

*На правах рукописи*

Холодов Алексей Сергеевич

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

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Владивосток – 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном учреждении высшего образования «Дальневосточный федеральный университет» (ДВФУ)

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

Официальные оппоненты: **Кочуров Борис Иванович**  
доктор географических наук, профессор,  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт географии РАН,  
ведущий научный сотрудник

**Кондратьев Игорь Иванович**  
кандидат географических наук,  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Тихоокеанский институт  
географии Дальневосточного отделения РАН,  
ведущий научный сотрудник

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт водных и  
экологических проблем Сибирского отделения  
РАН

Защита диссертации состоится 17 апреля 2019 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета Д 005.016.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Тихоокеанском институте географии Дальневосточного отделения Российской академии наук по адресу: г. Владивосток, ул. Радио, д. 7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТИГ ДВО РАН и на сайте [www.tigdvo.ru](http://www.tigdvo.ru).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просьба присылать по адресу: 690041, г. Владивосток, ул. Радио д. 7, ученому секретарю диссертационного совета, e-mail: [dissovettig@yandex.ru](mailto:dissovettig@yandex.ru), факс: 8(423)231-21-59.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
к.г.н.



Ткаченко Г. Г

## 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; Кочуров и др., 2018).

Продолжительное воздействие частиц атмосферной 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, 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.

Состоянию окружающей среды урбанизированных территорий Дальнего Востока России посвящен ряд публикаций (Чернышева, 1977; Кондратьев и др., 1994; Бакланов и др., 2003; Христофорова, 2005; Берсенев и др., 2006). Известно, что основные экологические проблемы региона вызваны несоответствием размещения производственных объектов, расселения населения и экологической емкости территорий (Степанько, Мошков, 2012; Кику и др., 2017). Вопросам геомониторинга и методическим подходам к экологической оценке территорий Дальневосточного региона посвящены работы В.Б. Калмановой (2017), Н.Г. Степанько (2011).

Значительная работа проделана 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 Приморском крае наиболее неблагоприятное состояние воздушного бассейна наблюдается в промышленных центрах и крупных городах.

Владивосток, Спасск-Дальний, Уссурийск лидируют по загрязнению бенз(а)пиреном, диоксидом азота и взвешенными веществами (Коломейцева, Христофорова, 2012; Столбун и др., 2012; Голохваст, 2013).

В то же время, атмосферный воздух небольших городов, поселков и деревень изучен недостаточно. Регулярный мониторинг качества атмосферного воздуха небольших населенных пунктов не ведется. Зачастую в небольших городах находятся градообразующие предприятия, оказывающие настолько значительное влияние на состояние окружающей среды, что такие города 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; Филонова и др., 2016; Kirichenko *et al.*, 2017; Kholodov *et al.*, 2018a).

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

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.

**Объектами исследования** являются малые и средние населенные пункты Приморского края. **Предметом исследования** является геоэкологическая оценка загрязнения атмосферного воздуха микроразмерными частицами.

**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 натуральных 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).

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 могут быть использованы: 1) при проведении гигиенического мониторинга атмосферного воздуха, при этом особое внимание необходимо уделить населенным пунктам из группы «относительно неблагоприятных»; 2) для разработки предложений по пересмотру границ санитарно-защитных зон предприятий строительной промышленности, добычи руд, открытых складов и мест перегрузки угля. Данные диссертационной работы могут быть использованы в учебном процессе.

**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 округах) 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 свежеснеженного снега, а в ряде населенных пунктов дополнительно отбирали пробы хвои.

Основным методом анализа было гранулометрическое исследование проб снега. Дополнительно были использованы следующие методы: рамановская спектроскопия сканирующая электронная микроскопия, атомно-эмиссионная спектрометрия, рентгенофлуоресцентная спектрометрия.

#### **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 (PM<sub>10</sub>) в этих населенных пунктах достигает 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, И.Г. Лисицкой, 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.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### **Глава 1. Атмосферные взвеси: свойства, источники поступления в атмосферу, влияние на человека**

Первая глава включает два раздела. В разделе 1.1 приведены классификации атмосферных взвесей, описаны источники загрязнения атмосферы взвесями. Рассмотрено понятие «качество атмосферы» в контексте загрязнения взвесями воздуха городов. Основными техногенными источниками загрязнения воздуха населенных пунктов микроразмерными частицами являются выбросы ТЭЦ и котельных, выхлопные газы автомобилей (сажа и микрочастицы металлов), выбросы промышленных предприятий, угольная и рудная пыль, отходы и выбросы строительной индустрии. Также дана характеристика географического расположения, климата и рельефа Приморского края, определены основные локальные экологические проблемы.

**Раздел 1.2** посвящен влиянию загрязнения атмосферного воздуха на здоровье человека. Твердые взвешенные 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. 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 находится крупный цементный завод и комбинат асбоцементных изделий. В поселке городского типа Посыет осуществляется перевалка угля и погрузка его на суда. В г. Дальнегорск развита горнодобывающая и, до недавнего времени, химическая промышленность.

### **Глава 2. Район работ, материалы и методы исследования**

Вторая глава состоит из двух разделов. В разделе 2.1 приводится географическое описание района работ.

Было проведено исследование атмосферных взвесей в населенных пунктах Приморского края. Исследование проводилось в период с 2015 по

2018 гг. в 24 населенных пунктах, находящихся в 17 районах и городских округах, различающихся ландшафтом, климатическими условиями, количеством жителей, наличием тех или иных предприятий, воздействующих на окружающую среду (рис. 1).

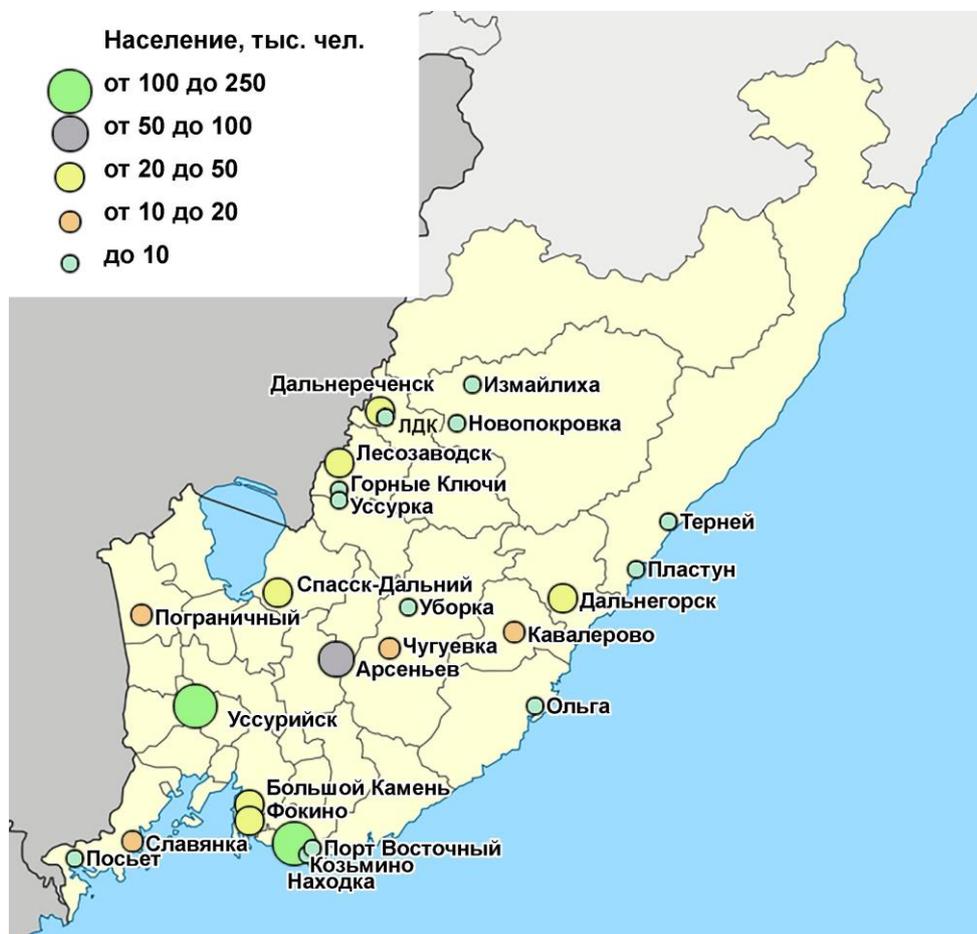


Рисунок 1 – Районы отбора проб атмосферных взвесей в Приморском крае

Для целей нашего исследования мы разделили населенные пункты на категории по численности населения, руководствуясь сводом правил «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» (СП 42.13330.2011) Минрегионразвития РФ. Среди исследованных городов, поселков и сел Приморья для сравнения были выделены:

- 12 малых населенных пунктов в подкатегории до 10 тыс. человек (поселки Ольга, Терней, Пластун, Посьет, Горные Ключи, села Уссурка, Новопокровка, Измайлиха, Уборка, отдаленный район г. Дальнереченска ЛДК, бывший поселок Козьмино и окрестности Порты Восточного);

- 9 малых населенных пунктов в подкатегории от 10 до 50 тыс. человек (поселки Кавалерово, Пограничный, Славянка, село Чугуевка, города Большой Камень, Дальнегорск, Лесозаводск, Спасск-Дальний, Фокино);

- 3 средних и крупных города с населением от 50 до 250 тысяч человек (Арсеньев, Уссурийск и Находка)

**Раздел 2.2** посвящен методам отбора и анализа проб атмосферных взвесей. В каждом населенном пункте были отобраны пробы свежевыпавшего 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.

При отборе проб снега было необходимо исключить вторичное загрязнение антропогенными аэрозолями, поэтому собирали верхний слой (5-10 см) только что выпавшего снега с площади 1 м<sup>2</sup> (Голохваст и др., 2011). Снег помещали в стерильные пластиковые контейнеры объемом 2,5 л, промытые дистиллированной водой, и транспортировали в лабораторию.

Методика отбора проб снега считается высоко информативной и имеет ряд преимуществ: отсутствует необходимость в пробоподготовке, возможно 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.

Для проведения исследования загрязнения атмосферы вне зависимости от сезона был использован усовершенствованный ультразвуком 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. При подготовке 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.

В растаявших пробах снега и усиленном ультразвуком смыве с хвои определяли размеры частиц и фракционный состав. Жидкость анализировали на лазерном анализаторе частиц Analysette 22 NanoTech plus (фирма Fritsch, Германия). 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.

При гранулометрическом анализе атмосферных взвесей мы пользовались размерной классификацией (Голохваст и др., 2011), согласно которой частицы взвеси делят на семь размерных классов: 1) от 0,1 до 1 мкм в диаметре (соответствует  $PM_{1}$ ), 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, третий класс может представлять потенциальную опасность.

Для получения сухого осадка атмосферных взвесей с поверхности хвои смыв с хвои пропускали через фильтр Millipore с диаметром ячеек 0,22 мкм и высушивали фильтр в сушильном шкафу.

Высушенный смыв с проб хвои, частицы взвеси на иглах хвои и контрольные объекты (образцы портландцемента, минералов, угля) были проанализированы методом рамановской спектроскопии с использованием комплекса 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 была определена доля контрольного вещества в составе взвесей с точек отбора проб хвои. Метод основан на анализе корреляции между спектрами сигналов рамановского излучения, свидетельствующей об аналогичном химическом составе изучаемых веществ. 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).

Морфологию частиц атмосферных взвесей изучали на электронно-зондовом ВДС/ЭДС комбинированном микроанализаторе JXA 8100 (JEOL, Япония) с энергодисперсионным аналитическим спектрометром Oxford Instrument INKA-sight (Великобритания), а также на двухлучевом сканирующем электронном микроскопе Tescan Lyra 3 XMN (TESCAN Brno s.r.o., Чехия).

Элементный анализ воды (растаявшего снега) был выполнен на оптическом эмиссионном спектрометре параллельного действия с индуктивно связанной плазмой ICPE-900 (SHIMADZU EUROPA GmbH).

Анализ элементного состава поверхности проб хвои выполняли на портативном рентгенофлуоресцентном спектрометре Innov-X SyStemS (США).

### **Глава 3. Качественный и количественный анализ атмосферных взвесей населенных пунктов Приморского края**

В данной главе приводятся результаты исследований гранулометрического, морфологического и химического состава атмосферных взвесей. Глава состоит из шести разделов.

**Раздел 3.1** содержит данные по распределению частиц атмосферных взвесей по размерным фракциям в больших населенных пунктах (от 100 до 250 тыс. жителей), сведенные в таблицы и гранулометрические кривые распределения.

В **разделе 3.2** представлено распределение частиц атмосферных взвесей по размерным фракциям в среднем по числу жителей населенном пункте.

Показано, что в средних и крупных по числу жителей городах совокупно потенциально опасная для здоровья человека фракция взвеси  $PM_{10}$  в атмосферном воздухе присутствует в долях от 0% до 49,2%, в среднем – 26,59%. Доля самой крупной фракции (более 700 мкм) составляет от 0% до 38,5%, в среднем – 10,77%.

В **разделе 3.3** приводятся результаты гранулометрического анализа проб атмосферных взвесей малых населенных пунктов (от 20 до 50 тыс. жителей). В **разделе 3.4** приводятся данные аналогичного исследования в малых населенных пунктах в подкатегории от 10 до 20 тыс. жителей. Показано, что в атмосферном воздухе малых населенных пунктов с населением от 10 до 50 тыс. жителей совокупно 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%. Доля самой крупной фракции доходит до 70,8%, в среднем – 27,51%.

**Раздел 3.5** посвящен гранулометрическому анализу проб атмосферных взвесей, отобранных в малых населенных пунктах в подкатегории до 10 тыс. жителей. Согласно полученным данным, в таких населенных пунктах фракция атмосферной взвеси  $PM_{10}$  присутствует в долях от 0% до 57,7 %, в

среднем составляя 20,6%. Доля самой крупной фракции (более 700 мкм) находится в диапазоне от 0% до 73,7%, в среднем – 32,54%.

На рис. 2-4 представлены гранулометрические кривые распределения частиц атмосферных взвесей в малых (до 10 тыс. чел. и до 50 тыс. чел.) и крупном (до 250 тыс. чел.) населенных пунктах Приморья.

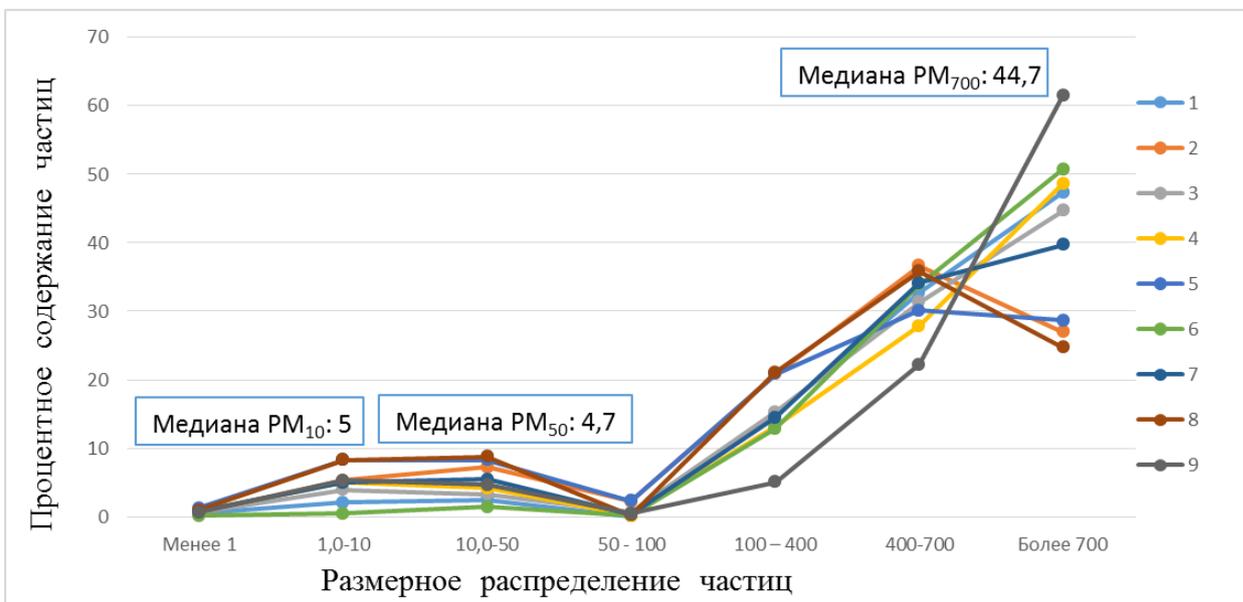


Рисунок 2 – Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси пгт. Пограничный (население на 2018 г. – 10,2 тыс. человек)

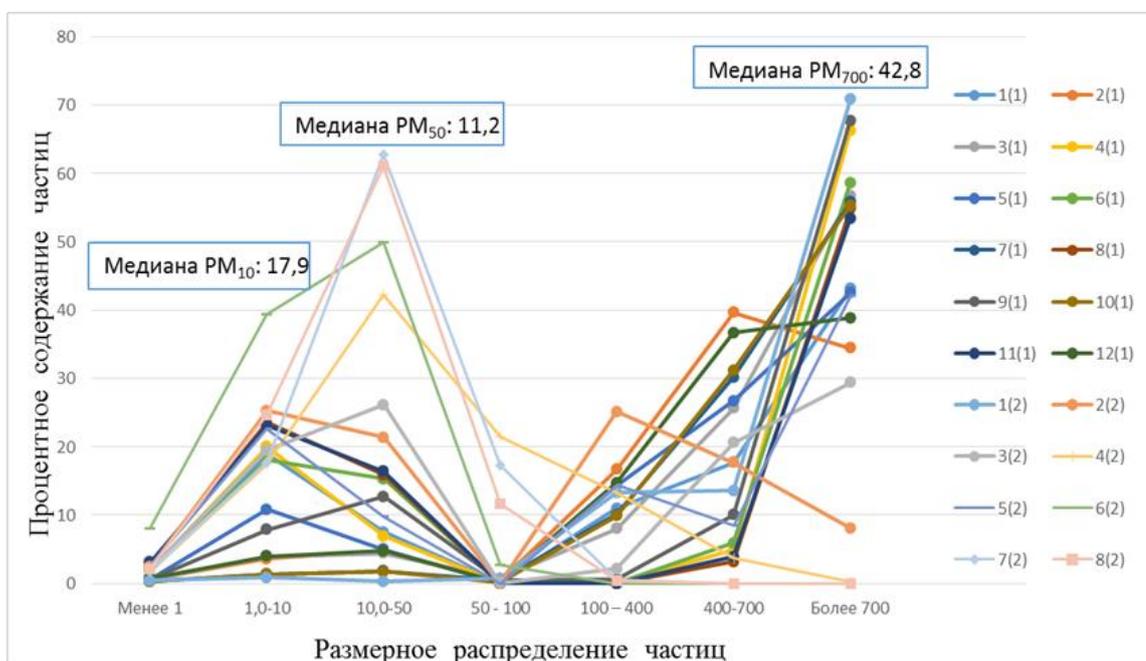


Рисунок 3 – Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси г. Спасск-Дальний (население на 2018 г. – 40,7 тыс. человек)

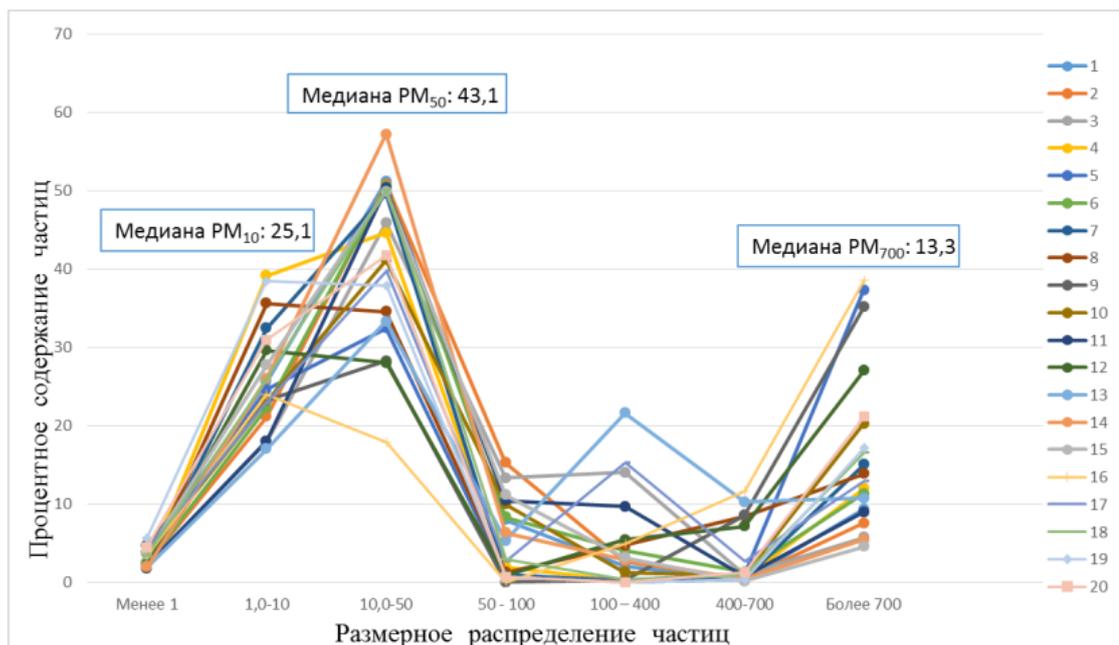


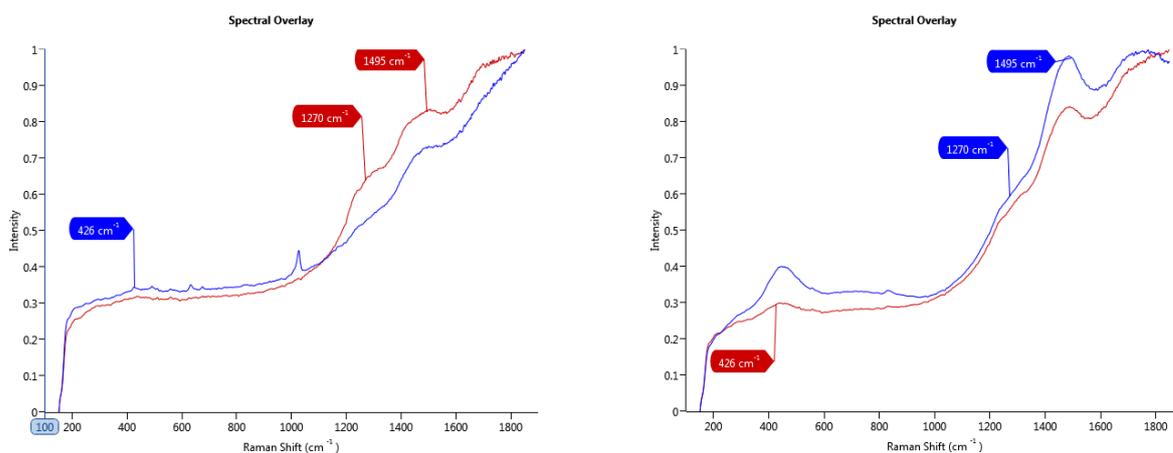
Рисунок 4 – Гранулометрические кривые распределения атмосферной взвеси г. Уссурийск (население на 2018 г. – 172 тыс. человек)

В разделе 3.6 представлена качественная характеристика атмосферных взвесей городов Спасск-Дальний, Дальнегорск и Посьет.

**Спасск-Дальний.** Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха города являются Новоспасский цементный завод и АО «Спасский комбинат асбоцементных изделий», расположенные в черте города, а также железная дорога и перевозимые по ней грузы. Частицы  $PM_{10}$  были обнаружены в больших количествах как вблизи 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 атмосферного воздуха г. Спасск-Дальний (Кондратьев и др., 1994; Коломейцева, Христофорова, 2012).

По результатам программного анализа корреляции между спектрами сигналов рамановского излучения 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%.

На рис. 5 показано сравнение спектров частиц взвеси из смыва с образцов хвои из точки отбора проб №7 со спектром портландцемента марки ЦЕМ II/A-II 32,5Б ГОСТ 31108-2016 производства АО «Спасскцемент». На красном и синем графиках отмечены пики, соответствующие кварцу ( $426 \text{ cm}^{-1}$ ) и алиту с большим содержанием аморфного углерода ( $1270, 1495 \text{ cm}^{-1}$ ). 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 5 – Сравнение спектров частиц взвеси в смыве с хвои, собранной в точке №7 в г. Спасск-Дальний, со спектром образца портландцемента.

Сходство спектров в данной пробе составляет от 86,3 до 91,5%

Качественный анализ состава атмосферной взвеси Спасска-Дальнего 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 частиц силикатов, алюмоферрита, оксида магния, хрома позволяет сделать предположение, что часть этих сферул является цементным клинкером и другими цементными продуктами (рис. 6).

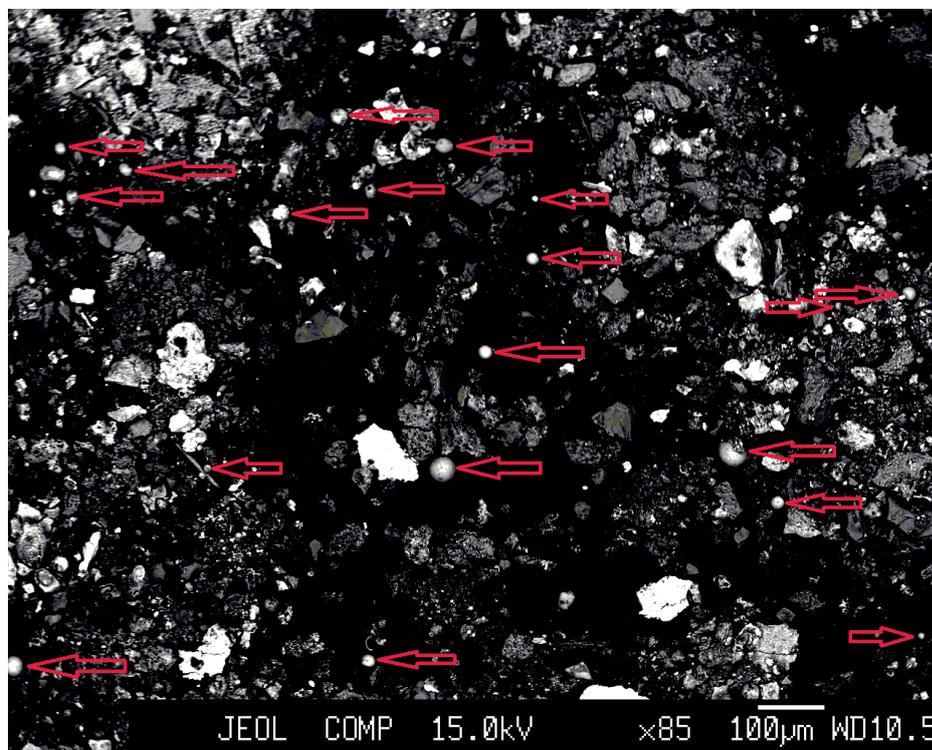


Рисунок 6 – Электронная микрофотография участка взвеси из пробы 1-3 (г. Спасск-Дальний). Стрелками обозначены сферические частицы

**Дальнегорск.** 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  $\text{PbS}$ , кальцит  $\text{CaCO}_3$ , геденбергит ( $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ ), волластонит  $\text{CaSiO}_3$ , сфалерит  $\text{ZnS}$ ) и сравнили их рамановские спектры со спектрами частиц атмосферной взвеси в высушенном смыве с проб хвои.

Благодаря использованию комплексной методики исследования удалось установить, что в атмосферном воздухе г. Дальнегорска присутствуют микроразмерные частицы ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_5$ ,  $\text{PM}_{10}$ ), содержащие металлы, которые относят к I (Pb, Zn) и II классам опасности (Ni, Cu). Эти металлы присутствуют, в основном, в виде рудных минералов, что характерно для атмосферного фона Дальнегорского городского округа, на

территории которого находятся крупные полиметаллические и боросиликатное 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% (рис. 7 и 8).

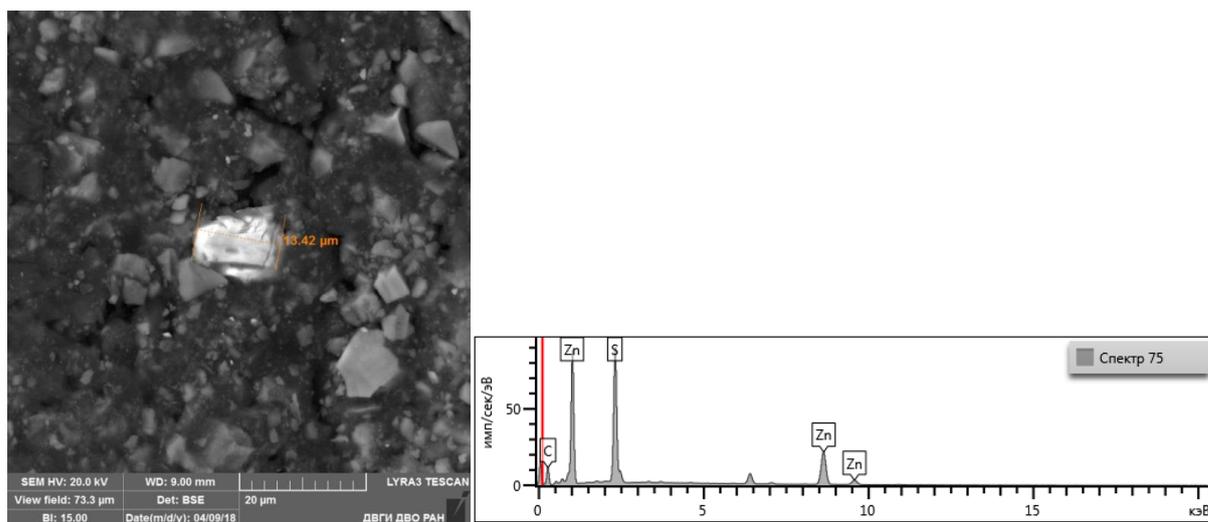


Рисунок 7 – Морфология частицы, содержащей Zn (сфалерит) (проба № 1, Дальнегорск)

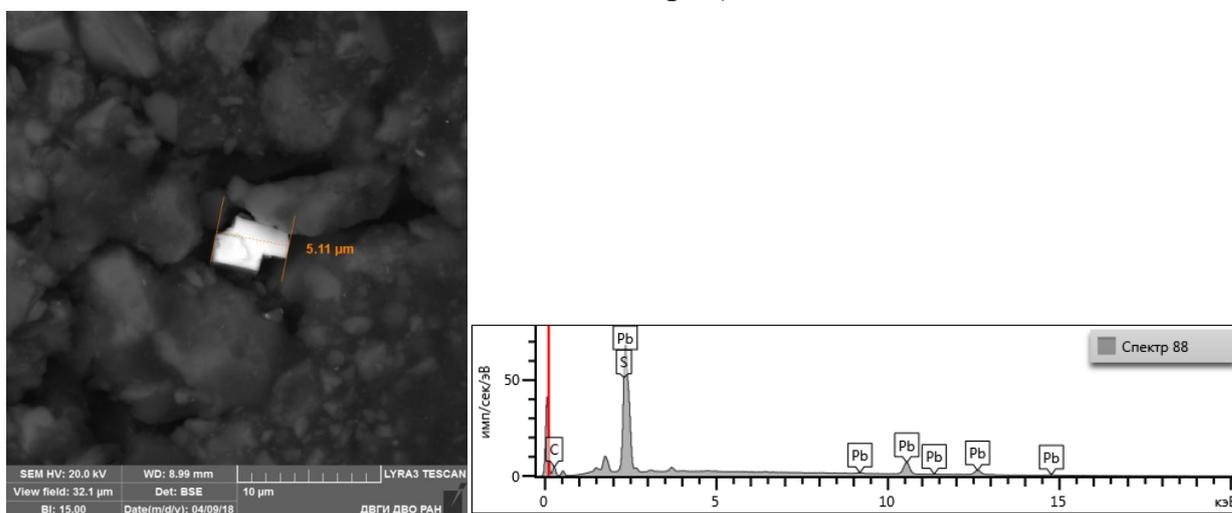


Рисунок 8 – Морфология частицы, содержащей Pb (галенит) (проба № 1, Дальнегорск)

**Посыет.** Согласно результатам качественного анализа проб атмосферных взвесей, собранных в этом городе, подавляющее количество микроразмерных частиц в пробах является кальцитом (более 80% во всех

пробах). Часто обнаруживаются силикаты, элементы органики, частицы металлов рваной формы (рис. 9).

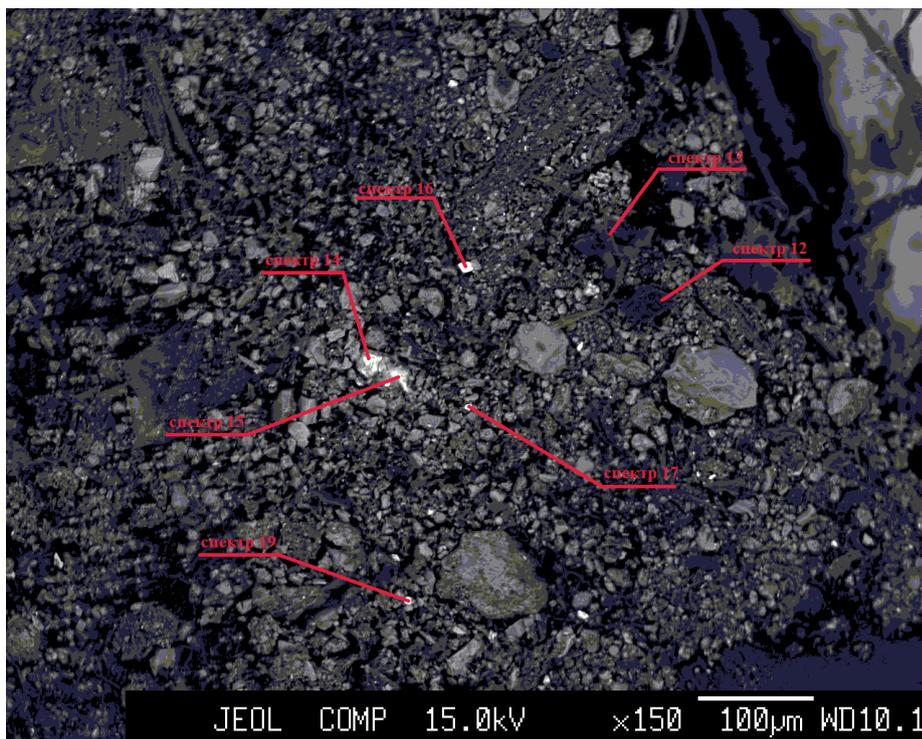


Рисунок 9 – Электронная микрофотография участка взвеси из пробы в Посъете. Отмечены: частицы угля (спектры 12 и 13); частицы неправильной, рваной формы, содержащие Fe, PbS, Cu, Zn и другие элементы (спектры 14 и 15); частицы PbS (спектры 16 и 17); частица, содержащая Fe, Zn, (спектр 19)

Частицы угля встречаются, но их количество невелико (от 4,3% до 8,3%). Небольшое количество угля в пробах связано с преобладающим западным ветром, который переносит угольную пыль с терминала в бухту Посъет, тем самым вызывая загрязнение акватории. Кроме того, в пробах обнаружены образования, содержащие металлы, которые относятся к I (свинец, цинк) и II классам опасности (медь).

#### **Глава 4. Геоэкологическая оценка населенных пунктов Приморского края по результатам проведенного исследования**

Четвертая глава включает в себя четыре раздела. В разделе 4.1 обсуждаются результаты комплексного исследования атмосферных взвесей населенных пунктов с численностью жителей до 10 тысяч человек. Геоэкологическая обстановка в таких населенных пунктах в целом благоприятна, при условии отсутствия в них крупных промышленных предприятий и производств (Kholodov *et al.*, 2017b), или при условии

соблюдения такими предприятиями (например, торговыми портами, занимающимися перевалкой сыпучих грузов) всех установленных экологическим законодательством требований и регулярном мониторинге состояния окружающей среды.

В разделе 4.2 обсуждаются результаты исследования атмосферных взвесей населенных пунктов с численностью жителей от 10 до 50 тысяч человек. При отсутствии градообразующих предприятий и иных мощных источников загрязнения атмосферы ситуация с микроразмерным загрязнением приземного воздуха в таких населенных пунктах условно благоприятна, с пиками загрязнения фракцией  $PM_{10}$  в отдельных населенных пунктах. Однако, если в черте таких населенных пунктов и рядом с ними расположены промышленные предприятия, или действуют иные негативные факторы, то ситуация кардинально меняется, и повышенные концентрации частиц взвеси диаметром до 10 мкм обнаруживаются во всех точках отбора (Холодов и др., 2016а; Холодов и др., 2016б; Kholodov *et al.*, 2017а; Kholodov *et al.*, 2017с).

В разделе 4.3 дается характеристика загрязнения приземного воздуха микроразмерными взвесями населенных пунктов с численностью жителей от 50 до 250 тысяч человек. Большое количество предприятий, котельных, автотранспорта, автодорог и развязок создает нагрузку на окружающую среду, которая, в свою очередь, негативно влияет на здоровье жителей таких городов.

В разделе 4.4 представлена методика ранжирования населенных пунктов для оценки влияния урбанизации и хозяйственной деятельности на окружающую среду. В методике используется балльная система критериев, которая включает в себя размерные параметры атмосферных взвесей, 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. 1).

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

Таблица 1 – 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 <sub>1</sub>	0	1	2	2	2
Фракция РМ <sub>10</sub>	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
Наличие в населенном пункте крупного градообразующего предприятия:					
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

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, Посъет, Козьмино, Порт Восточный); относительно неблагоприятные – 4 (гг. Дальнегорск, Находка, Спасск-Дальний, Уссурийск), неблагоприятные – 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 неблагоприятных». Показано, что соблюдение действующих сегодня санитарно-эпидемиологических правил, касающихся границ санитарно-защитных зон предприятий строительной промышленности, добычи руд, открытых складов и мест перегрузки угля, не обеспечивает уменьшения 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 доле 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 доле 23,4%, фракция 3 класса – 22,5%. Доля самой крупной фракции 7 класса 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 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, цемента-содержащие 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 достигает 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).

## Список публикаций по материалам диссертации

### Международные рецензируемые научные журналы, зарегистрированные в базах данных Scopus (Elsevier) и Web of Science (Thomson Reuters), и российские рецензируемые научные журналы – издания, рекомендованные ВАК РФ:

1. Дрозд, В.А. Годовые колебания частиц  $PM_{10}$  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. – 2015. – Т. 17, №5(2). – С. 645-651.

2. 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. – 2015. – Т. 17, №5(2). – С. 447-450.

3. Кодинцев, В.В., Ультразвуковой смыв с хвои как новый достоверный способ исследования микроразмерного загрязнения атмосферы / В.В. Кодинцев, 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.

4. **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.

5. **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. – 2016б. – № 61. – С. 42-45.

6. 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.

7. 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.

8. 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>.

9. **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>.

10. **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>.

11. **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>.

12. **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>.

13. **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>.

14. **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, V. Drozd, S. Gulkova, K. Golokhvast // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2018b. – Vol. 692. – P. 1017-1023.