится на востоке Приморского края в гористой местности, с юго-востока омывается Японским морем. В состав округа входят 4 села, 3 деревни и административный центр – город

Дальнегорск, самый восточный и самый высокогорный город в Приморье, в котором и были отобраны пробы. Дальнегорск – горно-металлургический и горно-химический центр Приморья. В нем действуют предприятия «Бор» и «Дальполиметалл». Значительная доля российского свинца, цинка, висмута, кадмия, индия и практически весь бор и его соединения имеют дальнегорское происхождение. Сейчас в черте города и вокруг него находятся заброшенные карьеры и рудники. Дальнегорск приравнен к районам Крайнего Севера. На 2017 г. население города составляло 35 тыс. человек.

Влияние предприятий города на состояние окружающей среды в самом городе и прилегающих территориях (напр., в селе Рудная пристань) является предметом постоянного изучения специалистов (Качур и др., 1989; Шаров, 2005; Наумов, Подкопаева, 2013; Голохваст и др., 2015б; Кику и др., 2017).

В городе были отобраны пробы снега и хвои; отбор проводился в 2017 г. Карта района отбора проб снега представлена на Рис. 5, описание точек отбора проб – в Таблице 7.



Рисунок 5. Район отбора проб снега в г. Дальнегорск. Пунктиром слева направо обозначены: санитарно-защитная зона боросиликатного месторождения; хвостохранилище сульфидных полиметаллических руд; санитарно-защитная зона ЗАО «ГХК БОР»

Таблица 7

Описание точек отбора снеговых проб в г. Дальнегорск

№ точки	Описание точки отбора
1	Ул. Пионерская, точка отбора проб снега недалеко от стадиона
2	Жилой квартал по пр. 50 лет Октября, 20 м от дороги
3	Жилой квартал, точка отбора возле дома на бульваре Полины Осипенко
4	Лесной массив на горе
5	Территория парка
6	Точка отбора недалеко от частного жилого дома на ул. Советской, 6
7	Двор здания на пр. 50 лет Октября, 146;15 м от дороги
8	Частный жилой дом на ул. Советской
9	Проселочная дорога, 15 м от автотрассы
10	Частный жилой дом на пр. 50 лет Октября, 215; 15 м от дороги

Карта района отбора проб хвои представлена на Рис. 6, описание точек отбора проб – в Таблице 8.



Рисунок 6. Район отбора проб хвои в г. Дальнегорск

Таблица 8

Описание точек отбора проб хвои в г. Дальнегорск

№ точки	Описание точки отбора
1	В центре города, точка возле дома на ул. Пионерской, д. 64
2	Недалеко от предприятия «Бор», 30-40 м от трассы краевого значения на окраине города
3	Центр города, 10 м от трассы краевого значения
4	Южная оконечность города Дальнегорск, окраина частного сектора, в лесу на сопке, 550 м от трассы краевого значения

2.1.4 Дальнереченский городской округ

Дальнереченский городской округ расположен на северо-западе края, в долине рек Уссури и Малиновки, недалеко от границы с КНР. Округ состоит из пяти населенных пунктов, центром является город Дальнереченск. На территории округа работают различные лесоперерабатывающие предприятия. В Дальнереченском городском округе пробы снега отбирались в поселке ЛДК (территориально входит в состав городского округа как район), расположенном непосредственно вблизи лесопильно-деревообрабатывающего комбината, в 8 км к востоку от г. Дальнереченск. На территории комбината среди прочих товаров производят древесный уголь, в результате чего в атмосферу выбрасываются продукты горения.

Пробы снега были отобраны в три серии в течение снегопадов зимы 2015-2016 гг. Карта района отбора проб снега представлена на Рис. 7, описание точек отбора проб – в Таблице 9.



Рисунок 7. Район отбора проб снега в п. ЛДК

Таблица 9

Описание точек отбора снеговых проб в п. ЛДК

№ точки	Описание точки отбора
1	Точка отбора у жилого дома на ул. Олега Кошевого, 2; 30 м от автодороги
2	Недалеко от дома на ул. Центральная, 30; 30 м от автодороги
3	Частный жилой дом на ул. Олега Кошевого, 48; 15 м от автодороги

2.1.5 Кавалеровский район

Кавалеровский район расположен на востоке Приморского края, большую часть территории района покрывают леса. Район состоит из Кавалеровского городского поселения и Устиновского сельского поселения, в каждое из которых входит 5 населенных пунктов.

В Кавалеровском районе пробы отбирали в его административном центре – поселке Кавалерово. До 1990-х гг. в окрестностях поселка велась добыча олова на нескольких месторождениях. В настоящее время основная составляющая экономики поселка – лесозаготовки. Также работает небольшая горнорудная артель, есть строительные и дорожные предприятия. По состоянию на 2017 г. в поселке проживали 14,5 тыс. человек.

В поселке пробы снега отбирали в зимний сезон 2016 г. Карта района отбора проб снега представлена на Рис. 8, описание точек отбора проб – в Таблице 10.



Рисунок 8. Район отбора проб снега в поселке Кавалерово

Описание точек отбора снеговых проб в поселке Кавалерово

№ точки	Описание точки отбора
1	На въезде в поселок, рядом с АЗС, 15 м от автодороги
2	Частный жилой дом на ул. Южной
3	Частный жилой дом в Первомайском переулке, недалеко от автотрассы
4	Частный жилой дом на ул. Луговой
5	Частный жилой дом недалеко от промзоны
6	Через дорогу от промзоны, место хранения лесозаготовок

2.1.6 Кировский район

Кировский район находится в центральной части Приморского края, через район протекает река Уссури. В район входят 6 городских и сельских поселений, в составе которых 27 населенных пунктов.

В Кировском районе пробы снега отбирали в Горноключевском городском поселении, в обоих его населенных пунктах: курортном поселке Горные Ключи и селе Уссурка.

Поселок Горные Ключи расположен в долине реки Уссури, в нем находится известный курорт «Шмаковка». Численность населения на 2017 г. составляла более 4,1 тыс. человек. Через поселок проходит федеральная трасса А-370 «Уссури».

Пробы снега отбирали в 3 серии в течение зимы 2015-2016 гг. Карта района отбора проб снега представлена на Рис. 9, описание точек отбора проб – в Таблице 11.



Рисунок 9. Район отбора проб снега в поселке Горные Ключи

Таблица 11

Описание точек отбора снеговых проб в поселке Горные Ключи

№ точки	Описание точки отбора
1	Въезд в п. Горные Ключи по трассе А-370, 10 м от автодороги
2	Дорога к военному санаторию, 10 м от дороги
3	Перекресток ул. Рабочей и ул. Юбилейной, 10 м от дороги

Село Уссурка расположено в 10 км к югу от поселка Горные Ключи. Численность населения на 2017 г. составляла около 600 человек. Промышленность в селе отсутствует, жители, в основном, занимаются сельским хозяйством.

Пробы снега в селе отбирали в три серии во время снегопадов 2015-2016 гг. Карта района отбора проб снега представлена на Рис. 10, описание точек отбора проб – в Таблице 12.



Рисунок 10. Район отбора проб снега в селе Уссурка

Описание точек отбора снеговых проб в селе Уссурка

№ точки	Описание точки отбора
1	Въезд в населенный пункт, 10 м от автотрассы
2	Перекресток ул. Советская и ул. Школьная, 10 м от автодороги
3	Точка отбора рядом с частным жилым домом на ул. Северная

2.1.7 Красноармейский район

Красноармейский район – это крупный район, расположенный на западном склоне Сихоте-Алиня на севере Приморского края и характеризующийся, в основном, гористым рельефом. Климат в районе резко континентальный. Большая часть территории района покрыта тайгой. На территории района разведаны месторождения различных полезных ископаемых, в том числе, цветных и редких металлов: олова, полиметаллических руд, вольфрама, золота и др. В состав района входят одно городское и девять сельских поселений, общее число населенных пунктов - 27.

В Красноармейском районе пробы отбирались в Новопокровском сельском поселении (село Новопокровка) и Измайлихинском сельском поселении (село Измайлиха).

Село Новопокровка (административный центр Новопокровского сельского поселения) расположено на берегу реки Большая Уссурка. В селе работают молокозавод, пекарня, ремонтно-строительное управление, занимающееся ремонтом дорог. Жилые дома, в основном, отапливаются печами. Численность населения на 2010 г. составляла более 3,6 тыс. человек.

Пробы снега в с. Новопокровка были отобраны в три серии во время снегопадов зимы 2015-2016 гг. Карта района отбора проб снега представлена на Рис. 11, описание точек отбора проб – в Таблице 13.



Рисунок 11. Район отбора проб снега в селе Новопокровка

Таблица 13

Описание точек отбора снеговых проб в селе Новопокровка

№ точки	Описание точки отбора
1	Пробы снега отбирались недалеко от жилого дома на ул. Советская, 7 в 15 м от автодороги
2	Парковка возле офисного здания, 20 м от автодороги
3	Около частного жилого дома на ул. Советской, 128, в 25 м от автодороги

Село Измайлиха, расположенное в бассейне р. Измайлиха, притока реки Большая Уссурка, приравнено к районам Крайнего Севера. Численность населения на 2010 г. – около 280 чел. В селе печное отопление домов.

Пробы снега в с. Измайлиха были отобраны в три серии во время снегопадов зимы 2015-2016 гг. Карта района отбора проб снега представлена на Рис. 12, описание точек отбора проб – в Таблице 14.

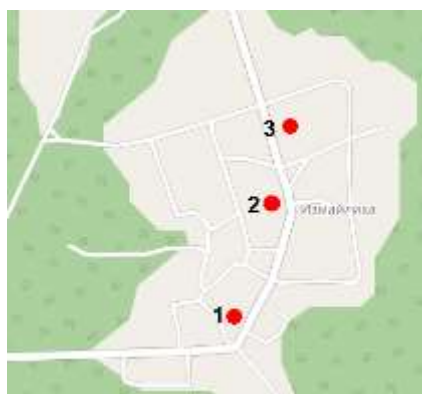


Рисунок 12. Район отбора проб снега в селе Измайлиха

Описание точек отбора снеговых проб в селе Измайлиха

№ точки	Описание точки отбора
1	Частный жилой дом недалеко от въезда в село, 15 м от дороги
2	Центральная часть села, точка отбора недалеко от магазина
3	Частный жилой дом, 20 м от дороги

2.1.8 Лесозаводский городской округ

Лесозаводский городской округ расположен на западе Приморского края, на границе с КНР. Климат континентальный с чертами муссонного. В состав городского округа входят 22 населенных пункта, среди них город Лесозаводск (административный центр) и 21 село.

Пробы отбирались в г. Лесозаводск. Через город протекает река Уссури, проходят железнодорожная и автомагистрали. В прошлом город был центром деревообрабатывающей промышленности, сейчас в городе работают АО «Уссурийский деревообрабатывающий комбинат», биохимический завод, швейная фабрика, ряд пищевых предприятий. Один из крупных работодателей – узловая железнодорожная станция Ружино, расположенная в черте города. Климат в городе умеренный муссонный, преобладают южные и юго-западные ветры. На 2017 г. население города составляло 35,8 тыс. человек.

В Лесозаводске пробы снега отбирались в три серии в течение снегопадов в декабре 2015 г. – январе 2016 г. Карта района отбора проб снега представлена на Рис. 13, описание точек отбора проб – в Таблице 15.



Рисунок 13. Район отбора проб снега в г. Лесозаводск

Таблица 15

Описание точек отбора снеговых проб в г. Лесозаводск

№ точки	Описание точки отбора
1	Автомобильная дорога на въезде в город (ул. Дзержинского)
2	ул. Октябрьская (близость котельной и ж/д станции)
3	жилой район (ул. Ленинская)

2.1.9 Находкинский городской округ

Находкинский городской округ расположен на побережье залива Находка в Японском море в 170 км юго-восточнее Владивостока. В настоящее время в состав округа входят четыре населенных пункта. Восемь населенных пунктов были упразднены в ходе муниципальной реформы и стали микрорайонами города Находка. В границах округа расположены пять терминалов, которые занимаются перевалкой угля. Экологические проблемы, вызванные деятельностью этих терминалов, неоднократно обсуждались ранее (Голохваст, Блиновская, 2014; Kirichenko et al., 2017).

В Находкинском округе пробы отбирали в его административном центре – г. Находке, в бывшем поселке Козьмино (ныне удаленном районе Находки) и вокруг Порты Восточного.

Портовый город Находка является крупнейшим в России транспортным узлом, через который ежегодно проходят десятки миллионов тонн угля. Воздух загрязняется угольной пылью, выхлопными газами автомобилей, выбросами городских котельных, не оснащенных системами фильтрации. Население города вместе с удаленными районами – более 151,4 тыс. человек (данные 2017 года), это третий по величине город края.

В городе Находке пробы снега отбирались зимой 2018 года на южной стороне бухты Находка (мыс Астафьева) и на северной ее стороне, в основной части города. Карта района отбора проб снега представлена на Рис. 14, описание точек отбора проб – в Таблице 16.



Рисунок 14. Район отбора проб снега в г. Находке

Таблица 16

Описание точек отбора снеговых проб в г. Находке

№ точки	Описание точки отбора
1	Ул. Астафьева, 3, расстояние до угольного терминала 150 м
2	Ул. Астафьева, 5, расстояние до угольного терминала 350 м
3	Ул. Астафьева, 105, расстояние до угольного терминала 250 м
4	Площадка на ул. Астафьева, расстояние до угольного терминала 180 м
5	Находкинский пр-т 86, возле автодороги
6	Жилой квартал, Находкинский пр-т, 64а
7	Офисное здание по ул. Красноармейская, 7.
8	Частный дом по ул. Лебяжья, 78., возле оз. Лебединое

Бывший поселок Козьмино, а теперь удаленный район в составе Находкинского расположен в бухте Козьмина в заливе Находка, в 30 км от центральной части города. Вблизи поселка находится «Спецморнефтепорт Козьмино», конечный пункт нефтепровода Восточная Сибирь-Тихий океан. Грузооборот нефтеналивного терминала составляет около 32 млн.т. в год. В поселке проживает около 460 человек.

Пробы снега были отобраны зимой 2017-2018 гг. в северо-восточной части бухты Козьмина. Карта района отбора проб снега представлена на Рис. 15, описание точек отбора проб – в Таблице 17.



Рисунок 15. Район отбора проб снега в Козьмино

Таблица 17

Описание точек отбора снеговых проб в Козьмино

№ точки	Описание точки отбора
1	Ул. Набережная, у проезда к причалу, 10 м от грунтовой дороги
2	15 м от грунтовой дороги, 250 м от причала
3	Частный жилой дом на ул. Школьной
4	На берегу о. Второе
5	Частный дом на ул. Солнечная

Порт Восточный находится в бухте Врангель. В северной части порта расположен поселок Береговой, в южной части – бывший поселок Врангель, ныне удаленный районы Находки. Порт Восточный входит в крупнейший транспортный узел России «Восточный-Находка». В порту расположен крупный угольный терминал, переваливающий более 20 млн. т. угля в год.

В Порту Восточном пробы снега отбирали зимой 2017-2018 гг. Карта района отбора проб снега представлена на Рис. 16, описание точек отбора проб – в Таблице 18.



Рисунок 16. Район отбора проб снега в Порту Восточном

Таблица 18

Описание точек отбора снеговых проб в Порту Восточном

№ точки	Описание точки отбора
1	Микрорайон Врангель, ул. Васяновича, точка отбора недалеко от котельной
2	Территория порта. Расстояние до угольного терминала – 200 м
3	Вдоль дороги, ведущей к порту
4	ССЗ угольного терминала
5	Лесополоса вдоль дороги, 400 м от угольного терминала
6	ССЗ угольного терминала
7	Жилой дом по ул. Внутрипортовая 23/4. Расстояние до угольного терминала – 600 м

2.1.10 Ольгинский район

Ольгинский район расположен на юго-востоке края на побережье Японского моря и представляет собой гористую местность. Климат района муссонный, но условия прибрежной части значительно отличаются от гористой местности (отроги хребта Сихотэ-Алинь). В район входят 19

населенных пунктов в составе городского и сельских поселений, административный центр – поселок городского типа Ольга.

Пробы отбирали в пгт Ольге, расположенном на берегу бухты Ольга и в долине одноименной реки. В поселке находится морской порт, занимающийся перевалкой лесных и генеральных грузов, там же расположена нефтебаза. Поселок разделен горным перевалом на две части. Население поселка на 2017 г. составляло более 3,5 тыс. человек.

Пробы снега отбирали зимой 2017 г. Карта района отбора проб снега представлена на Рис. 17, описание точек отбора проб – в Таблице 19.



Рисунок 17. Район отбора проб снега в пгт Ольга

Таблица 19

Описание точек отбора снеговых проб в пгт Ольга

№ точки	Описание точки отбора
1	Частный жилой дом на ул. Заводской, 10 м от дороги
2	Жилой дом на ул. Комсомольской
3	Частный жилой дом на ул. Партизанской, 10 м от дороги
4	Частный жилой дом на ул. Ворошилова, 10 м от дороги

2.1.11 Пограничный район

Пограничный район находится на юго-западе края на границе с КНР в отрогах Восточно-Маньчжурских гор. Климат умеренно-муссонный. Административный центр района - поселок городского типа Пограничный. Пробы отбирали в административном центре района. Население поселка городского типа – более 10,2 тыс. человек (по состоянию на 2017 г.). Крупных промышленных предприятий на территории поселка нет. В поселке расположены таможня и два пункта пропуска (железнодорожный и автомобильный), оформляющие грузы, идущие со всех регионов. Грузопоток железнодорожной станции Гродеково составляет несколько млн тонн. Основное число предприятий Пограничного занимается производством продукции растениеводства и животноводства.

Пробы снега отбирали зимой 2015 г. Точки отбора снега выбирались рядом с железнодорожной станцией, вдоль центральных улиц поселка, а также на его окраинах. Карта района отбора проб снега представлена на Рис. 18, описание точек отбора проб – в Таблице 20.

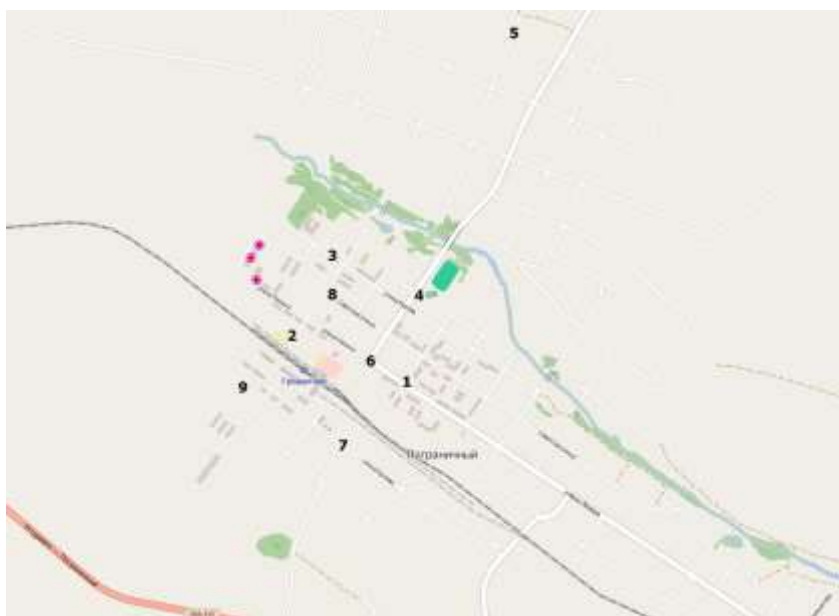


Рисунок 18. Район отбора проб снега в пгт Пограничный

Описание точек отбора снеговых проб в пгт Пограничный

№ точки	Описание точки отбора
1	Перекресток ул. Буденного и ул. Ленина, расстояние до железной дороги 150 м
2	Ул. Гагарина, парковка, расстояние до железной дороги 50 м
3	На территории Дома офицеров, ул. Кирова, 7
4	На пересечении ул. Комсомольская и ул. Карла Маркса, 20 м от дороги
5	Частный жилой дом на ул. Красноармейская, северная оконечность поселка
6	Центральная часть поселка (ул. Ленина). Расстояние до железной дороги 150 м
7	Юго-западная часть поселка, частный жилой дом по ул. Орлова. Расстояние до железной дороги 100 м
8	Точка отбора рядом с центральной площадью, 15 м от дороги
9	Лесополоса в южной стороне ул. Школьная

2.1.12 Спасский городской округ

Спасский городской округ расположен в границах Спасского района, который находится в Раздольно-Приханкайской низменности на западе Приморского края, но при этом не входит в его состав. Единственный населенный пункт городского округа – г. Спасск-Дальний.

Спасск-Дальний стоит на открытой местности в бассейне рек Кулешовка и Спасовка, в 243 км севернее г. Владивостока. Градообразующим предприятием г. Спасск-Дальний является цементный завод. Сырье для завода добывают в известняковом карьере Длинногорского месторождения, расположенного в 6 км к югу от центра Спасска-Дальнего и 2 км к востоку от Новоспасского цементного завода. В черте города также функционирует ОАО «Спасский комбинат асбестоцементных изделий» (СКАЦИ) и проходит транссибирская железнодорожная магистраль. Население города на 2017 г. составляло более 41,1 тыс. человек. Загрязнение воздуха в городе неоднократно становилось предметом исследования

специалистов (Кондратьев и др., 1994; Коломейцева, Христофорова, 2012; Кику и др., 2017).

В Спасске-Дальнем отбирали пробы снега и хвои в 2015-2018 гг.

Пробы снега отбирались в две серии. Первая серия была отобрана в январе 2015 г., вторая – в зимний сезон 2017-2018 гг. Карта района отбора первой серии проб снега представлена на Рис. 19, описание точек отбора проб – в Таблице 21.



Рисунок 19. Район отбора первой серии проб снега в г. Спасск-Дальний

Таблица 21

Описание точек отбора первой серии снеговых проб в г. Спасск-Дальний

№ точки	Описание точки отбора
1	Точка отбора возле механической артели, 10 м от автодороги (Офицерский переулок)
2	Ул. Суворовская, 10; 150 м от железной дороги
3	Жилой дом на ул. Борисова, 8а
4	Жилой дом на ул. Вокзальной, 8; 100 м от ж/д станции
5	Жилой квартал, частный дом на ул. Коммунальной, 14
6	Недалеко от промзоны и котельной, территория дома на ул. Красногвардейской, 91
7	Точка отбора проб на восточной окраине города (ул. Краснознаменная, 27)
8	Рядом с котельной (ул. Кустовиновская, 5)
9	Рядом с офисным зданием в центральном районе (ул. Ленинская, 42)
10	Жилой дом на ул. Парковой
11	Центр города, 50 м от железной дороги (ул. Советская, 86)
12	Центральная площадь

Карта района отбора второй серии проб снега представлена на Рис. 20, описание точек отбора проб – в Таблице 22.

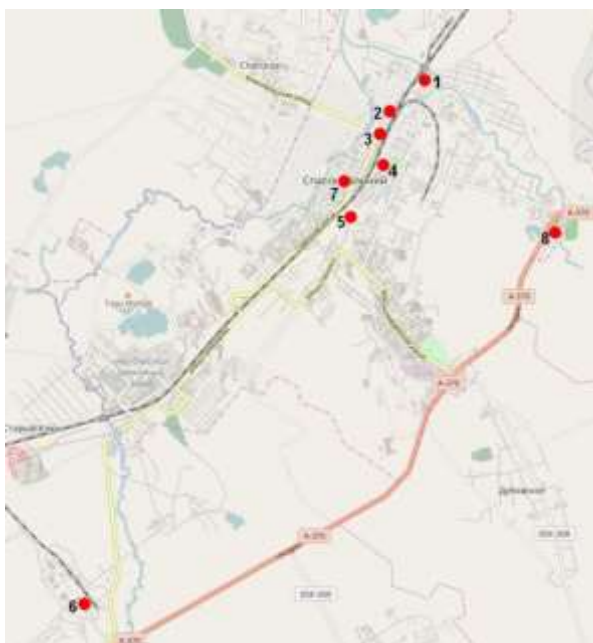


Рисунок 20. Район отбора второй серии проб снега в г. Спасск-Дальний

Таблица 22

Описание точек отбора второй серии снеговых проб в г. Спасск-Дальний

№ точки	Описание точки отбора
1	Точка отбора рядом с ж/д переездом
2	Точка отбора вдоль железной дороги на ул. Советской
3	Ж/д станция г. Спасск-Дальний
4	Ул. Матросова, расстояние до железной дороги 20 м
5	Пустырь, 20 м до железной дороги
6	В районе проходной Новоспасского цементного завода
7	Центральная площадь
8	Спасский лесхоз, ул. Хабаровская 13

Пробы хвои были отобраны в две серии. Первую серию проб отобрали летом 2017 г. в 10 точках в черте г. Спасск-Дальний, в поселении Спасское и в непосредственной близости от Новоспасского и Спасского цементных заводов. Вторую серию проб хвои отобрали в зимний сезон 2017-2018 гг. в точках, соответствующих № 1, 6, 9.

Карта района отбора проб хвои представлена на Рис. 21, описание точек отбора проб – в Таблице 23. Смыв с хвои был исследован методом лазерной гранулометрии.



Рисунок 21. Район отбора проб хвои в г. Спасск-Дальний. Пунктиром сверху вниз обозначены: санитарно-защитная зона АО «Спасскцемент» и комбината асбоцементных изделий; ССЗ известнякового карьера Длинногорского месторождения; ССЗ Новоспасского цементного завода

Таблица 23

Описание точек отбора проб хвои в г. Спасск-Дальний

№ точки	Описание точки отбора
1	В районе проходной Новоспасского цементного завода
2	У дороги, связывающей НСЦЗ с федеральной трассой А-370
3	Жилой микрорайон рядом со старым цементным заводом (ул. Цементная, 31)
4	Проходная старого цементного завода (ул. Цементная, 2)
5	Недалеко от АО СКАЦИ, рядом с железной дорогой (ул. Советская, 268)
6	Центр города (ул. Борисова, 23)
7	Село Спасское, ул. Урожайная 20 (Частный жилой сектор, спутник г. Спасска-Дальнего)
8	Территория Спасского городского товарищества садоводов-любителей, недалеко от железной дороги
9	Спасский лесхоз (ул. Хабаровская 13)
10	Территория автозаправки (542-й км федеральной трассы А-370)

2.1.13 Тернейский район

Тернейский район находится на северо-востоке края и является крупнейшим районом Приморья. Основная статья промышленности района – лесозаготовка и лесопереработка. В Тернейском районе 11 населенных пунктов в составе 10 городских и сельских поселений.

Пробы отбирали в административном центре – пгт Терней и в пгт Пластун.

Поселок городского типа Терней расположен в 665 км к северо-востоку от Владивостока на берегу реки Серебрянка недалеко от места ее впадения в Японское море. Численность населения на 2017 г. составляла 3,3 тыс. человек. На территории Тернейского района частично расположен Сихотелинский заповедник.

Пробы снега в поселке отбирали зимой 2017-2018 гг. Карта района отбора проб снега представлена на Рис. 22, описание точек отбора проб – в Таблице 24.



Рисунок 22. Район отбора проб снега в пгт Терней

Описание точек отбора снеговых проб в пгт Терней

№ точки	Описание точки отбора
1	Территория детского сада, ул. Партизанская, 72
2	Парковка напротив здания администрации Тернейского района, рядом с перекрестком
3	Аэропорт Терней, 10 м от дороги (ул. Аэропорт)
4	Точка возле жилых домов, ул. Зеленая
5	Точка возле жилых домов, Почтовый пер.

Поселок городского типа Пластун расположен на 58 км севернее пгт Терней. Население поселка на 2017 г. – более 5 тыс. человек. В порту поселка работает ОАО «Тернейлес», в том числе несколько заводов по переработке древесины, лесопильный завод.

Пробы снега в Пластуне отбирали зимой 2017-2018 гг. Карта района отбора проб снега представлена на Рис. 23, описание точек отбора проб – в Таблице 25.



Рисунок 23. Район отбора проб снега в пгт Пластун

Точки отбора проб в пгт Пластун

№ точки	Описание точки отбора
1	Кольцо автодороги, недалеко от АЗС
2	Жилой квартал, недалеко от гостиницы (ул. Комсомольская, 1)
3	Центр поселка, парковка около офисного здания (ул. Лермонтова)
4	Автостанция поселка
5	Перекресток на границе жилого квартала

2.1.14 Уссурийский городской округ

Уссурийский городской округ расположен в южной части Приморья, в центре Приханкайской равнины. В состав округа входят 38 населенных пунктов.

Пробы отбирались в центре округа – г. Уссурийске, расположенном в низменной части долины реки Раковки, в месте слияния ее с реками Раздольная и Комаровка. Это второй по величине город края после Владивостока, население города на 2017 г. – более 170 тыс. человек.

Климат в Уссурийске муссонный, циркуляция воздушных масс недостаточна, благодаря чему в приземном слое воздуха быстро накапливаются взвешенные вещества. Основное загрязнение атмосферы в Уссурийске происходит за счет автотранспорта, предприятий теплоэнергетики и промышленности (Коломейцева, Христофорова, 2012; Столбун и др., 2012; Голохваст, 2013а; Котляр, 2016)

На долю транспорта приходится до 60% загрязнения атмосферы. Введенная в эксплуатацию в 2011 г. автодорога М60 «Владивосток-Хабаровск», проходящая в объезд Уссурийска, несколько уменьшила поток транзитного транспорта в городе. Значительный вклад в загрязнение атмосферы вносит теплоэнергетический комплекс. В черте города находится множество котельных и кочегарок, большая часть из них работает на мазуте и угле; оборудование таких котельных устаревшее и изношенное. Многие дома используют печное отопление. Вносят свой вклад в выбросы атмосферных взвесей и крупные предприятия Уссурийска, например, ЗАО УМЖК «Приморская соя», АО «Приморский сахар» благодаря котельным, расположенным на их территории.

В Уссурийске пробы снега отбирали в зимний сезон 2016-2017 гг. Карта района отбора проб снега представлена на Рис. 24, описание точек отбора проб – в Таблице 26.

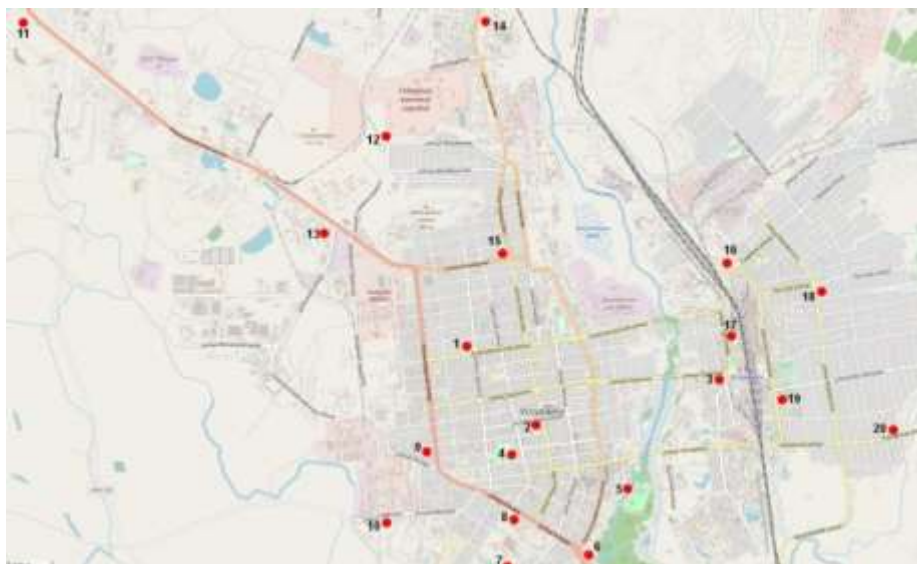


Рисунок 24. Район отбора проб снега в г. Уссурийск

Таблица 26

Точки отбора проб в г. Уссурийск

№ точки	Описание точки отбора
1.	Центральная часть города, частный жилой сектор в стороне от дороги (ул. Горького, 89)
2	Центральная часть города, 20 м от перекрестка, недалеко от центральной площади (Ул. Октябрьская, 50а)
3	Западная часть города, в 10 м от перекрестка, недалеко от железнодорожной станции «Уссурийск»
4	Центральная часть города, территория городского парка
5	Западная часть города, территория рынка, рядом с парковой зоной, недалеко от р. Раковка
6	Частный жилой сектор недалеко от автодороги «Уссури»
7	Парк в южной части города
8	Рядом с домом по ул. Афанасьева, 16. Недалеко находится котельная.
9	Территория промзоны
10	Территория детского сада (ул. Ивасика, 56)
11	Северо-западная оконечность города, Новоникольское шоссе, частные жилые дома, 20 м от автотрассы.
12	Частный жилой сектор. Северный район города, в котором расположены несколько небольших котельных
13	Жилой микрорайон, пробы отбирались возле дома по ул. Новоникольское шоссе, 28а. В 50 м находится автомагистраль, недалеко расположена Уссурийская металбаза
14	Северная часть города, частная жилая застройка, недалеко от

№ точки	Описание точки отбора
	промзоны и оптовой базы, дорога с интенсивным движением
15	Центр города, 10 м от дороги с большим грузопотоком
16	Кольцо авторазвязки, рядом проходит железная дорога, расположено железнодорожное депо.
17	Ул. Тургенева, вблизи железной дороги
18	Частный жилой сектор (ул. Воровского, 41)
19	Территория МБОУ СОШ №130, в 200 м проходит железная дорога
20	Частный жилой сектор, вблизи оживленной трассы

2.1.15 ЗАТО Фокино

Закрытое административно-территориальное образование Фокино находится на юге Приморского края с границами в акватории Японского моря (заливы Петра Великого, Уссурийский и Стрелок). ЗАТО Фокино имеет статус городского округа и состоит из трех населенных пунктов: двух поселков городского типа и административного центра города Фокино. В городском округе находится военно-морская база ВМФ России, а также Дальневосточный центр «ДальРАО» – филиал ФГУП «Рос РАО», ведущий работы по экологической реабилитации радиационно-опасных отходов для их дальнейшего хранения и переработки.

В городском округе Фокино пробы отбирались в его административном центре. Город Фокино с населением более 23 тыс. человек (данные на 2017 г.) расположен вдоль трассы Владивосток – Находка, недалеко от бухт Абрек и Разбойник. В городе находится закрытый завод железобетонных изделий, работают две котельные на жидком топливе (мазуте).

Пробы снега в городе отбирали зимой 2018 г. Карта района отбора проб представлена на Рис. 25, описание точек отбора проб – в Таблице 27.



Рисунок 25. Район отбора проб снега в г. Фокино

Таблица 27

Описание точек отбора снеговых проб в г. Фокино

№ точки	Описание точки отбора
1	Недалеко от автозаправочной станции, в 10 м от автотрассы
2	Недалеко от автозаправочной станции, лесная полоса в 20 м от автотрассы
3	Рядом с парковкой торгового центра, ул. Постникова
4	Жилой район, точка отбора возле дома по ул. Постникова 10
5	Лесной массив, 15 м от автотрассы

2.1.16 Хасанский район

Хасанский район находится на крайнем юге Приморского края, вытянувшись вдоль западного побережья Амурского залива и залива Петра Великого. Район славится своей уникальной природой. В состав Хасанского района входят 37 населенных пунктов.

Пробы отбирались в административном центре района – поселке городского типа Славянке (пробы снега), а также в поселке Посъет (пробы снега и хвои).

Славянка – крупный поселок городского типа, расположенный на юге Приморского края на берегу одноименной бухты. Расстояние до

Владивостока по автодороге составляет 199 км. Население на 2017 г. превышало 12,3 тыс. человек. Климат в Славянке ярко выраженный муссонный с теплым влажным летом и солнечной зимой.

В поселке работает нефтебаза ЗАО «Востокбункер», которая является третьим по объёму перевалки на Дальнем Востоке нефтяным терминалом (перевалка с поездов на морские суда и отправка топлива морем). В международном порту Славянка работает ПАО «Славянский СРЗ», занимающееся перевалкой грузов. В настоящее время решается вопрос о строительстве терминала для перевалки угля на территории порта.

Кроме этих двух основных источников загрязнения атмосферного воздуха, свой вклад также вносят предприятия теплоснабжения и транспортная сеть.

Пробы снега в поселке отбирали зимой 2018 г. Карта района отбора проб представлена на Рис. 26. Пробы снега отбирались в трех направлениях, по пять проб в каждом, с шагом в 50 метров, постепенно удаляясь от территории порта. Кроме того, были отобраны пробы на территории жилой застройки поселка. Такие пробы сокращенно обозначены как «СГ».



Рисунок 26. Район отбора проб снега в пгт Славянке

Поселок городского типа Посьет расположен в Хасанском районе на полуострове Новгородский в заливе Посьета. Климат в Посьете муссонный с умеренно холодной зимой и душным летом. В поселке на 2017 г. проживало более 1700 человек. Бухты Новгородская, Экспедиции и Рейд Паллада в заливе Посьет имеют особую природоохранную и научную ценность и охраняются законом. В то же время, в порту Посьета находится крупное предприятие, влияющее на загрязнение окружающей среды – угольный терминал. Терминал служит для вывоза угля, добытого на месторождениях «Якутуголь» и «Южный Кузбасс». Мощности порта позволяют переваливать до 12 млн тонн угля в год (Ермаченков, 2016).

В поселке были отобраны пробы свежего снега и хвои, отбор происходил в 2017-2018 гг.

По предварительным данным (Филонова и др., 2016; Голохваст и др., 2017), именно угольные терминалы, расположенные на территории морского порта, являются основным источником пылевого загрязнения в портовых населенных пунктах. Для оценки загрязнения территории выбросами угольного терминала пробы снега отбирались с шагом в 50 метров (по аналогии с пробоотбором в Славянке), постепенно удаляясь от предполагаемого источника выброса частиц. Дополнительные пробы снега на территории жилой застройки носят сокращение «ПГ». Схема отбора проб представлена на Рис. 27.



Рис. 27. Район отбора проб снега в пгт Посьет. Пунктиром обозначена санитарно-защитная зона угольного терминала

Карта отбора проб хвои в Посъете представлена на Рис. 28, описание точек отбора проб – в Таблице 28.



Рисунок 28. Район отбора проб хвои в пгт Посъет

Таблица 28.

Описание точек отбора проб хвои в пгт Посъет

№ точки	Описание точки отбора
1	Возле угольного терминала
2	Во дворе частного жилого дома
3	Вдоль автодороги к поселку, недалеко от железной дороги

2.1.17 Чугуевский район

Чугуевский район расположен в центре Приморья, он изрезан хребтами и отрогами горной системы Сихотэ-Алиня. Основные составляющие экономики района – лесная промышленность и сельское хозяйство. В район входят 32 населенных пункта в составе 3 сельских поселений, административный центр – село Чугуевка.

В Чугуевском районе пробы отбирали в районном центре и в селе Уборка.

Село Чугуевка стоит на реке Уссури. Население села на 2010 г. составляло более 12,1 тыс. человек. Промышленных предприятий в селе нет, в жилых домах, в основном, печное отопление. Пробы снега в селе отбирали

зимой 2017 г. Карта района отбора проб представлена на Рис. 29, описание точек отбора проб – в Таблице 29.

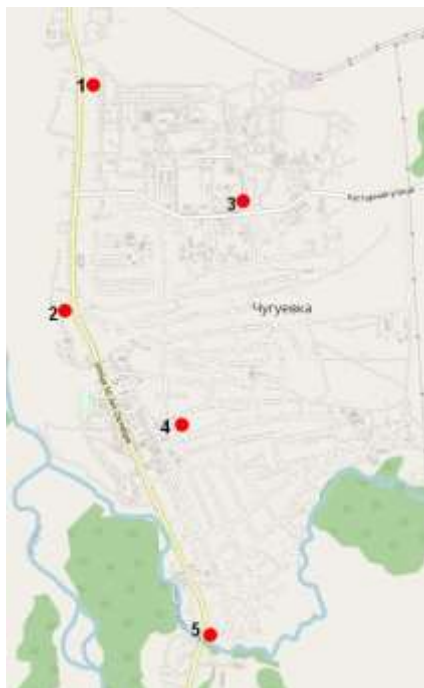


Рисунок 29. Район отбора проб хвои в селе Чугуевка

Таблица 29

Описание точек отбора проб хвои в селе Чугуевка

№ точки	Описание точки отбора
1	Частный жилой дом на ул. Чкалова, 20 м от автотрассы
2	Частный жилой дом на ул. Терешкова, 15 м от перекрестка
3	Территория гаражного кооператива
4	Дом на ул. Школьной, близость котельной
5	Рядом с мостом через р. Чугуевка, автодорогой

Село Уборка расположено на берегу реки Павловка. На 2010 г. в селе проживало 850 человек. Промышленности в селе нет, дома в основном, отапливаются твердым топливом (печное отопление). Через село проходит автодорога А-181.

Пробы снега отбирали зимой 2017 г. Карта района отбора проб представлена на Рис. 30, описание точек отбора проб – в Таблице 30.

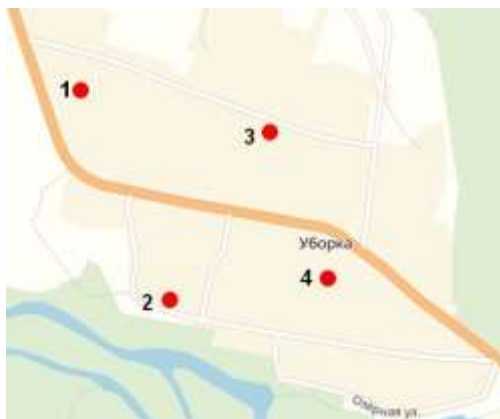


Рисунок 30. Район отбора проб хвои в селе Уборка

Таблица 30

Описание точек отбора проб хвои в селе Уборка

№ точки	Описание точки отбора
1	Частный жилой дом
2	Частный жилой дом
3	Частный жилой дом, 10 м от дороги
4	Перекресток грунтовых дорог, 15 м от дороги

2.2. Материалы и методы исследования

Атмосферные взвеси изучались в выпавшем снеге, который собирался во время снегопадов или сразу после них, а также в смыве с хвои. Отбор проб производился в 2015-2018 гг. Для детального изучения атмосферных взвесей был применен ряд технических средств и методов анализа. Анализ проводился в лабораториях научно-образовательного центра «Нанотехнологии» ИШ ДВФУ, ЦКП «Межведомственный центр аналитического контроля состояния окружающей среды» ДВФУ, рентгеновских методов исследования, геохимии, микро- и наноисследований ДВГИ ДВО РАН.

2.2.1 Отбор снеговых проб

При отборе снеговых проб было необходимо исключить вторичное загрязнение антропогенными аэрозолями, поэтому собирали верхний слой (5-10 см) только что выпавшего снега с площади 1 м² (Голохваст и др., 2011). Снег отбирали рядом с техногенными объектами, которые оказывают воздействие на окружающую среду (котельные, предприятия и т.п.); рядом с автомагистралями, развязками; в жилых кварталах; на фоновых территориях. Снег помещали в стерильные пластиковые контейнеры объемом 2,5 л, промытые дистиллированной водой, и транспортировали в лабораторию.

Методика отбора снеговых проб считается высоко информативной и имеет ряд преимуществ: нет необходимости в пробоподготовке, можно сделать количественный и качественный анализ частиц взвеси, оценить водорастворимые органические соединения на поверхности частиц, саму их поверхность. В то же время, существенным недостатком этого метода является сезонность отбора проб.

2.2.2 Отбор проб хвои

Для проведения исследования загрязнения атмосферы вне зависимости от сезона мы использовали ультразвуковой метод смыва с хвои, который продемонстрировал сопоставимость результатов с гранулометрическим анализом снеговой воды (Кодинцев и др., 2017). Хвою собирали с деревьев на высоте 1-1,5 м, помещали в промытые дистиллированной водой ПЭТ-контейнеры и транспортировали в лабораторию.

Для подготовки к гранулометрическому анализу образцы хвои погружались в емкость с дистиллированной водой и обрабатывались ультразвуком с помощью ультразвукового гомогенизатора Sonopulse 3100 HD (фирма Bandelin electronic GmbH & Co. KG, Германия) частотой 22 кГц,

мощностью 100 Вт с экспозицией в 5 минут. Процедура ультразвуковой обработки хвои показана на Рис. 31.



Рисунок 31. Процедура обработки пробы хвои ультразвуком

Для микроснимков хвои использовался микроскоп моторизованный с флуоресценцией Axio Imager Z2 (фирма Zeiss AG, Германия).

Для получения сухого осадка атмосферных взвесей с поверхности хвои для последующего анализа методами рамановской спектроскопии, рентгенофлуоресцентного анализа, а также сканирующей электронной микроскопии, смыв с хвои пропускали через фильтр Millipore с диаметром ячеек 0,22 мкм и высушивали фильтр в сушильном шкафу.

2.2.3 Лазерная гранулометрия

В растаявших снеговых пробах и усиленном ультразвуком смыве с хвои определяли размеры частиц и фракционный состав. Жидкость взбалтывали, из каждого образца набирали аликвоту 40 мл жидкости и анализировали на лазерном анализаторе частиц Analysette 22 NanoTech plus (фирма Fritsch, Германия), позволяющем в ходе одного измерения устанавливать распределение частиц по размерам, а также определять их

форму и ряд морфометрических параметров (средний диаметр, моду, медиану, отклонение, коэффициент отклонения). Измерения проводились с установкой измеряемой системы кварц-вода «quartz/water 20° C», диапазон измерений составлял 0,008-2000 мкм. Результаты измерений отображают средний размер частиц и процентное соотношение частиц различной фракции.

Считается, что исследование гранулометрического состав взвесей даже без качественного анализа полезно для оценки техногенной нагрузки на исследуемую территорию, однако одним из ограничений применения метода является тот факт, что при работе на приборе задается некоторое количество измерений, в ходе которых частицы постепенно разрушаются.

Метод лазерной гранулометрии смыва с хвои, обработанной ультразвуком, показал сопоставимость результатов оценки частиц атмосферной взвеси с гранулометрическим анализом снеговой воды (Кодинцев и др., 2017).

По результатам гранулометрического анализа отбирались пробы для дальнейшего изучения спектрометрическими методами или методом сканирующей электронной микроскопии.

2.2.4 Атомно-эмиссионная спектрометрия

Элементный анализ воды (растаявшего снега) был выполнен на оптическом эмиссионном спектрометре параллельного действия с индуктивно связанной плазмой ICPE-900 («SHIMADZU» EUROPA GmbH). Метод атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) основан на измерении линейчатых атомно-эмиссионных спектров элементов, возбуждаемых в индуктивно-связанной плазме высокочастотным разрядом. Интенсивность спектральных линий при характеристических для каждого элемента длинах волн регистрируется

фоточувствительным устройством, измеряется и обрабатывается компьютерной системой.

2.2.5 Рентгенофлуоресцентная спектрометрия

Для анализа проб, отобранных смывом с хвои, требовалось применить неразрушающий метод анализа исследуемого материала, поэтому его выполняли на портативном рентгенофлуоресцентном спектрометре Innov-X SyStemS (США). Метод рентгенофлуоресцентного анализа основан на сборе и последующем анализе спектра, возникающего при облучении исследуемого материала рентгеновским излучением.

2.2.6 Рамановская спектроскопия

Высушенный смыв с проб хвои, частицы взвеси на иглах хвои и контрольные объекты (образцы портландцемента, минералов, угля) были проанализированы методом рамановской спектроскопии с использованием прибора Morphologi G3-ID (фирма Malvern Instruments Ltd., Великобритания). Этот метод уникален тем, что позволяет определить размер и основной химический состав каждой отдельно взятой частицы в навеске (Kholodov, Golokhvast, 2016). С помощью специального запатентованного фирмой Malvern программного обеспечения для анализа химической корреляции была определена доля контрольного вещества в составе взвесей с точек отбора проб хвои. Использование микрорамановской спектроскопии позволяет идентифицировать, например, различные минеральные фазы в обычном портландцементе без специальной подготовки образца (Potgieter-Vermaak et al., 2006).

Всего в автоматическом режиме было проанализировано по 100 000 частиц в каждой пробе. Затем снимали спектры с 200 частиц диаметром от 5

до 10 мкм (ручной режим) и 400 частиц диаметром 20-25 мкм (автоматический режим). Процесс работы на приборе показан на Рис. 32.

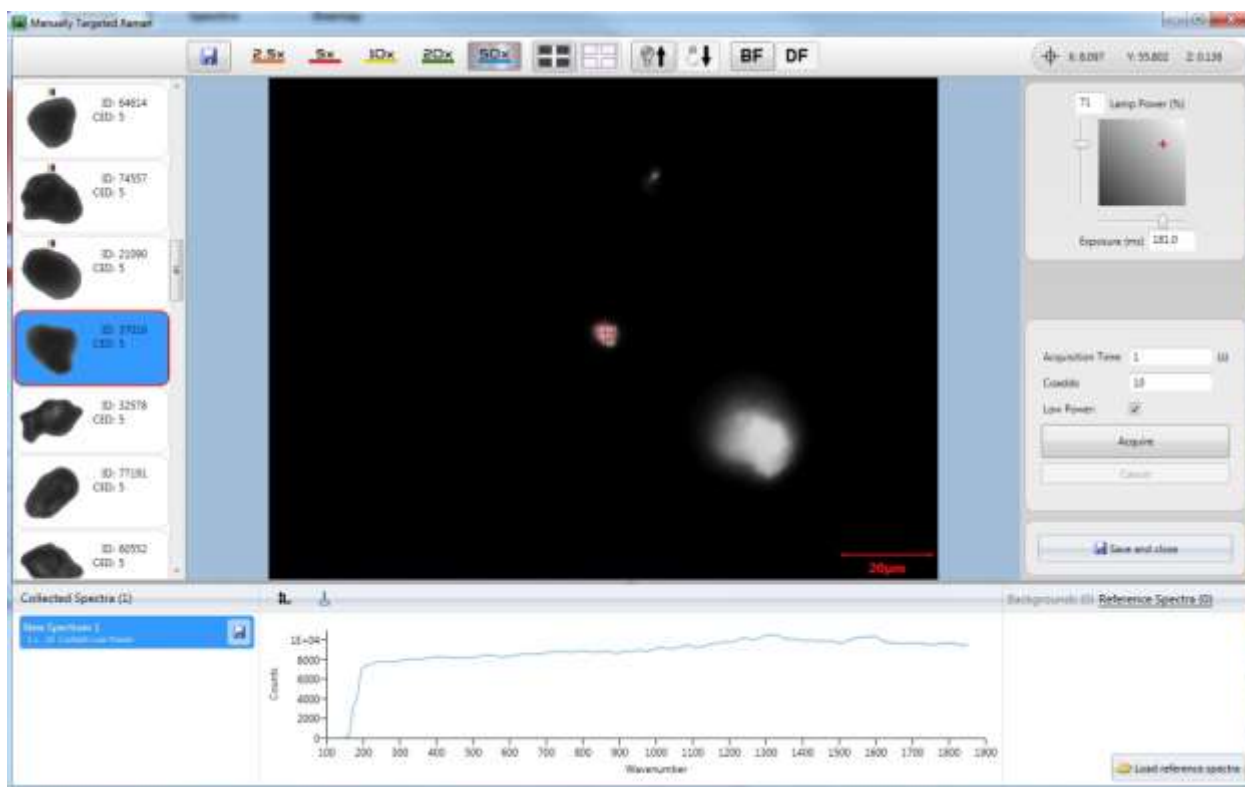


Рисунок 32. Процесс получения рамановского спектра частицы диаметром 5 мкм (Дальнегорск, проба № 3).

2.2.7 Сканирующая электронная микроскопия

Исследования на электронно-зондовом комбинированном микроанализаторе. Сухой осадок снеговой воды из пробоотборных контейнеров и сухой осадок смыва с хвои распыляли на отрезки двустороннего углеродосодержащего скотча, которые крепили к алюминиевым цилиндрам для проведения дальнейших исследований по определению элементного состава на сканирующем электронном микроскопе. Исследования выполняли на электронно-зондовом ВДС/ЭДС комбинированном микроанализаторе JXA 8100 (JEOL, Япония). Сканирующий электронный микроскоп был оснащен энергодисперсионным

аналитическим спектрометром Oxford Instruments INKAsight (Великобритания). Анализ производился при ускоряющем напряжении 20 kV. Исследования проводились во вторичных электродах (SE), позволяющих получать изображение морфологии частиц образцов и топографию их поверхности, и в отраженных электронах (BE COMPO), отображающих контраст в зависимости от среднего атомного номера элемента. Количественный и полуколичественный анализ осуществлялся по процедуре PhyRoZ. Образцы были напылены углеродом.

Исследования на двухлучевом сканирующем электронном микроскопе. Высушенный смыв с хвои, распыленный на двусторонний углеродосодержащий скотч на алюминиевых цилиндрах был исследован на двухлучевом сканирующем электронном микроскопе Tescan Lyra 3 XMN (TESCAN Brno s.r.o., Чехия).

Образцы были напылены углеродом с толщиной/плотностью покрытия в ~ 10 нм/2.25 г/см³. Автоматическое сканирование проводилось в режиме «Depth» с глубиной фокуса до 5 мкм. Заданный минимальный размер обнаруженных частиц составлял 1 пикс. Размер электронного пучка составлял 7 нм, ускоряющее напряжение 20кВ, рабочее расстояние (WD) 9 мм.

В режиме автоматического поиска «Feature» в каждой пробе было обнаружено от 10 тыс. до 34 тыс. частиц. Микроанализ был проведен с применением программной оболочки для электронно-зондового анализа EDS AZtec X-Max 80 Standart (Oxford Instruments, Великобритания). Микрофотографии были сделаны в режимах отраженных электронов (BSE) и вторичных электронов (SE). При обработке данных производился расчет концентраций элементов без учета связанного с ними кислорода. Сумма концентраций элементов была нормализована (приведена к 100%).

ГЛАВА 3. КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ВЗВЕСЕЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Для целей нашего исследования мы разделили населенные пункты на категории по численности населения, руководствуясь сводом правил «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» от Минрегионразвития РФ (СП 42.13330.2011, 2011).

Среди исследованных нами городов, поселков и сел Приморья для сравнения были выделены:

- 2 больших населенных пункта с числом жителей от 100 до 250 тыс. чел. (города Уссурийск и Находка);
- 1 средний населенный пункт – от 50 до 100 тыс. чел. (г. Арсеньев);
- 5 малых в подкатегории от 20 до 50 тыс. чел. (г. Большой Камень, Дальнегорск, Лесозаводск, Спасск-Дальний, Фокино);
- 4 малых в подкатегории от 10 до 20 тыс. чел. (поселки Кавалерово, Пограничный, Славянка, село Чугуевка);
- 12 малых в подкатегории до 10 тыс. жителей (поселки Ольга, Терней, Пластун, Посьет, Горные Ключи, села Уссурка, Новопокровка, Измайлиха, Уборка, удаленный район г. Дальнереченска ЛДК, удаленный район г. Находки Козьмино и окрестности Порты Восточного).

При гранулометрическом анализе атмосферных взвесей мы пользовались размерной классификацией, предложенной К.С. Голохвастом (2013а), согласно которой частицы взвеси в пробе делят на семь размерных классов: 1) от 0,1 до 1 мкм (соответствует PM_{10}), 2) от 1 до 10 (соответствует PM_{10}), 3) от 10 до 50, 4) от 50 до 100, 5) от 100 до 400, 6) от 400 до 700, 7) более 700 мкм. Наиболее опасными считаются первый и второй размерные классы, а преобладание в пробе последнего размерного класса (более 700 мкм) позволяет сделать предварительный вывод о благоприятной экологической обстановке на станции отбора пробы с точки зрения загрязнения атмосферы микроразмерными взвесями.

3.1 Гранулометрический состав взвесей больших населенных пунктов (от 100 до 250 тыс. жителей)

В Таблице 31 представлен гранулометрический анализ снеговых проб, отобранных в Уссурийске и Находке.

Таблица 31

Распределение частиц по размерным фракциям на станциях отбора снега в больших городах Уссурийске и Находке (от 100 до 250 тыс. жителей)*

Фракция, мкм, % № точки отбора	Менее 1	1 - 10	10 - 50	50 - 100	100 – 400	400-700	Более 700
г. Уссурийск							
1	3,7	25,6	51,2	7,9	2	0,3	9,3
2	2,4	21,1	50,8	15,2	2,6	0,4	7,5
3	2,3	17,9	45,9	13,3	14	0,9	5,7
4	1,9	39,1	44,6	1,9	0,1	0,5	11,9
5	3,7	24,6	32,4	0,8	0,2	1	37,3
6	2,4	22,2	50,5	8,3	4	1,3	11,3
7	1,7	32,4	49,6	0,9	0	0,4	15
8	1,8	35,6	34,5	1,2	4,7	8,4	13,8
9	4,7	23,2	28,2	0	0,3	8,5	35,1
10	3,7	23,1	41,1	9,9	1,2	0,8	20,2
11	2,1	18	50,3	10,4	9,6	0,7	8,9
12	2,1	29,6	28	0,8	5,4	7,1	27
13	1,9	17	33,3	5,3	21,6	10,2	10,7
14	1,9	26	57,2	6,3	2,8	0,4	5,4
15	3,6	27,7	49,9	11,1	3,1	0,1	4,5
16	3,2	24	17,8	0	4,9	11,6	38,5
17	4,1	22,9	39,7	2,6	15,2	2,6	12,9
18	3,4	25,8	50,1	2,9	0,3	0,9	16,6
19	5,6	38,4	37,9	0,6	0	0,3	17,1
20	4,4	30,9	41,7	0,7	0	1,2	21,1
г. Находка							
1	0	22	78	0	0	0	0
2	0	21,2	78,8	0	0	0	0
3	0	13,5	86,5	0	0	0	0
4	0	18,5	71,5	0	0	0	0
5	0,8	3,7	23,2	16,4	35,2	20	0,7
6	2,6	9,8	72,8	9,1	0	1,1	4,6
7	0,2	5,8	29,1	4	6,2	33,7	21
8	2,3	10,1	33,3	4,9	19,7	15,6	14,1

*В таблице выделено превышение пороговых концентраций: 5% для фракции взвеси РМ₁, 20% для фракции РМ₁₀ и 30% для фракции более 700 мкм

По данным гранулометрического анализа, на 17 из 20 станций отбора проб снега в *Уссурийске* была обнаружена фракция взвеси второго размерного класса (1-10 мкм, или PM_{10}) в значительных долях (от 21,1% до 39,1%), а в 4 пробах содержание взвеси до 1 микрометра в диаметре составило более 4%. В целом по населенному пункту доля фракции взвеси PM_{10} составляет от 17% до 39,1% (среднее значение – 26,25%). На Рис. 33 представлен результат серии измерений пробы снега №19 из Уссурийска, в которой обнаружено высокое содержание частиц фракций PM_1 и PM_{10} .

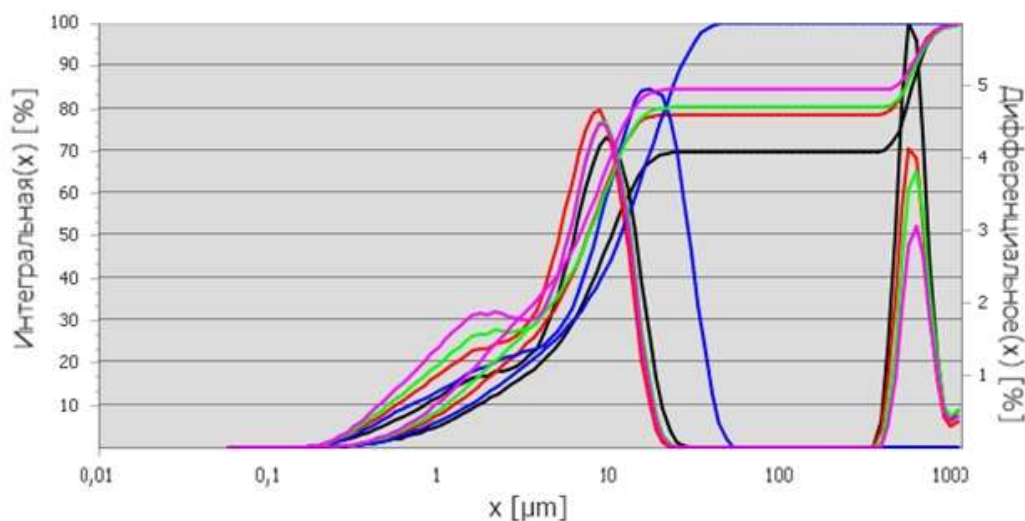


Рисунок 33. Результат серии измерений пробы снега №19 из Уссурийска

Для удобства восприятия информации на основании результатов гранулометрического анализа всех проб снега из Уссурийска была построена единая диаграмма, представляющая собой гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси данного города (Рис. 34)

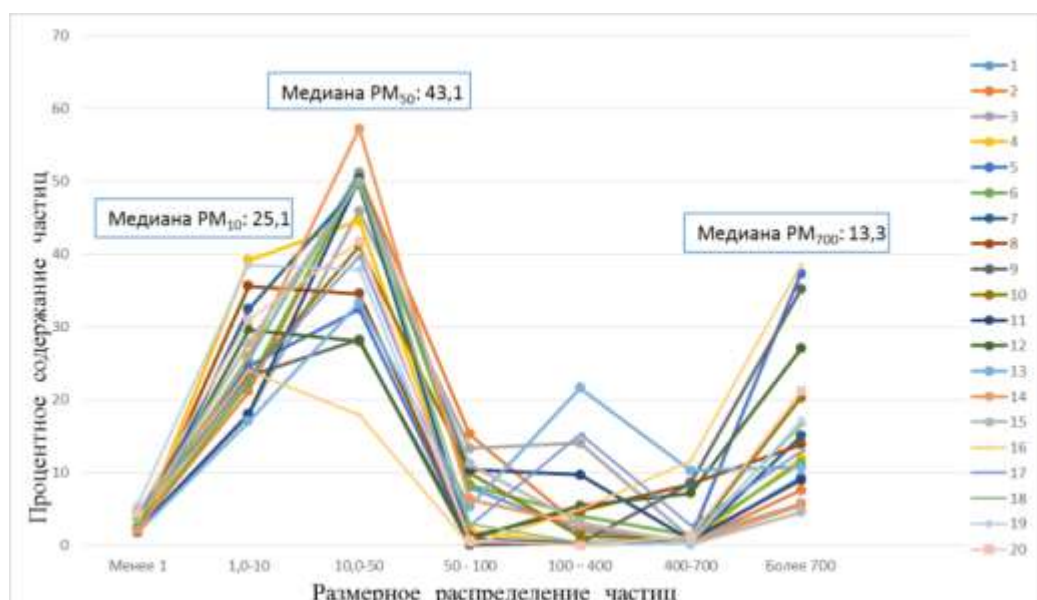


Рисунок 34. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси г. Уссурийск

В *Находке* фракция PM_{10} в пробах снеговой воды обнаружена долях от 3,7% до 22% (в среднем, 13,07%). В пробах, отобранных недалеко от портов, наблюдаются крайне высокие уровни потенциально опасной фракции взвеси PM_{50} : от 71,5% до 86,5% (пробы 1-4, 6). Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси *Находки* приведены на Рис. 35.

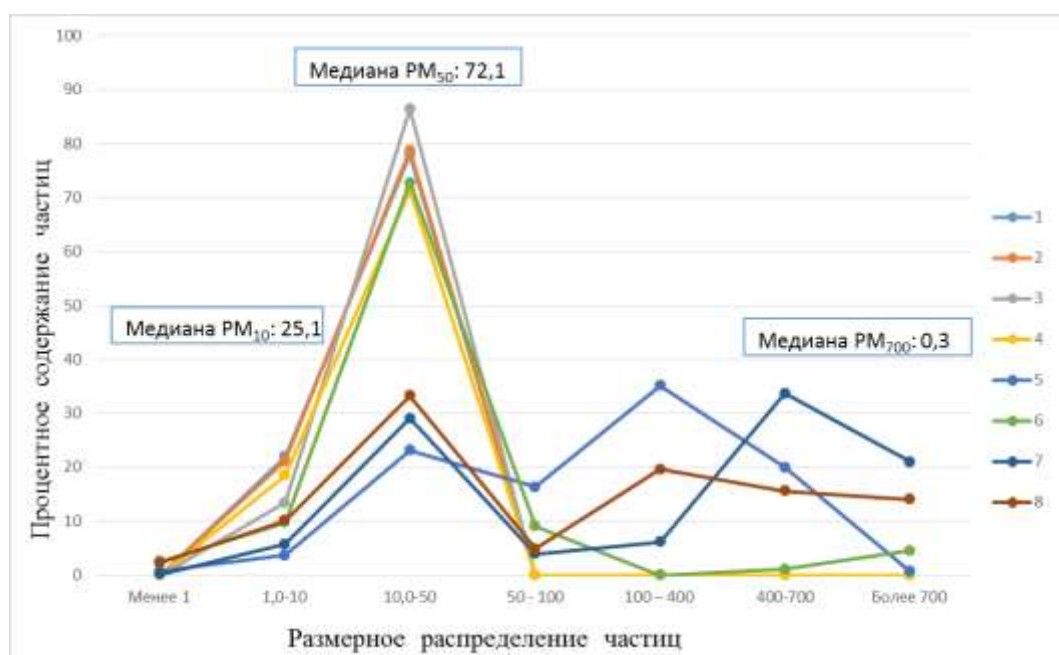


Рисунок 35. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси г. Находки

3.2 Гранулометрический состав взвесей среднего населенного пункта (от 50 до 100 тыс. жителей)

Гранулометрический состав атмосферных взвесей среднего по количеству жителей города Арсеньева представлен в Таблице 32. Также для удобства эти данные сведены в Рис. 36 – гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси города.

Таблица 32

Распределение частиц по размерным фракциям на станциях отбора снега в среднем по числу жителей городе Арсеньеве (от 50 до 100 тыс. жителей)*

Фракция, мкм, % № точки отбора	Менее 1	1 - 10	10 - 50	50 - 100	100 – 400	400-700	Более 700
1	5,5	44,6	42,3	2,1	1,6	0,1	3,8
2	4	34,8	32,7	2,7	11,5	8	6,3
3	3,4	26,3	26,6	5,7	21,7	12,1	4,2
4	5,9	49,2	32,6	0,3	7,1	2,2	2,7
5	3	26,8	46,3	9,9	8,6	1,5	3,9
6	6,3	47,7	45	1	0	0	0
7	4,8	36,7	43,5	2,6	8,9	0,7	2,8
8	4,4	33,8	37,1	8	3,3	0,7	12,7
9	4,6	33,8	32,7	1,4	20,4	7,1	0
10	5,1	46,7	44,9	0,3	0	0	3

*В таблице выделено превышение пороговых концентраций: 5% для фракции взвеси PM_{10} , 20% для фракции PM_{10} и 30% для фракции более 700 мкм

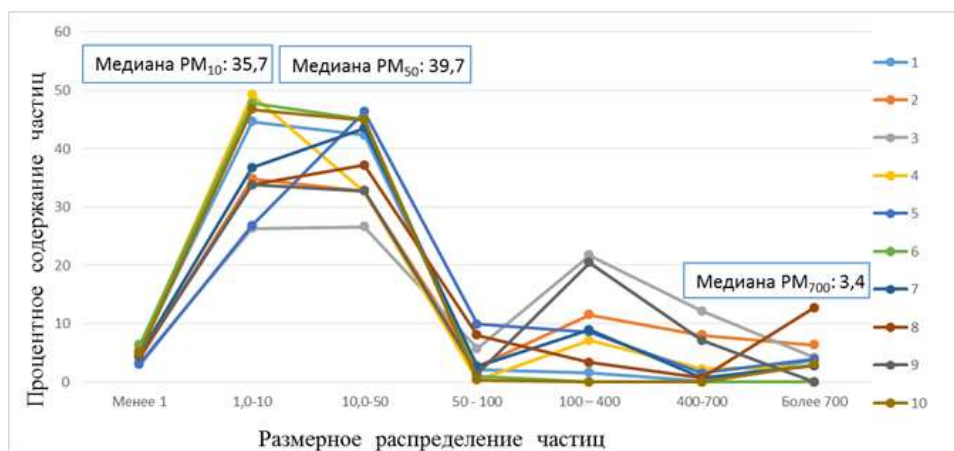


Рисунок 36. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси г. Арсеньев

На всех 10 станциях отбора проб снега в Арсеньеве были обнаружены частицы второго размерного класса (PM_{10}) в долях от 26,3% до 49,2% (в среднем, 38,04%). Кроме того, на 4 станциях отбора проб содержание частиц PM_1 превысило 5%.

3.3 Гранулометрический состав взвесей малых населенных пунктов (подкатегория от 20 до 50 тыс. жителей)

В данном разделе представлены результаты гранулометрического анализа проб атмосферных взвесей, отобранных в городах Большой Камень, Дальнегорск, Лесозаводск, Спасск-Дальний и Фокино. Во всех городах отбирались пробы свежеснегавшего снега, а в Спасске-Дальнем дополнительно отбирали пробы хвои (Таблица 33).

Таблица 33

Распределение частиц по размерным фракциям на станциях отбора снега в малых по числу жителей населенных пунктах (от 20 до 50 тыс. жителей)*

Фракция, мкм, % № точки отбора	Менее 1	1 - 10	10 - 50	50 - 100	100 – 400	400-700	Более 700
г. Большой Камень, снег							
1	2,6	21	23,8	0,2	21,7	28,8	1,9
2	0,2	1	1,4	0,1	8,1	27,6	61,6
3	1,1	7,3	8,6	2,2	18,2	33,9	28,7
4	0,5	3,3	3,3	0,4	7	26,3	59,2
5	2,3	21,5	16,8	0	0	4,5	54,9
6	0,6	4,2	5,1	1,3	18,6	35,6	34,6
7	0,5	3,1	4,1	0,9	10,6	29	51,8
8	2,2	16,2	18,2	1,3	23	27,3	11,8
9	3,1	31,1	20,3	1,9	2,9	19,4	21,3
10	0,6	9,3	18,6	0,3	6,5	14,8	49,9
11	0,9	16,9	9,9	0	0	6,5	65,8
г. Дальнегорск, снег							
1	5,8	40,5	33,6	1,7	13,7	2,7	2
2	7,8	53,5	38,5	0,2	0	0	0
3	7,4	42,1	35,2	5,4	6,3	0,1	3,5

Фракция, мкм, % № точки отбора	Менее 1	1 - 10	10 - 50	50 - 100	100 – 400	400-700	Более 700
4	1,9	14,1	42	16,1	10,8	11,8	3,3
5	2	22,7	35,2	6,8	19,1	5,2	9
6	2,2	16,7	48,3	17,3	10,6	2,6	2,3
7	2,8	29,9	54,8	4,8	2,2	0,5	5
8	3,6	36,6	36,7	1,2	0,4	1,2	20,3
9	3,2	25,5	60,5	7,6	0,1	0	3,1
10	2,6	26,5	52,5	13,7	0,6	0	4,1
г. Лесозаводск, снег							
1 (1 серия)	2,7	19,1	8,7	2	3,1	21,3	43,1
2 (1 серия)	1,3	9,5	4,9	0,3	10,9	31,9	41,2
3 (1 серия)	0,7	8,7	5,5	2,5	4,2	28,3	50,1
1 (2 серия)	2,7	17,2	6,4	6,2	1,3	27,7	38,5
2 (2 серия)	2	13,3	5,3	0,8	6,1	27	45,5
3 (2 серия)	0,7	3,7	1,7	3,9	7,4	30,9	51,7
1 (3 серия)	2,9	18,3	5,8	1,5	8,2	28,6	34,7
2 (3 серия)	4	24,1	8,5	7,1	0,4	20	35,9
г. Фокино, снег							
1	2	14,5	26,9	7,6	32,6	16,2	0,2
2	1	6,8	10,3	7,8	40,4	31,5	2,2
3	1,2	12,5	19,6	7,6	42,9	16,1	0,1
4	1,1	10,2	23,6	9,5	30,2	24,4	1
5	1,4	10,9	31,6	14,5	28,8	12,8	0
г. Спасск-Дальний, снег, 1 серия							
1	1,8	18,9	7,5	0	11	17,7	43,1
2	0,6	3,6	4,8	0,3	16,7	39,6	34,4
3	0,6	4	4,4	0,7	8	25,6	56,7
4	1,9	20	6,9	0	0	4,9	66,3
5	0,6	10,8	5	0	14,4	26,7	42,5
6	2,1	18,1	15,3	0	0	5,9	58,6
7	0,3	1,3	1,8	0,5	10,1	30,2	55,8
8	2,6	23,5	15,9	0	0	3,2	54,8
9	0,6	7,9	12,7	0,5	0,6	10	67,7
10	0,3	1,4	1,7	0,2	9,9	31,2	55,3
11	3,1	23,2	16,4	0	0	3,9	53,4
12	0,8	4	4,8	0,2	14,7	36,7	38,8
г. Спасск-Дальний, снег, 2 серия							
1	0,4	0,9	0,3	0,7	13,3	13,6	70,8
2	2,4	25,3	21,4	0	25,1	17,7	8,1
3	2,1	19,5	26,1	0,1	2,2	20,6	29,4
4	1,7	17,4	42,3	21,5	13,2	3,7	0,2
5	2,6	22,6	9,8	0	14,4	8,5	42,1
6	8	39,4	49,9	2,7	0	0	0
7	1,8	17,7	62,7	17,3	0,5	0	0
8	2,2	24,6	61,1	11,7	0,4	0	0
г. Спасск-Дальний, хвоя							

Фракция, мкм, % № точки отбора	Менее 1	1 - 10	10 - 50	50 - 100	100 – 400	400-700	Более 700
1	7,9	50,6	27,7	0,6	12	1,2	0
2	5	35,5	27,5	0,1	18,2	12,3	1,4
3	3,4	25,2	12,4	1	16,8	31,8	9,4
4	6,5	53,9	18,4	0	0,6	3	17,6
5	3,5	34,5	45,6	5,2	1,4	0,2	9,6
6	5,2	44,9	45,5	1,3	1,2	0	1,9
7	6,5	58	34,1	0,5	0,9	0	0
8	5,7	49,7	38,2	0,8	0,1	0,1	5,4
9	4,6	41	38,5	7,7	2,7	0	5,5
10	7,7	59,5	32,2	0,6	0	0	0

*В таблице выделено превышение пороговых концентраций: 5% для фракции взвеси PM_{10} , 20% для фракции PM_{10} и 30% для фракции более 700 мкм

При сравнении гранулометрических характеристик взвесей в разных районах *Большого Камня* можно сделать несколько выводов. Во-первых, судя по проведенным отборам, атмосферный воздух данного города практически не загрязнен частицами менее 10 мкм (от 1% до 31,1%, в среднем – 12,26%) . Лишь в трех районах Большого Камня (станции отбора проб № 1, 5, 9) наблюдаются частицы данного размера в значимых долях – от 21 до 31,1%.

Во-вторых, в большинстве районов города преобладают крупные частицы 6 и 7 размерных классов – более 400 мкм (см. Рис 37).

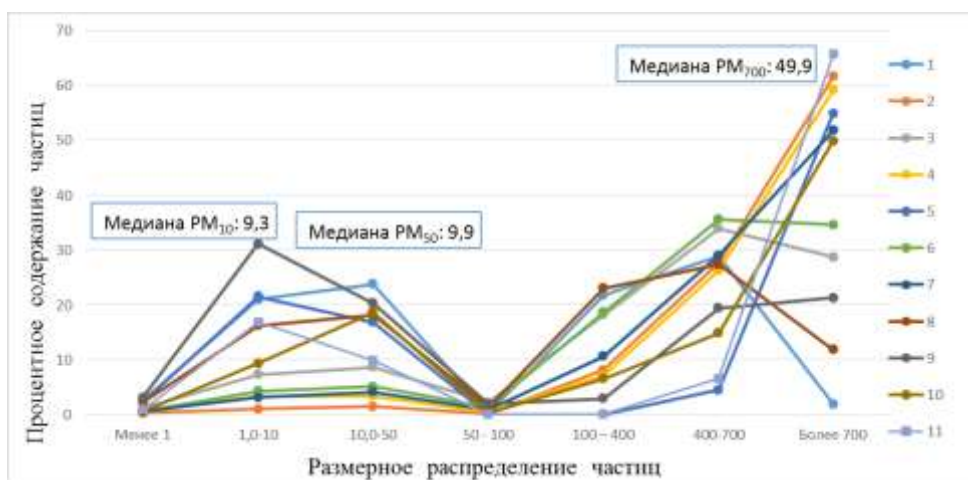


Рисунок 37. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси г. Большой Камень

В *Дальнегорске* атмосферные взвеси PM_{10} были обнаружены в долях от 14,1% до 53,5%, в среднем по всем пробам – 30,81%. При этом на трех станциях отбора проб свежего снега была зафиксирована концентрация частиц PM_{10} больше 5%. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси *Дальнегорска* представлены на Рис. 38.

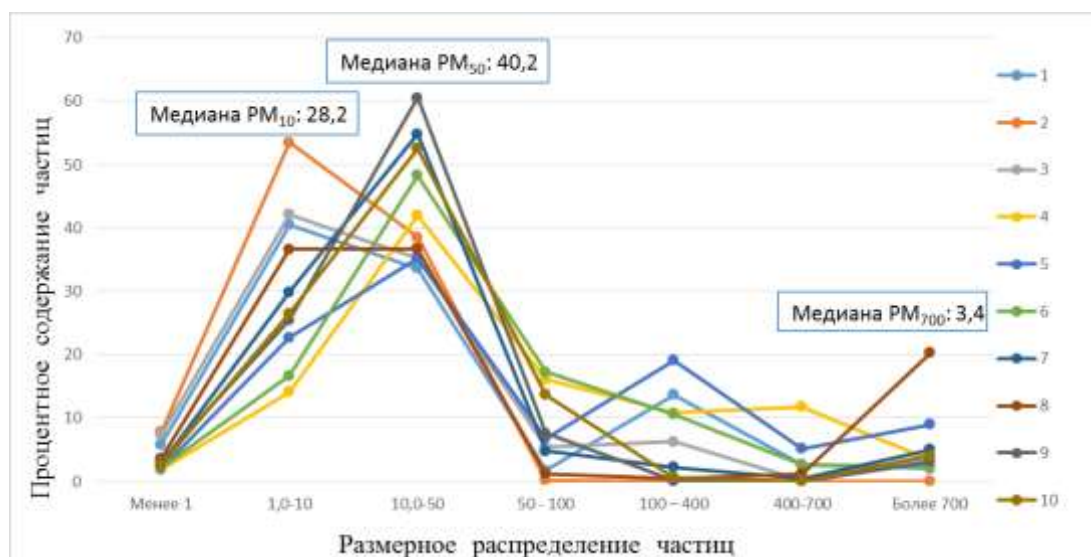


Рисунок 38. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси г. Дальнегорск

Для оценки характера загрязнения атмосферного воздуха г. *Дальнегорска* мы дополнительно отобрали пробы хвои и проанализировали их методами рентгенофлуоресцентной спектрометрии, рамановской спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии. Результаты представлены в разделе 3.6.2.

По данным гранулометрического анализа, в атмосферном воздухе *Лесозаводска* преобладают взвеси седьмого размерного класса (более 700 мкм в диаметре; от 34,7% до 51,7%, в среднем – 42,58%), что свидетельствует о низком уровне загрязнения города микроразмерными частицами. Доля PM_{10} в атмосферном воздухе города составляет от 3,7% до 24,1%, в среднем, 14,23%. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси *Лесозаводска* представлены на Рис. 39.

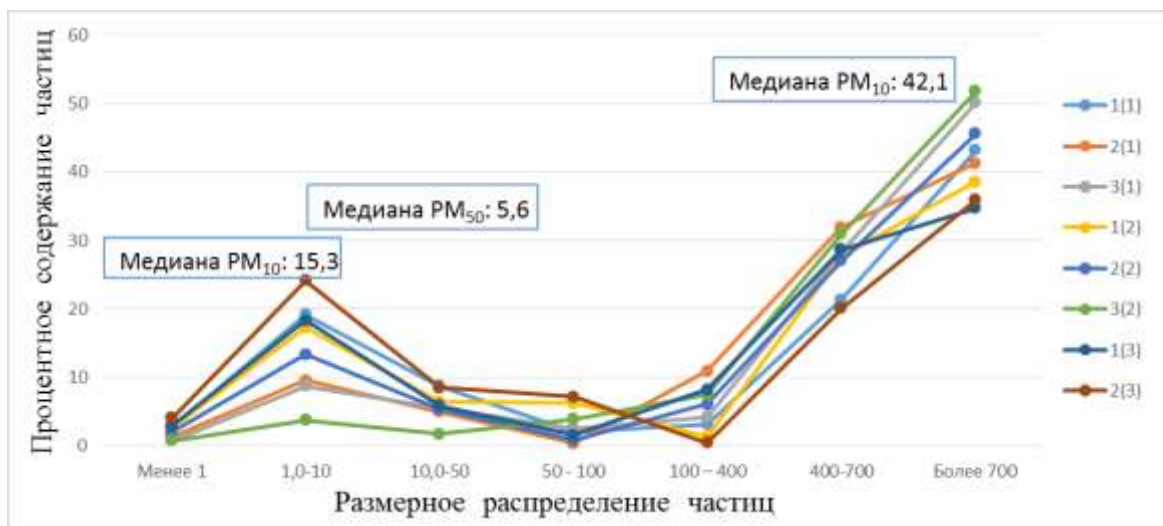


Рисунок 39. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси г. Лесозаводск

В пробах свежего снега, отобранных в городе *Фокино* также не обнаружено значимого загрязнения микроразмерными частицами. Доля PM_{10} составляет от 6,8% до 14,5% (в среднем, 10,98%). В атмосферном воздухе населенного пункта преобладают частицы взвеси пятого размерного класса (100-400 мкм): от 28,8% до 42,9%, в среднем, 34,98% (Рис. 40).

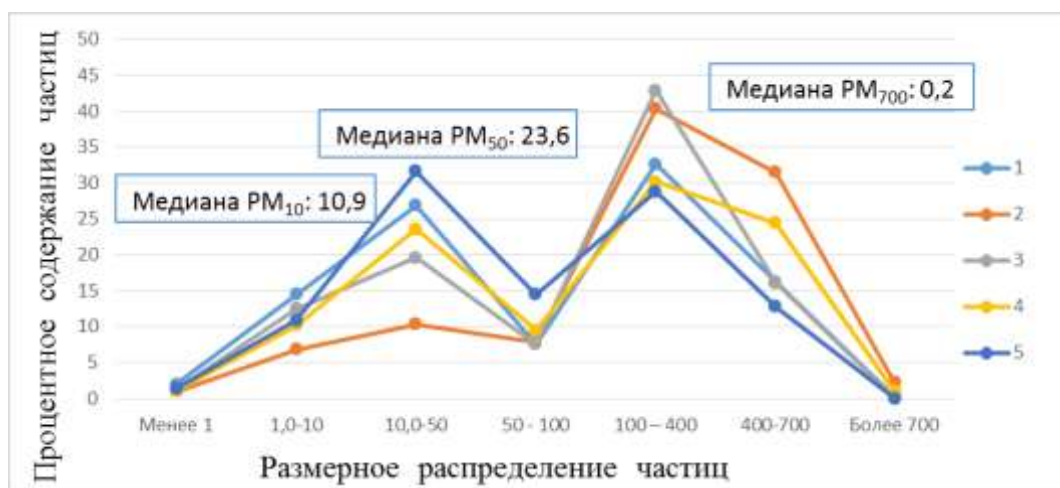


Рисунок 40. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси г. Фокино

В Спасске-Дальнем распределение атмосферных взвесей по фракциям изучали в пробах свежеснегавшего снега и смыва с хвои. В снеговых пробах повышенное содержание частиц PM_{10} ($>20\%$) зафиксировано в точках отбора, расположенных вблизи железнодорожной станции (точки №4 и №11 первой серии отбора проб, точки №2 и №5 второй серии), недалеко от котельной (точка №8 первой серии), в районе проходной Новоспасского цементного завода (НСЦЗ) (точка №6 второй серии; в этой же пробе очень велико содержание частиц фракции PM_1 – 8%) и на удалении от города в Спасском лесхозе, рядом с автотрассой (точка №8 второй серии). Это составляет одну треть от всех проб снега, отобранных в городе; в остальных пробах преобладает либо самая крупная учтенная нами фракция >700 мкм (10 проб), либо фракция 10-50 мкм (3 пробы). Фракция PM_{10} во всех пробах снега обнаружена в пределах $0,9\%-39,4\%$, среднее значение составляет $15,2\%$. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси г. Спасска-Дальнего по результатам гранулометрического анализа снеговой воды представлены на Рис 41.

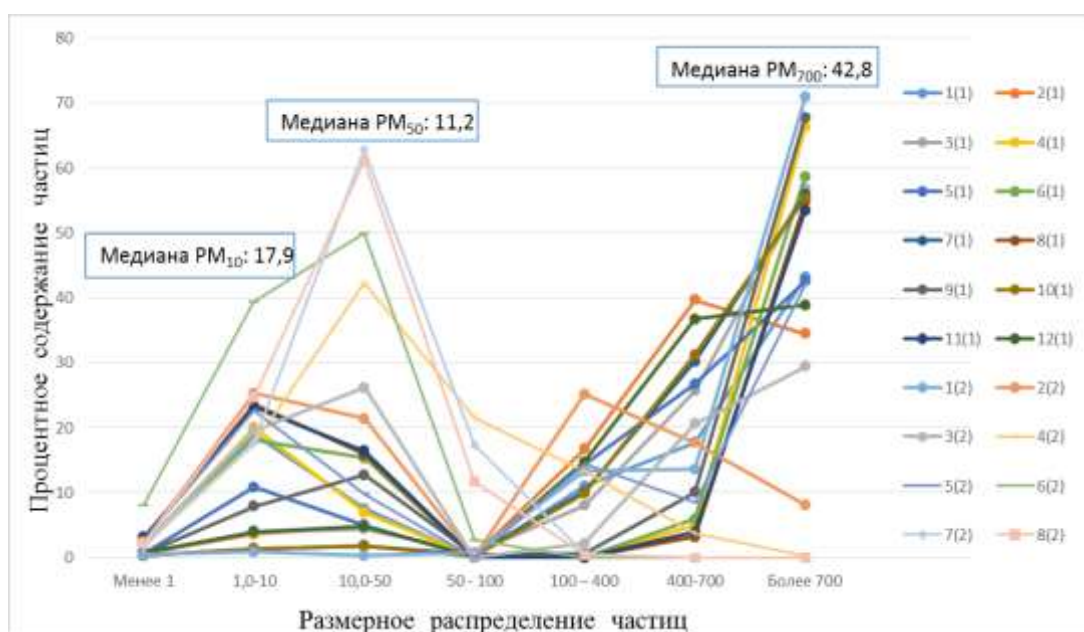


Рисунок 41. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси г. Спасск-Дальний по данным гранулометрического анализа проб снега

Анализ смыва с хвои показал более высокое содержание фракции PM_{10} по сравнению с анализом снеговой воды. Во всех 10 пробах содержание частиц диаметром до 10 мкм составляет от 25,2% до 59,5% (среднее значение – 45,28%). Содержание частиц PM_1 выше 5% зафиксировано в 7 пробах. Размеры и процентное соотношение фракций в пробе хвои в наиболее удаленной от обоих заводов точке №8 (12 км от НСЦЗ) представлены на Рис. 42. Показано, что в пробе велико содержание частиц фракции PM_{10} : 49,7%.

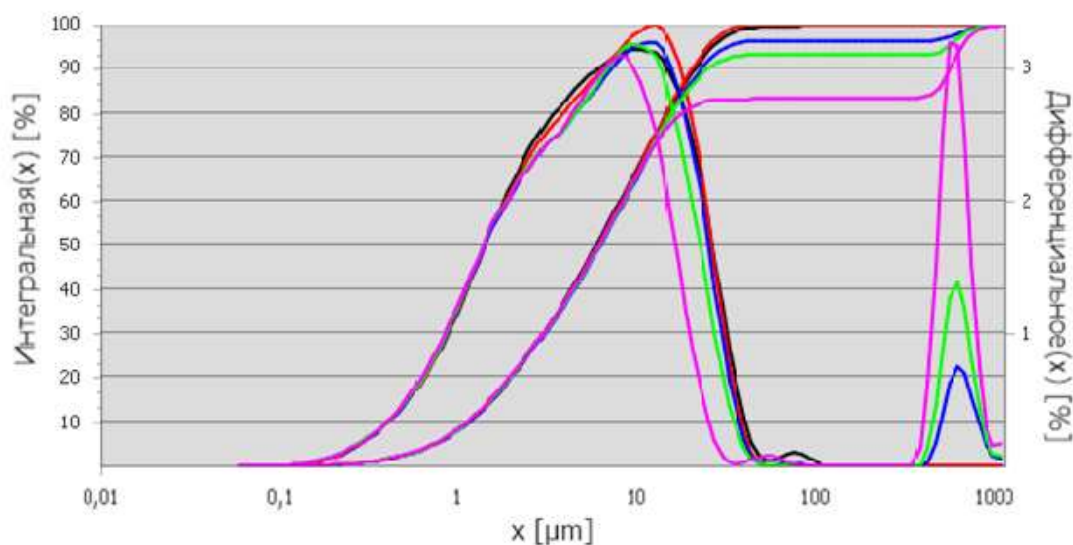


Рисунок 42. Размеры и процентное соотношение размерных фракций взвеси в пробе хвои в наиболее удаленной от обоих цементных заводов точке, расположенной на территории Спасского городского товарищества садоводов-любителей (точка 8). Расстояние до НСЦЗ – 12 км; доля частиц PM_{10} – 49,7%.

На Рис. 43 представлены диаграммы рассеивания частиц по диаметру в пробах хвои, отобранных в зимний сезон 2017-2018 гг. в точках 1, 6 и 9. Как видно из Рис. 43, по количеству частиц в пробах № 1 и 9 преобладают частицы размерного класса около 2 мкм ($PM_{2,5}$), в то время как в пробе из точки отбора в центре г. Спасск-Дальний по количеству преобладают частицы размером менее 1 мкм, а затем 5 мкм.

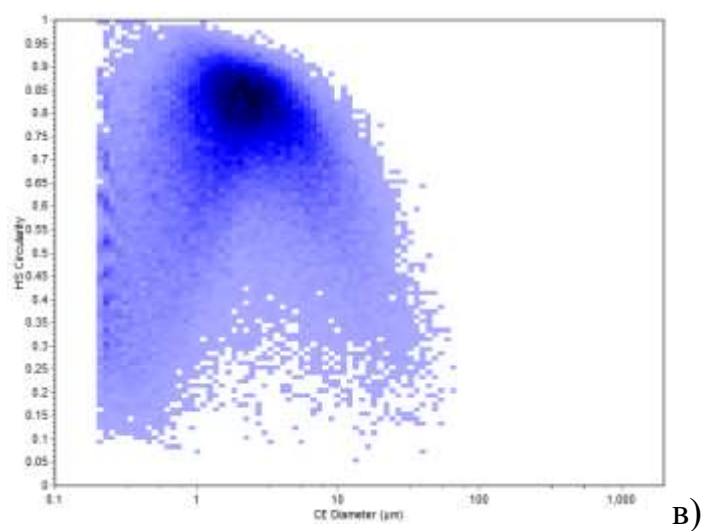
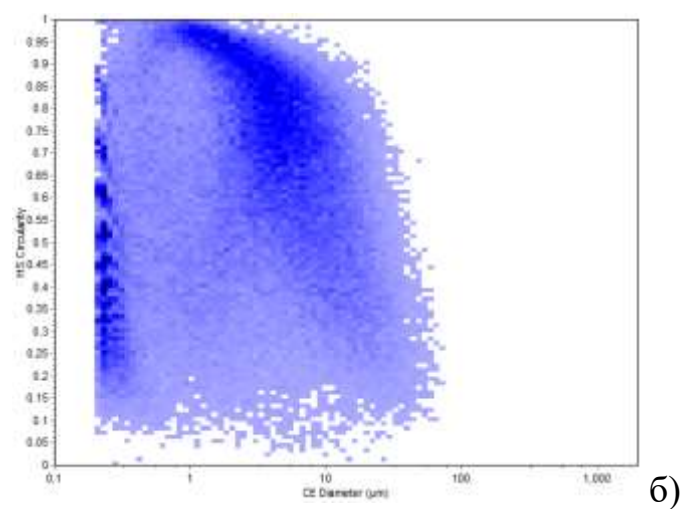
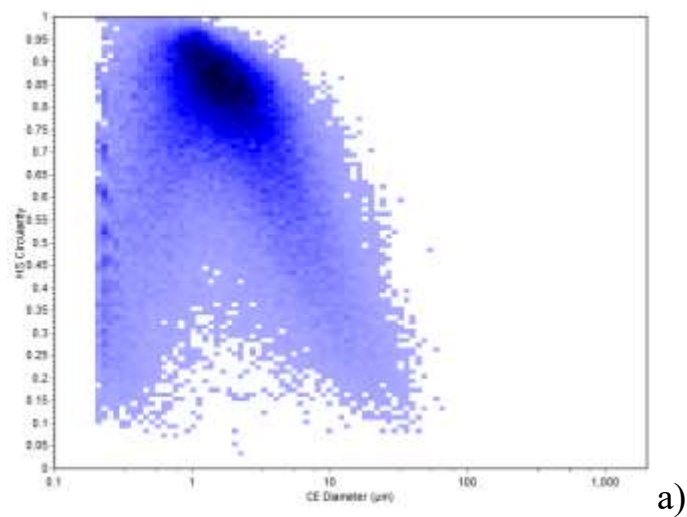


Рисунок 43. Диаграмма рассеивания частиц по диаметру в смыве хвои, отобранной на втором этапе исследования (зимний период 207-2018 гг.).

а) – точка № 1 (возле проходной НСЦЗ); б) – точка № 6 (ул. Борисова, 23, центр города); в) – точка № 9 (ул. Хабаровская 13, Спасский лесхоз)

Некоторые различия в процентном составе фракции PM_{10} в атмосферном воздухе между исследованием гранулометрического состава частиц в пробах снеговой воды и смыве с проб хвой можно объяснить тем фактом, что смола хвойных деревьев способствует большему удержанию микрочастиц и постоянству их концентрации длительное время, поэтому анализ проб хвой может считаться более представительным по сравнению с анализом проб снеговой воды (Кодинцев и др., 2017).

Кроме того, небольшой прирост доли частиц PM_{10} в пробах можно объяснить последствием ультразвуковой пробоподготовки смыва с хвой (Рис. 44).

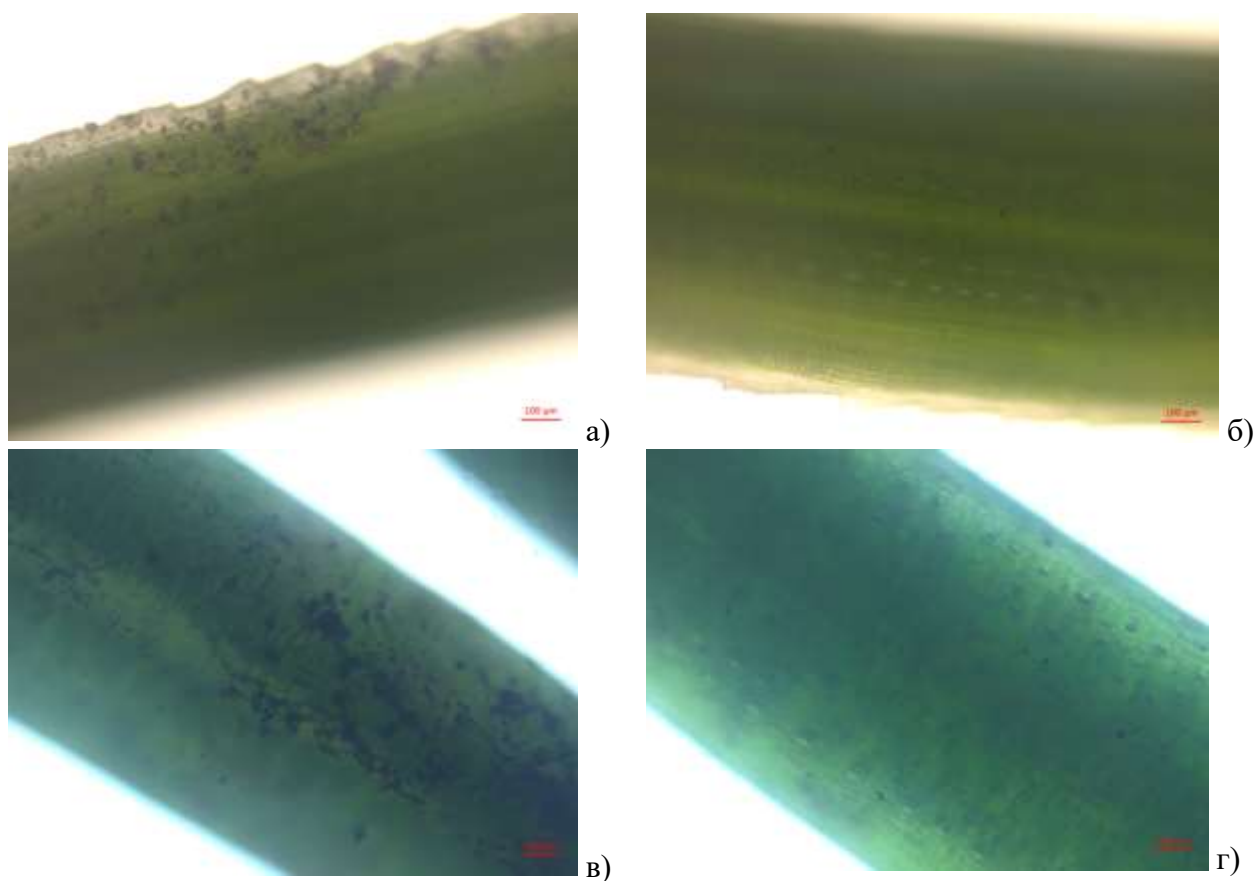


Рисунок 44. Микрофотографии поверхности хвой, отобранной в точках 2 и 8 до и после обработки ультразвуком: а) – хвоя с точки 2 до обработки; б) – хвоя с точки 2 после обработки; в) хвоя с точки 8 до обработки; г) хвоя с точки 8 после обработки. Увеличение 100 раз.

Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси Спасска-Дальнего по данным гранулометрического анализа смыва с проб хвой представлены на Рис. 45.

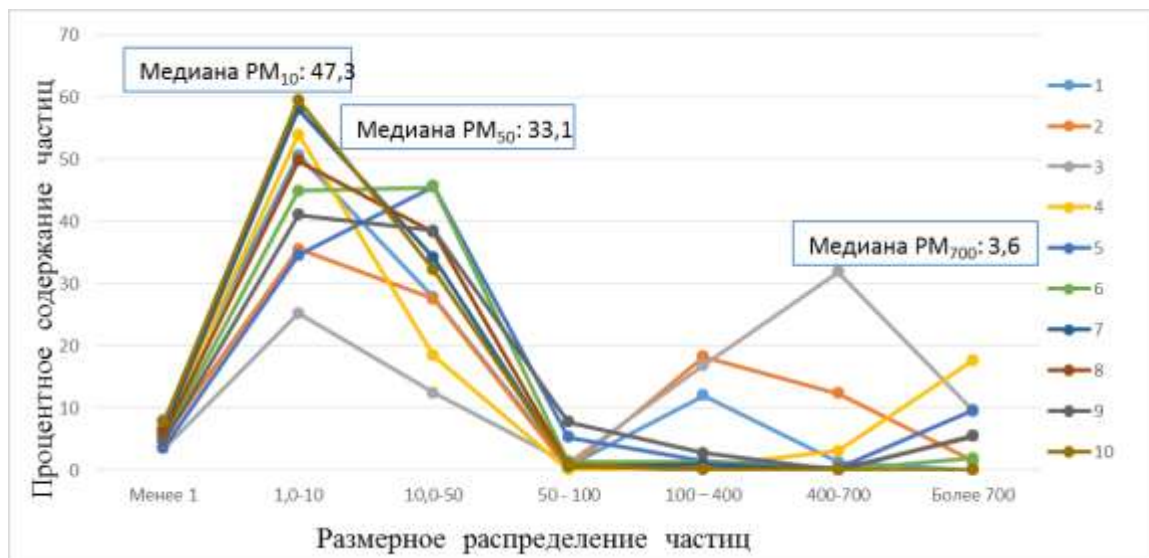


Рисунок 45. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси г. Спасск-Дальний по данным гранулометрического анализа смыва с проб хвой

Чтобы оценить химический состав атмосферных взвесей и определить источник загрязнения, пробы были дополнительно исследованы методами рамановской спектроскопии (смыв с хвой), атомно-эмиссионной спектрометрии (талый снег), рентгенофлуоресцентной спектрометрии (смыв с хвой) и сканирующей электронной микроскопии (смыв с хвой и талый снег). Было проведено сравнение рамановских спектров проб взвесей и пробы цемента. Результаты анализов представлены в разделе 3.6.1.

3.4 Гранулометрический состав взвесей малых населенных пунктов (подкатегория от 10 до 20 тыс. жителей)

В Таблице 34 представлен гранулометрический анализ снеговых проб, отобранных в поселках Кавалерово, Пограничный, Славянка, селе Чугуевка.

Таблица 34

Распределение частиц по размерным фракциям на станциях отбора снега в малых по числу жителей населенных пунктах (подкатегория от 10 до 20 тыс. жителей)*

Фракция, мкм, % № точки отбора	Менее 1	1 - 10	10 - 50	50 - 100	100 – 400	400-700	Более 700
пгт. Кавалерово							
1	4,4	39,3	55,6	0,7	0	0	0
2	4,4	30,8	57,4	7,4	0	0	0
3	3,3	30,2	57,4	9,1	0	0	0
4	2,7	22,2	22,3	1,1	20,1	18,8	12,8
5	5	44,1	45	0,4	0,7	0,1	4,7
6	3,6	31,5	38,8	3,9	0,4	1,1	20,7
пгт. Пограничный							
1	0,5	2,1	2,5	0,1	14,8	32,7	47,3
2	0,6	5,3	7,3	2,3	20,9	36,6	27
3	0,7	4	3,3	0,7	15,3	31,3	44,7
4	0,8	5	4,2	0,2	13,3	27,9	48,6
5	1,3	8,3	8,3	2,4	20,9	30,1	28,7
6	0,2	0,5	1,5	0,3	12,9	33,9	50,7
7	0,8	5	5,5	0,4	14,5	34,1	39,7
8	1	8,3	8,8	0,3	21,1	35,8	24,7
9	0,7	5,3	4,7	0,5	5,1	22,2	61,5
пгт. Славянка							
СГ1	1,1	25,7	28	0	0,2	6,9	38,1
СГ2	2,3	27,3	11,1	0	0,6	13,2	45,5
СГ3	6,2	39,8	8,91	0	3,9	2,2	38,8
СГ4	5,6	29,4	29,7	4,1	3,2	2	25,7
СГ5	5,5	35,0	18,2	0	0	1	40,1
1.1	0	32	1,3	0	0	4,6	62,1
1.2	4,0	58,3	0	0	0	2,5	35
1.3	4,2	26,5	19,9	0	11,4	10,8	26,9
1.4	1,7	18,6	8,5	0	0	6	65
1.5	5,4	34	34,1	1	0	0,5	24,8
2.1	3,7	32,5	34,7	1,3	0,2	0,4	26,8

Фракция, мкм, % № точки отбора	Менее 1	1 - 10	10 - 50	50 - 100	100 – 400	400-700	Более 700
2.2	2,6	21,6	28,6	0	0	1,4	45,5
2.3	3,3	28,7	29,8	0,4	0,1	5,2	32,1
2.4	8,4	44,7	22,3	0	10,8	2,4	11,2
2.5	2,3	34,7	1,4	0,1	0	2,7	58,6
3.1	4,3	36,3	28,7	0	0	0,9	29,7
3.2	4,3	26,1	46,1	8,2	0,2	0,2	14,6
3.3	4,4	39,3	32,5	0	0	0,4	23,2
3.4	1	46,1	8,5	0	1,4	16,5	26,5
3.5	7,7	31,2	8,7	0	0	1,15	51,1
с. Чугуевка							
1	4,3	34,3	46,9	5,2	0,5	0,3	8,5
2	4,1	33,8	41,8	2,3	0,3	0,4	17,3
3	5,4	39,4	48,2	3,6	0,1	0	3,3
4	3,3	27,8	24,7	1,5	15,5	12,8	14,4
5	2,6	23	45,9	6,7	2,2	0,8	18,8

*В таблице выделено превышение пороговых концентраций: 5% для фракции взвеси PM_{10} , 20% для фракции PM_{10} и 30% для фракции более 700 мкм

Во всех пробах атмосферных взвесей поселка городского типа *Кавалерово* обнаружена фракция до 10 мкм в значимых долях: от 22,2% до 44,1% (в среднем, 33,01%). При этом во всех пробах преобладает фракция до 50 мкм: от 22,3% до 57,4% (в среднем, 46,08%). Примечательно, что в трех из шести проб не обнаружена фракция взвеси более 100 мкм. Для удобства восприятия гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси поселка представлены на Рис. 46.

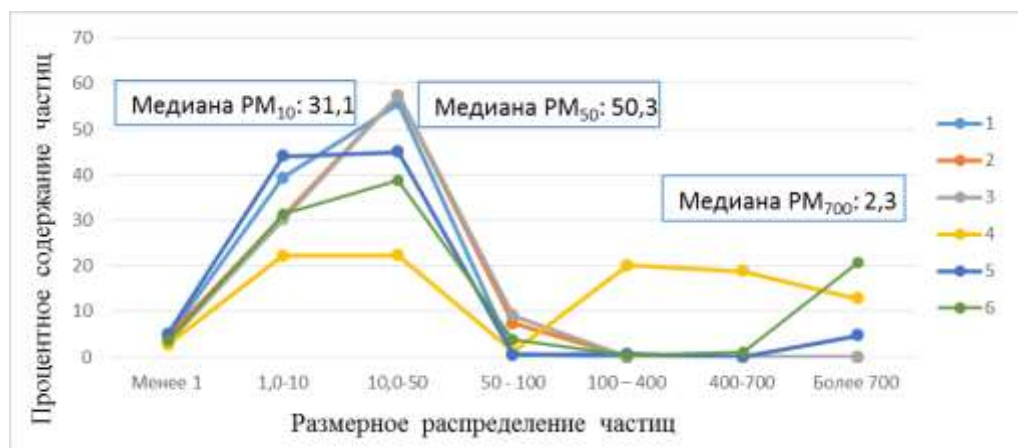


Рисунок 46. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси пгт. Кавалерово

В поселке городского типа *Пограничный*, напротив, практически не наблюдается фракция PM_{10} в экологически значимых долях (от 0,5% до 8,3%, в среднем – 4,87%). Основное количество взвесей в процентном отношении приходится на фракции 400-700 мкм (от 22,2% до 36,6%, в среднем – 31,62%) и более 700 мкм (от 24,7% до 61,5%, в среднем – 41,43%). Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси этого населенного пункта представлены на Рис. 47.

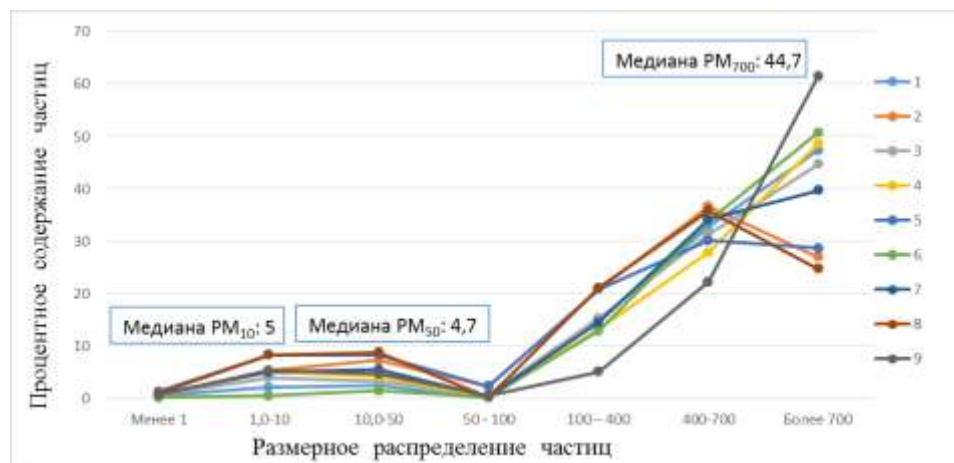


Рисунок 47. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси пгт. Пограничный

Атмосферный профиль пгт. *Славянка* (Рис. 48.) отличается преобладанием фракции PM_{10} во всех пробах атмосферных взвесей, доля этой фракции составляет от 18,6% до 58,3% (в среднем, 34,04%) в пробах, собранных недалеко от территории порта, и от 25,7% до 39,8% (в среднем, 31,44%) в пробах, собранных на территории жилой застройки. При этом в одной трети проб атмосферных взвесей преобладает крупная фракция более 700 мкм, а в среднем по всем пробам доля частиц этой фракции составляет 36,06%).

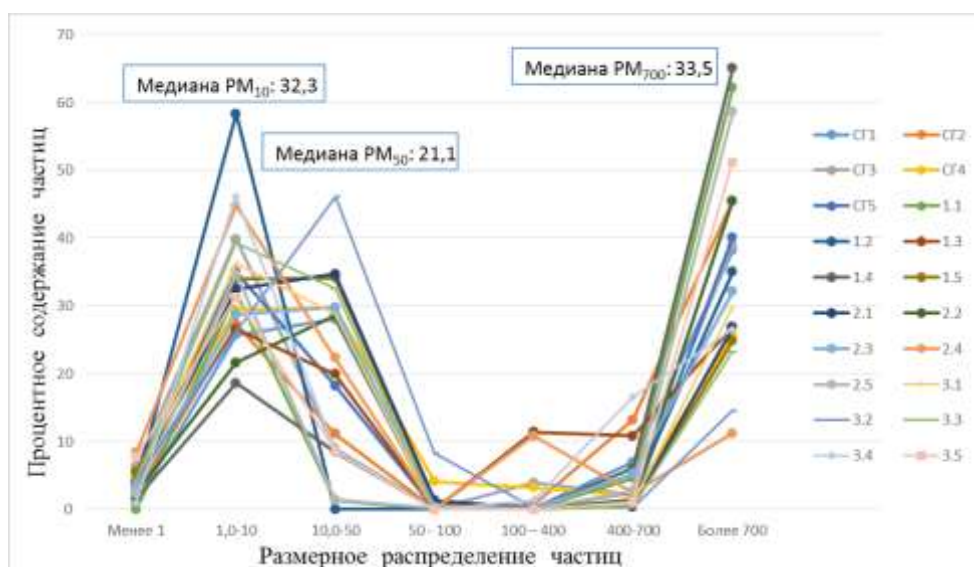


Рисунок 48. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси пгт. Славянка

В селе *Чугуевка* преобладают взвеси диаметром до 10 мкм (от 23% до 39,4%, в среднем – 31,66%) и до 50 мкм (от 24,7% до 48,2%, в среднем – 41,5%). Прочие размерные классы представлены незначительными долями (Рис. 49).



Рисунок 49. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси с. Чугуевка

3.5 Гранулометрический состав взвесей малых населенных пунктов (подкатегория до 10 тыс. жителей)

В Таблице 35 представлен гранулометрический анализ снеговых проб, отобранных в поселках Ольга, Терней, Пластун, Посьет, Горные Ключи, селах Уссурка, Новопокровка, Измайлиха, Уборка, удаленном районе г. Дальнереченска ЛДК, удаленном районе г. Находки Козьмино и окрестностях Порты Восточного.

Таблица 35

Распределение частиц по размерным фракциям на станциях отбора снега в малых по числу жителей населенных пунктах (подкатегория до 10 тыс.

жителей)*

Фракция, мкм, % № точки отбора	Менее 1	1 - 10	10 - 50	50 - 100	100 – 400	400-700	Более 700
пгт. Ольга							
1	2,4	23,7	22,7	1,8	10,5	15,7	23,2
2	3,3	37,3	32	1,9	1	1,8	22,7
3	3,6	35,3	33,7	2,1	4,6	6,4	14,3
4	2,5	23,8	19,8	1,5	10,4	16,9	25,1
пгт. Терней							
1	5,6	43,7	38,3	0,7	0	0,2	11,5
2	8,4	50,1	32,1	0,4	0	0,2	8,8
3	4,4	23,7	4,8	0	0	5,9	61,2
4	5,3	39	47,7	2,7	0,6	0,1	4,6
5	4,7	35,8	32,4	2	11,7	4,1	9,3
пгт. Пластун							
1	4,2	53,7	23	0	0	0,4	18,7
2	6,2	46,1	29,7	0,6	0,6	1,2	15,6
3	6,7	51,8	23,5	0	0	0,3	17,7
4	5,2	42,6	23,1	0	1,8	5,4	21,9
5	8,3	57,9	24,1	0	0	0	9,7
пгт. Посьет							
1.1	3,1	30,58	23,79	0	0	2,3	40,23
1.2	2,16	19,78	13,43	0,02	13,85	28,02	22,74
1.3	1,61	28,06	27,03	0	0	2,76	40,54
1.4	2,96	38,61	19,76	0	0	3,34	35,33
1.5	2,84	35,98	17,48	0	0	2,93	40,77
2.1	5,94	39,92	26,48	0	0	0,85	26,81
2.2	3,18	37,67	27,55	0,21	1,83	14,64	14,92

Фракция, мкм, % № точки отбора	Менее 1	1 - 10	10 - 50	50 - 100	100 – 400	400-700	Более 700
2.3	1,24	15,42	19,91	0	0	4,12	59,31
2.4	2,7	37,45	23,54	0	0	2,8	33,51
2.5	3,06	39,06	25,43	0	0	1,96	30,49
3.1	2,55	38,29	29,94	0	0	1,49	27,68
3.2	1,55	31,1	34,73	0,83	9,64	7,35	14,78
3.3	4,45	45,35	19,44	0	0	6,28	24,46
3.4	2,58	33,22	19,83	0	0	2,98	41,33
3.5	4,41	35,16	20,8	0	0	3,94	35,66
ПГ 1	2,77	42,73	19,86	0	0	4,75	29,89
ПГ 2	2,01	33,07	19,53	0	0	2,62	42,77
ПГ 3	0,8	21,31	16,75	0	0	5,07	56,07
ПГ 4	2,09	24,91	20,06	0	0	2,28	50,66
ПГ 5	0,52	21,63	7,56	0	0	4,97	65,32
п. Горные Ключи							
1 (1 серия)	3,2	20	7,7	0,8	11,3	27,3	29,7
2 (1 серия)	1,1	7	4	2,1	9,8	30,2	45,8
3 (1 серия)	1	8,2	4,3	4,9	5,6	30,3	45,7
1 (2 серия)	1,4	10	4,8	3,3	10,8	31,4	38,3
2 (2 серия)	1,3	10	4,2	6,5	0,9	26,2	50,9
1 (3 серия)	2,2	14,7	6,4	10,4	2,3	27,2	36,8
2 (3 серия)	1	7,1	3,2	1	6,2	26,3	55,2
с. Уссу́рка							
1 (1 серия)	5,1	23,4	5,8	1,6	8,3	22,9	32,9
2 (1 серия)	2,7	16,8	6,5	9,5	2,6	27,5	34,4
3 (1 серия)	1,8	13,2	5,4	3,1	5,5	28,4	42,6
1 (2 серия)	3,7	22,8	7,9	2,9	11,3	28,2	23,2
2 (2 серия)	2,5	18,6	7,5	2,4	5,1	26,7	37,2
3 (2 серия)	3,1	20,6	7,2	3,5	5	26,7	33,9
1 (3 серия)	2,3	15,1	5,5	0,1	12,3	30,4	34,3
2 (3 серия)	2,6	20	7,8	1,6	6,9	27,3	33,8
3 (3 серия)	2,3	12	4,6	0,5	8,7	29,9	42
с. Новопо́кровка							
1 (1 серия)	4,5	34,1	18,1	1,8	4,1	12	25,4
2 (1 серия)	0	0,2	0,9	3,5	5,2	32,5	57,7
3 (1 серия)	1,2	9,8	6,6	1,3	8	27,4	45,7
1 (2 серия)	0	0,1	1	7,9	5,3	36,1	49,6
2 (2 серия)	1,9	11,2	4,5	4,3	2,1	27	49
3 (2 серия)	0,8	7,8	6,4	5,3	0,3	24	55,4
1 (3 серия)	0,7	3,4	2,8	0,5	4	23,1	65,5
2 (3 серия)	0,6	4,7	3,2	1,2	3,2	23,1	64
3 (3 серия)	0,5	5,9	3,4	7,4	2	34,2	46,6
с. Изма́йлиха							
1 (1 серия)	0,6	1,9	2,3	2,2	3,8	23,7	65,5
2 (1 серия)	0	0	0,5	2,6	11,1	38,3	47,5
3 (1 серия)	0,5	3,4	2,8	7,2	0,3	26,5	59,3

Фракция, мкм, % № точки отбора	Менее 1	1 - 10	10 - 50	50 - 100	100 – 400	400-700	Более 700
1 (2 серия)	1,5	13,7	5,7	1	5,3	13,7	59,1
2 (2 серия)	1,3	8	3,2	0,7	10,8	21,2	54,8
3 (2 серия)	7,3	55,5	37	0	0,2	0	0
1 (3 серия)	0,8	15	8,5	1,1	6,8	22,5	45,3
2 (3 серия)	0,1	0,4	0,3	3,2	6,5	35,3	54,2
3 (3 серия)	0,9	10,4	1,1	5,1	1,3	28,6	52,6
с. Уборка							
1	5	39,9	46	0,1	0	0,2	8,8
2	5,7	37	48,9	1,1	0,2	0,1	7
3	4,5	33	15,1	0	24,3	17,5	5,6
4	4,1	30,7	47,3	3,6	3,5	1,2	9,6
ЛДК							
1 (1 серия)	0,2	1,1	2,8	5,3	5,7	33,8	51,1
2 (1 серия)	0,7	4,9	5,2	0,2	1,1	14,2	73,7
3 (1 серия)	0	0,4	3,7	2,6	14,8	38,9	39,6
1 (2 серия)	1	10,6	6,6	2,7	1,3	21,4	56,4
2 (2 серия)	1,3	9	6,3	1,7	5	25,6	51,1
3 (2 серия)	1,5	16,6	7,4	4	4,3	25,8	40,4
1 (3 серия)	1	7,7	2,9	3,9	2,5	27,5	54,5
2 (3 серия)	0,6	6	3,8	1,4	8,7	34,1	45,4
3 (3 серия)	1,1	12,5	1,6	1,5	7,1	30,7	45,5
Козьмино							
1	0,9	10,2	14,5	3,4	37	32,5	1,5
2	1,4	5	17,1	10,6	52	13,2	0,7
3	1,8	13,6	13,8	9,2	41,7	19	0,9
4	0,7	3,4	10,7	6,7	38,8	33,6	6,1
5	0,7	1,8	20,2	21,3	39	14,8	2,2
порт Восточный							
1	0,5	1,1	14,5	16,6	42,7	21	3,6
2	1	6,1	11,7	10,7	59,3	9,5	1,7
3	2,8	6,9	11,5	8,4	42,4	25,2	2,8
4	0,7	2,7	15,4	7,9	50,3	21,8	1,2
5	0,9	5,9	18,1	6	32,8	31,5	4,8
6	0,7	4,4	68,6	24,8	1,5	0	0
7	0,6	6,7	24,8	8,3	35,7	23,3	0,6

*В таблице выделено превышение пороговых концентраций: 5% для фракции взвеси PM_{10} , 20% для фракции PM_{10} и 30% для фракции более 700 мкм

Доля атмосферной взвеси диаметром до 10 мкм в пробах из пгт. *Ольга* составила от 23,7% до 37,3% во всех пробах, в среднем 30,02 %. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси данного населенного пункта представлены на Рис. 50.

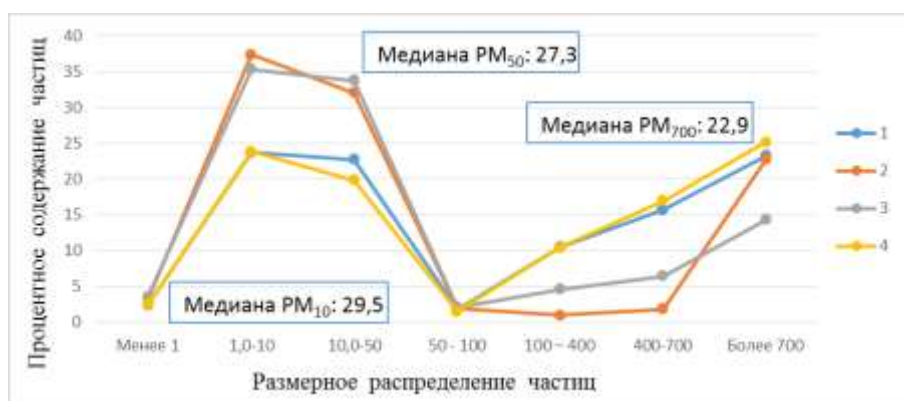


Рисунок 50. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси пгт. Ольга

В поселке *Пластун* содержание фракции PM_{10} еще выше: от 42,6% до 57,9% PM_{10} во всех пробах, в среднем – 50,42%; при этом здесь относительно велико и содержание фракции PM_1 (от 4,2% до 8,3%, в среднем 6,12%). Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси поселка Пластун представлены на Рис. 51.

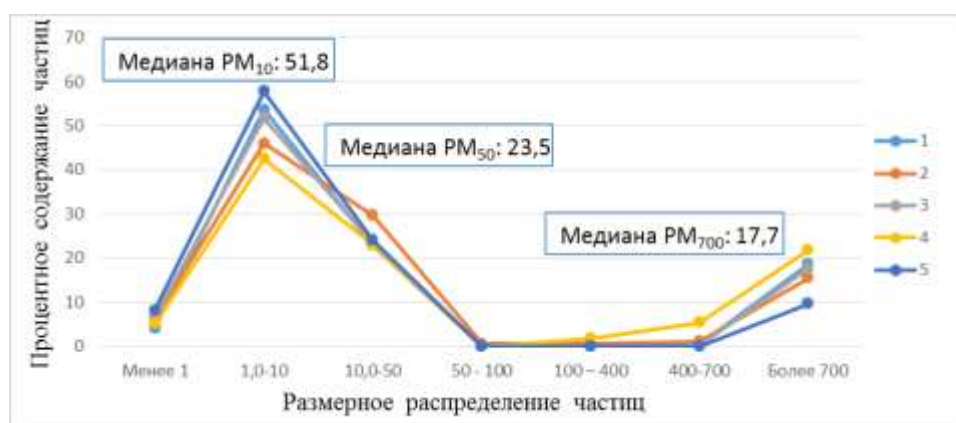


Рисунок 51. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси пгт. Пластун

Как видно из Таблицы 35, вся территория поселка *Посьет* находится под воздействием крупного источника пыления микроразмерными частицами. Доля частиц PM_{10} в объеме атмосферной взвеси поселка составляет от 15,42% до 45,35% (в среднем 32,46%). Более наглядно общий профиль атмосферной взвеси представлен на Рис. 52.

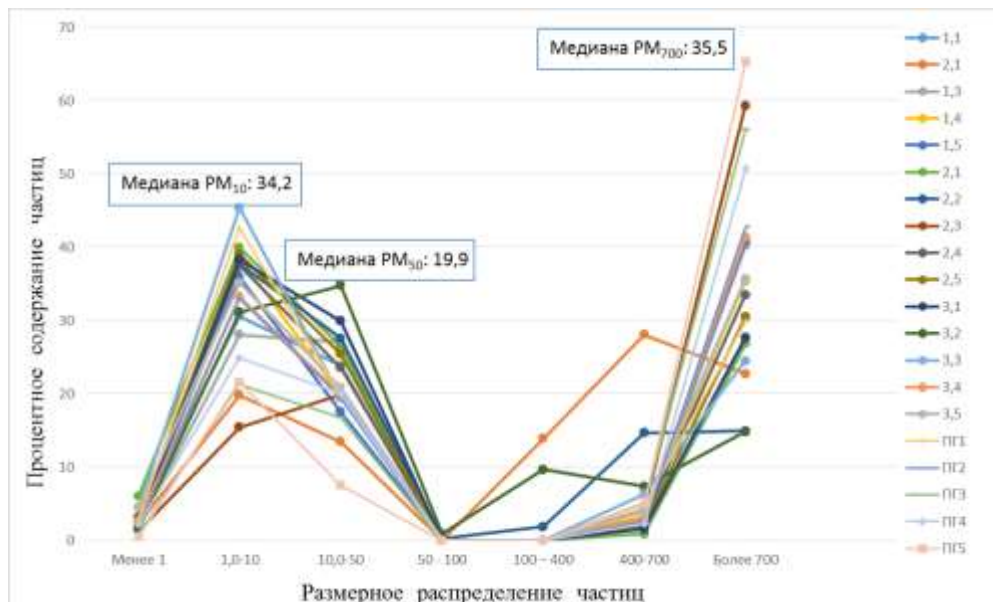


Рисунок 52. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси поселка Посьет

Для оценки характера загрязнения атмосферного воздуха поселка Посьет мы дополнительно отобрали пробы хвои и проанализировали их методами рентгенофлуоресцентной спектроскопии, рамановской спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии (см. Раздел 3.6.3).

В поселке Терней также велико содержание атмосферной взвеси до 10 мкм (от 23,7% до 50,1%; в среднем 38,46%) и до 1 мкм (от 4,4% до 8,4%; в среднем 5,68%). Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси поселка представлены на Рис. 53.

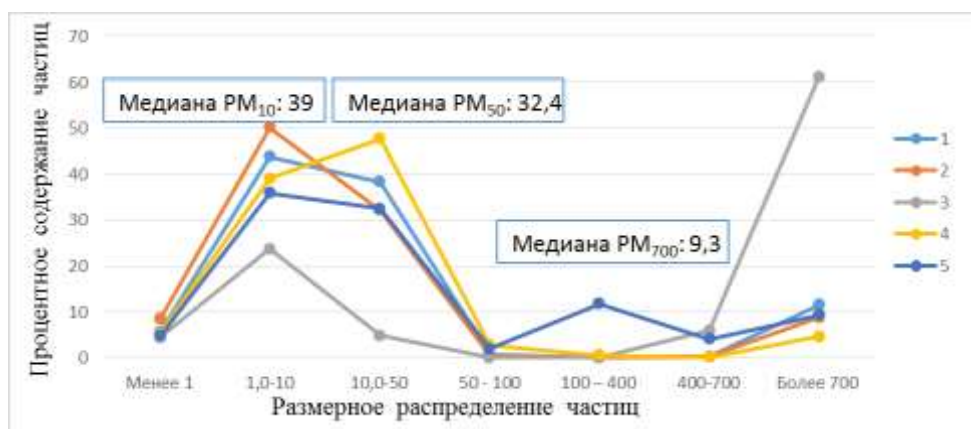


Рисунок 53. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси пгт. Терней

В курортном поселке *Горные Ключи* преобладает самая крупная фракция атмосферной взвеси (более 700 мкм): от 29,7% до 55,2%, в среднем 43,2%. Доля фракции PM_{10} относительно невелика: от 7% до 20%, в среднем 11%. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси поселка представлены на Рис. 54.

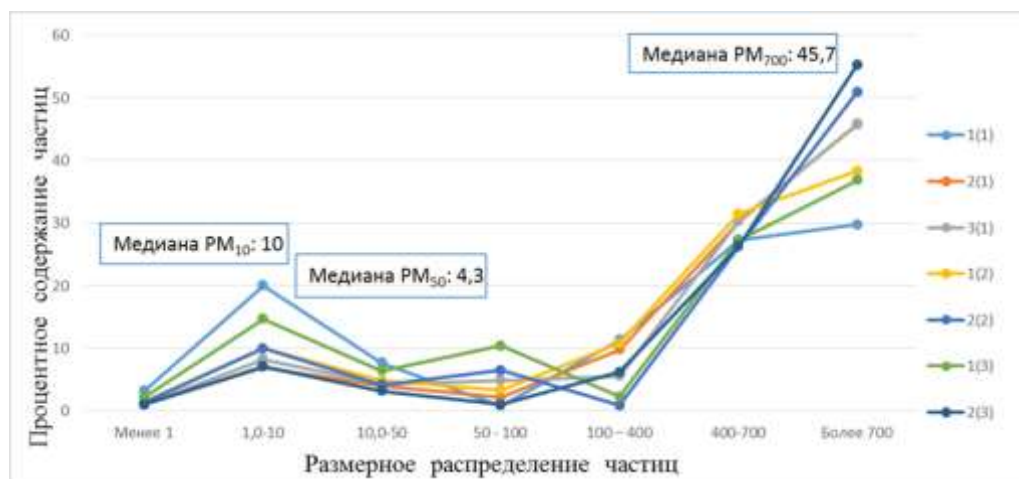


Рисунок 54. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси п. Горные Ключи

В расположенном неподалеку селе *Уссу́рка* в 4 из 9 проб была обнаружена фракция PM_{10} в значимых долях – от 20% до 23,4%. В целом по поселку содержание фракции PM_{10} составило от 12% до 23,4% (в среднем 18,05%). Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси села Уссу́рка представлены на Рис. 55.

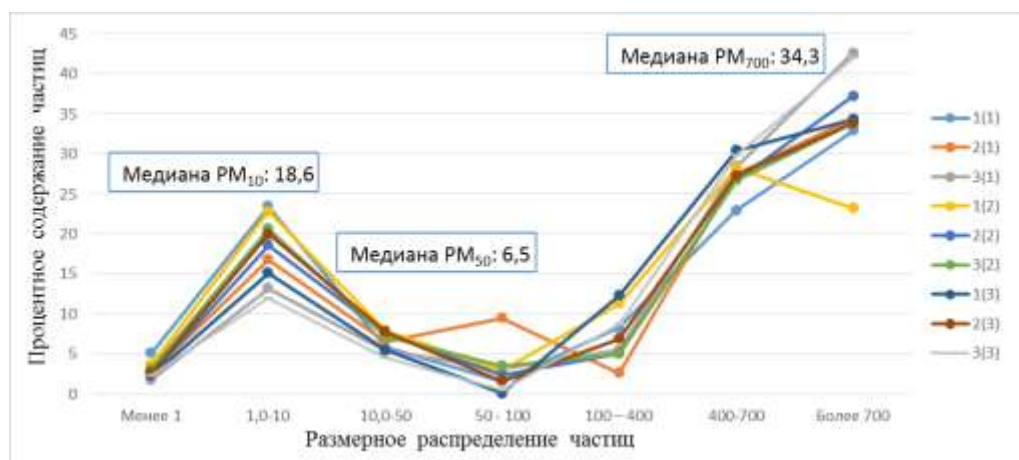


Рисунок 55. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси с. Уссу́рка

Пробы атмосферных взвесей, отобранные в селах *Новопокровка* и *Измайлиха* Красноармейского района, практически не содержат фракцию PM_{10} в значимых долях. Как видно из приведенных в Таблице 35 данных, фракции наиболее безопасных размеров (от 700 мкм и выше) составляют большую долю в атмосфере сел: от 45,3% до 65,5%, в среднем 49,84%. Среднее содержание частиц диаметром до 10 мкм в атмосфере Новопокровки составляет 8,57%, Измайлихи – 12,03%. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси сел Новопокровка и Измайлиха представлены на Рис. 56 и 57, соответственно.

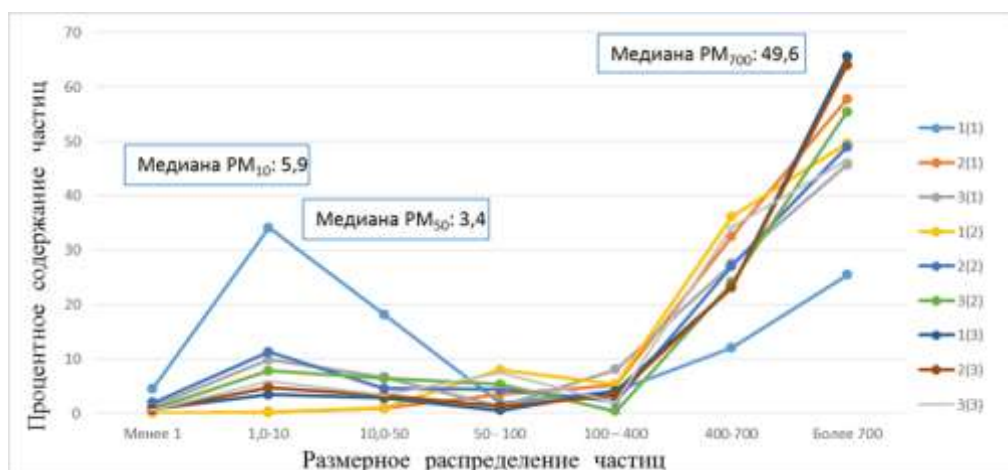


Рисунок 56. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси с. Новопокровка

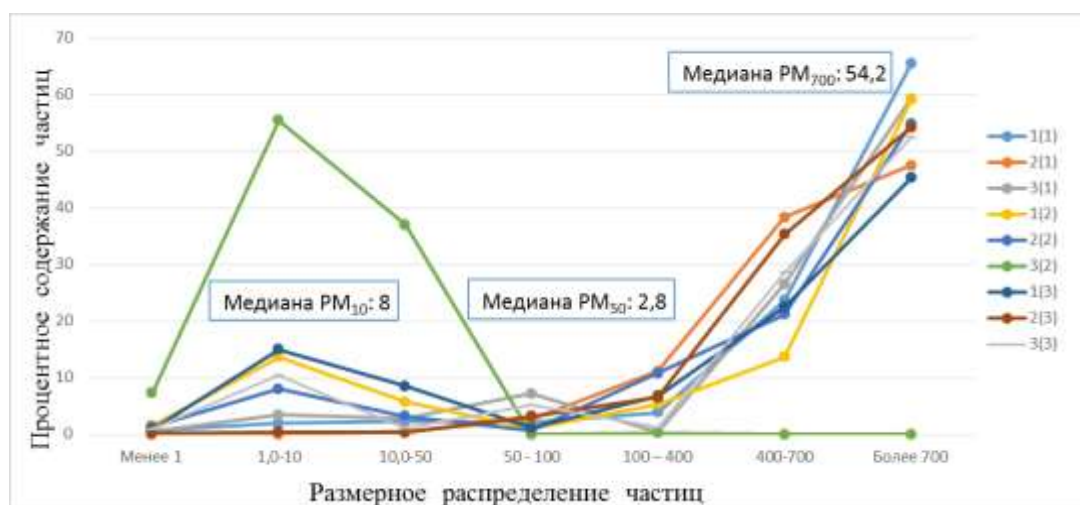


Рисунок 57. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси с. Измайлиха

В малом селе *Уборка* с населением менее тысячи человек мы обнаружили повышенное количество частиц фракции PM_{10} : от 30,7% до 39,9%, в среднем 35,15%. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси села представлен на Рис. 58.

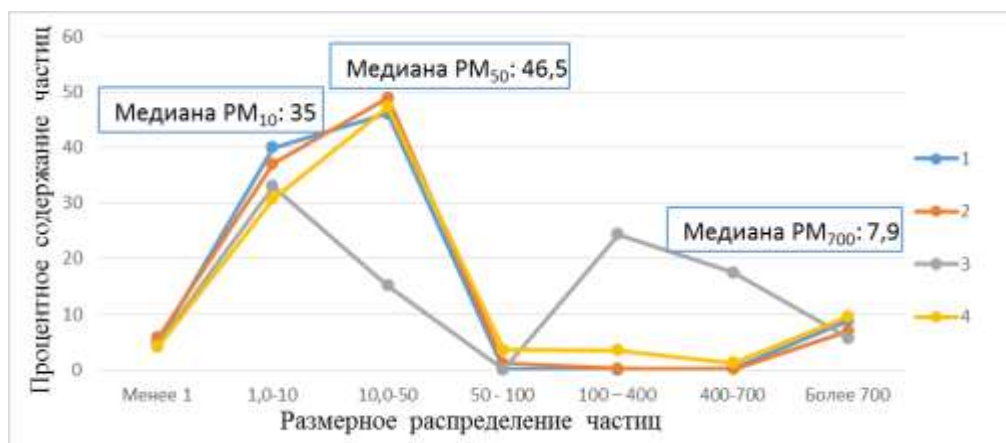


Рисунок 58. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси с. Уборка

В поселке *ЛДК*, который был построен рядом с лесопильно-деревообрабатывающим комбинатом и территориально входит в состав Дальнереченского городского округа, мы не обнаружили превышения содержания экологически значимой фракции атмосферной взвеси PM_{10} . (от 0,4% до 16,6%, среднее значение – 7,64%). Напротив, во всех точках отбора было велико содержание самой большой размерной фракции (700 мкм и выше): от 39,6% до 73,7% (среднее значение составило 50,85%). Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси данного населенного пункта представлены на Рис. 59.

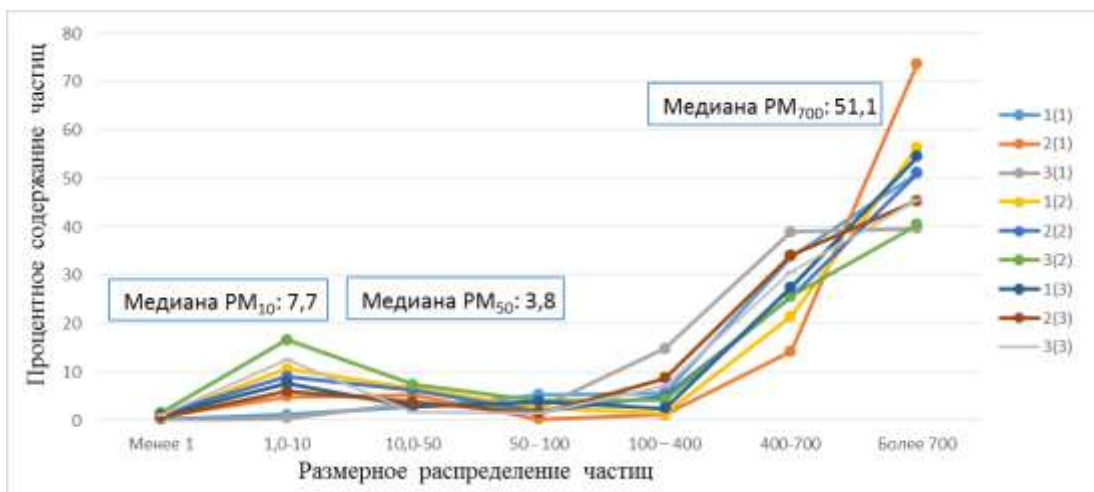


Рисунок 59. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси ЛДК

В пробах атмосферных взвесей, отобранных в районе бывшего поселка *Козьмино* (ныне входящего в состав Находкинского городского округа), преобладают частицы диаметром от 100 до 400 мкм (5 размерный класс) в долях от 37% до 52% (в среднем – 41,7%). Частицы PM₁₀ содержатся в пробах атмосферных взвесей в количестве от 1,8% до 13,6% (в среднем – 6,8%). Для наглядности профиль атмосферной взвеси Козьмино представлен на Рис. 60.

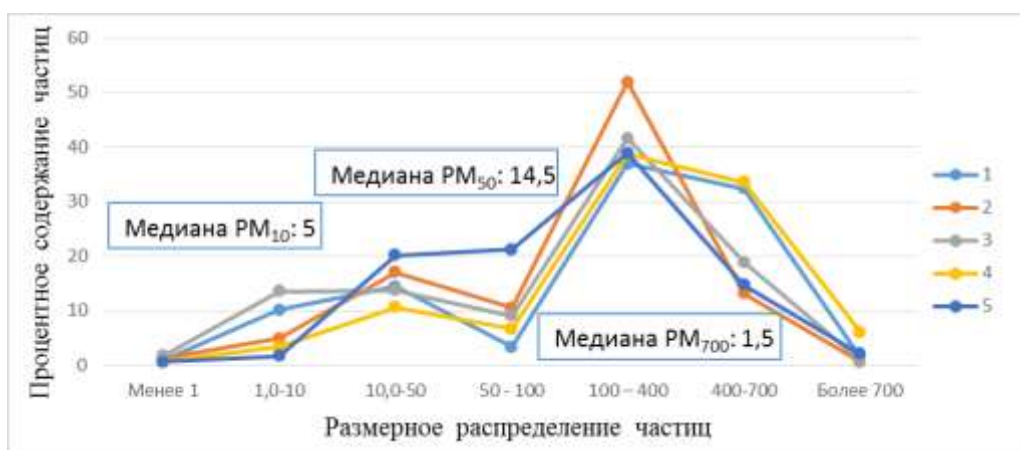


Рисунок 60. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси Козьмино

В пробах, отобранных в районе *Порта Восточного*, также преобладают взвеси 5 размерного класса (за исключением одной пробы, в которой содержание фракции до 50 мкм составило 68,6%). Частицы PM_{10} содержатся в количестве от 1,1% до 6,9% (среднее значение – 4,82%). Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси представлены на Рис. 61.

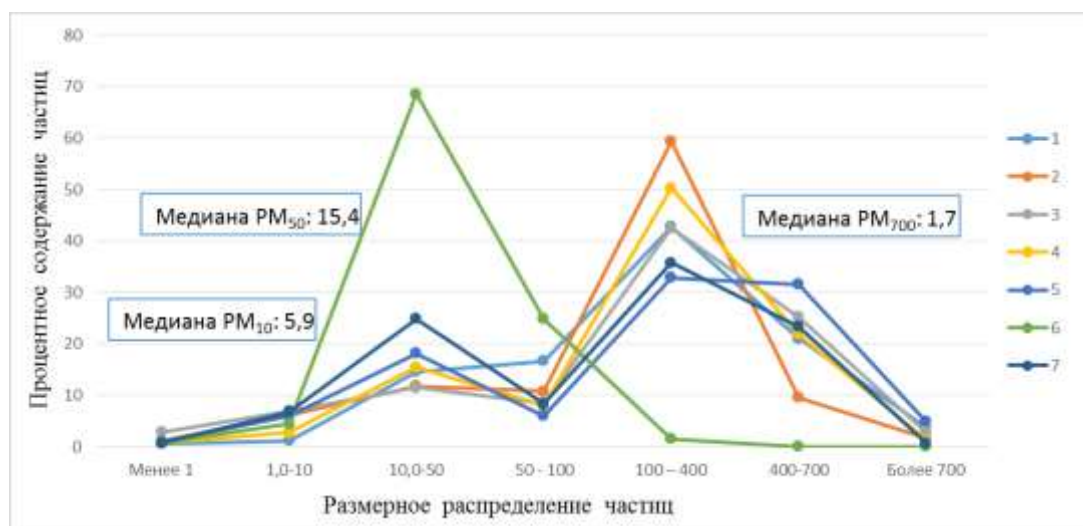


Рисунок 61. Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси Порта Восточного

В целом, гранулометрический анализ малых населенных пунктов с числом жителей до 10 тыс. человек показал, что фракционный состав атмосферных взвесей в них существенно различается, причиной чему служит множество факторов: наличие тех или предприятий, климат, близость к водоемам, способ отопления помещений в холодное время года и т.д.

В целом, гранулометрический анализ является мощным инструментом, позволяющим предварительно оценить степень загрязнения территории микроразмерными частицами. В то же время, для более детальной оценки приходится дополнительно прибегать к другим методам исследования, таким как рамановская спектроскопия и сканирующая электронная микроскопия.

3.6 Качественный анализ атмосферных взвесей

3.6.1 Спасск-Дальний

По результатам проведенного гранулометрического анализа атмосферных взвесей из Спасска-Дальнего (см. Раздел 3.3) возникла необходимость выяснить состав взвесей и верифицировать источник микроразмерного загрязнения атмосферного воздуха города, так как оказалось, что воздух города насыщен частицами PM_{10} . Мы предположили, что основной загрязнитель города – цементный завод, а основной состав загрязненных взвесей составляют частички цемента и спеки, появляющиеся в процессе сжигания топлив и обработки сырья. Для подтверждения данной гипотезы был проведен ряд исследований.

Была проанализирована проба портландцемента производства Спасского цементного завода. Гранулометрический анализ растворенной навески портландцемента показал преобладание частиц от 10 до 50 мкм (Таблица 36). Тем не менее, в портландцементе была обнаружена значимая доля частиц PM_{10} (17%) и частиц менее 1 мкм (4,3%), что коррелирует с распределением частиц по фракциям в пробах атмосферных взвесей.

Таблица 36

Распределение частиц и физические параметры частиц в пробе
портландцемента производства АО «Спасскцемент»

Фракция, мкм	Портландцемент, доля, %
Менее 1	4,3
1 - 10	17
10 - 50	52,3
50 - 100	23,6
100 – 400	2,8
400-700	0
Более 700	0
Средний арифметический диаметр, мкм	35,02
Мода, мкм	44,45

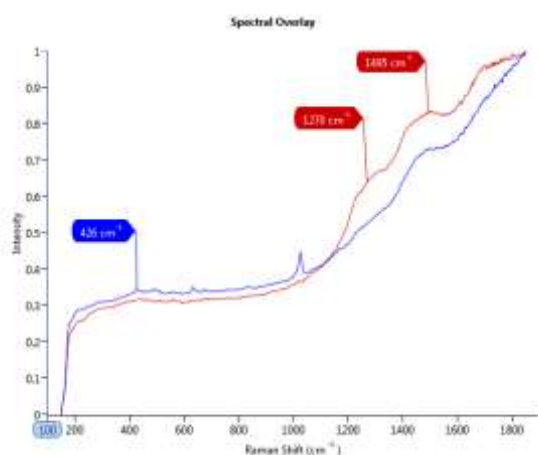
Далее была проведена идентификация частиц цемента в пробах путем сравнения рамановских спектров цемента, частиц в смыве с хвои и агрегатов частиц на самих пробах хвои с использованием прибора Morphologi G3-ID. Основные минеральные фазы цемента (алит (C_3S), белит (C_2S), трехкальциевый алюминат (C_3A)) были ранее неоднократно изучены с помощью рамановской спектроскопии, и характерные спектры комбинационного рассеяния представлены в литературе (Bensted, 1976; Bonen et al., 1994). Использование микрорамановской спектроскопии позволяет идентифицировать различные минеральные фазы в обычном портландцементе без специальной подготовки образца (Potgieter-Vermaak et al., 2006). Этот метод уникален тем, что позволяет определить размер и основной химический состав каждой отдельно взятой частицы в навеске (Kholodov, Golokhvast, 2016).

Микрофотография образца хвои из точки №2 с агрегатами частиц атмосферных взвесей представлена на Рис. 62. Видно, что в скоплениях частиц индивидуальные частицы в среднем представлены размерами до 10 мкм (PM_{10}).

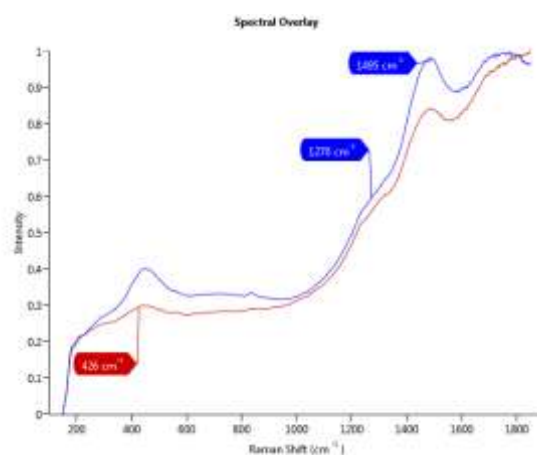


Рисунок 62. Микрофотография хвои из точки отбора проб №2, полученная на Morphologi G3-ID (увеличение 200 раз)

На Рис. 63 показано сравнение спектров частиц взвеси из смыва с образцов хвои из точки отбора проб №7 со спектром портландцемента марки ЦЕМ II/А-П 32,5Б ГОСТ 31108-2016 производства АО «Спасскцемент». На красном и синем графиках отмечены пики, соответствующие кварцу (426 см^{-1}) и алиту с большим содержанием аморфного углерода ($1270, 1495\text{ см}^{-1}$). Это главные составляющие исследованного нами образца цемента и они хорошо коррелируют со спектрами частиц, найденными на образцах хвои из Спасска-Дальнего.



Спектры пробы цемента



Спектры пробы атмосферных взвесей

Корреляция		
	Смыв с хвои (точка 7)	
	Спектр 1	Спектр 2
Проба цемента 1	91,1%	91,5%
Проба цемента 2	87,4%	86,3%

Рисунок 63. Сравнение спектров частиц взвеси в смыве с хвои, собранной в точке №7 в г. Спасск-Дальний со спектром образца портландцемента. Программная химическая корреляция со спектром цемента в данной пробе составляет от 86,3 до 91,5%

Программная химическая корреляция на основе рамановских спектров показала присутствие частиц цемента во всех пробах хвои как в виде обработанного ультразвуком и высушенного смыва с хвои, так и

непосредственно на хвойных иголках. Так, спектры 108 из 120 частиц смыва с хвои из точки отбора проб № 2 (расстояние до проходной Новоспасского цементного завода 0,8 км) показывают химическую корреляцию со спектром портландцемента более чем 80%. Спектры 96 из 120 частиц из точки отбора №8 (расстояние до НСЦЗ 12 км) показывают химическую корреляцию со спектром портландцемента более 60%, что составляет 80% от всех частиц.

Данные по программной химической корреляции спектров частиц в пробах, собранных на втором этапе исследования (в зимний сезон 2017-2018 гг.), со спектром цемента представлены в Таблице 37.

Таблица 37

Программная химическая корреляция на основе рамановских спектров смыва с хвои проб зимнего сезона 2017-2018 г. с пробой цемента

Номер пробы и описание точки отбора	Доля частиц в пробе, в которых химическая корреляция спектров со спектром цемента составила более 50%	
	Частицы диаметром до 10 мкм (PM ₁₀)	Частицы крупнее PM ₁₀ (около 20 мкм в диаметре)
1 (проходная НСЦЗ)	64%	82%
2 (расстояние до НСЦЗ 0,8 км)	90%	Не измерялось
6 (Центральная площадь)	Не обнаружено	24%
8 (расстояние до НСЦЗ 12 км)	80%	Не измерялось
9 (Лесхоз)	82%	93%

Как видно из Таблицы 37, в двух пробах 50%-ная корреляция со спектром цемента была обнаружена у подавляющего количества частиц как диаметром до 10 мкм (PM₁₀), так и более крупных фракций. Как мы выяснили ранее (Таблица 36), в пробе цемента преобладают частицы фракции 10-50 мкм, и это согласуется с полученными данными программной химической корреляции спектров. Стоит отметить, что в пробе хвои № 6 (ул. Борисова, 23), отобранной в зимний сезон, частицы, схожие по спектру со спектром цемента, были обнаружены только в крупной фракции и лишь в количестве 24%.

Также был проведен анализ высушенного смыва с хвои (зимние пробы) на содержание металлов. Анализ выполняли на портативном

рентгенофлуоресцентном спектрометре Innov-X SyStemS (США). Результаты анализа представлены в Таблице 38.

Таблица 38

Содержание тяжелых металлов в пробах хвои, отобранных в зимний сезон
2017-2018 гг.

Элемент	Точка № 1, $\mu\text{моль/г}$	Точка № 6, $\mu\text{моль/г}$	Точка № 9, $\mu\text{моль/г}$
K	400,8	634,8	762,0
Ti	51,6	115,6	142,7
Cr	1,3	1,9	1,9
Mn	11,2	14,6	17,2
Fe	492,2	866,6	985,2
Cu	1,1	5,2	12,5
Zn	5,0	12,3	15,1
Pb	0,5	1,0	1,4
Sr	4,8	6,5	9,5
Mo	0,0	0,1	0,1
Cd	0,0	0,1	0,1
Sn	0,2	0,2	0,2
Sb	0,1	0,3	0,5
Ba	1,7	3,3	2,9
Co	0,2	0,5	1,2
Ni	1,0	1,6	2,7
As	0,2	0,6	1,4

Как видно из Таблицы 38, в районе центральной площади (проба № 6) и Спасского лесхоза (проба № 9) наблюдается высокое содержание Zn (I класс опасности), Cr и Cu (II класс опасности), присутствие которых можно объяснить техногенным воздействием на окружающую среду города.

Пробы талого снега были проанализированы на содержание водорастворимых форм тяжелых металлов. Анализ был выполнен на оптическом эмиссионном спектрометре параллельного действия с индуктивно связанной плазмой ICPE-900 («SHIMADZU» EUROPA GmbH). Результаты анализа представлены в Таблице 39.

Содержание водорастворимых форм тяжелых металлов в пробах талого снега г. Спасск-Дальний
(вторая серия отбора проб снега)

Показатель	Точка №1	Точка №2	Точка №3	Точка №4	Точка №5	ПДК, мг/л*
	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	
Al	0,234	0,222	0,245	0,159	0,324	0,04
B	0,0165	0,0297	0,0142	0,0160	0,0121	0,5
Ba	0,0423	0,0648	0,0329	0,0859	0,0275	0,74
Ca	9,10	14,80	9,93	10,90	13,10	180
Cd	<0,0001	0,0024	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,005
Cr	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,0005	0,0010	0,07
Cu	0,0131	0,0124	0,0131	0,0127	0,0128	0,001
Fe	0,2390	0,0731	0,1040	0,3020	0,2120	0,1
K	0,8730	0,3760	0,4020	0,3890	0,4260	50
Li	0,0726	0,0730	0,0725	0,0725	0,0727	0,08
Mg	1,00	1,34	0,96	0,94	0,92	40
Mn	0,0111	0,0049	0,0037	0,0069	0,0040	0,05
Na	0,4370	0,4380	0,4220	1,2500	1,0600	120
Ni	0,0010	0,0001	0,0015	0,0005	0,0003	0,01
Pb	0,0149	0,0326	0,0182	0,0220	0,0226	0,006
Sn	0,514	0,532	0,516	0,518	0,521	0,112
Sr	0,0883	0,2800	0,0853	0,0839	0,0693	0,4
Zn	0,0019	0,0029	0,0024	0,0019	0,0022	0,01

* Нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552)

Согласно данным ИСП-АЭС анализа, в пробах талого снега выявлено повышенное содержание алюминия (на величину 4-8 ПДК), меди (12-13 ПДК), железа (2-3 ПДК), свинца (2-5 ПДК), стронция (4 ПДК).

Пробы снега из четырех точек, находящихся недалеко от железнодорожной станции Спасска-Дальнего, были проанализированы методом электронной микроскопии. Этот район выбран нами потому, что он расположен практически в центре города и испытывает на себе большую антропогенную нагрузку от выбросов цементного завода, автотранспорта и непосредственно железной дороги и перевозимых по ней грузов. Анализ взвесей из других районов города выполнен на пробах высушенного смыва с хвои.

Частицы микроскопических размеров ($PM_{2.5}$, PM_{10} , PM_{50}) в пробах снега, отобранных в районе железнодорожного транспортного узла Спасска-Дальнего представляют собой техногенный мусор, в котором в больших количествах присутствуют сферулы и спеки термического происхождения, металлосодержащие частицы рваной формы (в основном, оксиды железа и стали), пористые шлакоподобные структуры, полевой шпат, элементы горных пород (барит), органические вкрапления (в том числе частицы угля и обугленной древесины), кварцевая пыль, бесформенный шлак.

На Рис. 64 показан типичный участок обзора пробы, собранной недалеко от железной дороги, содержащий большинство вышеперечисленных элементов.

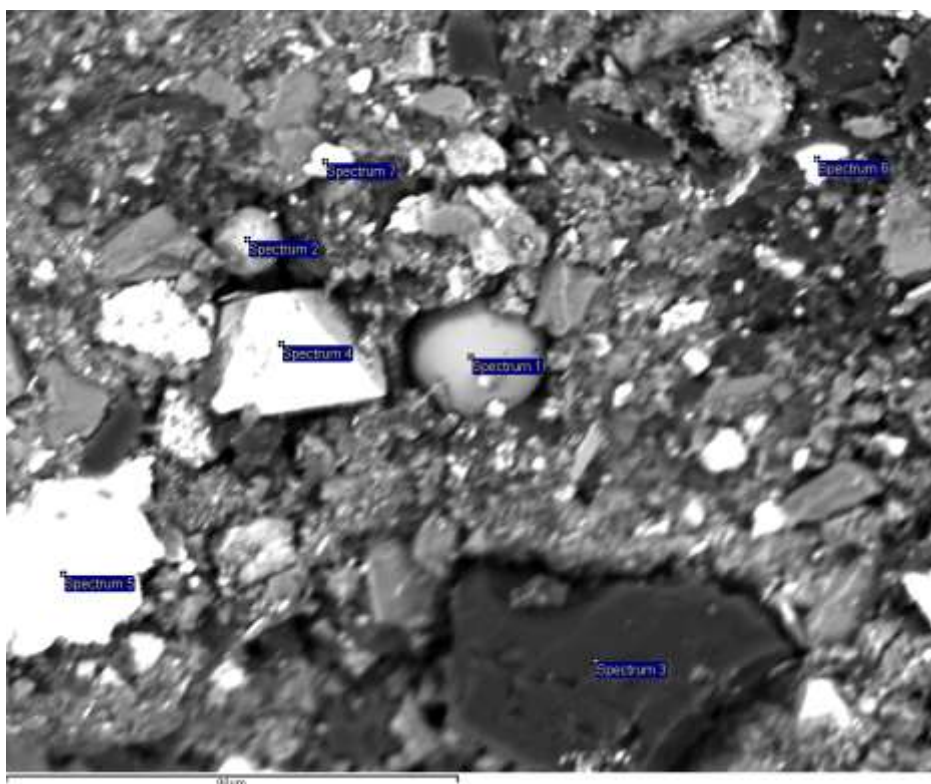


Рисунок 64. Электронная микрофотография участка взвеси из пробы 1-4. Отмечены сферические частицы (спектры 1 и 2), крупная частица угля (спектр 3), частицы окисленного железа и стали (спектры 4-6), трудноопределяемый мусор (спектр 7). Энергодисперсионный состав частиц показан на Рис. 65. Химический состав частиц приведен в Таблице 40.

Таблица 40

Химический состав частиц, отмеченных на Рис. 64, по данным
энергодисперсионного анализа

Элемент	Спектр 1, вес. %	Спектр 2, вес. %	Спектр 3, вес. %	Спектр 4, вес. %	Спектр 5, вес. %	Спектр 6, вес. %	Спектр 7, вес. %
C	24,99	16,43	85,04	11,77	23,32	28,1	41,22
O	60,82	47,2	6,35	34,18	9,88	-	40,56
Mg	1,73	2,25	-	-	-	-	-
Al	12,38	9,68	-	-	-	0,31	0,68
Si	20,89	11,64	-	0,56	1,55	1,03	7,52
S	-	-	0,16	-	0,25	-	-
K	0,73	-	-	-	-	-	-
Ca	11,19	25,36	-	-	0,21	-	0,57
Ti	0,6	0,34	-	-	-	-	-
Mn	-	-	-	-	0,56	1,68	0,39
Fe	11,53	10,81	-	72,31	88,88	90,05	52,3
Co	-	-	-	-	-	-	0,69

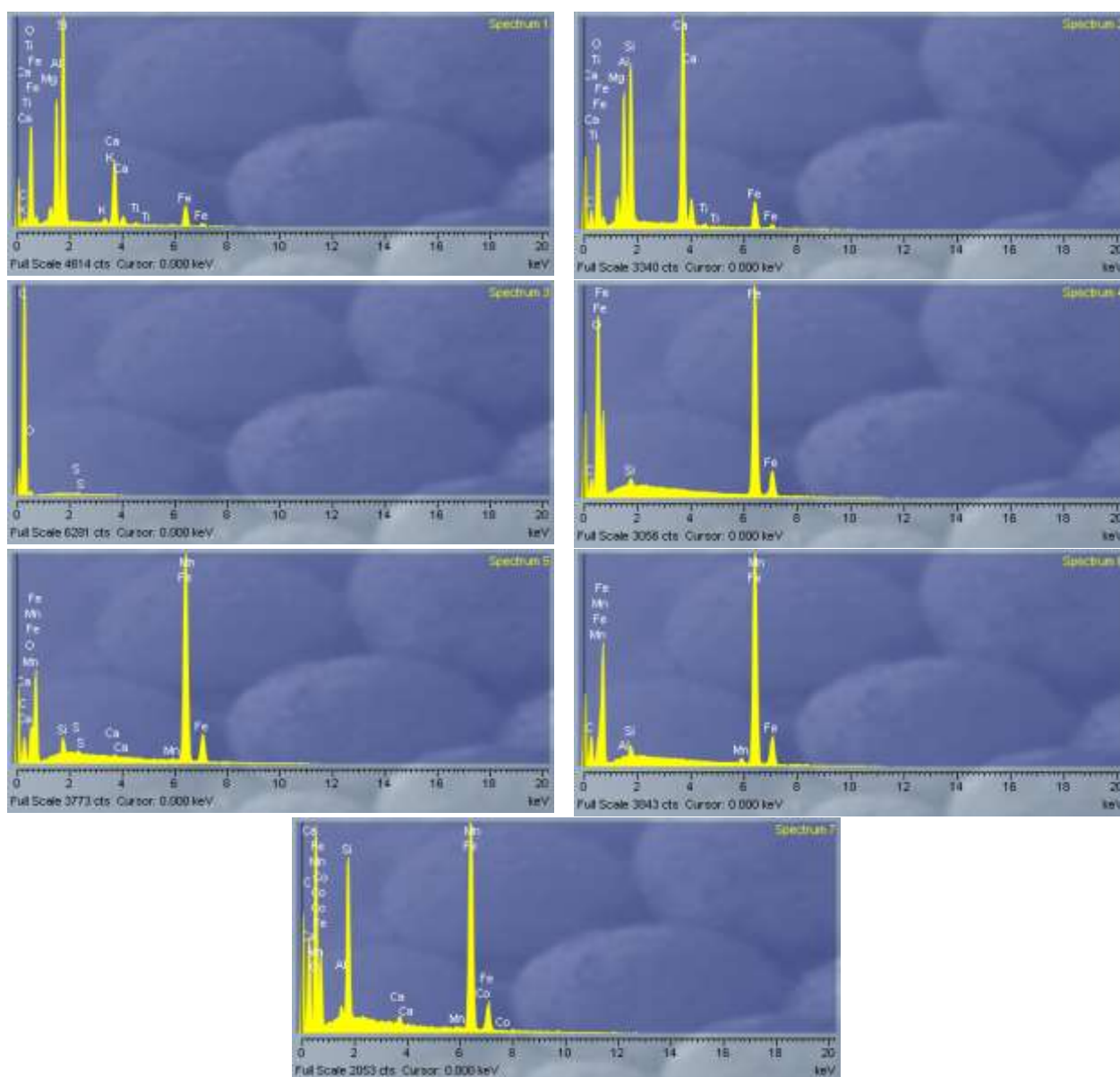


Рисунок 65. Энергодисперсионный состав частиц, отмеченных на Рис. 64, определенный с помощью энергодисперсионного аналитического спектрометра.

Помимо неопределяемого слипшегося техногенного мусора наиболее часто в пробах возле железнодорожного транспортного узла встречаются два элемента. Один из них – это частицы оксида железа и стали, в основном, рваной формы, размерами от единиц до сотен микрометров. Пример такой частицы показан на Рис. 66.

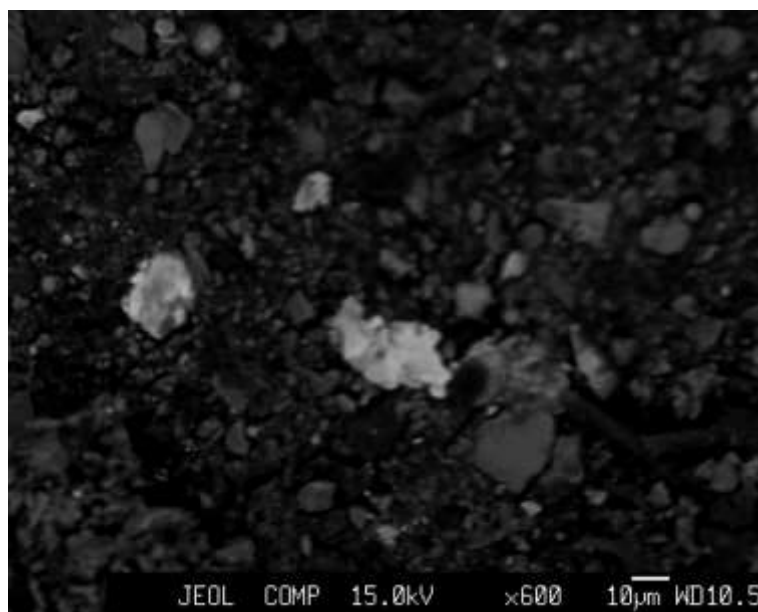
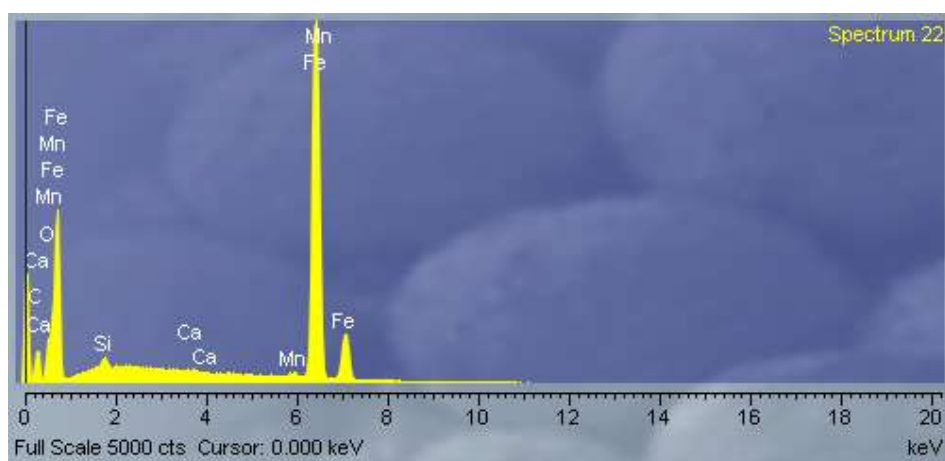


Рисунок 66. Электронная микрофотография типичной частицы металла из пробы 1-2 (светлая частица в центре). Увеличение x600. Энергодисперсионный и химический состав частицы приведены на Рис. 67.



Элемент	Спектр 22, %
O	5,2
Si	0,68
Ca	0,18
Mn	0,87
Fe	90,2

Рисунок 67. Энергодисперсионный состав (слева) и химический состав (справа) частицы металла, изображенной на Рис. 66.

Другой часто повторяющийся тип частиц – сферулы различных размеров. Данные сферы могут быть продуктами сварки или спеками с теплоэлектростанций. На Рис. 68 показана обзорная микрофотография участка пробы 1-3, на которой видно большое число сферул среди частиц взвеси другой формы. На Рис. 69 показаны микрофотографии сферул из проб 1-2 – 1-5.

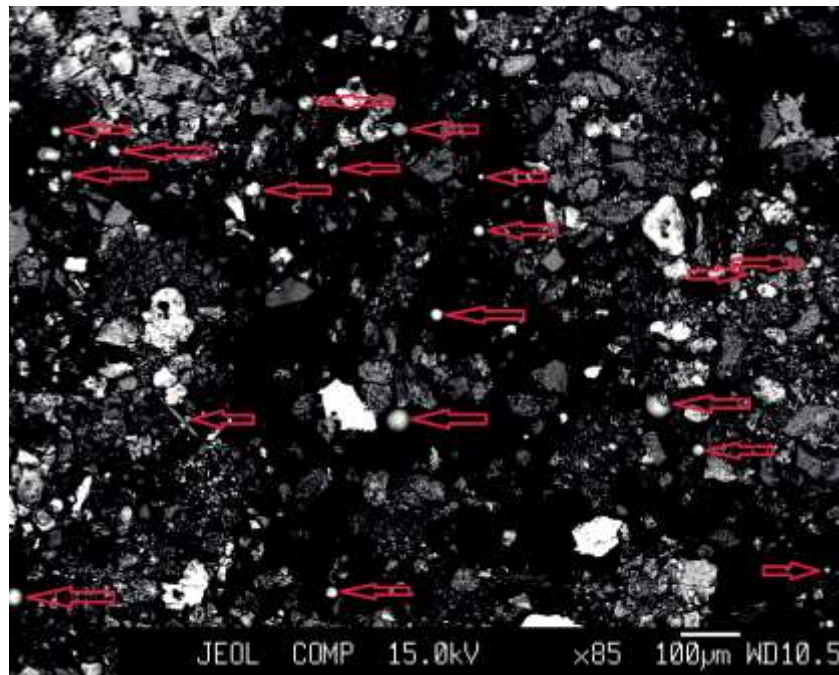
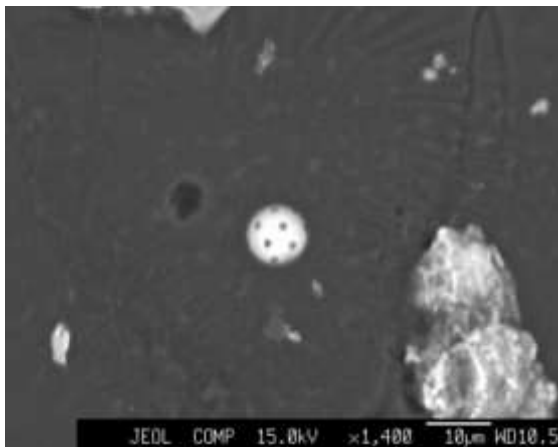
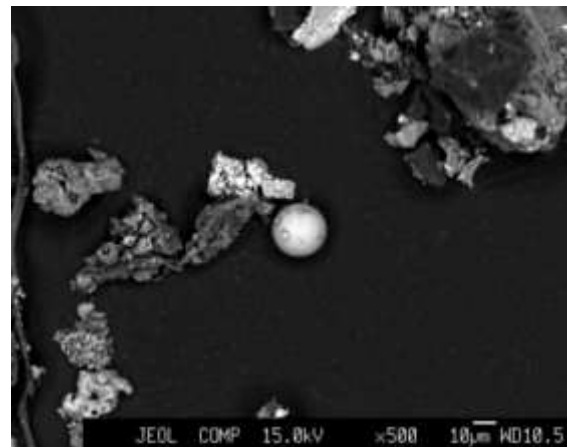


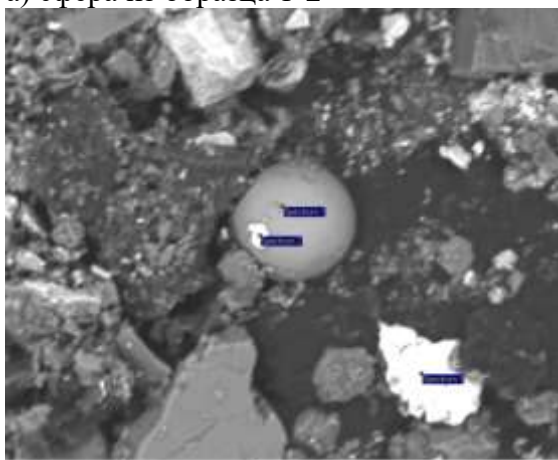
Рисунок 68. Электронная микрофотография участка взвеси из пробы 1-3. Стелками обозначены сферические частицы. Увеличение x85



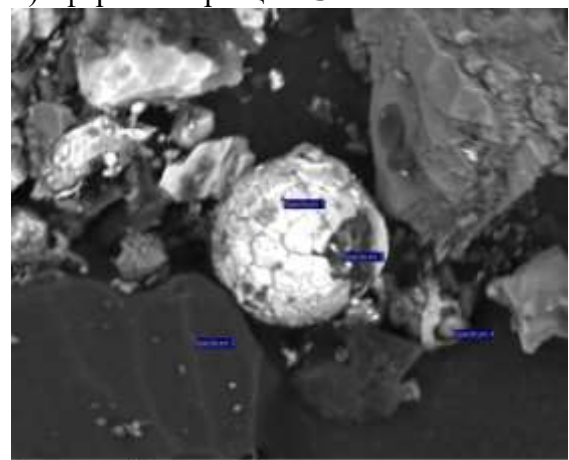
а) сфера из образца 1-2



б) сфера из образца 1-3



в) сфера из образца 1-4. Спектр 1 – общая оболчка сферы; спектр 2 – налипшая частица железа



г) сфера из образца 1-5. Спектр 1 – оболчка сферы; спектр 2 – внутренняя часть сферы

Рисунок 69. Электронные микрофотографии сферул из проб 1-2 – 1-5.

Как видно на Рис. 69, сферические частицы могут быть цельными, но могут и содержать налипшие примеси (Рис. 69 в), а также встречаются и разбитые сферулы (Рис. 69 г). В Таблице 41 представлен химический состав частиц, изображенных на Рис. 69. Показано, что химический состав внутренней части сферулы (Рис. 69 г) незначительно отличается от состава оболочки.

Таблица 41

Химический состав частиц, изображенных на Рис. 69

Элемент	Рис. 69 а)	Рис. 69 б)	Рис. 69 в), оболочка	Рис. 69 в), налипшая частица	Рис. 69 г), оболочка	Рис. 69 г), внутренняя часть сферы
O	42,23	1,15	38,07	12,67	4,43	23,41
Na	-	-	-	-	0,33	1,01
Mg	2,27	-	1,61	-	0,67	0,22
Al	10,75	0,68	9,05	1,22	0,57	1,88
Si	15,86	1,73	12,03	2,53	1,55	6,16
P	-	0,16	-	-	-	-
K	-	-	-	0,19	-	-
Ca	15,96	0,45	15,93	2,15	0,73	0,9
Ti	0,46	-	1	-	-	-
Cr	-	0,22	-	-	-	-
Mn	0,54	-	0,42	-	2,33	0,77
Fe	14,51	74,12	12,69	74,77	58,17	42,48
Total	102,59	78,51	90,99	93,34	68,78	76,83

Как видно из Таблицы 41, в элементном составе сферул преобладают алюмосиликаты с железом и примесями других элементов.

Нами также были проанализированы пробы смыва с хвои, отобранной в трех точках в г. Спасск-Дальний: в районе проходной Новоспасского цементного завода (точка № 1), в центре города (точка № 6) и на территории Спасского лесхоза (точка № 9).

Результаты элементного анализа вещества высушенного смыва хвои сопоставимы с результатами анализа высушенного талого снега. Среди металлических частиц во всех пробах преобладают частицы оксида железа, стали, пирита. В небольших примесях содержатся частицы, содержащие Pb, Ni, Mg, Al, Sr, Zn, Ba, Mn. В этих пробах также обнаружены сферические

частицы, хотя и в меньших количествах, чем в пробах снега. Среди этих сфер выделяются частицы, имеющие в своем химическом составе оксид кальция (CaO), диоксид кремния (SiO_2), оксиды алюминия (Al_2O_3) и железа (Fe_2O_3).

3.6.2. Дальнегорск

Как показали данные гранулометрического анализа атмосферных взвесей Дальнегорска, в воздухе города в значимых долях (от 22,7% до 53,5%) содержатся взвеси фракции PM_{10} , представляющие потенциальную опасность для здоровья человека.

Для оценки влияния пыления с месторождений на микроразмерное загрязнение атмосферного воздуха города мы отобрали распространенные в Дальнегорском городском округе рудные минералы (датолит $\text{CaBSiO}_4(\text{OH})$, данбурит $\text{Ca}[\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$, гранат (андрадит) $\text{Ca}_3\text{FeSi}_3\text{O}_{12}$, галенит PbS , кальцит CaCO_3 , геденбергит ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$), волластонит CaSiO_3 , сфалерит ZnS) и сравнили их рамановские спектры со спектрами частиц атмосферной взвеси (высушенный смыв с проб хвои в г. Дальнегорск).

В каждой пробе было проанализировано 200 частиц диаметром от 5 до 10 мкм (ручной режим) и 400 частиц диаметром 20-25 мкм.

Согласно данным программной химической корреляции на основе рамановских спектров, большая часть исследованных частиц в пробах атмосферных взвесей г. Дальнегорска (от 56,3 % до 92,1 %) представляет собой порообразующий минерал кальцит (известковый шпат).

Взвеси центра города (проба № 1) представлены силикатами (8,2 %), углем (4,3 %) и небольшим количеством рудных минералов – датолитом, галенитом, геденбергитом. В точке отбора проб недалеко от предприятия «ГХК Бор» (проба № 2) обнаружен уголь с примесью кальцита, а также рудный минерал галенит.

Проба № 4, отобранная в лесу на окраине г. Дальнегорска, незначительно отличается по химическому составу (на основе корреляции

рамановских спектров) от «городских» проб – здесь также обнаружены частички угля, силикатов, рудных минералов.

Результаты программной химической корреляция на основе рамановских спектров представлены в Таблице 42.

Таблица 42

Программная химическая корреляция на основе рамановских спектров смыва с хвои с пробами минералов и углей, идентичность спектров не менее 50%.

Вещество / проба	Точка №1, %	Точка №2, %	Точка №3, %	Точка № 4, %
Датолит (CaBSiO ₄ (OH))	0,3	-	-	-
Галенит (PbS)	0,1	3,4	-	-
Кальцит (CaCO ₃)	86	56,3	92,1	80,3
Гендербергит (CaFeSi ₂ O ₆)	0,5	-	0,1	0,6
Волластонит (CaSiO ₃)	0,1	-	-	0,1
Сфалерит (ZnS)	-	-	-	8,4
Уголь	4,3	22	3,6	3,1
Силикатные частицы	8,2	0,9	3,6	7
Андрадит (Ca ₃ FeSi ₃ O ₁₂)	0,1	-		0,1
Не идентифицировано	-	17,1	0,3	-

В пробах хвои, проанализированных на рентгенофлуоресцентном спектрометре, наблюдаются высокие концентрации образований, содержащих металлы, которые относятся к I (Pb, Zn) и II классам опасности (Ni, Cu).

Взвеси из проб № 1, 2 и 3 были проанализированы методом электронной микроскопии.

В пробе № 1 (центр города) преобладают алюмосиликатные и рудные образования, среди которых выделяются железистые разности (пирит, марказит, арсенопирит), а также As.

В пробе также присутствуют частицы, содержащие Zn и Pb, представленные минералами сфалерит и галенит. Частицы рудных образований, в среднем, имеют диаметр от 3 до 12,5 мкм. Также в пробе обнаружены примеси следующих элементов: Sc, V, Co, Rb, Sr, Y, Rh, In, Nb, Yb и др.

В Таблице 43 представлены результаты анализа высушенного смыва с проб хвой на содержание металлов. Анализ выполняли на портативном рентгенофлуоресцентном спектрометре Innov-X SyStemS (США).

Таблица 43

Содержание тяжелых металлов в пробах хвой в г. Дальнегорск

Элемент	Точка № 1, μмоль/г	Точка № 2, μмоль/г	Точка № 3, μмоль/г
K	383,3	380,6	663,7
Ti	19,4	23,4	47,8
Cr	0,3	0,5	1,3
Mn	21,7	18,9	9,3
Fe	243,0	292,0	574,4
Zn	10,7	16,5	11,5
As	0,6	1,7	0,8
Pb	5,5	3,0	1,6
Sr	1,1	3,1	2,7
Cd	0,0	0,0	0,0
Sb	0,0	0,2	0,2
Ba	1,7	2,0	3,9
Co	0,2	0,4	0,8
Ni	1,1	2,0	4,2
Cu	0,9	5,1	7,8
Mo	0,0	0,0	0,0
Sn	0,0	0,1	0,1

На Рис. 70 показан типичный участок обзора пробы № 1, собранной в центре г. Дальнегорска.

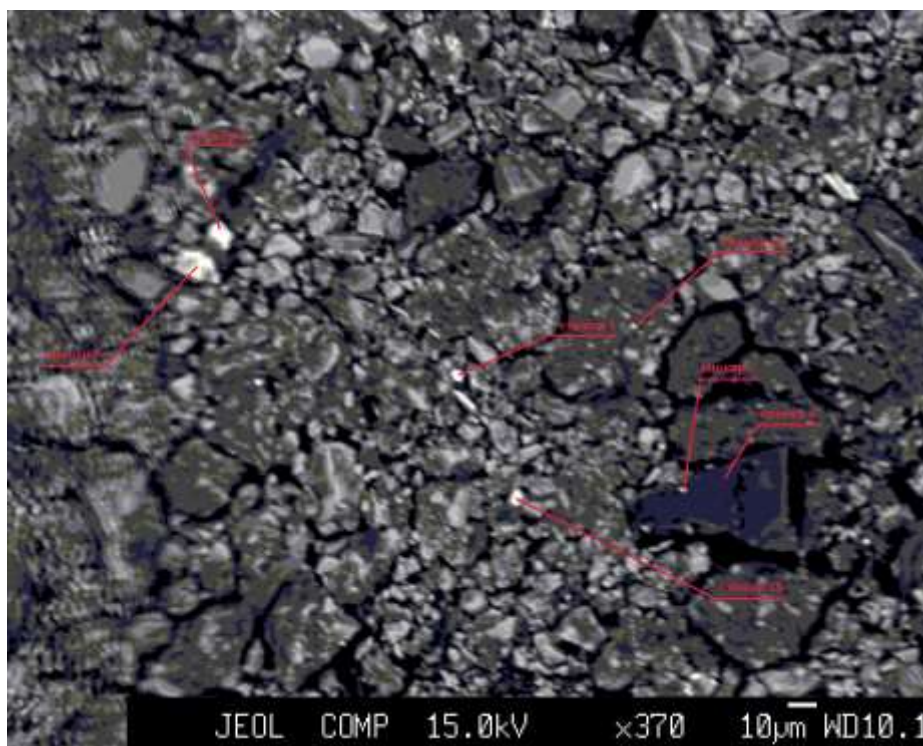


Рисунок 70. Электронная микрофотография участка взвеси из пробы № 1. Отмечены: частица, содержащая Zn (спектр 1); частица, содержащая Zn (сфалерит – спектр 4); железосодержащая частица (вероятно, андрадит – спектр 5); крупная частица угля с примесями (спектр 6); частица, содержащая Cu и Zn (спектр 10); частица, содержащая Pb (спектр 12). Энергодисперсионный состав частиц показан на Рис. 71. Химический состав приведен в Таблице 44.

Таблица 44

Химический состав частиц, отмеченных на Рис. 70, по данным энергодисперсионного анализа

Элемент	Спектр 1, вес. %	Спектр 4, вес. %	Спектр 5, вес. %	Спектр 6, вес. %	Спектр 7, вес. %	Спектр 10, вес. %	Спектр 12, вес. %
O	16,68	8,05	37,43	48,79	7,79	38,83	24,13
Na	-	-	-	-	-	-	1,4
Mg	-	-	-	1,52	-	0,27	0,99
Al	1,33	1,06	-	-	0,87	2,12	6,62
Si	5,47	1,15	16,93	1,65	0,7	3,34	11,62
P	-	-	-	5,51	0,96	-	2,21
S	-	31,52	-	2,98	-	-	4,72
Cl	0,33	-	-	1,59	-	-	0,76
K	0,56	0,35	-	-	-	0,7	3,22
Ca	11,33	0,46	23,78	37,95	3,31	1,27	13,94
Ti	-	-	-	-	-	52,58	0,72

Элемент	Спектр 1, вес. %	Спектр 4, вес. %	Спектр 5, вес. %	Спектр 6, вес. %	Спектр 7, вес. %	Спектр 10, вес. %	Спектр 12, вес. %
Cr	-	-	-	-	-	-	-
Mn	-	-	0,42	-	-	-	-
Fe	7,5	2,87	21,44	-	-	0,89	6,92
Ni	-	-	-	-	-	-	-
Cu	-	-	-	-	53,73	-	-
Zn	56,8	54,54	-	-	32,64	-	-
As	-	-	-	-	-	-	0,14
W	-	-	-	-	-	-	-
Pb	-	-	-	-	-	-	22,61

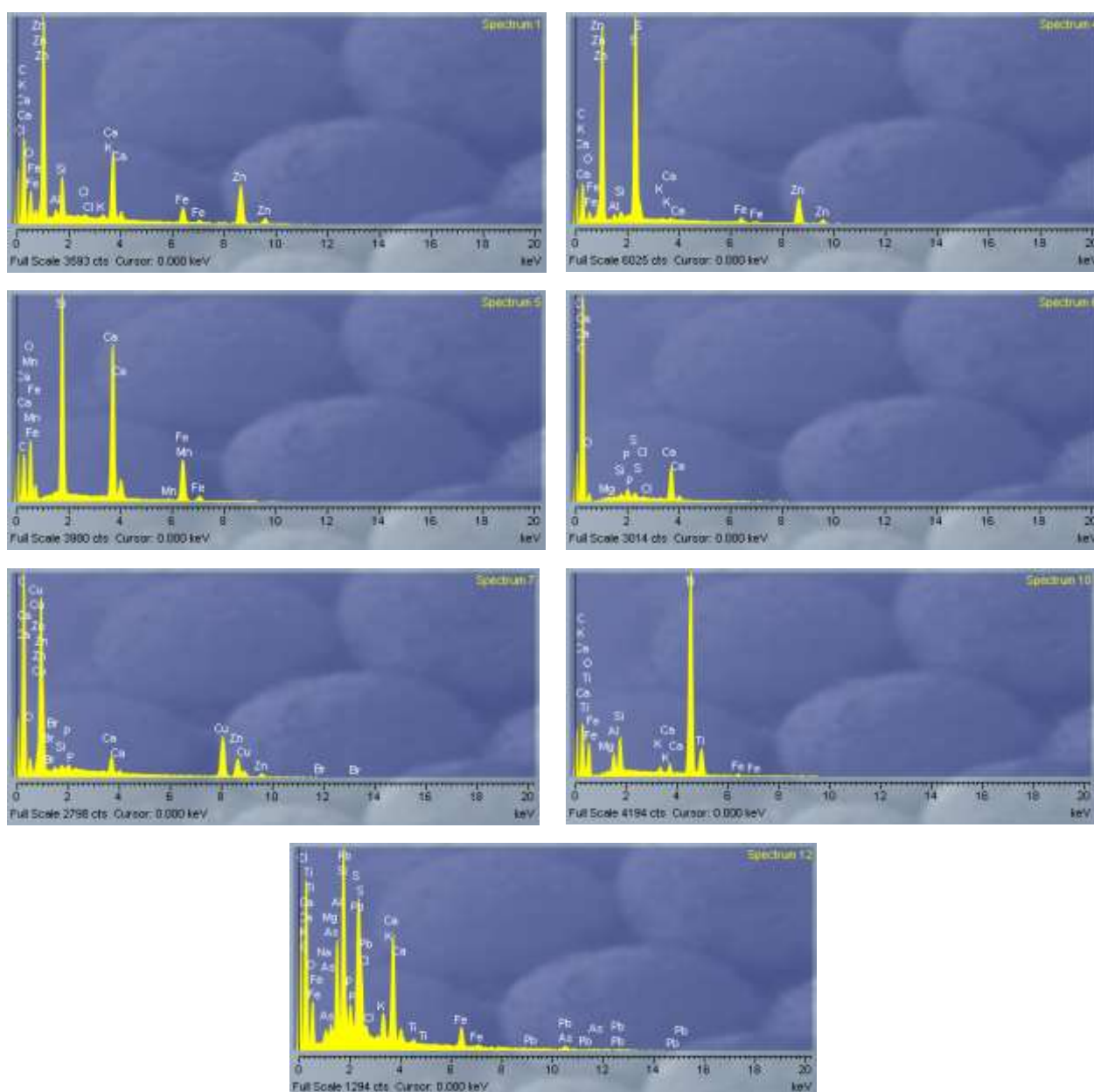


Рисунок 71. Энергодисперсионный состав точек, отмеченных на Рис. 70, определенный с помощью энергодисперсионного аналитического спектрометра.

На Рис. 72-74 представлены электронные микрофотографии и химический состав частиц, содержащих Zn (рудный минерал сфалерит), Pb (рудный минерал галенит) и сложного силиката Cu и Zn.

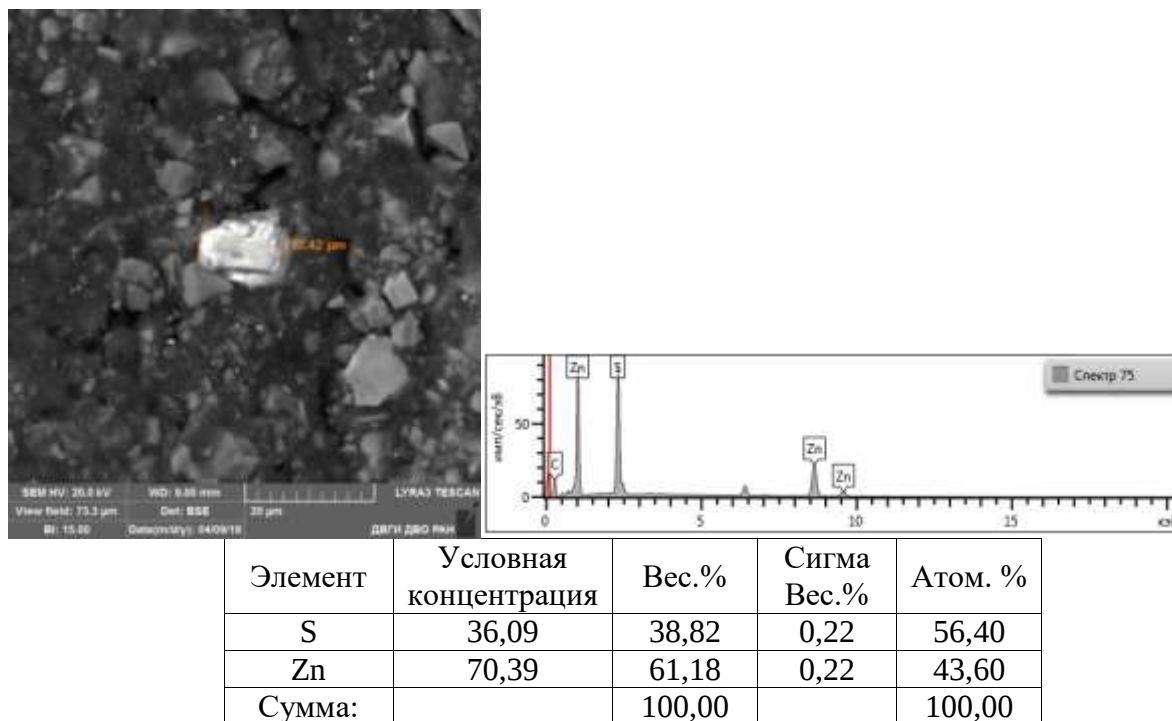


Рисунок 72. Морфология и химический состав частицы, содержащей Zn (сфалерит) (проба № 1)

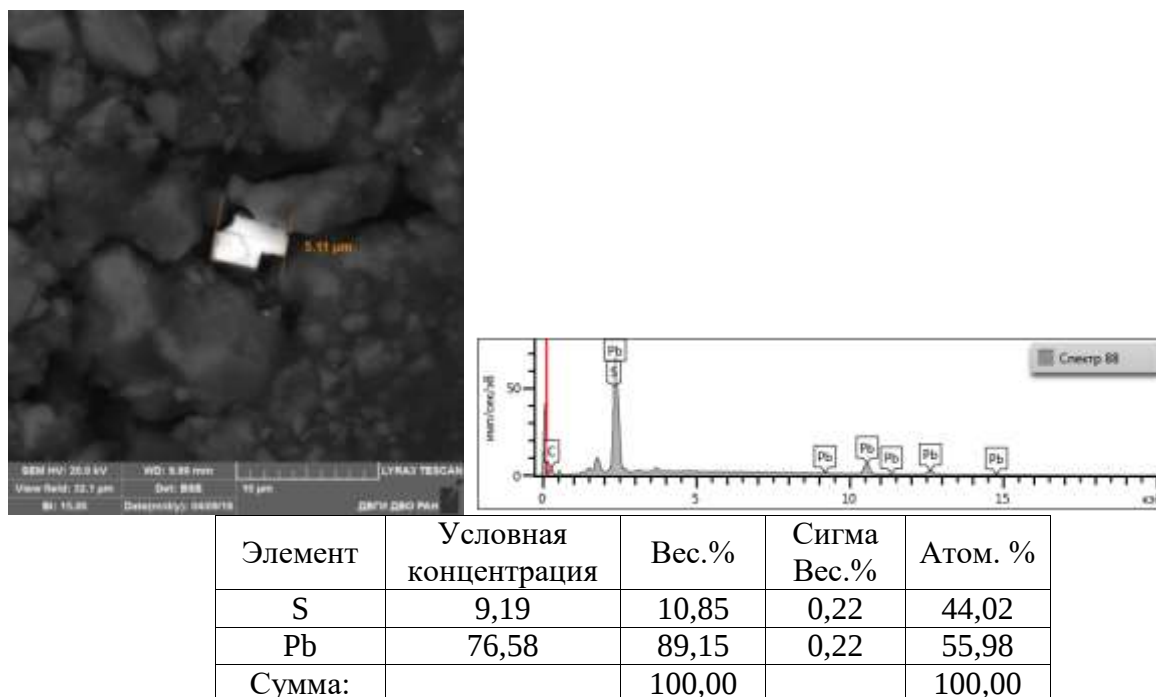


Рисунок 73. Морфология и химический состав частицы, содержащей Pb (галенит) (проба № 1)

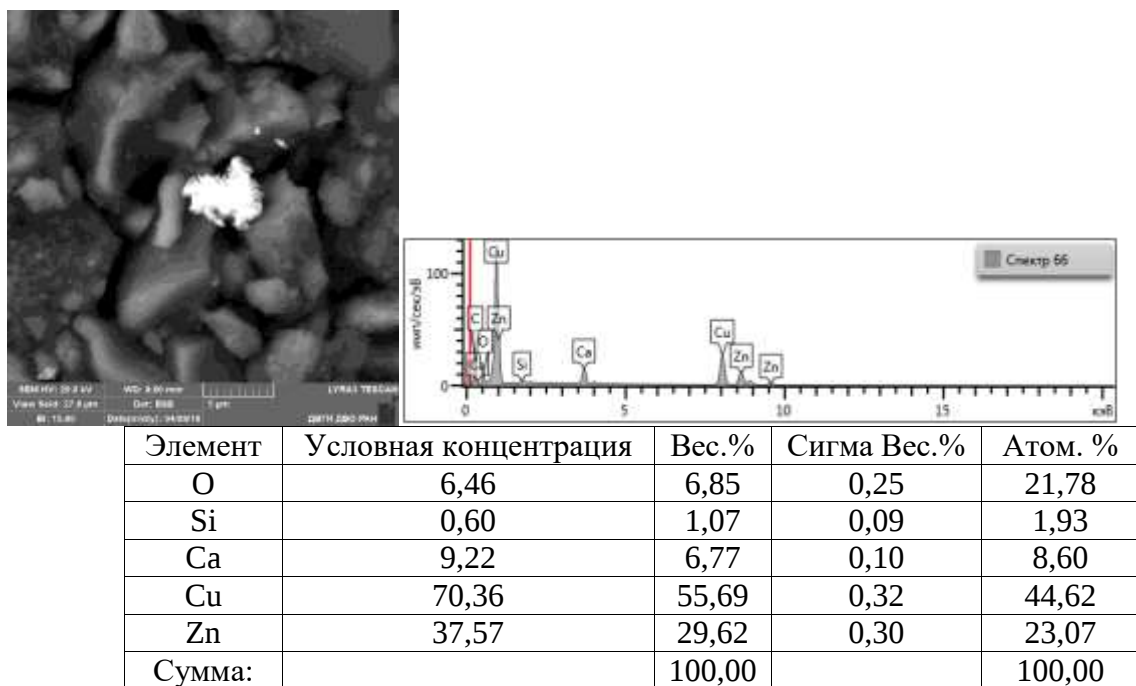


Рисунок 74. Морфология и химический состав частицы Cu и Zn (проба № 1)

В пробе, собранной недалеко от предприятия «ГХК Бор» (проба № 2), обнаружены алюмосиликатные горные породы, минералы арсенопирит, диоксид вольфрама, галенит, минеральные формы никеля, минеральные образования цинка, магнетит, частицы золота и сульфида серебра. На Рис. 75 и 76 показана морфология и химический состав частиц диоксида вольфрама и никеля.

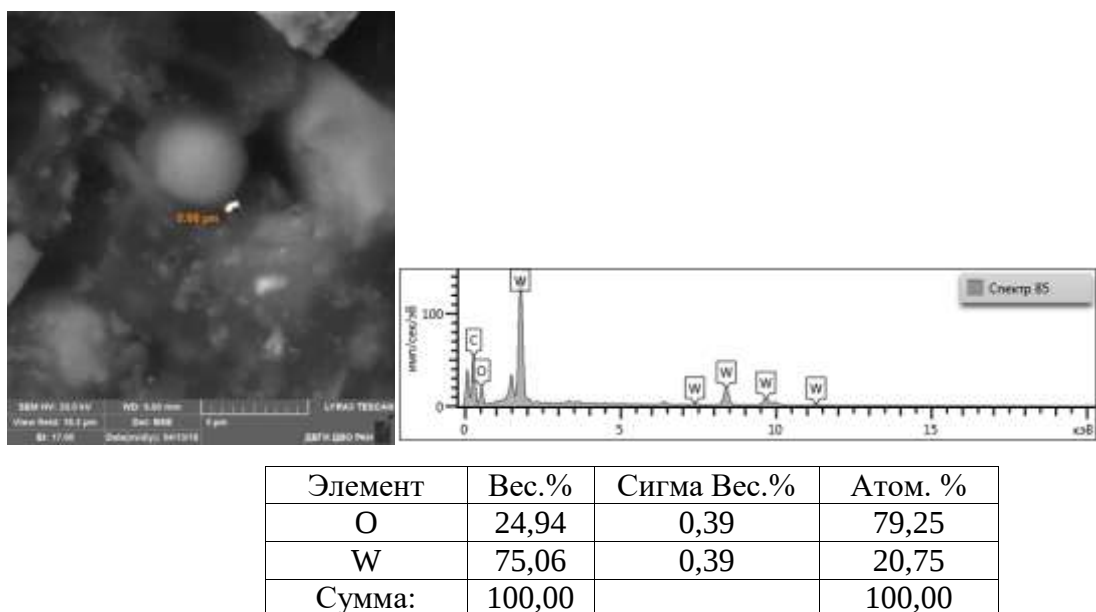


Рисунок 75. Морфология и химический состав частицы диоксида W (проба № 2)

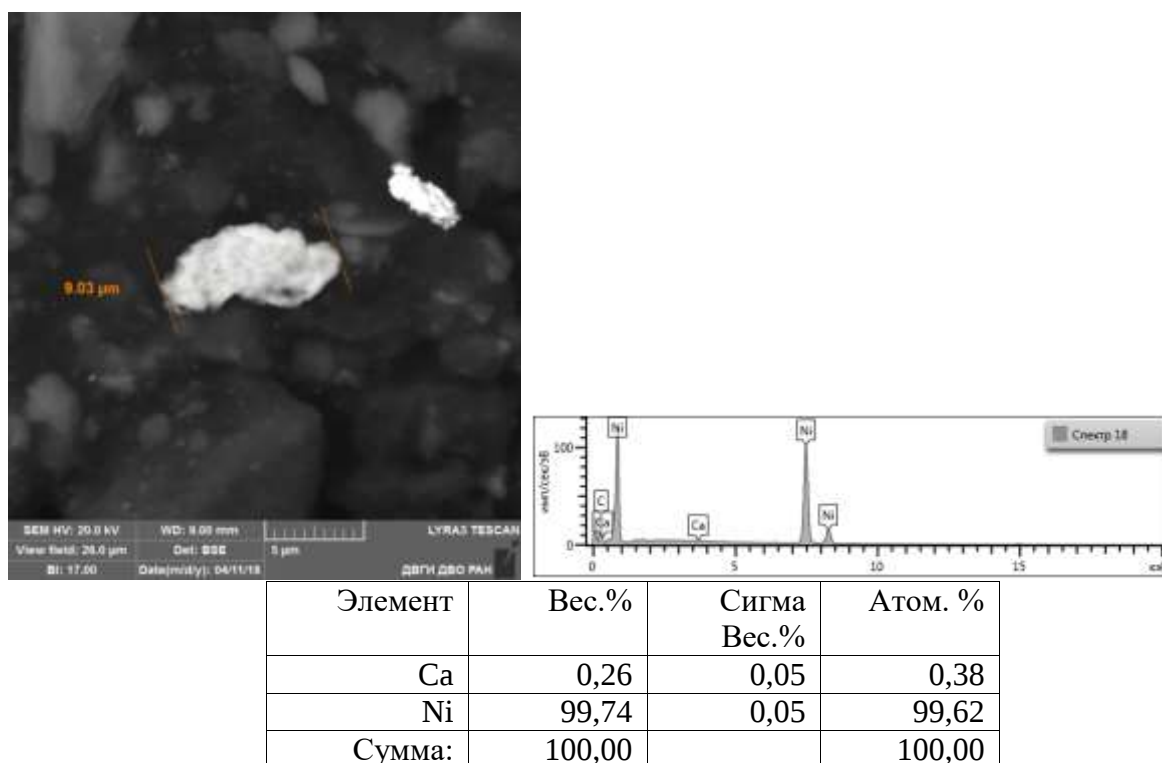


Рисунок 76. Морфология и химический состав минеральной формы Ni (проба № 2)

В пробе №3, отобранной недалеко от центра г. Дальнегорска, возле оживленной трассы, были зафиксированы соединения железа, сфалерит, галенит, а также значительное количество частиц угля.

3.6.3 Посьет

Гранулометрический анализ атмосферных взвесей поселка городского типа Посьет показал присутствие в воздухе частиц диаметром 10 мкм в долях от 15,4% до 45,3% (в среднем 32,4%).

Мы предположили, что именно уголь составляет основу загрязнения атмосферного воздуха микроразмерными взвесями. Для проверки гипотезы была проведена идентификация частиц угля путем сравнения рамановских спектров углей различных месторождений с частицами в смыве с хвои с использованием прибора Morphologi G3-ID. Результаты программной

химической корреляция на основе рамановских спектров представлены в Таблице 45.

Таблица 45

Программная химическая корреляция на основе рамановских спектров смыва с хвои с пробами минералов и углей, идентичность спектров не менее 50%.

Вещество / проба	Точка № 1, %	Точка № 2, %	Точка № 3, %
Кальцит (CaCO_3)	87	82,1	89,1
Уголь	8,3	4,3	6
Силикатные частицы	3,6	9,3	4,1
Галенит (PbS)	0,8	2,7	0,7
Сфалерит (ZnS)		0,9	

Согласно данным программной химической корреляции на основе рамановских спектров, большая часть исследованных частиц в пробах атмосферных взвесей пгт. Посъет (более 80% во всех пробах) представляет собой кальцит (известковый шпат). Во всех пробах присутствует некоторое количество частиц угля (от 4,3% до 8,3 %). Остальные частицы представляют собой силикаты, частицы, содержащие Pb и Zn (вероятно, в составе галенита и сфалерита), и иные примеси в небольших количествах.

В Таблице 46 представлены результаты рентгенофлуоресцентного анализа высушенного смыва с проб хвои на содержание металлов. Анализ выполняли на портативном рентгенофлуоресцентном спектрометре Innov-X SyStemS (США).

Таблица 46

Содержание тяжелых металлов в пробах хвои в Посъете

Элемент	Точка №2, $\mu\text{моль/г}$	Точка №3, $\mu\text{моль/г}$
K	497,7	858,1
Ti	50,6	122,4
Cr	1,1	2,9
Mn	34,2	22,1
Fe	580,5	1138,8
Zn	231,3	20,1
As	14,1	3,2
Pb	33,6	1,3

Элемент	Точка №2, $\mu\text{моль/г}$	Точка №3, $\mu\text{моль/г}$
Sr	4,7	5,1
Cd	0,2	0,0
Sb	0,6	0,5
Ba	3,1	2,3
Co	1,7	2,1
Ni	2,2	7,1
Cu	18,5	42,7
Mo	0,0	0,0
Sn	0,2	0,2

В пробах хвои наблюдаются высокие концентрации образований, содержащих металлы, которые относятся к I (Pb, Zn) и II классам опасности (Cu).

Атмосферные взвеси также были проанализированы методом электронной микроскопии. На Рис. 77 показан типичный участок взвеси из пробы № 2 (двор жилого дома).

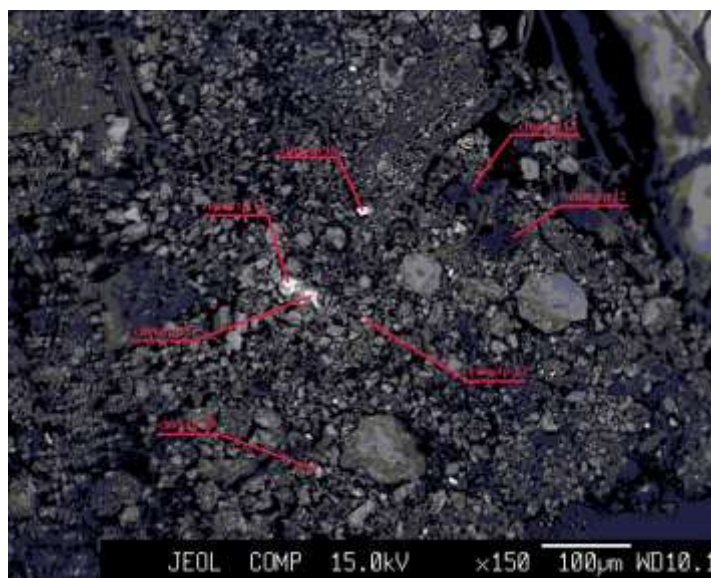


Рисунок 77. Электронная микрофотография участка взвеси из пробы № 2. Отмечены: частицы угля (спектры 12 и 13); частицы неправильной, рваной формы, содержащие Fe, PbS, Cu, Zn и другие элементы (спектры 14 и 15); частицы PbS (спектры 16 и 17); частица, содержащая Fe, Zn, S (спектр 19). Энергодисперсионный состав частиц показан на Рис. 78.

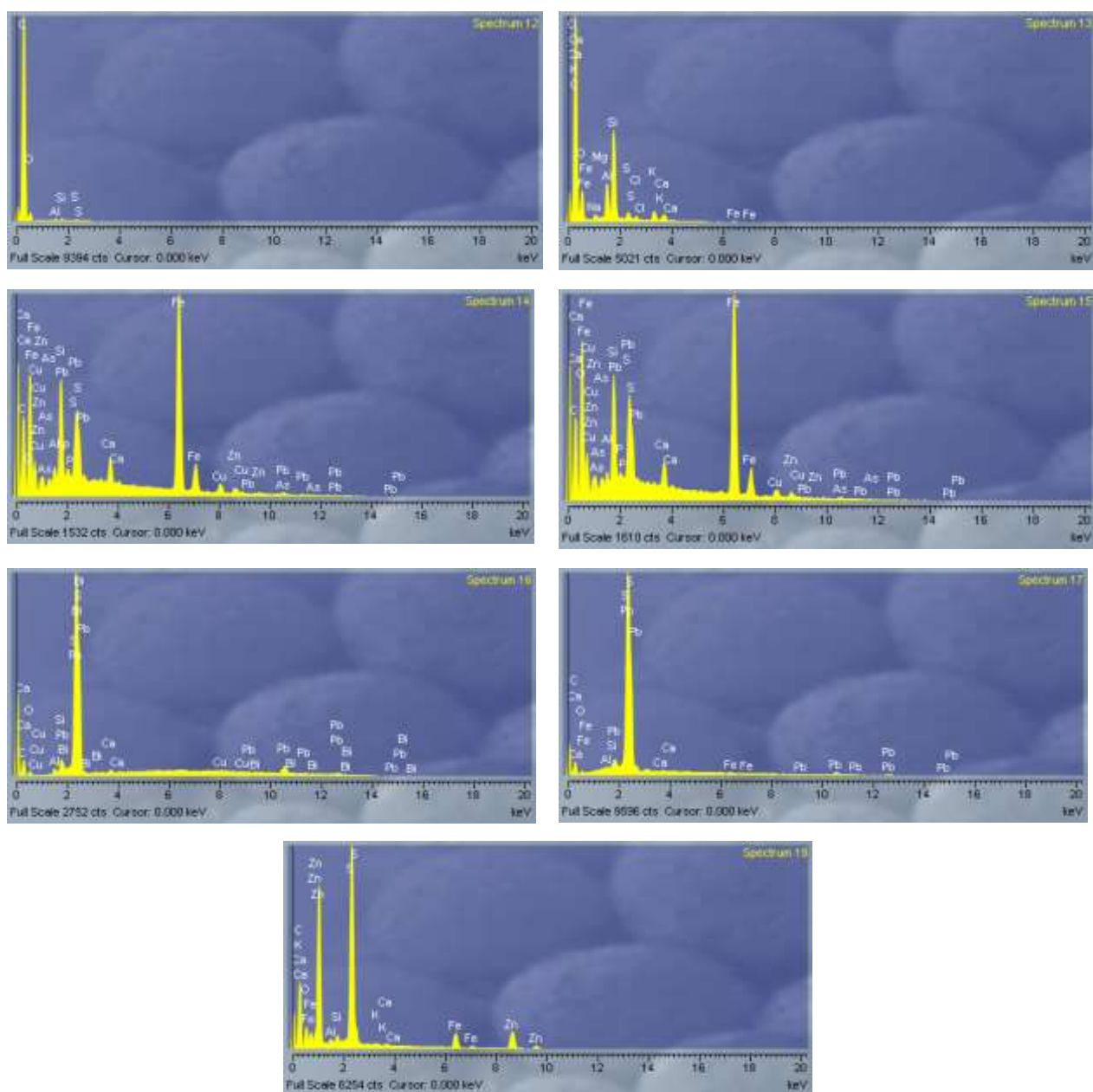


Рисунок 78. Энергодисперсионный состав точек, отмеченных на Рис. 77, определенный с помощью энергодисперсионного аналитического спектрометра. Химический состав приведен в Таблице 47.

Таблица 47

Химический состав частиц, отмеченных на Рис. 77, по данным энергодисперсионного анализа

Эле- мент	Спектр 12, вес. %	Спектр 13, вес. %	Спектр 14, вес. %	Спектр 15, вес. %	Спектр 16, вес. %	Спектр 17, вес. %	Спектр 19, вес. %
O	3,6	17,07	14,81	19,51	1,89	4,15	15,56
Na	-	0,94	-	-	-	-	-
Mg	-	0,31	-	-	-	-	-
Al	0,18	3,54	0,6	0,55	0,26	0,3	0,79
Si	0,31	9,3	3,87	3,99	0,65	0,5	1,07
P	-	-	0,41	0,31	-	-	-
S	0,27	0,91	0,36	0,41	3,83	13,02	29,66
Cl	-	0,54	-	-	-	-	-
K	-	1,73	-	-	-	-	0,24
Ca	-	1,33	1,46	1,45	0,3	0,36	0,37
Ti	-	-	-	-	-	-	-
Mn	-	-	-	-	-	-	-
Fe	-	0,79	33,4	35,34	-	0,55	9,73
Cu	-	-	3,15	3	0,9	-	-
Zn	-	-	2,66	2,67	-	-	37,2
As	-	-	0,61	0,93	-	-	-
Pb	-	-	7,57	9,69	24,62	83,71	-
Bi	-	-	-	-	5,29	-	-

В пробе, хвои, взятой недалеко от автодороги, ведущей к Посъету (проба № 3), найдены частицы угля, барита (BaSO_4), галенита (PbS), оксида железа и других веществ в примесях.

ГЛАВА 4. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ПРИМОРСКОГО КРАЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1. Населенные пункты с численностью жителей до 10 тысяч человек

Как мы можем видеть из Раздела 2.1 исследованные населенные пункты с числом жителей до 10 тысяч человек в Приморском крае – это поселки Ольга, Терней, Пластун, Посьет, Горные Ключи, села Уссурка, Новопокровка, Измайлиха, Уборка, удаленный район г. Дальнереченска ЛДК, удаленный район г. Находки Козьмино и окрестности Порты Восточного.

В этих населенных пунктах фракция PM_{10} присутствует в долях от 0% до 57,7 %. В среднем доля PM_{10} составляет 20,6% (по результатам анализа 93 проб из 12 населенных пунктов). Доля фракции PM_{50} составляет от 0,3% до 68,6%, в среднем – 15,69%. Доля самой крупной фракции (более 700 мкм), свидетельствующей об экологическом благополучии населенного пункта, находится в диапазоне от 0% до 73,7%, в среднем – 32,54%.

При общем взгляде на гранулометрический анализ взвесей из малых населенных пунктов с числом жителей до 10 тысяч (Раздел 3.5), видно, что экологически значимая фракция PM_{10} преобладает в части портовых населенных пунктов (поселки Ольга, Пластун, Посьет) а также в некоторых небольших селах (Уссурка, Уборка) и в административном центре Тернейского района.

В портовых поселках Ольга, Пластун и Посьет, а также в Козьмино и Порту Восточном ведется перевалка самых различных грузов, что сопровождается интенсивным пылением, которое распространяется далеко за территорию портов. Очевидно, что объем загрязненных атмосферных взвесей напрямую зависит от мероприятий, предпринимаемых операторами и

руководством портов по защите окружающей среды от вредного воздействия перевалки грузов.

Так, например, в пробах, отобранных в районе портов Козьмино и Восточного, преобладают взвеси 5 размерного класса (от 100 до 400 мкм), а содержание частиц PM_{10} мало (в среднем – 4,82%). При этом в Порту Восточном расположен крупный угольный терминал, выгрузка угля в котором происходит в закрытом помещении с использованием вагоноопрокидывателей и «сухого тумана», а на участках хранения угля применяются системы очистки воздуха и воды. Так же невелико содержание фракции PM_{10} и в порту Козьмино (6,8% в среднем).

В то же время в поселках Ольга, Пластун и Посьет наблюдается повышенное содержание фракции взвеси до 10 мкм в диаметре (в среднем, 30,03%, 50,42% и 32,46%, соответственно). В морских портах поселков Ольга и Пластун ведется перевалка лесных и генеральных грузов, а в порту поселка Посьет значительные площади отведены под перевалку угля.

Нами была предложена гипотеза, что именно порт является источником микроразмерного загрязнения атмосферы Посьета. В 2017 г. «Торговый порт Посьет» переработал почти 6 млн т грузов.

Для проверки данной гипотезы мы провели качественный анализ состава взвесей поселка Посьет, используя смыв с хвои (Раздел 3.6.3). Согласно полученным результатам, подавляющее количество микроразмерных частиц в пробах является кальцитом (более 80% во всех пробах). Часто обнаруживаются силикаты, элементы органики, частички металлов рваной формы. Частицы угля встречаются, но их количество невелико (от 4,3% до 8,3 %). Небольшое количество угля в пробах связано с преобладающим западным ветром, который выдувает угольную пыль с терминала в бухту Посьет, тем самым вызывая загрязнение акватории (Рис. 79). Кроме того, в порту Посьета применяют водяные пушки, которые смывают угольную пыль в акваторию.

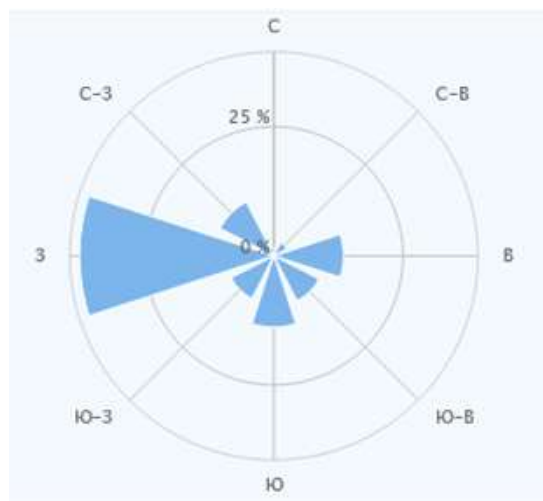


Рисунок 79. Роза ветров в Посъете. Использован материал сайта world-weather.ru

По сообщениям открытой печати, в 2018 году порт перешел на закрытую перевалку угля и применяет новые технологии пылеподавления, что должно снизить нагрузку, оказываемую деятельностью торгового порта на окружающую среду. Пробы хвои были собраны уже после введения новых технологических решений и, вероятно, именно этим объясняется малое количество частиц угля в проанализированных пробах. Стоит отметить, что пробы снега, собранные до перехода порта на новый режим перевалки угля, содержали видимые следы загрязнения угольной пылью (Kholodov et al., 2018a).

Кроме того, в пробах обнаружены образования, содержащие металлы, которые относятся к I (свинец, цинк) и II классам опасности (медь).

В малых сельских поселениях, находящихся на удалении от моря, содержание фракции PM_{10} , в основном, невелико. Пробы атмосферных взвесей, отобранные в селах Новопокровка и Измайлиха Красноармейского района, практически не содержат фракцию PM_{10} в значимых долях. Красноармейский район считается экологически безопасным, а в выбранных для отбора проб селах отсутствует какая-либо значимая промышленность. То же можно сказать и про курортный поселок Горные Ключи. Превышения PM_{10} также не обнаружены в поселке ЛДК, который был построен рядом с лесопильно-деревообрабатывающим комбинатом (территориально входит в

состав Дальнереченского городского округа). Вероятно, такое распределение частиц связано с удаленностью точек отбора проб от комбината.

Мы обнаружили повышенное содержание экологически значимой фракции атмосферной взвеси диаметром до 10 мкм в селах Уссурка, Уборка и поселке Терней (в среднем, 18,05%, 35,15%, 38,46%). В отсутствие какой-либо значимой промышленности в этих населенных пункте остается констатировать, что микроразмерное пыление, скорее всего, представляет собой продукты сгорания при печном отоплении домов, пыление с автодорог и естественный фон территории.

В целом, анализ микроразмерного загрязнения воздуха Приморских населенных пунктов с населением до 10 тысяч человек позволяет сделать следующий вывод: экологическая обстановка в таких населенных пунктах в целом благоприятна, при условии отсутствия в них крупных промышленных предприятий и производств, или при условии соблюдения такими предприятиями (например, торговыми портами, занимающимися перевалкой сыпучих грузов) всех установленных экологическим законодательством требований и регулярном мониторинге состояния окружающей среды.

4.2. Населенные пункты с численностью жителей от 10 до 50 тысяч человек

Населенные пункты с численностью от 10 до 50 тыс. человек представлены двумя диапазонами: от 10 до 20 тыс. человек, куда вошли пгт. Кавалерово, Пограничный, поселок Славянка и село Чугуевка; и от 20 до 50 тыс. чел. – города Большой Камень, Дальнегорск, Лесозаводск, Спасск-Дальний, Фокино (Раздел 2.1)

В атмосферном воздухе малых населенных пунктов с населением от 10 до 50 тыс. жителей фракция взвеси PM_{10} присутствует в долях от 0,5% до 59,5%. Усредненная доля взвеси PM_{10} в таких населенных пунктах составляет 23,42% (по результатам анализа 104 проб из 9 населенных пунктов). Доля

фракции PM_{50} составляет от 0% до 62,7%, в среднем – 22,57%. Доля самой крупной фракции (более 700 мкм) находится на том же высоком уровне, что и в населенных пунктах с числом жителей до 10 тыс. чел., и составляет от 0% до 70,8%, в среднем – 27,51%.

На примере этих населенных пунктов можно проследить явную тенденцию к увеличению уровня загрязнения воздуха фракцией PM_{10} с ростом числа жителей. Большее количество автотранспорта, котельные, работающие на угле или мазуте, а также дома, использующие печное отопление, наличие железнодорожных станций, портов и т.п. – все это факторы, ухудшающие состояние приземного воздуха в небольших городах и поселках.

Даже в населенных пунктах на нижней границе выбранного диапазона количества жителей (от 10 тыс. человек) мы обнаружили ощутимое загрязнение атмосферного воздуха фракцией взвеси PM_{10} (Раздел 3.4). Так, в поселке городского типа Кавалерово фракция взвеси до 10 мкм в диаметре обнаружена в долях от 22,2% до 44,1% (в среднем, 33,01%); в поселке Славянка – от 18,6% до 58,3% (в среднем, 33,39%); в селе Чугуевка – от 23% до 39,4% (в среднем, 31,66%).

В этом ряду выделяется пгт. Пограничный, который представляется удивительно чистым с точки зрения загрязнения микроразмерными частицами атмосферной взвеси. Здесь практически не наблюдается фракция PM_{10} в экологически значимых долях (от 0,5% до 8,3%, в среднем – 4,87%).

В более крупных городах из выбранного диапазона (20-50 тыс. человек) прослеживается тенденция к увеличению загрязнения воздуха микроразмерными взвесями при наличии мощных градообразующих предприятий (Раздел 3.3)

Так, в городах Фокино и Лесозаводск загрязнение частицами PM_{10} умеренное: от 3,7% до 24,1% (среднее значение 14,23%) и от 6,8% до 14,5% (среднее значение 10,98%), соответственно.

В Большом Камне наблюдается схожая ситуация (от 1% до 31,1% PM_{10} , в среднем – 12,26%), однако в трех районах отбора наблюдается повышенное содержание искомой фракции атмосферной взвеси. Два из этих районов отбора находятся вблизи заводов ДВЗ «Звезда» и ЗСО «Восток» (21% и 31,1%, соответственно), которые могут являться источниками загрязнения частицами менее 10 мкм. Третья точка отбора с высоким содержанием частиц PM_{10} находится в жилом квартале недалеко от автодороги (21,5%).

В Дальнегорске атмосферные взвеси PM_{10} были обнаружены в значимых долях (от 22,7% до 53,5%) практически во всех точках отбора, за исключением двух точек, расположенных в лесном массиве и во дворе частного жилого дома. На трех станциях отбора проб концентрация частиц PM_{10} превысила 5%: это станции, находящиеся в центральной части города.

Согласно розе ветров (Рис. 80), в Дальнегорске в течение года преобладают восточные и западные ветры, переносящие атмосферную взвесь вдоль центральной, вытянутой с востока на запад улицы города или с близлежащего карьера.



Рисунок 80. Роза ветров в г. Дальнегорске. Использован материал сайта world-weather.ru

Мы предположили, что значительную долю этих взвесей составляют частицы, поступающие в приземный слой атмосферы с расположенных

недалеко от города полиметаллических и боросиликатных месторождений, с Дальнегорского горно-обогатительного комбината, а также с городских котельных. Для верификации данной гипотезы мы провели исследование химического состава отобранных атмосферных взвесей с помощью ряда методов (Раздел 3.6.2).

Влияние пыления с месторождений на микроразмерное загрязнение атмосферного воздуха Дальнегорска было верифицировано путем сравнения рамановских спектров частиц атмосферной взвеси в отобранных пробах (высушенный смыв с хвои) со спектрами наиболее распространенных в Дальнегорском городском округе рудных минералов (датолит $\text{CaBSiO}_4(\text{OH})$, данбурит $\text{Ca}[\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$, гранат (андрадит) $\text{Ca}_3\text{FeSi}_3\text{O}_{12}$, галенит PbS , кальцит CaCO_3 , геденбергит ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$), волластонит CaSiO_3 , сфалерит ZnS). Кроме того, пробы были проанализированы методами рентгенофлуоресцентной спектromетрии и электронной микроскопии

Благодаря использованию комплексной методики исследования удалось установить, что в атмосферном воздухе г. Дальнегорска присутствуют микроразмерные частицы (PM_{10} , PM_5 , PM_{10}), содержащие металлы, которые относят к I (Pb, Zn) и II классам опасности (Ni, Cu). Эти металлы присутствуют, в основном, в составе рудных минералов, что характерно для атмосферного фона Дальнегорского городского округа, на территории которого находятся крупные полиметаллические и боросиликатные месторождения, горнодобывающие и перерабатывающие предприятия. Кроме того, присутствуют уголь и зола, источниками которых в атмосферных взвешах являются котельные. Усредненная доля веществ в атмосферных взвешах Дальнегорска, по нашим наблюдениям, составила: галенит (PbS) – 0,8%, сфалерит (ZnS) – 2,1%, силикатные частицы – 4,9%, уголь – 8,2%.

В Спасске-Дальнем атмосферные взвеси изучали в свежевypавшем снеге и в смыве хвои. Среднее содержание фракции PM_{10} в атмосферном

воздухе Спасска-Дальнего составляет 25,23%, при этом в ряде проб содержание частиц этой фракции доходит до 60%.

Мы предположили, что основными источниками загрязнения атмосферы являются цементный завод, расположенный в городе, а также железная дорога и перевозимые по ней грузы. Частицы PM_{10} были обнаружены в больших количествах как вблизи предполагаемых источников микроразмерного загрязнения, так и на удалении от них. Так, доля частиц диаметром до 10 мкм на удалении от цементного завода составила: 58% PM_{10} в 10,2 км от НСЦЗ (точка 7), 49,7% в 12 км от НСЦЗ (точка 8). Эти данные подтверждают результаты предыдущих исследований, свидетельствующие о высоком уровне загрязнения атмосферы г. Спасск-Дальний частицами в микрометровом диапазоне (Кондратьев и др., 1994; Коломейцева, Христофорова, 2012; Kholodov et al., 2018b).

По результатам программной химической корреляции на основе рамановской спектроскопии во всех пробах было выявлено содержание частиц, спектр которых совпадает со спектром портландцемента на величину более 50% в долях, достигающих до 90% (в среднем, 79%). Таким образом, почти три четверти проанализированных частиц PM_{10} показывают сходство с цементом более 50%. В одной из проб (центр города), сходство со спектром цемента было обнаружено только в крупной фракции и лишь в доле 24%. По сравнению с остальными пробами это немного, но даже такое количество говорит о серьезной антропогенной нагрузке на город.

Следует отметить, что найденная нами цементная фракция близка по составу к кальциту ($CaCO_3$), широко распространенному на поверхности Земли. Однако мы считаем, что присутствие в химическом составе частиц оксида кальция (CaO), диоксида кремния (SiO_2), оксидов алюминия оксиды алюминия (Al_2O_3) и железа (Fe_2O_3) дополнительно указывает на то, что найденные нами частицы представляют собой цементный клинкер в различных стадиях распада под воздействием природной среды.

Пробы хвои были проанализированы на содержание тяжелых металлов. Мы обнаружили высокое содержание Zn (I класс опасности), Cr и Cu (II класс опасности), присутствие которых можно объяснить только техногенным воздействием на окружающую среду города.

Качественный анализ состава атмосферной взвеси города (Раздел 3.6.1) показал преобладание сферул и спеков термического происхождения, металлосодержащих частиц рваной формы (в основном, оксидов железа и стали), пористых шлакоподобных структур, полевого шпата, элементов горных пород (барит) и техногенного мусора. Сферулы состоят, в основном, из алюмосиликатов с железом и примесями других элементов. Очевидно, часть сферул в пробах являются техногенными продуктами сжигания топлив, возможно, золой уноса или иными продуктами сгорания (Gieré et al., 2003; Гребенников, 2011). Высока вероятность того, что источником по меньшей мере части таких сферул является цементный завод, на котором происходит термическая обработка сырья (Sánchez-Soberón et al., 2015; Rovira et al., 2018). Кроме того, присутствие в составе ряда частиц силикатов, алюмоферрита, оксида магния, хрома позволяет сделать предположение, что часть этих сферул может являться цементными продуктами.

Подобная картина наблюдается во всех точках отбора проб в г. Спасск-Дальний, что позволяет сделать вывод о том, что цементосодержащая фракция PM_{10} в больших долях распространяется на всю территорию г. Спасск-Дальний и его окрестностей, за редким исключением. Нельзя также исключать пыление с находящегося вблизи цементного завода известнякового карьера Длинногорского месторождения и иных стационарных источников загрязнения.

Исследование микроразмерного загрязнения атмосферы г. Спасск-Дальний с использованием методов лазерной дифрактометрии, рамановской спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии показало, что загрязнение частицами PM_{10} распространяется на всю территорию города и его окрестности, благодаря розе ветров (Рис. 81).

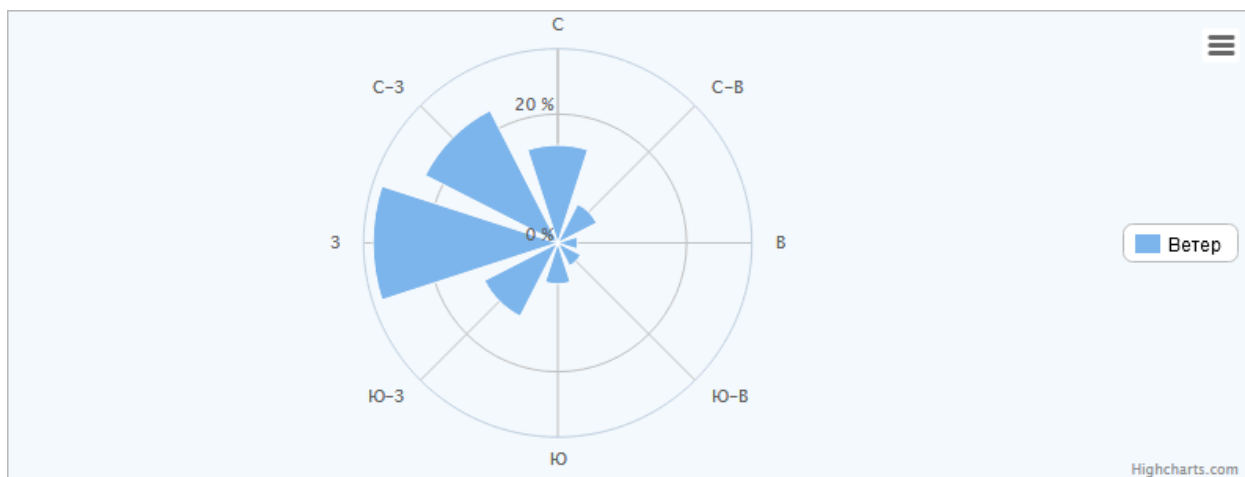


График ветра (направление - откуда дует ветер) в Спасске-Дальнем, с усредненными значениями согласно нашим данным.

С ▼ Северный	С-В ▲ Северо-Восто...	В ◀ Восточный	Ю-В ▶ Юго-Восточный	Ю ▲ Южный	Ю-З ◀ Южный-Запад...	З ▶ Западный	С-З ▲ Северо-Запад...
15.2%	6.8%	3.1%	4%	6.4%	12.8%	28.7%	23.1%

Рисунок 81. Роза ветров в г. Спасск-Дальний. Использован материал сайта world-weather.ru

Несмотря на то, что, как считается, применение фильтрационного оборудования позволяет значительно снизить выбросы пыли цементного завода в атмосферу, частички, цемента были обнаружены в атмосферной взвеси далеко за пределами санитарно-защитной зоны АО «Спасскцемент» – на расстоянии 12 км от проходной Новоспасского цементного завода.

Частицы размером до 10 мкм, в зависимости от состава, могут негативно влиять на здоровье человека, легко проникая в организм и адсорбируя большое количество токсичных веществ. Цемент и его компоненты могут являться причиной множества заболеваний и расстройств у человека, они несут угрозу окружающей среде. Таким образом, можно проследить взаимосвязь между выбросами взвешенных веществ в городе и общей заболеваемостью населения патологиями дыхательной системы.

Резюмируя материал данного раздела, можно сделать вывод, что при отсутствии градообразующих предприятий и иных мощных источников загрязнения атмосферы ситуация с микроразмерным загрязнением приземного воздуха в населенных пунктах с численностью населения от 10

до 50 тысяч жителей условно благоприятна, с пиками загрязнения фракцией PM_{10} в отдельных населенных пунктах. Однако, если в черте таких населенных пунктов и рядом с ними расположены предприятия промышленности, или действуют иные негативные факторы, то ситуация кардинально меняется, и частицы взвеси диаметром до 10 мкм обнаруживаются во всех точках отбора.

4.3. Населенные пункты с численностью жителей от 50 до 250 тысяч человек

Средний по числу жителей город (от 50 до 100 тыс. человек) в нашем исследовании представлен Арсеньевом, а большие города (до 100 до 250 тыс. чел.) – Уссурийском и Находкой (Раздел 2.1).

В этих городах совокупно фракция взвеси PM_{10} в атмосферном воздухе присутствует в долях от 0% до 49,2%, в среднем – 26,59%. Содержание фракции от 10 до 50 мкм составляет от 17,8% до 86,5%, в среднем – 44,51%. Доля самой крупной фракции (более 700 мкм) ниже, чем населенных пунктах других исследованных категорий, что говорит об антропогенной нагрузке, которую испытывают эти города. Она составляет от 0% до 38,5%, в среднем – 10,77%.

Уссурийск – большой город, испытывающий колоссальный техногенный пресс и к тому же расположенный в таком месте, где наблюдается плохая циркуляция приземного воздуха, что способствует накоплению загрязняющих веществ. Во всех пробах, отобранных в Уссурийске, мы выявили содержание взвеси размерной фракции PM_{10} в диапазоне от 17% до 39,1% (в среднем, 26,25%). Кроме того, в ряде проб содержание фракции PM_1 превысило 4%. В атмосферных взвесях обнаружены сажа, продукты неполного сгорания, угольная пыль, нано- и

микрочастицы металлов и их окислов (Fe, Cr, Cu, Au, W, Ti, Zn), алюмосиликаты (Голохваст и др., 2012а).

Полученные результаты позволяют сделать вывод о значительном загрязнении приземного слоя атмосферы Уссурийска микроразмерными частицами практически во всех его районах.

Находка представляет собой город со значительными автотранспортными потоками и дополнительным экологически значимым фактором в виде перевалки угля в черте города. Фракция взвеси PM_{10} присутствует в атмосферном воздухе в долях от 3,7% до 22% (в среднем, 13,07%). Кроме того, в точках отбора проб на мысе Астафьева, в жилом квартале, расположенном в границах санитарно-защитной зоны предприятия, занимающегося перевалкой угля, зафиксировано крайне высокое содержание частиц с диаметром до 50 мкм: от 71,5% до 86,5% (Kirichenko et al., 2017). Такие частицы являются потенциально опасными в зависимости от своего состава. Учитывая род деятельности предприятия, очевидно, что условия жизни людей в границах санитарно-защитной зоны могут быть приравнены к постоянному нахождению в производственных условиях. Угольная пыль является одним из сильнейших загрязнителей воздуха, а постоянный контакт с ней сопровождается повышенным уровнем заболеваемости (Экологический мониторинг..., 2017). Кроме того, значительная доля угольной пыли смыывается водяными пушками в море и вызывает его загрязнение (Лебедев и др., 2017).

Воздух города Арсеньева загрязняется выбросами котельных, выхлопами автотранспорта, естественными природными частицами, но при этом отмечается постепенное снижение техногенной нагрузки из-за общего спада объемов производства (Кику и др., 2017).

На всех 10 станциях отбора проб снега в Арсеньеве мы обнаружили частицы фракции PM_{10} в долях от 26,3% до 49,2% (в среднем, 38,04%), что свидетельствует о высоком уровне загрязнения воздуха микроразмерной

фракцией. Кроме того, на 4 станциях отбора проб содержание частиц PM_{10} превысило 5%.

Таким образом, гранулометрический анализ атмосферной взвеси средних и больших городов Приморского края показал, что микроразмерное загрязнение приземного воздуха в них превосходит уровень загрязнения в малых населенных пунктах. Очевидно, что большое количество предприятий, котельных, единиц автотранспорта, автодорог и развязок создает дополнительную нагрузку на окружающую среду, которая, в свою очередь, негативно влияет на здоровье жителей таких городов.

4.4 Методика ранжирования населенных пунктов (на примере Приморского края)

Для того, чтобы оценить влияние урбанизации и хозяйственной деятельности человека на окружающую среду и дать геоэкологическую оценку приземному слою атмосферы населенных пунктов Приморского края, мы разработали методику ранжирования населенных пунктов.

В методике используется балльная система критериев, которая включает в себя размерные параметры атмосферных взвесей (как известно, самые мелкие микрочастицы свидетельствуют о неблагоприятной экологической обстановке, а самая крупная фракция (более 700 мкм), как правило, состоящая из растительных частичек, косвенно свидетельствует об экологическом благополучии), долю металлов и сажи в пробах взвесей, а также наличие градообразующих предприятий.

Общее количество присвоенных населенному пункту баллов напрямую отражает экологическую напряженность, т.е. чем больше баллов, тем более неблагоприятна экологическая ситуация (табл. 48).

Критерии методики ранжирования населенных пунктов

Критерий	Вес критерия (балл), при содержании в пробах атмосферных взвесей, %				
	0-5%	5-10%	10-25%	25-45%	45-100%
Фракция РМ ₁	0	1	2	2	2
Фракция РМ ₁₀	0	0	0	1	2
Фракция от 10 до 50 мкм	0	0	0	1	2
Фракция более 700 мкм	1	1	1	0	0
Содержание металлов в пробах	0	0	0	1	1
Содержание сажи в пробах	0	0	0	1	1
<i>Наличие в населенном пункте крупного градообразующего предприятия</i>					
Предприятия строительной промышленности					2
Предприятия горнодобывающей промышленности					2
Предприятия по транспортировке и перевалке сыпучих грузов (цемент, уголь и т.д.)					2
Крупные предприятия энергетики					2

По результатам ранжирования населенным пунктам присваивается класс: 0-2 балла – благополучные; 3-4 балла – относительно благополучные; 5-6 баллов – относительно неблагополучные; 7-9 баллов – неблагополучные; 9-11 баллов – опасные.

Результаты ранжирования исследованных населенных пунктов Приморского края: благополучные – 11 (с. Уссурка, Новопокровка, Измайлиха, п. Горные Ключи, Пограничный, ЛДК, Славянка, гг. Арсеньев, Большой Камень, Лесозаводск, Фокино); относительно благополучные – 9 (с. Уборка, Чугуевка, п. Кавалерово, Ольга, Терней, Пластун, Посыет, Козьмино, Порт Восточный); относительно неблагополучные – 4 (гг. Дальнегорск, Находка, Спасск-Дальний, Уссурийск), неблагополучные – 0, опасные – 0.

Согласно нашим данным, уровень загрязнения атмосферного воздуха в населенном пункте, в большинстве случаев, находится в прямой зависимости от количества проживающих в нем жителей и наличия градообразующих предприятий.

Полученные в настоящем исследовании результаты указывают на необходимость ведения регулярного мониторинга состояния атмосферного воздуха в малых и средних населенных пунктах Приморского края, в особенности в тех, которые на основании ранжирования попали в группу «относительно неблагополучных». Показано, что действующие сегодня санитарно-эпидемиологические правила, касающиеся границ санитарно-защитных зон предприятий строительной промышленности, добычи руд, открытых складов и мест перегрузки угля (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03) не обеспечивают уменьшение воздействия загрязнения на атмосферный воздух до значений, установленных гигиеническими нормативами и до величин приемлемого риска для здоровья населения. Кроме того, зачастую санитарно-защитные зоны таких предприятий находятся в границах селитебных зон.

ВЫВОДЫ

1. В населенных пунктах с населением до 10 тысяч человек экологически значимая фракция взвеси 2 размерного класса присутствует в воздухе в среднем в доли 20,6%, фракция 3 класса – 15,6%. Доля самой крупной фракции 7 класса составляет в среднем 32,5%.

2. В атмосферном воздухе малых населенных пунктов с населением от 10 до 50 тыс. жителей фракция взвеси 2 размерного класса присутствует в среднем в доли 23,4%, фракция 3 класса – 22,5%. Доля самой крупной фракции 7 класса находится на том же высоком уровне, что и в населенных пунктах с числом жителей до 10 тыс. чел., и составляет в среднем 27%.

3. В городах с населением от 50 до 250 тысяч человек фракция взвеси 2 размерного класса составляет в среднем 26,5%, фракция 3 класса – 44,5%. Доля фракции 7 размерного класса ниже, чем населенных пунктах других исследованных категорий, что говорит об антропогенной нагрузке, которую испытывают эти города. Она составляет в среднем 10,7%.

4. Атмосферные взвеси населенных пунктов с количеством жителей до 10 тыс. человек преимущественно состоят из частиц кальцита, силикатов, органики, элементов горных пород, угля, золы. В атмосферных взвесях населенных пунктов до 50 тыс. чел. к перечисленным категориям частиц добавляются спеки термического происхождения, металлосодержащие частицы, цементосодержащие субстанции. Атмосферная взвесь городов с населением от 50 до 250 тыс. человек дополнительно содержит продукты неполного сгорания, нано- и микрочастицы металлов и их окислов (в том числе, благородных металлов), алюмосиликаты, техногенный мусор.

5. Установлено, что градообразующие предприятия в Приморском крае (цементный завод в г. Спасске-Дальнем, открытый угольный терминал в п. Посьет и горно-обоганительный комбинат в г. Дальнегорске) загрязняют атмосферу населенных пунктов микрочастицами цемента, угля и минералов.

При этом доля частиц диаметром до 10 мкм доходит в этих городах до 59,5; 45,35 и 53,5% от общего числа частиц в воздухе, соответственно.

6. На основании проведенного ранжирования с использованием предложенной методики исследованные населенные пункты Приморского края отнесены к «благополучным» (11 населенных пунктов), «относительно благополучным» (9 населенных пунктов) и «относительно неблагоприятным» (4 населенных пункта).

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеева, Е.Л. Характеристика атмосферных взвесей заповедника «Бастак» за 2012-2014 годы / Е.Л. Авдеева, И.Л. Ревуцкая, Е.С. Лонкина, В.Ю. Поляков // Матер. междунар. науч.-практ. конф. «Архитектура многополярного мира в XXI веке: экология, экономика, геополитика, культура и образование» в 3 ч., Биробиджан, 8 апреля 2016 г. – Биробиджан : Приамур. гос. ун-т им. Шолом-Алейхема, 2016. – Ч.1. – С. 4-7.
2. Алябышева, Е.А. Промышленная экология: учебное пособие / Е.А. Алябышева, Е.В. Сарбаева, Т.И. Копылова, О.Л. Воскресенская – Йошкар-Ола : Мар. гос. ун-т, 2010. – 110 с.
3. Аналитический обзор: качество воздуха в крупнейших городах России за десять лет. – СПб. : Астерион, 2009. – 133 с.
4. Артамонова, С.Ю. Геохимические особенности аэрозольного загрязнения в районе Сибирского химического комбината / С.Ю. Артамонова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012. – № 4. – С. 405-418.
5. Аэрозоли Сибири / И.С. Андреева, А.Н. Анкилов и др.; отв. ред. К.П. Куценогий. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2006. – 548 с. – (Интеграционные проекты СО РАН; вып. 9).
6. Бакланов, П.Я. География Приморского края / П.Я. Бакланов, Ю.Б. Зонов, М.Т. Романов, А.Н. Качур, Г.И. Пономарчук, Г.А. Какорина, И.К. Удалова, В.Д. Царева. – Владивосток : Уссури, 1997. – 180 с.
7. Безуглая, Э.Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов / Э.Ю. Безуглая. – Л. : Гидрометеиздат, 1980. – 184 с.
8. Безуглая, Э. Ю. Воздух городов и его изменения / Э.Ю. Безуглая, И.В. Смирнова. – СПб. : Астерион, 2008. – 253 с.
9. Белан, Б.Д. Сравнительная оценка состава воздуха промышленных городов Сибири / Б.Д. Белан, Г.А. Ивлев, А.С. Козлов, И.И. Маринайте, В.В.

Пененко, Е.В. Покровский, Д.В. Симоненков, А.В. Фофонов, Т.В. Ходжер // Оптика атмосферы и океана. – 2007. – № 20(5). – С. 428-437.

10. Берсенева, Ю.И. Состояние окружающей среды в Приморском крае: учеб.-метод. пособие / Ю.И. Берсенева, О.В. Сотникова, Б.В. Цой. – Владивосток : Всемирный фонд дикой природы, 2006. – 36 с.

11. Богатилов, О.А. Неорганические наночастицы в природе / О.А. Богатилов // Вестник РАН. – 2003. – Т.73, № 5. – С. 426-428.

12. Бородин, Н.А. Аккумуляция тяжелых металлов хвоей сосны в урбозкосистеме города Благовещенска / Н.А. Бородин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т.14, № 1(8). – С. 1958-1962.

13. Буторина, М.В. Инженерная экология и экологический менеджмент: учебник / М.В. Буторина, Л.Ф. Дроздова и др.; под ред. Н.И. Иванова, И.М. Фадин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Логос, 2003. – 477 с.

14. Василев, М.И. Химический состав снежного покрова на территории таежной зоны Республики Коми / М.И. Василев, В.А. Безносиков, Б.М. Кондратенков // Водные ресурсы. – 2011. – Т. 38, № 4. – С. 494-506.

15. Василенко, В.Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 181 с.

16. Гаррелс, Р. Эволюция осадочных пород / Р. Гаррелс, Ф. Макензи; пер. с англ. – М. : Мир, 1974. – 418 с.

17. Гильмундинов, В.М. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения регионов России / В.М. Гильмундинов, Л.К. Казанцева, Т.О. Тагаева, К.С. Кугаевская // Регион: экономика и социология. – 2013. – № 1. – С. 209-228.

18. Гичев, Ю.П. Биологические аспекты экологической обусловленности преждевременного старения (популяционной прогерии) и сокращения продолжительности жизни населения России / Ю.П. Гичев // Экология человека. – 2004. – № 6. – С. 30-34.

19. Глазовский, Н.Ф. Избранные труды в двух томах. Т. 1. Геохимические потоки в биосфере / Н.Ф. Глазовский. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2006. – 535 с.
20. Глушко, А.А. Экстремальная экология (человека и природы) / А.А. Глушко // Инженерная экология. – 2010. – Т. 91, вып. 1. – С. 4–24.
21. Глушкова, А.В. Нано-технологии и нанотоксикология – взгляд на проблему / А.В. Глушкова, А.С. Радилов, В.Р. Рембовский // Токсикологический вестник. – 2007. – № 6. – С. 4–8.
22. ГН 2.1.6.3492-17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. – М. : Моркнига, 2018. – 40 с.
23. Говорушко, С.М. Экологические проблемы добычи, транспортировки и переработки ископаемого топлива / С.М. Говорушко. – Владивосток : Дальнаука, 2014. – 208 с.
24. Говорушко, С.М. Влияние человека на природу: иллюстрированный атлас мира: учеб. пособие / С.М. Говорушко; отв. ред. В.И. Петухов. – Владивосток : Дальневост. федерал. ун-т, 2016. – 376 с.
25. Голохваст, К.С. Гранулометрический и минералогический анализ взвешенных в атмосферном воздухе частиц / К.С. Голохваст, Н.К. Христофорова, П.Ф. Кику, А.Н. Гульков // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2011. – № 2(40). – С. 94-100.
26. Голохваст, К.С. Анализ нано- и микрочастиц в снеге г. Уссурийск / К.С. Голохваст, Е.В. Соболева, П.А. Никифоров, Н.К. Христофорова, А.Н. Гульков // Вода: химия и экология. – 2012а. – № 11. – С. 108-112.
27. Голохваст, К.С. Экологическое значение гранулометрического метода исследования взвесей в выхлопном газе легковых автомобилей / К.С. Голохваст, В.В. Чернышев, П.А. Никифоров, Е.Г. Автомонов, Д.А. Глушенко, А.М. Паничев, А.Н. Гульков // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012б. – Т. 14, № 1-9. – С. 2405-2408.

28. Голохваст, К.С. Атмосферные взвеси городов Дальнего Востока: монография / К.С. Голохваст; отв. ред. Н.К. Христофорова. – Владивосток : Дальневост. федерал. ун-т, 2013а. – 178 с.
29. Голохваст, К.С. Профиль атмосферных взвесей в городах и его экологическое значение / К.С. Голохваст // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2013б. – № 49. – С. 87-91.
30. Голохваст, К.С. Состав атмосферных взвесей в Находкинском городском округе (Приморский край) / К.С. Голохваст, Я.Ю. Блиновская // Безопасность в техносфере. – 2014. – Т. 3, № 4. – С. 23-27.
31. Голохваст, К.С. Влияние крупного угольного терминала на состав атмосферных взвесей населенного пункта / К.С. Голохваст, В.В. Чайка, П.А. Никифоров, Я.Ю. Блиновская, Е.А. Филонова, В.А. Семенихин // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2015а. – № 56. – С. 73-77.
32. Голохваст, К.С. Микроразмерное загрязнение атмосферы небольших промышленных населенных пунктов Приморского края (Дальнегорск, Лучегорск, Рудная Пристань) / К.С. Голохваст, И.В. Серёдкин, В.В. Чайка, Т.Ю. Романова, А.А. Карабцов // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2015б. – № 55. – С. 108-112.
33. Голохваст, К.С. Атмосферная взвесь небольшого города Белогорска (Амурская область) / К.С. Голохваст, В.В. Чайка, С.Ю. Борисов, В.В. Кодинцев // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2016а. – № 59. – С. 69-72.
34. Голохваст, К.С. Нано- и микроразмерное загрязнение атмосферы заповедника «Бастак», вызванное техногенным влиянием города Биробиджана / К.С. Голохваст, И.Л. Ревуцкая, Е.С. Лонкина, А.В. Никитина, С.Ф. Соломенник, Т.Ю. Романова // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2016б. – № 61. – С. 36-41.
35. Голохваст, К.С. Экологическая характеристика атмосферных взвесей угольных объектов: от места добычи до сжигания / К.С. Голохваст, А.Н.

Куприянов, Ю.А. Манаков, А.И. Агошков // Горный журнал. – 2017. – № 4. – С. 87-90.

36. Гордеев, В.В. Тяжелые металлы в снежном и ледовом покрове Баренцева моря / В.В. Гордеев, А.П. Лисицын // Океанология. – 2005. – Т. 45, № 5. – С. 777-784.

37. Горчакова, А.Ю. О влиянии цементного производства на растения / А.Ю. Горчакова // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т. 16, № 1. – С. 120-126.

38. Горшков, А.Г. Хвоя сосны как тест-объект для оценки распространения органических поллютантов в региональном масштабе / А.Г. Горшков, Т.А. Михайлова, Н.С. Бережная, А.Л. Верещагин // Доклады Академии наук. – 2006. – Т. 408, № 2. – С. 247-249.

39. ГОСТ 17.1.5.05-85. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. – Переиздание. – М. : Стандартинформ, 2010. – 12 с.

40. ГОСТ 17.2.1.04-77. Охрана природы. Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы. Термины и определения. – Переиздание. – М. : Стандартинформ, 2004. – 11 с.

41. ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. – Переиздание. – М. : Стандартинформ, 2005. – 4 с.

42. ГОСТ 17.2.4.05-83. Охрана природы. Атмосфера. Гравиметрический метод определения взвешенных частиц пыли. – М. : Изд-во стандартов, 1984. 4 с.

43. ГОСТ Р ИСО 10155-2006. Выбросы стационарных источников. Автоматический мониторинг массовой концентрации твердых частиц. Характеристики измерительных систем, методы испытаний и технические требования. – М. : Стандартинформ, 2006. – 19 с.

44. Грабовская, А.А. Хвоя сосны обыкновенной как индикатор загрязнения воздуха / А.А. Грабовская, Н.С. Фомичёва // Матер. IV

междунар. науч.-практ. конф. студентов и магистрантов «Молодость. Интеллект. Инициатива», Витебск, 29 апреля 2016 г. – Витебск : ВГУ им. П.М. Машерова, 2016. – С. 33.

45. Гребенников, А.В. Эндогенные сферулы мел-палеогеновых игнимбритовых комплексов Якутинской вулcano-тектонической структуры (Приморье) / А.В. Гребенников // Записки Российского минералогического общества. – 2011. – Ч. СХХХХ, № 3. – С. 56-68.

46. Дзюба, О.В. Анализ воздействия предприятий по производству цемента на качество воздушной среды Российской Федерации / О.В. Дзюба, О.Н. Парамонова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 5-2(36). – С. 47-49.

47. Домокеев, А.Г. Строительные материалы: учебник для строительных вузов / А.Г. Домокеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1989. – 495 с.

48. Дорн, О.Ю. Комплексная клинико-лабораторная оценка риска развития гастропатий у рабочих пылеопасных профессий / О.Ю. Дорн, А.В. Ефремов, С.А. Песков, Е.Л. Потеряева, А.Б. Масленников // Бюллетень СО РАМН. – 2008. – № 1(129). – С. 106–111.

49. Дрозд, В.А. Годовые колебания частиц РМ₁₀ в воздухе Владивостока / В.А. Дрозд, П.Ф. Кику, В.Ю. Ананьев, Д.С. Жигаев, И.Г. Лисицкая, С.М. Олесик, А.С. Холодов, В.В. Иванов, В.В. Чайка, К.С. Голохваст // Известия Самарского научного центра РАН. – 2015а. – Т. 17, №5(2). – С. 645-651.

50. Дрозд, В.А. Перспективы введения системы автоматического мониторинга атмосферного загрязнения во Владивостоке / В.А. Дрозд, А.С. Холодов, В.В. Чайка, К.С. Голохваст // Известия Самарского научного центра РАН. – 2015б. – Т. 17, №5(2). – С. 447-450.

51. Елпатьевский, П.В. Аэральная компонента материальной основы почвообразования на Юге Приморья / П.В. Елпатьевский, В.С. Аржанова, Н.Г. Разжигаева // Почвоведение. – 1993. – № 11. – С. 5-8.

52. Еремейшвили, А.В. Некоторые особенности содержания цинка, свинца, меди и кадмия в снежном покрове г. Углича / А.В. Еремейшвили, М.В. Степанова // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2010. – Т. 53, № 7. – С. 59-63.
53. Ермаченков, И. Мутная вода, пыльное небо / И. Ермаченков // Экология и право. – 2016. – №1(61). – С. 28-31.
54. Защита атмосферного воздуха от антропогенного загрязнения. Основные понятия, термины и определения: справочное пособие / под общ. ред. В.Б. Миляева, Н.С. Буренина. – СПб. : НИИ Атмосфера, 2003. – 64 с.
55. Ивлев, Л.С. Физика атмосферных аэрозольных систем / Л.С. Ивлев, Ю.А. Довгальук. – СПб. : НИИХ СПбГУ, 1999. – 194 с.
56. Игнатенко, О.В. Распределение загрязняющих веществ в снежном покрове в зоне влияния выбросов ОАО «ЦКК» И ИТЭЦ-6 / О.В. Игнатенко, Е.М. Бородина, Н.А. Мещерова // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. – 2007. – №1. – С. 104-109.
57. Качур, А.Н. Некоторые особенности химического состава атмосферных осадков в связи с техногенезом / А.Н. Качур // В кн.: Геохимия зоны гипергенеза и техническая деятельность человека. – Владивосток : Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1976. – С. 28-47.
58. Качур, А.Н. Содержания микроэлементов в снежном покрове Сихотэ-Алинского биосферного района и долине реки Рудной / А.Н. Качур, И.И. Кондратьев, В.Г. Свинухов // Экологические проблемы Дальнегорского района: тез. науч.-практ. семинара. – Дальнегорск, 1989. – С. 12.
59. Кику, П.Ф. Среда обитания и экологозависимые заболевания человека: монография / П.Ф. Кику, С.Н. Бениова, Б.И. Гельцер. – Владивосток : Дальневост. федерал. ун-т, 2017. – 390 с.
60. Козинцев, В.В. Атмосферная взвесь небольших городов Амурской области / В.В. Козинцев, К.С. Голохваст // Проблемы региональной экологии. – 2015. – № 3. – С. 148-151.

61. Козинцев, В.В. Ультразвуковой смыв с хвои как новый достоверный способ исследования микроразмерного загрязнения атмосферы / В.В. Козинцев, В.А. Дрозд, И.В. Середкин, А.С. Холодов, Н.Ю. Анисимов, К.С. Голохваст // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2017. – № 65. – С. 90-93.
62. Коломейцева, О.Л. Сравнительная оценка загрязнения атмосферного воздуха двух промышленных городов Приморского края – Уссурийска и Спасска-Дальнего / О.Л. Коломейцева, Н.К. Христофорова // Вестник РУДН. Серия: экология и безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 4. – С. 76-81.
63. Кондратьев, И.И. Метеорологические, геохимические и медицинские аспекты загрязнения природной среды г. Спасска-Дальнего Приморского края / И.И. Кондратьев, В.Г. Свинухов, М.В. Фокин, Н.А. Черпак. – Владивосток : Изд-во Дальневост. гос. ун-та, 1994. – 182 с.
64. Кондратьев, И.И. Трансграничный атмосферный перенос аэрозоля и кислотных осадков на Дальний Восток России / И.И. Кондратьев. – Владивосток : Дальнаука, 2014. – 300 с.
65. Кондратьев, К.Я. Атмосферный аэрозоль как климатообразующий компонент атмосферы. 1. Свойства аэрозоля различных типов / К.Я. Кондратьев // Оптика атмосферы и океана. 2004. – Т. 17, № 1. – С. 5-24.
66. Котляр, Е.В. Загрязнение атмосферного воздуха Уссурийска по данным социально-гигиенического мониторинга / Е.В. Котляр // Здоровье. Медицинская экология. Наука. – 2016. – №3(66). – С. 197-201.
67. Кошелев, С.Н. Содержание токсикантов в снежном покрове, воде и почве северо-западной территории Курганской области / С.Н. Кошелев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2005. – Т. 4, № 8-1. – С. 31-34.
68. Краева, Е.В. Влияние промвыбросов предприятия «Мальцевский портландцемент» на устойчивость сосны / Е.В. Краева // Матер. всерос. совещ. «Биологическое разнообразие лесных экосистем», Москва, ноябрь 1995 г. – М., 1995. – С. 269-271.

69. Кубай, Б.В. Изменяется ли климат Приморского края? / Б.В. Кубай, Э.А. Мендельсон, Т.В. Цурикова. – Владивосток : Изд. Примгидромета, 2012. – 130 с.
70. Кульский, Л.А. Вода знакомая и загадочная / Л.А. Кульский, В.В. Даль, Л.Г. Ленчина. – К. : «Радянська школа», 1982. – 120 с.
71. Куценогий, К.П. Аэрозоли Сибири. Итоги семилетних исследований / К.П. Куценогий, П.К. Куценогий // Сибирский экологический журнал. – 2000. – №1. – С. 11-20.
72. Лебедев, А.А. Влияние угольного терминала на состав морских взвесей залива Находка (Японское море) / А.А. Лебедев, О.А. Тихонова, Я.Ю. Блиновская, В.В. Чайка, А.В. Кирьянов, Н.К. Христофорова, К.С. Пикула, В.П. Шевченко, К.С. Голохваст // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2017. – № 48. – С. 195-201.
73. Лебедев, А.Т. Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды / А.Т. Лебедев. – М. : Техносфера, 2013. – 632 с.
74. Лисицын, А.П. Процессы океанской седиментации / А.П. Лисицын. – М. : Наука, 1978. – 389 с.
75. Лучанинова, В.Н. Региональные факторы и здоровье детей и подростков Приморского края / В.Н. Лучанинова, М.М. Цветкова, Е.Б. Кривелевич. – Владивосток : Медицина ДВ, 2012. – 300 с.
76. Мельчаков, Ю.Л. Закономерности элементопереноса в системе «почва–атмосфера» (на примере Северного Урала) / Ю.Л. Мельчаков // Литосфера. – 2008. – № 2. – С. 133-138.
77. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. – М. : ИМГРЭ, 1990.
78. Наумов, Ю.А. Особенности, тенденции и последствия загрязнения атмосферы городов Приморского края / Ю.А. Наумов, О.В. Подкопаева // Территория новых возможностей. – 2013. – №4(22). – С. 155-171.

79. Нецветаева, О.Г. Химический состав и кислотность атмосферных осадков в Прибайкалье / О.Г. Нецветаева, Т.В. Ходжер, В.А. Оболкин, Н.А. Кобелева, Л.П. Голобокова, И.В. Коровякова, М.П. Чубаров // Оптика атмосферы и океана. – 2000. – Т. 13, № 6-7. – С. 618-621.

80. Новикова, И.И. Гигиеническая оценка влияния среды обитания крупного промышленного города на здоровье детей и подростков / И.И. Новикова // Здоровье населения и среда обитания. – 2005. – № 10(151). – С. 38-41.

81. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2016 году: Государственный доклад. – М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2017. – 220 с.

82. Петросова, Р.А. Естествознание и основы экологии: учебное пособие / Р.А. Петросова, В.П. Голов, В.И. Сивоглазов, Е.К. Страут. – М. : Дрофа, 2014. – 303 с.

83. Поляков, Д.М. Ртуть в донных отложениях маргинального фильтра р. Раздольная (Амурский залив) / Д.М. Поляков, К.И. Аксентов, М.В. Иванов // Геохимия. – 2008. – № 6. – С. 666-673.

84. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. – М. : Минсельхоз, 2017. – 153 с.

85. Приказ Росстата от 01.10.2010 № 336 О проведении в 2011 году пилотного обследования природоохранных расходов [Электронный ресурс]. – М. : Росстат, 2010. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902244261>

86. Протасов, В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России: учебное и справочное пособие / В.Ф. Протасов. – 3-е изд. – М. : Финансы и статистика, 2001. – 672 с.

87. Райст, П. Аэрозоли. Введение в теорию / П. Райст. – М. : Мир, 1987. – 278 с.
88. Рахманин, Ю. А. Методологические проблемы оценки угроз здоровью человека факторов окружающей среды / Ю.А. Рахманин, С.М. Новиков, Г.И. Румянцев // Гигиена и санитария. – 2003. – № 6. – С. 3-7.
89. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – М. : Госкомгидромет СССР, 1991. – 684 с.
90. РД 52.04.830-2015. Массовая концентрация взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ в атмосферном воздухе. Методика измерений гравиметрическим методом. – СПб. : Росгидромет, 2015. 33 с.
91. РД 52.04.840-2015. Применение результатов мониторинга качества атмосферного воздуха, полученных с помощью методов непрерывных измерений. – СПб. : Росгидромет, 2016. – 49 с.
92. Ревич, Б.А. Основы оценки воздействия загрязненной окружающей среды на здоровье человека. Пособие по региональной и экологической политике / Б.А. Ревич, С.Л. Авалиани, П.И. Тихонова. – М. : Акрополь, ЦЭПР, 2004. – 268 с.
93. Ревич, Б.А. К оценке влияния деятельности ТЭК на качество окружающей среды и здоровье населения / Б.А. Ревич // Проблемы прогнозирования. – 2010. – № 4. – С. 87-99.
94. Санина, Н.Б. Геохимические исследования снегового покрова Байкальского биосферного заповедника (в связи с проблемой деградации пихтовых лесов северного склона хр. Хамар-Дабан) / Н.Б. Санина, О.А. Складорова, С.Б. Костин // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2003. – №2. – С. 120-129.
95. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. – Переиздание. – М. : Моркнига, 2018. – 48 с.

96. Свинухов, В.Г. Исследование, моделирование и прогноз загрязнения атмосферы в городе : автореф. дисс. ... д-ра геогр. наук : 11.00.11/ Свинухов Владимир Геннадьевич. – Владивосток, 1997. – 44 с.
97. Сенотрусова, С.В. Загрязнение атмосферы и состояние здоровья населения промышленных городов / С.В. Сенотрусова. – СПб. : Астерион, 2004. – 246 с.
98. Симонова, И.Н. Влияние наночастиц воздушной среды на состояние бронхолегочной системы / И.Н. Симонова, М.В. Антонюк, Т.И. Виткина // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2013. – № 49. – С. 115-120.
99. Скворцов, В.А. Мониторинг ртути из снежного покрова вблизи предприятий химической промышленности / В.А. Скворцов, К.В. Чудненко // Известия Иркутского государственного университета. Серия: науки о Земле. – 2010. – Т. 3, № 2. – С. 156–166.
100. СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89. – М. : Стандартинформ, 2011. – 114 с.
101. Степанова, Н.В. Оценка загрязнения городской территории по содержанию тяжелых металлов в снежном покрове / Н.В. Степанова, Р.Я. Хамитова, Р.С. Петрова // Гигиена и санитария. – 2003. – № 2. – С. 18-21.
102. Степанова, Н.В. Методы оценки загрязнения городских территорий тяжелыми металлами / Н.В. Степанова, С.Ф. Фомина // Научный альманах. – 2015. – № 7(9). – С. 913-916.
103. Степановских, А.С. Экология. Учебник для вузов / А.С. Степановских. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 703 с.
104. Степкин, Ю.И. Оценка вклада загрязнения атмосферного воздуха от производства шин в риск для здоровья населения / Ю.И. Степкин, М.К. Кузмичев, И.В. Журихина // Здоровье населения и среда обитания. – 2008. – № 7. – С. 55-57.

105. Столбун, О.А. О загрязнении атмосферного воздуха в Уссурийске / О.А. Столбун, О.И. Савлукова, Е.В. Котляр // Здоровье. Медицинская экология. Наука. – 2012. – № 3-4. – С. 163-167.

106. Турбина, Е.С. Влияние загрязнения атмосферного воздуха взвешенными веществами на состояние здоровья детей города Биробиджана / Е.С. Турбина // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. – № 1(7). – С. 1710-1714.

107. Удачин, В.Н. Химический состав атмосферных осадков Южного Урала / В.Н. Удачин, М. Джейджи, П.Г. Аминов, Г.Ф. Лонщикова, К.А. Филиппова, В.В. Дерягин, Л.Г. Удачина // Естественные и технические науки. – 2010. – № 6. – С. 304-311.

108. Уланова, Т.С. Исследование содержания мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе вблизи автомобильных дорог / Т.С. Уланова, М.В. Антипьева, М.В. Волкова, М.И. Гилёва // Анализ риска здоровью. – 2016. – № 4(16). – С. 38-46.

109. Фалалеева, Н.А. Экология шлаковых цементов и бетонов / Н.А. Фалалеева, А.Г. Фалалеев. – Владивосток : Изд-во Дальневост. гос. ун-та, 2010. – 174 с.

110. Филонова, Е.А. Угольные терминалы в Приморском крае – источник микроразмерного загрязнения атмосферы / Е.А. Филонова, А.С. Холодов, В.В. Чайка, В.А. Дрозд, Д.А. Саланин, Я.Ю. Блиновская, К.С. Голохваст // Проблемы региональной экологии. – 2016. – № 5. – С. 104-107.

111. Фукс, Н.А. Механика аэрозолей / Н.А. Фукс. – М. : Изд-во АН СССР, 1955. – 353 с.

112. Холодов, А.С. Исследование микроразмерного загрязнения атмосферы г. Большой Камень (Приморский край) / А.С. Холодов, С.М. Угай, В.А. Дрозд, К.С. Голохваст // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2016а. – № 59. – С. 73-76.

113. Холодов, А.С. Исследование микроразмерного загрязнения атмосферы пгт. Пограничный (Приморский край) / А.С. Холодов, С.М. Угай,

В.А. Дрозд, К.С. Голохваст // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 20166. – № 61. – С. 42-45.

114. Христофорова, Н.К. Экологические проблемы региона: Дальний Восток – Приморье: учебное пособие / Н.К. Христофорова. – Владивосток; Хабаровск: Хабаровск. кн. изд-во, 2005. – 304 с.

115. Чомаева, М.Н. Промышленная пыль как вредный производственный фактор / М.Н. Чомаева // Национальная безопасность и стратегическое планирование. – 2015. – № 2-1(10). – С. 119-122.

116. Шаров, П.О. Загрязнение свинцом пос. Рудная Пристань и его влияние на здоровье детей / П.О. Шаров. – Владивосток : Дальнаука, 2005. – 132 с.

117. Шевченко, В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике / В.П. Шевченко. – М. : Наука, 2006. – 226 с.

118. Шумилова, М.А. Снежный покров как универсальный показатель загрязнения городской среды на примере Ижевска / М.А. Шумилова, О.В. Садидуллина // Вестник Удмуртского университета. – 2011. – № 2. – С. 91-96.

119. Экологический мониторинг в районах угледобычи / Ю.А. Манаков, А.Н. Куприянов, Т.О. Стрельникова, В.И. Уфимцев, О.А. Куприянов, М.М. Силантьева, А.Ю. Гребенникова, К.С. Голохваст, С.В. Лукьянцев; отв. ред. А.Н. Куприянов. – Новосибирск: Академическое изд-во «ГЕО», 2017. – 208 с.

120. Энциклопедия по безопасности и гигиене труда в 4 т. Т. 1. Организм. Охрана здоровья. Управление и политика. Методология и практика / гл. ред. А.П. Починок; пер. с англ. – 4-е изд. – М. : М-во тр. и соц. развития, 2001. – 1279 с.

121. Юшкин, Н.П. Минеральный мир и здоровье человека / Н.П. Юшкин // Вестник отделения наук о Земле РАН. – 2004. – № 1(22). – 10 с.

122. Юшкин, Н.П. Происхождение биосферы и коэволюция минерального и биологического миров / Н.П. Юшкин, А.М. Асхабов, Л.А. Анищенко, Т.М. Безносова, П.А. Безносов, Д.А. Бушнев, Е.А. Голубев, В.И. Каткова, Д.В. Камашев, О.В. Ковалева, В.Ю. Лукин, Г.Н. Лысюк, В.П. Лютое, В.И. Ракин,

Д.Б. Соболев, О.П. Тельнова, В.С. Цыганко, С.Н. Шанина. – Сыктывкар : ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2007. – 202 с.

123. Янченко, Н.И. Распределение сульфатов в снежном покрове в зоне влияния алюминиевого завода / Н.И. Янченко // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 10. – С. 40.

124. Adverse effects of engineered nanomaterials. Exposure, toxicology, and Impact on human health / ed. by B. Fadeel, A. Pietroiusti, A. Shvedova. – London: Academic Press, 2012. – 360 p.

125. Air quality standards [Электронный ресурс]. – European Commission. – Режим доступа: <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>.

126. Air quality standards and air pollution level [Электронный ресурс]. – Sejong : Ministry of Environment. – Режим доступа: <http://eng.me.go.kr/eng/web/index.do?menuId=253&>.

127. Akagi, S.K. Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models / S.K. Akagi, R.J. Yokelson, C. Wiedinmyer, M.J. Alvarado, J.S. Reid, T. Karl, J.D. Crounse, P.O. Wennberg // Atmos. Chem. Phys. – 2011. – Vol. 11. – P. 4039-4072.

128. Akimoto, H. Global air quality and pollution / H. Akimoto // Science. – 2003. – Vol. 302, Is. 5651. – P. 1716-1719.

129. Alonso-Pérez, S. African dust source regions for observed dust outbreaks over the Subtropical Eastern North Atlantic region, above 25°N / S. Alonso-Pérez, E. Cuevas, X. Querol, J.C. Guerra, C. Pérez // J. Arid Environ. – 2012. – Vol. 78. – P. 100-109.

130. Amato, F. Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities / F. Amato, M. Pandolfi, T. Moreno, M. Furger, J. Pey, A. Alastuey, N. Bukowiecki, A.S.H. Prevot, U. Baltensperger, X. Querol // Atmospheric Environment. – 2011. – Vol. 45, No. 37. – P. 6777-6787.

131. Ambient air quality standard GB 3095-2012 [Электронный ресурс]. – Beijing : Ministry of Ecology and Environment, 2012. – 12 p. – Режим доступа: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/chn136756.pdf>.

132. Aminian, O. Cross-shift study of acute respiratory effects in cement production workers / O. Aminian, M. Aslani, H.K. Sadeghniaat // *Acta Medica Iranica*. – 2014. – Vol. 52(2). – P. 146-52.
133. Ansmann, A. Profiling of fine and coarse particle mass: case studies of Saharan dust and Eyjafjallajökull/Grimsvötn volcanic plumes / A. Ansmann, P. Seifert, M. Tesche, U. Wandinger // *Atmos. Chem. Phys.* – 2012. – No. 12. – P. 9399-9415.
134. Bazas, T. Effects of occupational exposure to dust on the respiratory system of cement workers / T. Bazas // *The Journal of the Society of Occupational Medicine*. – 1980. – Vol. 30. – P. 31-36.
135. Bein, K.J. Identification of sources of atmospheric PM at the Pittsburgh Supersite – Part III: Source characterization / K.J. Bein, Y. Zhao, M.V. Johnston, A.S. Wexler // *Atmospheric Environment*. – 2007. – Vol. 41(19). – P. 3974-3992.
136. Bensted, J. Uses of Raman spectroscopy in cement chemistry / J. Bensted // *Journal of the American Ceramic Society*. – 1976. – Vol. 59, Is. 3-4. – P. 140-143.
137. Bertoldi, M. Health effects for the population living near a cement plant: an epidemiological assessment / M. Bertoldi, A. Borgini, A. Tittarelli, E. Fattore, A. Cau, R. Fanelli, P. Crosignani // *Environment International*. – 2012. – Vol. 41. – P. 1–7.
138. Bond, T.C. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment / T.C. Bond, S.J. Doherty, D.W. Fahey, P.M. Forster, T. Berntsen, B.J. DeAngelo, M.G. Flanner, S. Ghan, B. Kärcher, D. Koch, S. Kinne, Y. Kondo, P.K. Quinn, M.C. Sarofim, M.G. Schultz, M. Schulz, C. Venkataraman, H. Zhang, S. Zhang, N. Bellouin, S.K. Guttikunda, P.K. Hopke, M.Z. Jacobson, J.W. Kaiser, Z. Klimont, U. Lohmann, J.P. Schwarz, D. Shindell, T. Storelvmo, S.G. Warren, C.S. Zender // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. – 2013. – Vol. 118(11). – P. 5380-5552.

139. Bonen, D. Characterization of principal clinker minerals by FT-Raman microspectroscopy / D. Bonen, T.J. Johnson, S.L. Sarkar // *Cem. Concr. Res.* – 1994. – Vol. 24(5). – P. 959-965.

140. Brines, M. Traffic and nucleation events as main sources of ultrafine particles in high-insolation developed world cities / M. Brines, M. Dall'Osto, D.C.S. Beddows, R.M. Harrison, F. Gómez-Moreno, L. Núñez, B. Artíñano, F. Costabile, G.P. Gobbi, F. Salimi, L. Morawska, C. Sioutas, X. Querol // *Atmos. Chem. Phys.* – 2015. – Vol. 15. – P. 5929–5945.

141. Brook, R.D. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert panel on population and prevention science of the American Heart Association / R.D. Brook, B. Franklin, W. Cascio, Y. Hong, G. Howard, M. Lipsett, R. Luepker, M. Mittleman, J. Samet, S.C. Smith Jr., I. Tager // *Circulation.* – 2004. – Vol. 109(21). – P. 2655–2671.

142. Carvalho, A. Forest fires in a changing climate and their impacts on air quality / A. Carvalho, A. Monteiro, M. Flannigan, S. Solman, A.I. Miranda, C. Borrego // *Atmospheric Environment.* – 2011. – Vol. 45, No. 31. – P. 5545-5553.

143. Chernyshev, V.V. Morphological and chemical composition of particulate matter in motorcycles engine exhaust / V.V. Chernyshev, A.M. Zakharenko, S.M. Ugay, T.T. Hien, L.H. Hai, A.S. Kholodov, T.I. Birykina, A.K. Stratidakis, Ya.O. Mezhuev, A.M. Tsatsakis, K.S. Golokhvast // *Toxicology Reports.* – 2018a. – Vol. 5. – P. 224-230.

144. Chernyshev, V.V. Morphological and chemical composition of particulate matter in buses exhaust / V.V. Chernyshev, A.M. Zakharenko, S.M. Ugay, T.T. Hien, L.H. Hai, S.M. Olesik, A.S. Kholodov, E. Zubko, M. Kokkinakis, T.I. Burykina, A.K. Stratidakis, Ya.O. Mezhuev, D.A. Sarigiannis, A.M. Tsatsakis, K.S. Golokhvast // *Toxicology Reports.* – 2018b. – Vol. 6. – P. 120-125.

145. Clancy, L. Effect of air-pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study / L. Clancy, P. Goodman, H. Sinclair, D.W. Dockery // *The Lancet.* – 2002. – Vol. 360. – P. 1210-1214.

146. Dockery, D.W. Cardiovascular Risks from Fine Particulate Air Pollution / D.W. Dockery, P.H. Stone // The New England Journal of Medicine. – 2007. – Vol. 356. – P. 511-513.

147. Donato, F. Mortality and cancer morbidity among cement production workers: a meta-analysis / F. Donato, G. Garzaro, E. Pira, P. Boffetta // International archives of occupational and environmental health. – 2016. – Vol. 89(8). – P. 1155-1168.

148. Drozd, V.A. Potential toxic risk from the nano- and microparticles in the atmospheric suspension of Russky Island (Vladivostok) / V.A. Drozd, A.S. Kholodov, A.I. Agoshkov, V.I. Petukhov, Ya.Yu Blinovskaya, V.P. Lushpey, Yu.A. Vasyanovich, S.F. Solomennik, A.A. Fatkulin, V.V. Slesarenko, A.N. Minaev, A.N. Gulkov, K.S. Golokhvast // Der Pharma Chemica. – 2016. – Vol. 8, No. 11. – P. 231-235.

149. El-Moaty, Z.A. Impact of cement dust on some biological parameters of *Trachyderma hispida* (Coleoptera: Tenebrionidae) inhabiting the vicinity of a cement factory, Mariout region, Alexandria, Egypt / Z.A. El-Moaty, D.A. Kheirallah, D.A. Elgendy // Journal of Entomology and Zoology Studies. – 2016. – Vol. 4(5). – P. 797-805.

150. El-Sewefy, A.Z. Clinical, electron microscope and biochemical studies on a case of cementosis in Egypt / A.Z. El-Sewefy, O.M. Metwalli // Journal of the Egyptian Medical Association. – 1970. – Vol. 53, Is. 7. – P. 558-562.

151. Eom, S.Y. Increased incidence of respiratory tract cancers in people living near Portland cement plants in Korea / S.Y. Eom, E.B. Cho, M.K. Oh, S.S. Kweon, H.S. Nam, Y.D. Kim, H. Kim // International Archives of Occupational and Environmental Health. – 2017. – Vol. 90(8). – P. 859-864.

152. Fell, A.K.M. Association between exposure in the cement production industry and non-malignant respiratory effects: a systematic review [Электронный ресурс] / A.K.M. Fell, K.C. Nordby // BMJ Open. – 2017. – Vol. 7, Is. 4. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-012381>.

153. Fordyce, F. Selenium deficiency and toxicity in the environment / F. Fordyce // В кн.: Essentials of medical geology: impacts of the natural environment on public health. – Amsterdam ; Boston : Elsevier Academic Press, 2005. – P. 373–415.
154. Gieré, R. Micro- and nanochemistry of fly ash from a coal-fired power plant / R. Gieré, L.E. Carleton, G.R. Lumpkin // American Mineralogist. – 2003. – Vol. 88. – P. 1853–1865.
155. Giordano, F. Impact of cement production emissions on health: effects on the mortality patterns of the population living in the vicinity of a cement plant / F. Giordano, F. Grippo, V. Perretta, I. Figà-Talamanca // Fresenius Environmental Bulletin. – 2012. – Vol. 21, No. 7a. – P. 1909-1913.
156. Gizaw, Z. Chronic respiratory symptoms and associated factors among cement factory workers in Dejen town, Amhara regional state, Ethiopia, 2015 [Электронный ресурс] / Z. Gizaw, B. Yifred, T. Tadesse // Multidisciplinary Respiratory Medicine. – 2016. – Vol. 11, Is. 13. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1186/s40248-016-0043-6>.
157. Golokhvast, K.S. Airborne biogenic particles in the snow of the cities of the Russian Far East as potential allergic compounds [Электронный ресурс] / K.S. Golokhvast // Journal of Immunology Research. – 2014. – Vol. 2014, 141378. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1155/2014/141378>.
158. Golokhvast, K.S. Impact of atmospheric microparticles on the development of oxidative stress in healthy residents of city - industrial seaport [Электронный ресурс] / K. Golokhvast, T. Vitkina, T. Gvozdenko, V. Kolosov, V. Yankova, E. Kondratieva, A. Gorkavaya, A. Nazarenko, V. Chaika, T. Romanova, A. Karabtsov, J. Perelman, P. Kiku, A. Tsatsakis // Oxidative Medicine and Cellular Longevity. – 2015. – Vol. 2015. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1155/2015/412173>.
159. Gope, M. Tracing source, distribution and health risk of potentially harmful elements (PHEs) in street dust of Durgapur, India / M. Gope, R.E. Masto,

J. George, S. Balachandran // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2018. – Vol. 154. – P. 280-293.

160. Heidorn, K. And now... the weather / K. Heidorn. – Fifth House Publishers, 2005. – 365 p.

161. Hoek, G. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study / G. Hoek, B. Brunekreef, S. Goldbohm, P. Fischer, P.A. van Den Brandt // *The Lancet*. – 2002. – Vol. 360, Is. 9341. – P. 1203-1209.

162. Hoet, P.H.M. Nanoparticles – known and unknown health risks [Электронный ресурс] / P.H.M. Hoet, I. Bröske-Hohlfeld, O.V. Salata // *Journal of Nanobiotechnology*. – 2004. – No. 2(12). – Режим доступа: <https://doi.org/10.1186/1477-3155-2-12>.

163. Holzapfel, E.P. Transoceanic airplane sampling for organisms and particles / E.P. Holzapfel // *Pacific Insects*. – 1978. – Vol. 18, No. 3-4. – P. 169-189.

164. Hong, K.Y. Seasonal ambient particulate matter and population health outcomes among communities impacted by road dust in British Columbia, Canada / K.Y. Hong, G.H. King, A. Saraswat, S.B. Henderson // *Journal of the Air & Waste Management Association*. – 2017. – No. 67(9). – P. 986-999.

165. Hu, Q.-H. Levoglucosan indicates high levels of biomass burning aerosols over oceans from the Arctic to Antarctic [Электронный ресурс] / Q.-H. Hu, Z.Q. Xie, X.M. Wang, H. Kang, P. Zhang // *Scientific Reports*. – 2013. – Vol. 3(3119). – Режим доступа: <https://doi.org/10.1038/srep03119>.

166. Ishtiaq, M. Potential harmful elements in coal dust and human health risk assessment near the mining areas in Cherat, Pakistan / M. Ishtiaq, N. Jehan, S.A. Khan, S. Muhammad, U. Saddique, B. Iftikhar, Zahidullah // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2018. – Vol. 25, Is. 15. – P. 14666–14673.

167. Karagulian, F. Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level / F. Karagulian,

C.A. Belis, C.F.C. Dora, A.M. Prüss-Ustün, S. Bonjour, H. Adair-Rohani, M. Amann // *Atmospheric Environment*. – 2015. – Vol. 120. – P. 475-483.

168. Kholodov, A.S. Complex research of the particles which cause air pollution by laser granulometry, Raman-spectrometry and IR-spectrometry [Электронный ресурс] / A.S. Kholodov, K.S. Golokhvast // *Proc. SPIE – Asia-Pacific Conference on Fundamental Problems of Opto- and Microelectronics*. – 2016. – Vol. 10176. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1117/12.2268229>.

169. Kholodov, A. Data on microscale atmospheric pollution of Bolshoy Kamen town (Primorsky region, Russia) [Электронный ресурс] / A. Kholodov, S. Ugay, V. Drozd, N. Maiss, K. Golokhvast // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2017a. – Vol. 90, 012023. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/90/1/012023>.

170. Kholodov, A.S. Microscale atmospheric pollution in some small and medium-sized settlements of Primorsky Region (Russian Federation) – results of particle size analysis [Электронный ресурс] / A.S. Kholodov, S.M. Ugay, V.A. Drozd, K.S. Golokhvast // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2017b. – Vol. 87, 042007. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/4/042007>.

171. Kholodov, A. Microscale atmospheric pollution of Pogranichny settlement (Primorsky region, Russia) [Электронный ресурс] / A. Kholodov, S. Ugay, V. Drozd, A. Agoshkov, K. Golokhvast // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2017c. – Vol. 90, 012024. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/90/1/012024>.

172. Kholodov, A. Coal terminal in urban settlement Posyet (Primorsky Krai, Russia) causes micro-sized pollution of the atmosphere [Электронный ресурс] / A. Kholodov, A. Lebedev, V. Drozd, S. Ugay, K. Golokhvast // *E3S Web Conf.* – 2018a. – Vol. 41, 02014. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184102014>.

173. Kholodov, A. The Influence of cement plant on the atmospheric pollution with microscale particulate matter in Spassk-Dalny town (Primorsky Region,

Russia) – particle size analysis / A. Kholodov, S. Ugay S, V. Drozd, S. Gulkova, K. Golokhvast // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2018b. – Vol. 692. – P. 1017-1023.

174. Kirichenko, K.Yu. The study of pollution of atmospheric particulate matter with coal dust in Nakhodka city [Электронный ресурс] / K.Yu. Kirichenko, V.B. Savranskiy, V.A. Drozd, A.S. Kholodov, K.S. Golokhvast // *AIP Conf. Proc.* – 2017. – Vol. 1874, 040016. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1063/1.4998089>.

175. Kulmala, M. Overview of the biosphere–aerosol–cloud–climate interactions (BACCI) studies / M. Kulmala, V.-M. Kerminen, Laaksonen A. et al. // *Tellus Series B: Chemical and Physical Meteorology*. – 2008. – Vol. 60(3). – P. 300-317.

176. Kulmala, M. Corrigendum to “Introduction: European integrated project on aerosol cloud climate and air quality interactions (EUCAARI) – integrating aerosol research from nano to global scales” / M. Kulmala, A. Asmi, H.K. Lappalainen, K.S. Carslaw, U. Pöschl, U. Baltensperger, Ø. Hov, J.-L. Brenquier, S.N. Pandis, M.C. Facchini, H.-C. Hansson, A. Wiedensohler, C.D. O’Dowd // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2009. – Vol. 9. – P. 2825–2841.

177. Kumar, P. Characterization and heterogeneity of coarse particles across an urban area / P. Kumar, P.K. Hopke, S. Raja, G. Casuccio, T.L. Lersch, R.R. West // *Atmospheric Environment*. – 2012. – Vol. 46. – P. 449-459.

178. Kumar, P. Ultrafine particles in cities / P. Kumar, L. Morawska, W. Birmili, P. Paasonen, M. Hu, M. Kulmala, R.M. Harrison, L. Norford, R. Britter // *Environment International*. – 2014. – Vol. 66. – P. 1-10.

179. Lagudu, U.R.K. Heterogeneity of coarse particles in an urban area / U.R.K. Lagudu, S. Raja, P.K. Hopke, D.C. Chalupa, M.J. Utell, G. Casuccio, T.L. Lersch, R.R. West // *Environmental Science & Technology*. – 2011. – Vol. 45(8). – P. 3288-3296.

180. Laney, A.S. Respiratory diseases caused by coal mine dust / A.S. Laney, D.N. Weissman // *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. – 2014. – Vol. 56, No. 10S. – P. 18-22.
181. Mahowald, N. Aerosol impacts on climate and biogeochemistry / N. Mahowald, D.S. Ward, S. Kloster, M.G. Flanner, C.L. Heald, N.G. Heavens, P.G. Hess, J.-F. Lamarque, P.Y. Chuang // *Annual Review of Environment and Resources*. – 2011. – Vol. 36(1). – P. 45-74.
182. Mandre, M. The effect of cement dust on the growth, content of nutrients and carbohydrates in five conifer species / M. Mandre, J. Kloseiko, K. Ots // *Baltic Forestry*. – 2000. – Vol. 6(2). – P. 16-23.
183. Marcon, A. Association between PM₁₀ concentrations and school absences in proximity of a cement plant in northern Italy / A. Marcon, G. Pesce, P. Girardi, P. Marchetti, G. Blengio, S. de Zolt Sappadina, S. Falcone, G. Frapporti, F. Predicatori, R. de Marco // *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. – 2014. – Vol. 217. – P. 386-391.
184. Martins, V. Impact of forest fires on particulate matter and ozone levels during the 2003, 2004 and 2005 fire seasons in Portugal / V. Martins, A.I. Miranda, A. Carvalho, M. Schaap, C. Borrego, E. Sá // *Science of The Total Environment*. – 2012. – Vol. 414. – P. 53-62.
185. Maskey, Sh. Morphological and elemental properties of urban aerosols among PM events and different traffic systems / Sh. Maskey, H. Chae, K. Lee, N.Ph. Dan, T.T. Khoi, K. Park // *Journal of Hazardous Materials*. – 2016. – Vol. 317. – P. 108-118.
186. Mehraj, S.S. Cement factories, air pollution and consequences / S.S. Mehraj, G.A. Bhat. – N.Y. : Marsland Press, 2013a. – 65 p.
187. Mehraj, S.S. Health risks for population living in the neighborhood of a cement factory / S.S. Mehraj, G.A. Bhat, H.M. Balkhi, T. Gul // *African Journal of Environmental Science and Technology*. – 2013b. – Vol. 7(12). – P. 1044-1052.

188. Menon, S. Aerosol climate effects and air quality impacts from 1980 to 2030 / S. Menon, N. Unger, D. Koch, J. Francis, T. Garrett, I. Sednev, D. Shindell, D. Streets // *Environmental Research Letters*. – 2008. – Vol. 3(2). – P. 004-024.
189. Mills, N.L. Diesel exhaust inhalation causes vascular dysfunction and impaired endogenous fibrinolysis / N.L. Mills, H. Törnqvist, S.D. Robinson, M. Gonzalez, D. Darnley, W. MacNee, N.A. Boon, K. Donaldson, A. Blomberg, T. Sandstrom, D.E. Newby // *Circulation*. – 2005. – Vol. 112(25). – P. 3930-3936.
190. Mishra, S. A review on environmental and health impacts of cement manufacturing emissions / S. Mishra, N.A. Siddiqui // *International Journal of Geology, Agriculture and Environmental Sciences*. – 2014. – Vol. 2, Is. 3. – P. 26-31.
191. Moghadam, S.R. Decline in lung function among cement production workers: a meta-analysis / S.R. Moghadam, S. Abedi, M. Afshari, E. Abedini, M. Moosazadeh // *Reviews on Environmental Health*. – 2017. – Vol. 32(4). – P. 333-341.
192. Montague, P. Tire dust [Электронный ресурс] / P. Montague // *Rachel's Environment & Health Weekly*. – 1995. – Vol. 439. – Режим доступа: <https://www.ejnet.org/rachel/rehw439.htm>.
193. National ambient air quality standards for particulate matter [Электронный ресурс]. – Washington : Environmental Protection Agency, 2006. – 154 p. – Режим доступа: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2006-10-17/pdf/06-8477.pdf>.
194. Nkhama, E. Effects of airborne particulate matter on respiratory health in a community near a cement factory in Chilanga, Zambia: results from a panel study [Электронный ресурс] / E. Nkhama, M. Ndhlovu, J.T. Dvonch, M. Lynam, G. Mentz, S. Siziya, K. Voyi K. // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2017. – Vol. 14(11), 1351. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/ijerph14111351>.
195. Oguntoke, O. Impact of cement factory operations on air quality and human health in Ewekoro local government area, South-Western Nigeria / O.

Oguntoke, A.E. Awanu, H.J. Annegarn // International Journal of Environmental Studies. – 2012. – Vol. 69, No. 6. – P. 934-945.

196. Pant, P. Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: a review / P. Pant, R.M. Harrison // Atmospheric Environment. – 2013. – Vol. 77. – P. 78-97.

197. Pearce, D. Economic valuation and health damage from air pollution in the developing world / D. Pearce // Energy Policy. – 1996. – Vol. 24, Is. 7. – P. 627-630.

198. Penttinen, P. Ultrafine particles in urban air and respiratory health among adult asthmatics / P. Penttinen, K.L. Timonen, P. Tiittanen, A. Mirme, J. Ruuskanen, J. Pekkanen // The European respiratory journal. – 2001. – Vol. 17. – P. 428-435.

199. Pernigotti, D. SPECIEUROPE: The European data base for PM source profiles / D. Pernigotti, C.A. Belis, L. Spanò // Atmospheric Pollution Research. – 2016. – Vol. 7, Is. 2. – P. 307-314.

200. Perret, J.L. Coal mine dust lung disease in the modern era / J.L. Perret, B. Plush, P. Lachapelle, T.S.C. Hinks, C. Walter, P. Clarke, L. Irving, P. Brady, S.C. Dharmage, A. Stewart // Respiriology. – 2017. – Vol. 22. – P. 662–670.

201. Petsonk, E.L. Coal mine dust lung disease. New lessons from old exposure / E.L. Petsonk, C. Rose, R. Cohen // American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. – 2013. – Vol. 187, Is. 11. – P. 1178-1185.

202. Pósfai, M. Nature and climate effects of individual tropospheric aerosol particles / M. Pósfai, P.R. Buseck // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 2010. – Vol. 38. – P. 17-43.

203. Potgieter-Vermaak, S.S. The application of Raman spectrometry to the investigation of cement. Part II: A micro-Raman study of OPC, slag and fly ash / S.S. Potgieter-Vermaak, J.H. Potgieter, M. Belleil, F. DeWeerd, R. Van Grieken // Cement and Concrete Research. – 2006. – Vol. 36. – P. 663 – 670.

204. Proias, G.T. Ambient PM₁₀ concentrations and the impact of wind at an urban site in central Greece / G.T. Proias, K.P. Moustris, I.K. Larissi, P.T. Nastos,

A.G. Paliatsos // Fresenius Environmental Bulletin. – 2012. – Vol. 21, No. 7a. – P. 1940-1946.

205. Quinn, P.K. Short-lived pollutants in the Arctic: their climate impact and possible mitigation strategies / P.K. Quinn, T.S. Bates, E. Baum, N. Doubleday, A.M. Fiore, M. Flanner, A. Fridlind, T.J. Garrett, D. Koch, S. Menon, D. Shindell, A. Stohl, S.G. Warren // Atmos. Chem. Phys. – 2008. – Vol. 8. – P. 1723-1735.

206. Rachiotis, G. Prevalence of lung function impairment among Greek cement production workers: a cross-sectional study / G. Rachiotis, K. Kostikas, D. Pinotsi, C. Hadjichristodoulou, S. Drivas // Industrial Health. – 2018. – Vol. 56(1). – P. 49-52.

207. Rafeemanesh, E. A study on respiratory problems and pulmonary function indexes among cement industry workers in Mashhad, Iran / E. Rafeemanesh, A. Alizadeh, S.L. Afshari, H. Zakeri // Medycyna Pracy. – 2015. – Vol. 66(4). – P.471–477.

208. Remoundou, K. Environmental effects on public health: an economic perspective / K. Remoundou, P. Koundouri // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2009. – No. 6(8). – P. 2160-2178.

209. Reviewing National ambient air quality standards (NAAQS). Particulate matter (PM) standards - Table of historical PM NAAQS. [Электронный ресурс]. – Washington : Environmental Protection Agency, 2012. – Режим доступа: https://www3.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/s_pm_history.html.

210. Rovira, J. Main components of PM₁₀ in an area influenced by a cement plant in Catalonia, Spain: seasonal and daily variations / J. Rovira, J. Sierra, M. Nadal, M. Schuhmacher, J.L. Domingo // Environmental Research. – 2018. – Vol. 165. – P. 201-209.

211. Saldiva, P.H.N. Lung inflammation induced by concentrated ambient air particles is related to particle composition / P.H.N. Saldiva, R.W. Clarke, B.A. Coull, R.C. Stearns, J. Lawrence, G.G.K. Murthy, E. Diaz, P. Koutrakis, H. Suh, A. Tsuda, J.J. Godleski // American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. – 2002. – Vol. 165, No. 12. – P. 1610-1617.

212. Salvador, P. Composition and origin of PM_{10} in Cape Verde: characterization of long-range transport episodes / P. Salvador, S.M. Almeida, J. Cardoso, M. Almeida-Silva, T. Nunes, M. Cerqueira, C. Alves, M.A. Reis, P.C. Chaves, B. Artíñano, C. Pio // *Atmospheric Environment*. – 2016. – Vol. 127. – P. 326-339.
213. Sánchez-Soberón, F. Main components and human health risks assessment of PM_{10} , $PM_{2.5}$, and PM_1 in two areas influenced by cement plants / F. Sánchez-Soberón, J. Rovira, M. Mari, J. Sierra, M. Nadal, J.L. Domingo, M. Schuhmacher M. // *Atmospheric Environment*. – 2015. – Vol. 120. – P. 109-116.
214. Shi, Z. Characterization of airborne individual particles collected in an urban area, a satellite city and a clean air area in Beijing, 2001 / Z. Shi, L. Shao, T.P. Jones, A.G. Whittaker, S. Lu, K.A. Bérubé, T. He, R.J. Richards // *Atmospheric Environment*. – 2003. – Vol. 37, Is. 29. – P. 4097-4108.
215. Shrestha A.B. Aerosol and precipitation chemistry at a remote Himalayan site in Nepal / A.B. Shrestha, C.P. Wake, J.E. Dibb, Whitlow S.I. // *Aerosol Science and Technology*. – 2002. – Vol. 36. – P. 441-456.
216. Skinner, H.C.W. Geology and health: closing the gap / H.C.W. Skinner, A.R. Berger. – N.Y. : Oxford Univ. Press, 2003. – 179 p.
217. Skinner, H.C.W. The Earth, source of health and hazards: an introduction to medical geology / H.C.W. Skinner // *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* – 2007. – Vol. 35. – P. 177-213.
218. Soukup, J.M. Soluble components of Utah Valley particulate pollution alter alveolar macrophage function in vivo and in vitro / J.M. Soukup, A.J. Ghio, S. Becker // *Inhalation Toxicology*. – 2000. – Vol. 12, No. 5. – P. 401-414.
219. Tiwari, S. Intra-urban variability of particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}) and its relationship with optical properties of aerosols over Delhi, India / S. Tiwari, P.K. Hopke, A.S. Pipal, A.K. Srivastava, D.S. Bisht, Sh. Tiwari, A.K. Singh, V.K. Soni, Sh.D. Attri // *Atmospheric Research*. – 2015. – Vol. 166. – P. 223-232.
220. Trimborn, A. Online analysis of atmospheric particles with a transportable laser mass spectrometer during LACE 98 [Электронный ресурс] / A. Trimborn,

K.-P. Hinz, B. Spengler // Journal of Geophysical Research. – 2002. – Vol. 107, No. D21, 8132. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1029/2001JD000590>.

221. Tungu, A.M. The impact of reduced dust exposure on respiratory health among cement workers: an ecological study / A.M. Tungu, M. Bråtveit, S.H. Mamuya, B.E. Moen // Journal of Occupational and Environmental Medicine. – 2014. – Vol. 56, No. 1. – P. 101-110.

222. Veremchuk, L.V. Impact evaluation of environmental factors on respiratory function of asthma patients living in urban territory / L.V. Veremchuk, K. Tsarouhas, T.I. Vitkina, E.E. Mineeva, T.A. Gvozdenko, M.V. Antonyuk, V.N. Rakitskii, K.A. Sidletskaya, A.M. Tsatsakis, K.S. Golokhvast // Environmental Pollution. – 2018. – Vol. 235. – P. 489-496.

223. Vu, T.V. Review: particle number size distributions from seven major sources and implications for source apportionment studies / T.V. Vu, J.M. Delgado-Saborit, R.M. Harrison // Atmospheric Environment. – 2015. – Vol. 122. – P. 114–132.

224. Wagner, J. Measurement of ambient particulate matter concentrations and particle types near agricultural burns using electron microscopy and passive samplers / J. Wagner, K. Naik-Patel, S. Wall, M. Harnly // Atmospheric Environment. – 2012. – Vol. 54. – P. 260-271.

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

226. WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment. –World Health Organization, 2006. – 20 p.

227. Yadav, R. Ambient particulate matter and carbon monoxide at an urban site of India: Influence of anthropogenic emissions and dust storms / R. Yadav, L.K. Sahu, G. Beig, N. Tripathi, S.N.A. Jaaffrey // Environmental Pollution. – 2017. – Vol. 225. – P. 291-303.

228. Zhang, S.L. Mixing state of atmospheric particles over the North China Plain / S.L. Zhang, N. Ma, S. Kecorius, P.C. Wang, M. Hu, Z.B. Wang, J. Größ,

Z.J. Wu, A. Wiedensohler // *Atmospheric Environment*. – 2016. – Vol. 125, Part A. – P. 152-164.

229. Zieliński, H. PM₁₀ and the respiratory tract: what do we know? / H. Zieliński, I.S. Mudway, F.J. Kelly // *Polish Journal of Environmental Studies*. – 1998. – Vol. 7, No. 5. – P. 273-277.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

БОД – болезни органов дыхания.

ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения.

ГИС – геоинформационная система.

ГН – гигиенические нормативы.

ГОСТ – государственный стандарт.

ГРЭС – государственная районная электростанция (или конденсационная электростанция).

ПДК – предельно допустимая концентрация.

РД – руководящий документ.

СНиП – строительные нормы и правила.

СП – свод правил.

ТЭС – тепловая электростанция.

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль.

РМ (particulate matter) – взвешенные частицы (англ.).