

На правах рукописи



Филиппова Ульяна Геннадьевна

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АЭРОЗОЛЕЙ РАЗНЫХ РАЗМЕРНЫХ ФРАКЦИЙ В
АТМОСФЕРЕ НА БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ**

Специальность 25.00.30 - метеорология,
климатология, агрометеорология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург - 2011

Работа выполнена в ГУ Российской Академии наук Лимнологического института
Сибирского отделения РАН

Научный руководитель: доктор географических наук
Ходжер Тамара Викторовна

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор
Смышляев Сергей Павлович

кандидат географических наук, доцент
Латышева Инна Валентиновна

Ведущая организация: ГУ Институт оптики атмосферы
им. Е.В. Зуева СО РАН

Защита диссертации состоится «6» октября 2011 г. в ___ часов на заседании диссертационного совета Д.212.197.01 в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: **195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский проспект, дом 98.** (812) 444-41-63, rector@rshu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета по адресу: **195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский проспект, дом 98.**

Автореферат разослан «__» сентября 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д.212.197.01
доктор географических наук, профессор



А. И. Угрюмов.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Атмосферные аэрозоли являются неотъемлемой частью воздушной среды и играют важную роль во многих природных процессах, а также в формировании среды обитания человека. При этом химический состав, происхождение и поведение в атмосфере (дальность переноса, степень воздействия на человека и природу и др.) существенным образом связаны с их размерами (Rudell et all 1994, 1996, Nordenhall et all 2001, Исидоров, 2001, Прохоров, 2001). С уменьшением размера аэрозольных частиц, резко возрастает относительная площадь контакта находящегося в них вещества с окружающей средой, в результате они становятся химически более активными и могут вступать в химические реакции, которые невозможны для веществ в обычных газообразных жидких или твердых состояниях.

Размером и химическим составом аэрозолей определяется и степень их участия во многих атмосферных процессах: в конденсации облачных капель; в отражении и рассеивании энергии солнечного излучения; в переносе атмосферного электричества, радиоактивности и др. Качество вдыхаемого человеком воздуха также в значительной мере определяется размером и составом взвешенных в нем жидких и твердых частиц.

На состав атмосферы Байкальской природной территории (БПТ) оказывает влияние крупный Иркутско-Черемховский промышленный узел с городами Иркутск, Шелехов, Ангарск, Усолье-Сибирское, Черемхово, Саянск. Кроме того, на побережье Южного Байкала имеются локальные источники загрязнения атмосферы (г. Байкальск, г. Слюдянка, п. Листвянка, п. Култук, п. Выдрино, п. Танхой и др.), которые также увеличивают общее количество аэрозольных частиц в атмосфере ее южной части. Рост загрязнения воздушного бассейна на БПТ представляет собой реальную угрозу экосистеме озера и окружающим его природным комплексам. Согласно Федеральному закону «Об охране озера Байкал», Байкальская природная территория определена как территория, в состав которой входят озеро Байкал, водоохранная зона, прилегающая к озеру Байкал, его водосборная площадь в пределах территории Российской Федерации, особо охраняемые природные территории, прилегающие к озеру Байкал, а также прилегающая к озеру территория шириной до 200 километров на запад и северо - запад от него.

Изучение химических компонентов в аэрозольных частицах разного размера в атмосфере над БПТ, вклада локальных и региональных источников в их составе является **актуальным** для оценки современного и прогнозирования будущего состояния воздушной среды над уникальным природным объектом - оз. Байкал.

Учитывая, что дальность переноса частиц в атмосфере зависит от их размеров, объектами наших исследований стали аэрозоли разных размерных фракций. Работа была выполнена с применением современного оборудования для отбора проб аэрозольных частиц и новых, более совершенных методов химического анализа микропримесей. Ранее подобного рода исследования на БПТ не проводились.

Цель работы: Выявить закономерности распределения химических компонентов в аэрозольных частицах разного размера, определить источники их происхождения в атмосфере над Байкальской природной территорией.

Задачи исследований:

1. Определить массовую концентрацию и химический состав аэрозольных частиц разного размера в отдельных районах БПТ

2. Изучить пространственно-временную изменчивость химического состава аэрозольных частиц
3. Оценить влияние климатических параметров и синоптических процессов на формирование химического состава аэрозольных частиц разного размера
4. Выявить элементы-трассеры переноса атмосферных примесей от промышленных источников БПТ и оценить их поступление на акваторию Южного Байкала

Научная новизна:

1. Впервые в атмосфере над Байкальской природной территорией исследован ионный и элементный состав аэрозольных частиц в семи размерных фракциях $> 10,2$ мкм; $10,2-4,2$; $4,2-2,1$; $2,1-1,3$; $1,3-0,69$; $0,69-0,39$ и $< 0,39$ мкм.
2. Установлены различия в химическом составе аэрозольных частиц разного размера от климатических параметров, синоптических условий, степени антропогенной нагрузки.
3. Впервые определена совокупность элементов (Fe, Mn, Cu, Zn, Br, Pb) в мелкодисперсной фракции атмосферных аэрозолей (< 1 мкм), которые могут служить трассерами регионального атмосферного переноса примесей на акваторию Южного Байкала.
4. Впервые оценено поступление тяжелых металлов (Fe, Mn, Cu, Zn, Pb) с аэрозольными примесями от промышленных комплексов Прибайкалья на акваторию Южного Байкала.

Достоверность полученных результатов подтверждена большим объемом исходных экспериментальных данных, применением современных методов анализа, статистической обработкой результатов. Систематическая ошибка для каждого определяемого элемента методами ВЭЖХ, ионной хроматографии и ИСП-МС составила 5-10%. Ошибка определения концентраций микроэлементов в твердой фазе аэрозольного вещества, анализируемых методом РФА-СИ, не превышала 15-20%.

Правильность выполнения анализов определяемых элементов подтверждена также участием в международных программах по контролю качества данных. Контроль качества данных осуществлялся по программе Глобальной Химии Атмосферы (GAW) под эгидой ВМО, программе «Сеть станций мониторинга кислотных выпадений в Восточной Азии» (EANET), программе мониторинга и оценки дальнего атмосферного переноса загрязняющих веществ в Европе (EMEP).

Практическая значимость. Материалы, полученные в работе на сети станций мониторинга атмосферы, ежегодно передавались в базу данных Иркутского УГМС, Институт Глобального климата и экологии (г. Москва) при Росгидромете РФ, для использования в ежегодных отчетах по оценке состояния окружающей природной среды на РФ, для отчетов по международной программе EANET. Они могут быть использованы другими природоохранными ведомствами для оценки современного состояния атмосферы на БПТ, прогноза вероятных изменений в будущем, при составлении карт экологического районирования исследуемой территории.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на российских и международных конференциях и совещаниях: XIV, XV, XVI, XVII рабочих группах «Аэрозоли Сибири» (Томск, 2007, 2008, 2009, 2010), Всероссийской конференции «Развитие системы мониторинга состава атмосферы» (Москва, 2007), 6-м Международном симпозиуме «Контроль и реабилитация окружающей среды» (КРОС-2008, Томск, 2008), VII Всероссийской конференции по анализу объектов окружающей среды «ЭКОАНАЛИТИКА - 2009» (Йошкар-Ола, 2009), IX научном совещании по прикладной

географии «Региональная политика России в современных социально-экономических условиях: географические аспекты» (Иркутск, 2009), XVIII Международной школе по морской геологии «Геология морей и океанов» (Москва, 2009), Международной научной конференции «Актуальные вопросы деятельности академических естественно-научных музеев» (п. Листвянка, Иркутской области, 2010), Ежегодной международной научно-практической конференции «География: проблемы науки и образования» (Санкт-Петербург, 2010), Седьмой международной конференции «Естественные и антропогенные аэрозоли» (Санкт-Петербург, 2010), Пятой Верещагинской Байкальской конференции (Иркутск, 2010).

Публикации и личный вклад автора. По теме диссертации опубликованы три статьи в рецензируемых журналах, одна в материалах международной научной конференции, 14 тезисов. При участии в конференциях, автор награжден тремя дипломами за «лучший устный доклад». Работа выполнена в лаборатории гидрохимии и химии атмосферы Лимнологического института СО РАН в соответствии с планами НИР по Программе СО РАН 7.9.1.2. «Поступление и динамика вещества в водной толще, ледовом покрове и на границе раздела вода-атмосфера в условиях глобального изменения климата на примере озера Байкал»; интеграционному проекту СО РАН № 75 «Пространственно-временная изменчивость основных радиационно-активных компонентов атмосферы в переходной зоне материк-океан и континентальных районах, их роль в формировании региональных климатических особенностей Дальнего Востока и Сибири»; по Программе 4 ОНЗ РАН «Окружающая среда в условиях изменяющегося климата: экстремальные природные явления и катастрофы», проект № 4.13. «Экспериментальные исследования фоновых и экстремальных природных процессов (песчаные бури, вулканическая деятельность, лесные пожары), влияющих на изменчивость аэрозольных и газовых примесей атмосферы на основе средств дистанционного зондирования и локального контроля»; по Международной программе EANET в рамках Национального центра данных России.

Автором самостоятельно отобраны пробы атмосферных аэрозолей и проведен их химический анализ, выполнена статистическая обработка и интерпретация полученных данных. Автор участвовал в подготовке публикаций, что отображено в совместных статьях и тезисах коллектива авторов.

Основные положения и результаты исследования, выносимые на защиту:

1. Химический состав аэрозолей над акваторией оз. Байкал сравнительно однороден: основная масса (около 60%) растворимых компонентов находится в диапазоне частиц с размерами менее 1 мкм, главными ионами в которых являются гидрокарбонаты, сульфаты, водород, кальций и аммоний. Различия в составе аэрозольных частиц разного размера над озером обусловлены локальными и региональными источниками загрязнения атмосферы, как природного, так и антропогенного происхождения.
2. Пространственно-временная изменчивость химического состава аэрозольных частиц и распределение их по размерам в отдельных районах Байкальской природной территории определяются направлением переноса воздушных масс и метеорологическими условиями. При северо-западном переносе в составе мелкодисперсной фракции аэрозолей увеличивается содержание сульфатов, нитратов и кальция, при южном и юго-восточном - хлоридов, гидрокарбонатов, натрия, и кальция.

3. Трассерами регионального атмосферного переноса примесей от промышленных источников Прибайкалья на акваторию Южного Байкала являются химические элементы, содержащиеся в мелкодисперсной фракции атмосферных аэрозолей. Из 20 проанализированных элементов наиболее информативной стала совокупность элементов Fe, Mn, Cu, Zn, Br, Pb.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы. Текст изложен на 131 странице, содержит 74 рисунка, 10 таблиц. Список литературы включает 181 наименование.

Автор выражает глубокую благодарность д.г.н. Т.В. Ходжер за научное руководство, к.т.н. Л.П. Голобоковой, к.г.н. В.А. Оболкину, к.т.н. Е.В. Чипаниной за содействие в выполнении исследований, а также другим сотрудникам лаборатории гидрохимии и химии атмосферы за оказанную помощь при выполнении работы и обсуждении результатов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, определены цель и задачи исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, раскрыта научная и практическая значимость работы и показан личный вклад диссертанта.

В первой главе приводится современное представление о природе и поведении частиц разного размера в приземной атмосфере. Дается обзор различных классификаций атмосферных аэрозолей в зависимости от их происхождения и размеров. Показаны предыдущие исследования атмосферных аэрозолей на БПТ.

Атмосферные аэрозоли - это уникальные природные объекты, играющие важную роль в глобальном круговороте веществ в атмосфере. С их участием происходит формирование радиационного и теплового баланса Земли за счет прямого эффекта - рассеяния и поглощения солнечного излучения, и опосредованно - при формировании облачности. Влияние аэрозолей на климат проявляется как непосредственно через увеличение альбедо Земли, так и косвенно посредством воздействия на динамику и микроструктуру облаков (Кондратьев, 1991). Для однозначной оценки вклада аэрозолей в радиационные процессы необходимы сведения об их полном цикле (рождении, трансформации, стоке). Одна из главных неопределенностей при оценке роли атмосферных аэрозолей в изменении климата связана с отсутствием адекватной информации о глобальной пространственно-временной изменчивости концентрации аэрозолей различных типов, физических свойствах аэрозолей и их влияние на физические процессы в облаках (Ивлев, 2009).

Следует также отметить роль аэрозолей в химических процессах в биосфере, существенно влияющих на ее изменчивость. Процессы диспергирования веществ с последующим их выносом в атмосферу сопровождаются сепарацией по физико-химическим свойствам. Происходит обогащение аэрозолей рядом микроэлементов, которые через атмосферу попадают в различные регионы Земли и участвуют в жизнедеятельности организмов на всех уровнях, являясь регуляторами биологических процессов (Хильми, 1966, Зайков и др., 1991).

В работе показано, что первые анализы химического состава атмосферных аэрозолей над БПТ сделаны в 1974 г. (Ветров и др., 1985). Изучение элементного состава аэрозолей продолжено в 90-х годах (Оболкин и др., 1994, Ходжер и др., 1997). Основными элементами в аэрозолях над оз. Байкал были определены Fe, Al, Ca, Cl, Si, Na, Mg. Их

происхождение существенно зависело от сезонов года, хотя повсеместно доминирующими источниками были почва и земная кора. В холодный период года, в связи с возрастанием объемов сжигаемого топлива и ухудшением рассеивающей способности атмосферы, возрастал вклад элементов (As, Sb, Co) антропогенного происхождения (Ходжер и др., 1994, Белан и др., 1996). Аэрозольные исследования, выполненные в 90-х годах, впервые позволили корректно рассчитать атмосферную составляющую в химическом балансе озера (Ходжер, 2005).

В исследованиях предыдущих лет проводилось определение валового содержания химических веществ в аэрозолях. Детальный химический анализ аэрозольных частиц разных размеров в атмосфере над БПТ сделан впервые.

Во второй главе дана краткая физико-географическая характеристика района исследования. Проанализированы циркуляционные и климатические условия в холодный и теплый периоды года на Байкальской природной территории. Дается описание станций, методов отбора и химического анализа аэрозолей.

Байкальская природная территория, общей площадью 386 тыс. км², структурно состоит из двух частей - Прибайкалья и Забайкалья и самостоятельного центрального компонента - оз. Байкал.

Климат территории формируется под влиянием процессов, развивающихся над югом Восточной Сибири, но имеет свои особенности, вызванные воздействием большого объема водной массы озера и окружающих Байкальскую котловину гор. Влияние озера распространяется на прибрежную полосу, что, в первую очередь, сказывается на температурном режиме воздуха. Если климат внутренних районов юга Сибири относится к резко-континентальному, то климат побережья Байкала приближается к приморскому.

Химический состав аэрозольных частиц анализировался в течение 2007-2010 гг. при непрерывных отборах на трех опорных станциях: ст. Иркутск - городская, (52.3⁰ N, 104.4⁰ E), ст. Листвянка - сельская, (51.9⁰ N, 104.7⁰ E), ст. Монды - фоновая (52.0⁰ N, 103⁰E). Дополнительно пробы аэрозольных примесей отбирались вблизи основных региональных антропогенных источников и в фоновых районах исследуемой территории.

Регулярные станции наблюдения различались по физико-географическим, климатическим условиям и разной степенью антропогенной нагрузки. С 2001 г. они вошли в международную программу EANET. Для исследования аэрозольных примесей над оз. Байкал отбор проб производился с борта научно-исследовательских судов ЛИИ СО РАН.

При отборе аэрозольных частиц использовались два типа устройств. Для отбора проб атмосферных аэрозолей, а также некоторых газовых примесей (аммиака, оксидов серы и азота, газообразных соединений хлора) применялся блок с 4-мя последовательно расположенными друг за другом фильтрами. Для отбора аэрозольных частиц разных размеров использовался 6-ти ступенчатый высокообъемный щелевой каскадный импактор фирмы «Tisch Environmental inc.», модель TE-236 в паре со стандартным высокообъемным насосом. С помощью импактора отбирались частицы размерных фракций: > 10,2 мкм; 10,2-4,2; 4,2-2,1; 2,1-1,3; 1,3-0,69; 0,69-0,39 мкм. Осаждение частиц на каждой ступени производилось на фильтры «Whatman 41». Последняя, седьмая группа частиц (< 0,39 мкм), собиралась на фильтре «Whatman 41» с помощью высокообъемного насоса.

Для подготовки к химическому анализу пробы экстрагировали бидистиллированной водой с последующей фильтрацией растворов через ацетат-целлюлозный фильтр с диаметром пор 0,2 мкм. В фильтрате определяли концентрации катионов (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺,

K^+ , NH_4^+) и концентрации анионов (HCO_3^- , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}). Для химического анализа использовали методы высокоэффективной жидкостной (ВЭЖХ) и ионной хроматографии, атомной абсорбции, масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС), рентгенофлуоресцентного анализа с синхротронным излучением (РФА-СИ) (Институт ядерной физики СО РАН, г. Новосибирск). Анализ индивидуальных твердых аэрозольных частиц осуществляли методом РСМА на рентгеноспектральном электронно-зондовом микроанализаторе Superprobe JXA-8200, JEOL Ltd, Japan (Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск). Всего проанализировано свыше 500 отдельных проб атмосферных аэрозолей, выполнено около 3000 определений различных элементов.

В третьей главе рассмотрена сезонная и межгодовая динамика суммарной массовой концентрации, химический состав растворимой фракции аэрозольных частиц в отдельных районах исследуемой территории. Показаны различия в химическом составе аэрозолей в зависимости от сезонов года и метеорологических ситуаций.

Как показали исследования, наибольшая суммарная массовая концентрация ионов отмечена в аэрозолях промышленного города (ст. Иркутск), наименьшая - на фоновой станции Монды (рис. 1). Среднемесячные концентрации ионов в аэрозолях воздушной среды г. Иркутска изменялись от 2,2 до 14,2 мкг/м³, сельской станции п. Листвянка от 0,8 до 4,0 мкг/м³, на фоновой станции Монды - от 0,2 до 2,2 мкг/м³.

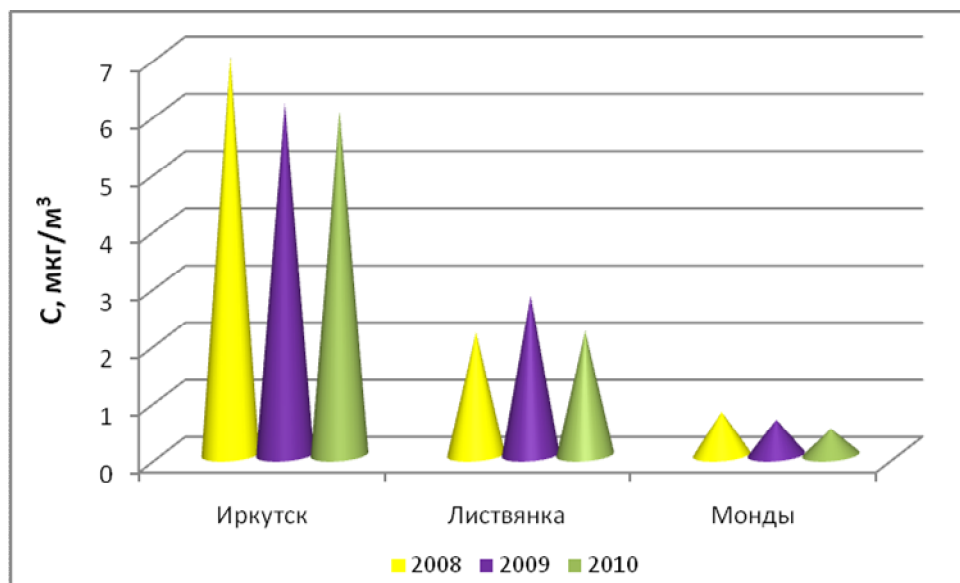


Рис. 1. Межгодовая динамика суммарной массовой концентрации ионов в аэрозолях на станциях мониторинга БПТ, 2008 - 2010 гг., мкг/м³.

Основными ионами в аэрозолях были: NH_4^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- . Соотношение абсолютных концентраций ионов в аэрозолях в теплом и холодном периодах на станциях мониторинга в 2008-2010 гг. показано в таблице 1. В холодный период на всех станциях соотношения ионов схожее, в теплый период года определены различия как для катионов, так и анионов.

В зимний период, когда земная поверхность покрыта снегом и влияние почвы на химический состав аэрозолей минимально, растет вклад антропогенных источников в составе аэрозольных частиц. Химический состав аэрозолей в этот период формируется под действием общих для современных урбанизированных районов источников - энергетики,

автотранспорта, промышленных предприятий. Низкие температуры воздуха, штилевые условия при Азиатском антициклоне в зимний период в Восточной Сибири не способствуют рассеянию примесей от источников на большие расстояния, что приводит к их накоплению в воздушной среде. Возрастание массы ионов NH_4^+ , SO_4^{2-} , Ca^{2+} в холодный период на станциях Иркутск и Листвянка связано с усиливающимися температурными инверсиями, приводящими к накоплению промышленных выбросов.

Таблица 1.

Соотношение концентраций ионов в растворимой фракции атмосферных аэрозолей на станциях мониторинга БПТ

Станция	Холодный период		Теплый период	
	катионы	анионы	катионы	анионы
ст. Иркутск	$\text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Mg}^{2+}$	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$
ст. Листвянка	$\text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$	$\text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$
ст. Монды	$\text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$

Наиболее высокие концентрации всех ионов и их межгодовые вариации за период исследования отмечены на ст. Иркутск, наиболее низкие - на ст. Монды. Повышенные среднегодовые значения концентраций ионов в аэрозолях отмечались в периоды с наиболее холодными зимами 2000-2001, 2005-2006, 2008-2009 гг. (рис. 2). Весной, со сходом снежного покрова, повышается роль почвенно-эрозионного источника, в составе аэрозолей возрастают концентрации ионов Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , HCO_3^- . В июне-августе, с увеличением количества атмосферных осадков и очищением атмосферы, концентрации растворимых примесей в составе аэрозолей на всех станциях мониторинга снижаются.

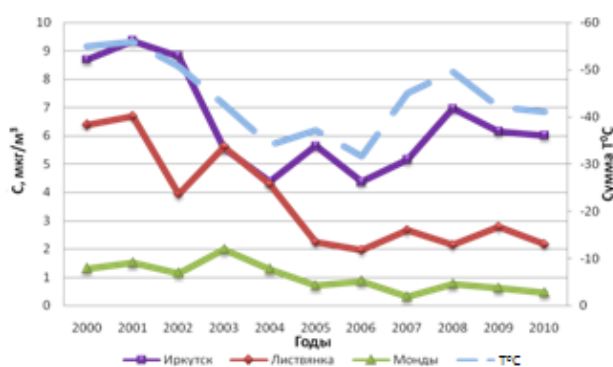


Рис. 2. Межгодовая динамика суммарной массовой концентрации ионов в аэрозолях на станциях мониторинга БПТ и сумма отрицательных температур воздуха зимних месяцев (декабрь-февраль), $\text{мкг}/\text{м}^3$, (2000-2007 гг. по данным Л.П. Голобоковой).

Проведено сравнение относительного химического состава аэрозолей, отобранных в 2008-2010 гг. на станциях мониторинга атмосферы, с результатами предыдущих лет. В целом, общий химический состав аэрозолей аналогичен результатам, полученным в 2000-2007 гг. В составе аэрозолей доминируют, как и ранее, ионы SO_4^{2-} , Ca^{2+} , NH_4^+ , отмечена тенденция к снижению доли ионов NH_4^+ и SO_4^{2-} и росту NO_3^- с 5,0% в 2000-2007 гг., до 9,5% в 2008-2010 гг., что связано с увеличением потока автомобильного транспорта в городах Прибайкалья.

Таким образом, химический состав растворимой фракции аэрозолей является одним из показателей загрязнения

атмосферы Байкальской природной территории. По количественному содержанию ионов в аэрозолях, их соотношениям можно говорить об их происхождении, а также роли естественных процессов и антропогенных источников в их формировании.

В четвертой главе анализируется химический состав аэрозольных частиц разных размеров в приземном слое атмосферы над всей акваторией озера, приводится характеристика отдельных индивидуальных частиц, показаны различия в их формах и составе по котловинам Байкала.

Отбор проб аэрозолей в приземном слое атмосферы над акваторией оз. Байкал проводился во время экспедиций с борта НИС 29 мая-11 июня 2007 г., 29 мая-5 июня и 22-26 июля 2008 г., 10-18 июля 2009 г. Пробы отбирались круглосуточно на высоте около 5 м над поверхностью воды во время движения судна.

По морфологическим признакам оз. Байкал разделяют на Южную, Среднюю и Северную котловины. Атмосфера Южной котловины в большей степени испытывает антропогенную нагрузку, т.к. с северо-западными ветрами по долине р. Ангары загрязненные воздушные массы могут поступать из промышленных комплексов Приангарья на акваторию озера. Суммарное содержание ионов в аэрозолях над всей акваторией озера колебалось в пределах от 0,1 до 4,6 мкг/м³. Наиболее высокие концентрации ионов определены в аэрозолях Южного Байкала, максимальные значения обнаружены вблизи г. Байкальска, где расположен Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат (БЦБК). Рост суммарного содержания ионов в этом районе (до 4,6 мкг/м³ в июне 2008 г.) происходил за счет увеличения вклада NH_4^+ , Na^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- . Увеличение массы ионов в аэрозолях над Южным Байкалом отмечены также в Лиственничном заливе вблизи п. Листвянка и на гидрологическом разрезе Листвянка-Танхой, хотя их суммарная концентрация (1,3-2,6 мкг/м³) была ниже, чем в районе восточного побережья озера (рис. 3). Рост концентрации ионов в аэрозолях отмечен и в Среднем Байкале в приустьевых участках крупных рек, впадающих в озеро (реки Селенга, Баргузин). В приземной атмосфере Селенгинского мелководья сумма ионов составила 3 мкг/м³, в Баргузинском заливе - 1,7 мкг/м³, в Чивыркуйском - 2,8 мкг/м³. Загрязнение атмосферы в районе Чивыркуйского залива, одного из фоновых районов Байкала, связано с интенсивной туристической деятельностью на этой территории в последние годы. Преобладающими ионами в аэрозолях этого района были SO_4^{2-} , NH_4^+ и Ca^{2+} (Голобокова и др., 2011).

На Северном Байкале наиболее высокие значения массовой концентрации ионов определены в районе северной его оконечности вблизи населенных пунктов Нижнеангарск и Северобайкальск.

Наиболее чистой атмосфера была над водной поверхностью Южного Байкала вдоль его центральной части (0,4-0,7 мкг/м³). В Среднем и Северном Байкале (рис. 3) низкие концентрации примесей определены также над поверхностью в центральных районах озера (0,1-0,7 мкг/м³). Усредненные за три года результаты по массовой концентрации ионов в аэрозолях над Байкалом показывают, что наименьшее содержание загрязняющих примесей, как и ранее (Ходжер и др., 1994), наблюдалось в атмосфере над Средним и Северным Байкалом.

В 2007-2009 гг. впервые над акваторией Байкала с помощью каскадного импактора отобраны аэрозольные частицы разных размеров. В 2007 году над акваторией озера основная масса (около 60%) растворимых компонентов находилась в субмикронном диапазоне частиц с размерами менее 1 мкм.

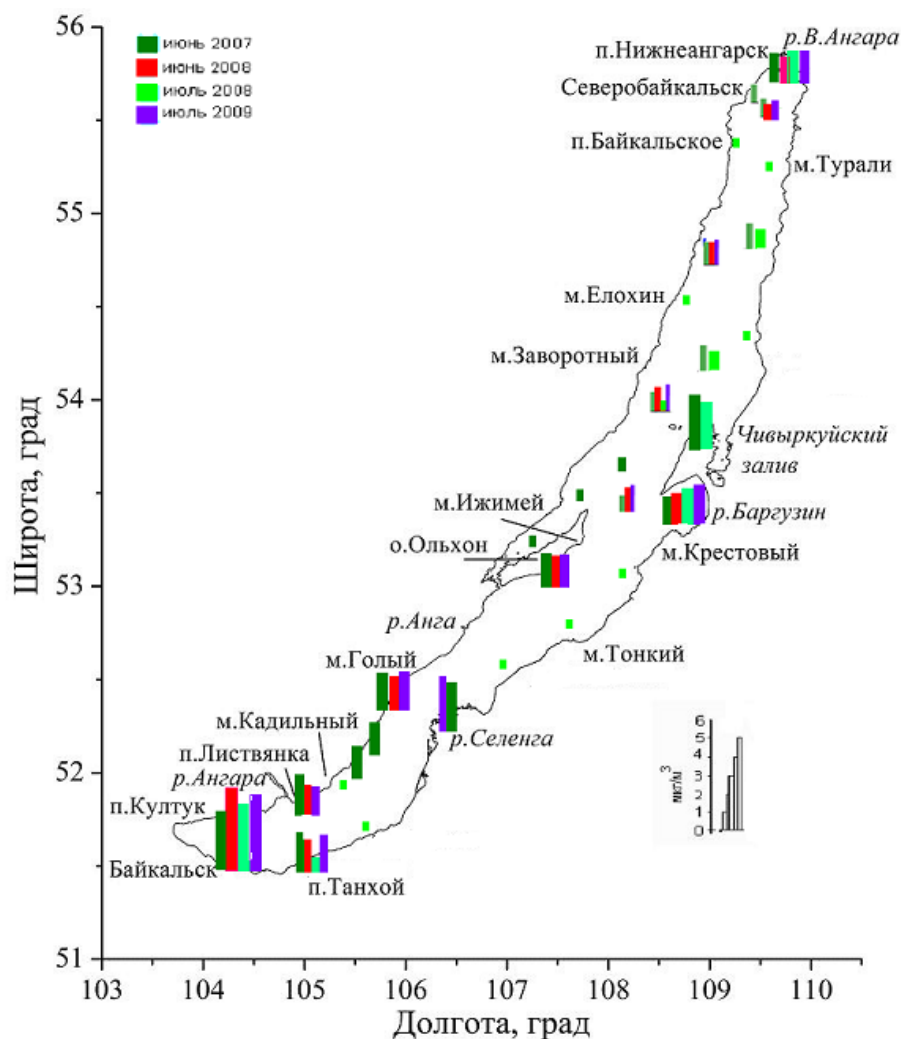


Рис. 3. Суммарная массовая концентрация ионов в аэрозолях приводной атмосферы над оз. Байкал, 2007-2009 гг., мкг/м³.

В 2008 г. суммарная концентрация ионов в субмикронной фракции изменялась более широко: от 18 до 53 % от общей массы всех растворимых веществ в зависимости от района исследования, что обусловлено разными метеоусловиями в периоды отбора проб.

В 2007 году над акваторией озера стояла облачная погода, периодически выпадали осадки, что способствовало очищению атмосферы, напротив, в 2008 году, погода была солнечной со слабыми скоростями ветра, что способствовало накоплению частиц в атмосфере и их укрупнению. Доля мелкодисперсных частиц в течение всех периодов исследований понижалась в аэрозолях вблизи г. Байкальска за счет вклада крупных частиц вблизи комбината и возрастала в аэрозолях на выходе из Баргузинского залива и над центральными районами озера, что объясняется удаленностью их от источников крупных частиц (берегов и населенных пунктов). В субмикронной фракции аэрозолей (< 1 мкм) над центральными районами Южного и Северного Байкала доминировали анионы HCO_3^- , SO_4^{2-} и катионы H^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ . В Среднем Байкале, с более сухим аридным климатом, в этой фракции высокий процент ионов HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} терригенного происхождения (рис. 4). В районе г. Байкальска, где к терригенным источникам аэрозольных частиц добавляются выбросы БЦБК и крупной ТЭЦ в составе субмикронной фракции доминируют ионы Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и Cl^- .

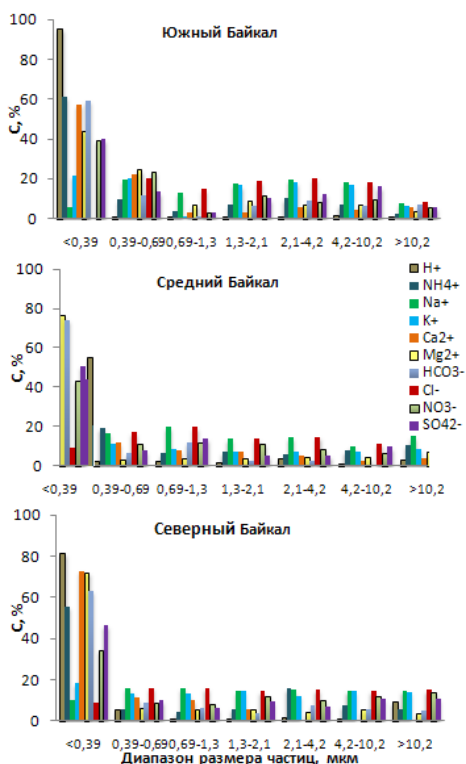


Рис. 4. Химический состав аэрозолей разных размерных фракций в атмосфере над оз. Байкал за 2007-2009 гг., %.

Высокий процент содержания хлорида и натрия в субмикронных аэрозольных частицах связан с работой комбината по варке и отбеливанию целлюлозы. Грубодисперсные частицы характеризовали в основном локальное загрязнение атмосферы и чаще всего присутствовали в аэрозолях, отобранных в районах их источников - вблизи г. Байкальска, в районе Селенгинского мелководья, Баргузинского залива. Так, в районе г. Байкальска и Баргузинского залива выделены два диапазона грубодисперсных фракций частиц с размерами 2,1-4,2 мкм и > 10,2 мкм. Высокие концентрации в этих диапазонах в районе г. Байкальска характерны для ионов Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , в аэрозолях Баргузинского залива - K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- и NO_3^- . В атмосфере над Селенгинским мелководьем наибольшие концентрации растворимых веществ содержались во фракции 1,3-2,1 мкм. Отмечено, что на участке вдоль восточного побережья озера от п. Давша до входа в Чивыркуйский залив в приводной атмосфере повышена доля растворимых веществ в частицах крупных размеров (> 10,2 мкм), достигающая 17 % от общей концентрации всех ионов. В их составе определены NH_4^+ , Na^+ , K^+ , NO_3^- .

Электронно-микроскопический анализ индивидуальных аэрозольных частиц (метод РСМА), собранных над озером показал большое разнообразие их форм. В Северном Байкале чаще встречаются огранные частицы. Частицы размерами < 1 мкм имели овальную или сферическую форму и встречались в атмосфере над всеми котловинами озера. У крупных частиц - более разнообразные формы. В составе округлых частиц в Среднем Байкале в большинстве случаев наряду с органическим материалом (~ 80%) наблюдались включения элементов Al, Si, K, Ca, Mg терригенного происхождения. Огранные частицы и скопления частиц в виде конгломератов содержали элементы: C, O, Al, Ca, Si, Mg (рис 5). В частицах других форм определен более разнообразный набор элементов - O, C, Si, K, Fe, Al, S, Ca, Na, Mg. В районе г. Байкальска аэрозольное вещество часто представлено конгломератами, облепленными мелкими частицами. В химическом составе округлых твердых частиц вблизи г. Байкальска, в основном, преобладают C, O, Si и Ca - зольные элементы от крупной ТЭЦ г. Байкальска (рис. 6).

По результатам химического анализа растворимых и нерастворимых компонентов содержащихся в различных фракциях аэрозолей и отдельных индивидуальных частицах в приводном слое атмосферы над оз. Байкал, показано сходство и различия их по котловинам озера, обусловленные различными источниками их происхождения. Над всей акваторией озера по массе доминируют частицы субмикронной фракции (< 1 мкм) в которых более 90% составляют гидрокарбонаты, сульфаты, водород, кальций и аммоний.

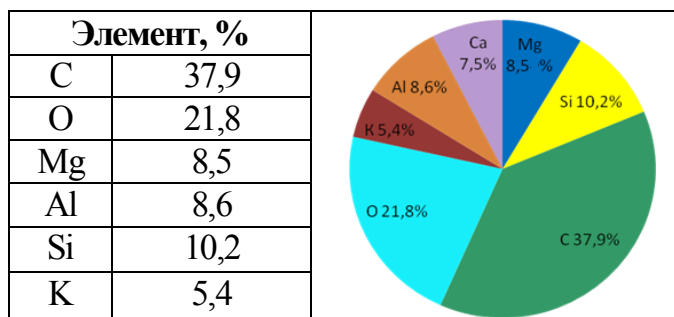
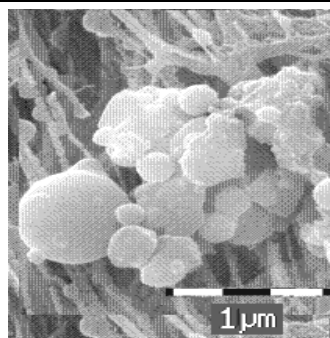
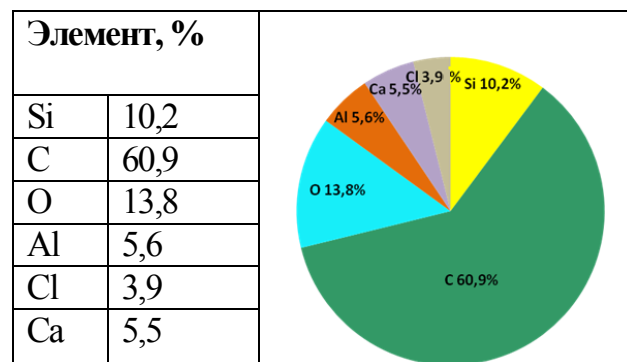
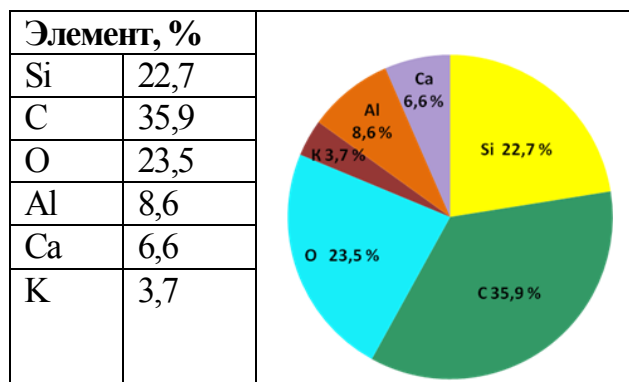
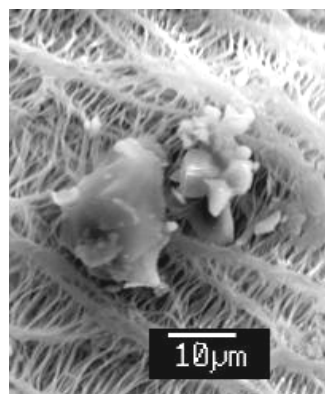
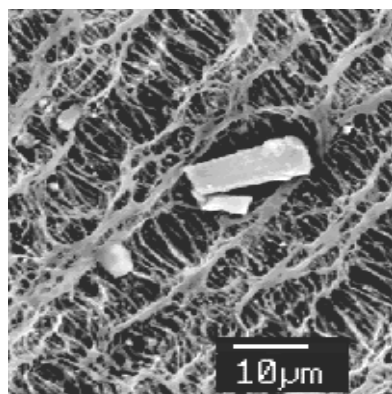


Рис. 5. Разнообразие форм и состав твердых аэрозольных частиц в приводном слое атмосферы над оз. Байкал, (доля относительного содержания элемента, %).

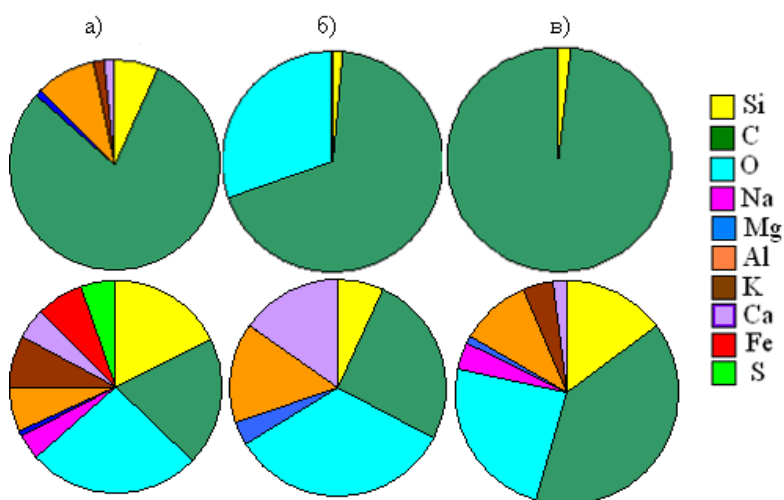


Рис. 6. Состав твердых аэрозольных частиц в приводном слое атмосферы над оз. Байкал, (доля содержания элемента, %):
 а) район БЦБК,
 б) Средний Байкал,
 в) Северный Байкал.
 Верхний ряд - округлые частицы, нижний ряд - частицы неправильной формы.

В пятой главе рассмотрена динамика химического состава частиц разных размеров в отдельных районах БПТ в зависимости от метеорологических ситуаций и синоптических процессов. Проанализированы основные источники загрязнения атмосферы на БПТ, дана оценка поступления загрязняющих примесей на акваторию Южного Байкала через атмосферный канал.

Исследование химического состава аэрозолей на БПТ показало, что его формирование зависит от физико-географических условий территории, сезона года, конкретных метеорологических ситуаций и синоптических процессов. Основные воздушные массы, оказывающие влияние на химический состав аэрозолей в холодный период года в районах г. Иркутска и п. Листвянка, формировались над Северным Ледовитым океаном, а затем трансформировались при передвижении над Европой. Для г. Иркутска средние максимальные концентрации ионов определены в субмикронной фракции $< 0,7$ мкм. Показательно, что в этом диапазоне частиц наряду с высоким содержанием SO_4^{2-} отмечена повышенная концентрация и Cl. В этой фракции, кроме того, среди анионов повышено содержание NO_3^- , среди катионов - NH_4^+ и Ca^{2+} . Установлено, что химический состав растворимой фракции частиц сильно зависит от метеорологических ситуаций. Усиление ветра способствует возрастанию концентраций ионов, как в грубодисперсной, так и в мелкодисперсной фракциях. Выпадение осадков вымывает крупные частицы аэрозолей, в частицах малых размеров преобладающими становятся ионы NH_4^+ и SO_4^{2-} .

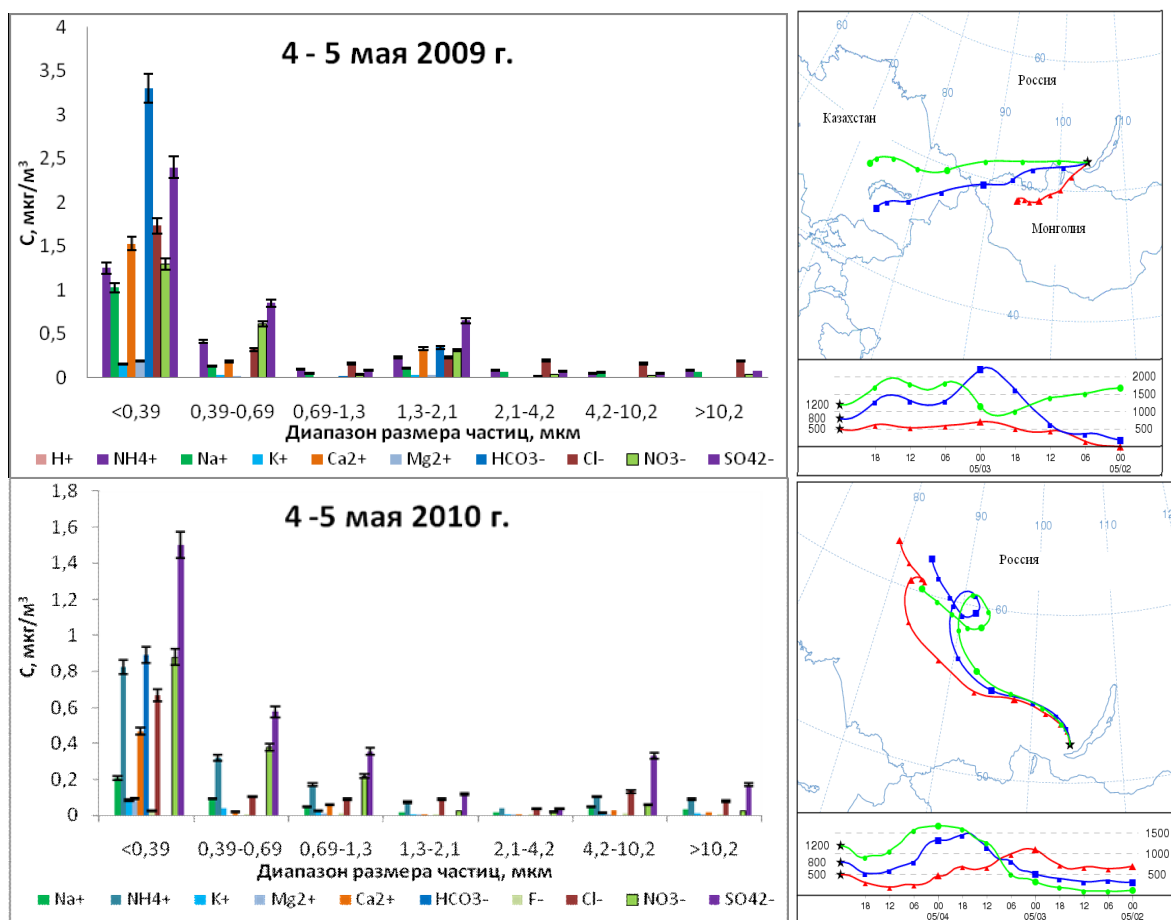


Рис. 7. Химический состав аэрозолей разных размерных фракций в атмосфере г. Иркутска и траектории движения воздушных масс во время пыльных бурь, май 2009 г. и май 2010 г., мкг/м³.

Проанализирован состав аэрозольных частиц разных размеров в районе г. Иркутска, источником которых стали пыльные бури 4 мая 2009 г. и 4 мая 2010 г. Воздушные массы, принесшие примеси в мае 2009 г., были сформированы над степными и пустынными районами Казахстана и Монголии. В составе аэрозолей выделялась фракции $< 0,7$ мкм и $1,3-1,2$ мкм, где отмечены повышенные концентрации ионов HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} . В субмикронной фракции ($< 0,7$ мкм) определено высокое содержание Na^+ , Cl^- и NO_3^- (рис. 7). Учитывая, что территория, с которой поступали примеси в район г. Иркутска, относится к пустынным и полупустынным районам Центральной Азии и Монголии со значительным распространением солончаков и песков (Природные условия и ресурсы., 1976), то, соответственно, в составе аэрозолей возросли концентрации компонентов, в основном, терригенного происхождения. Иная картина наблюдалась в мае 2010 г. Воздушные массы в этот период принесли примеси из промышленных территорий Западной и Восточной Сибири (рис. 8). В составе аэрозолей высокие концентрации ионов также, как и в мае 2009 г., определялись в мелкодисперсной фракции, но отмечено некоторое их повышенное содержание в грубодисперсной фракции (> 4 мкм). Преобладающими ионами в мелкодисперсной фракции были SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NH_4^+ , в грубодисперсной - SO_4^{2-} и Cl^- . Очевидно, что повышение концентрации этих ионов связано с влиянием дальнего переноса примесей из промышленных районов Западной и Восточной Сибири. Ранее установлено, что при переносе воздушных масс из промышленных районов Сибири в суммарном составе растворимой фракции аэрозолей возрастают концентрации ионов SO_4^{2-} и NO_3^- (Голобокова и др. 2005).

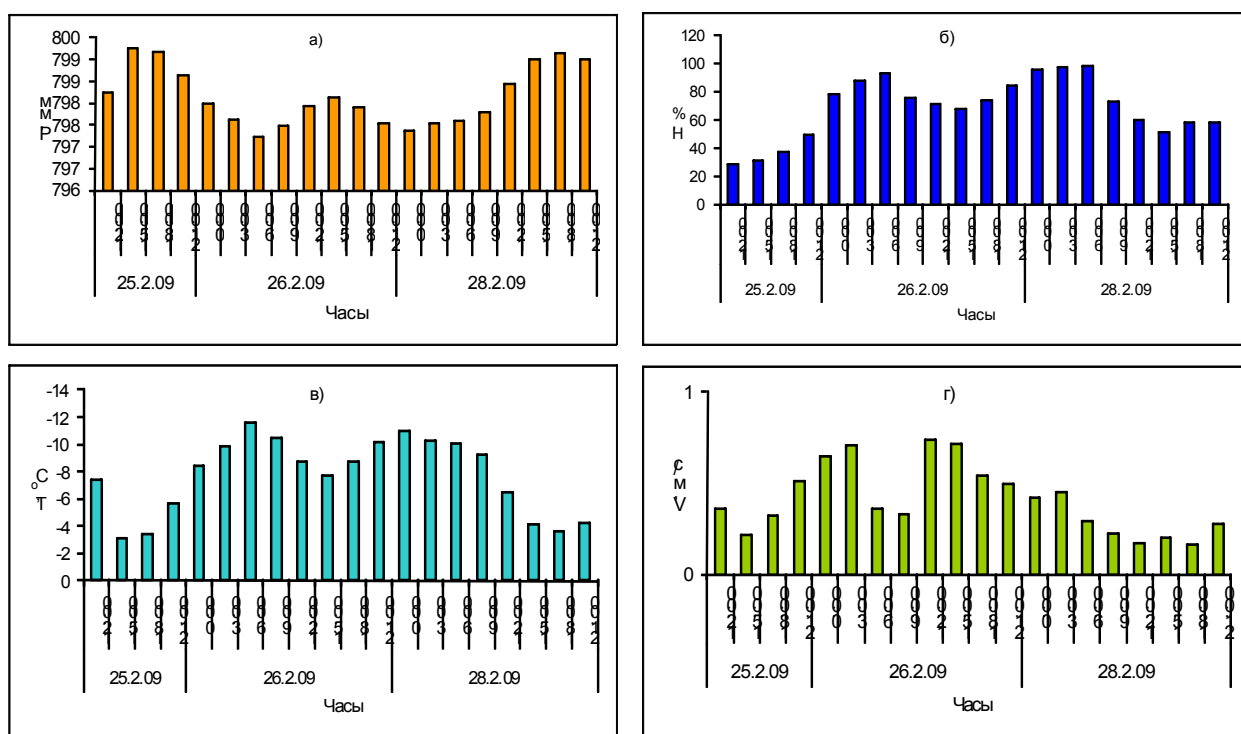


Рис. 8. Динамика метеорологических параметров в период отбора проб аэрозолей на станции Листвянка: а) атмосферное давление, б) относительная влажность воздуха, в) температура воздуха, г) скорость ветра.

Наличие вблизи станции Листвянка большого водоема в теплое время года способствует осаждению крупных пылевидных частиц и содержание их в приземной атмосфере уменьшается. В холодный период более крупные частицы в составе аэрозолей на ст. Листвянка, образуются как от локальных источников, так и при переносе примесей регионального масштаба и с более удаленных территорий Западной Сибири, Казахстана и других районов.

Динамика метеорологических параметров для зимних условий в районе ст. Листвянка дана на рисунке 8. В первом случае 25-26 февраля 2009 г. наблюдалась более высокая температура воздуха, со значительными скоростями ветра и низкой относительной влажностью, чем 27-28 февраля. Усиление ветра на фоне низкой влажности 25 февраля способствовали повышению концентраций ионов в грубодисперсных частицах с размерами 2,1 - 4,2, и > 10 мкм (рис. 9).

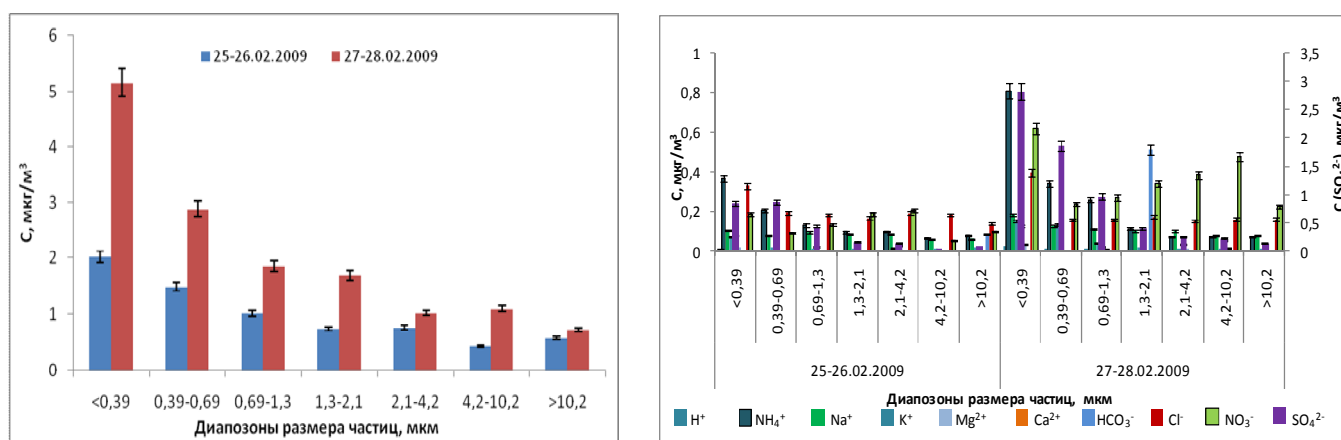


Рис. 9. Суммарная массовая концентрация и химический состав аэрозолей разных размерных фракций в атмосфере на ст. Листвянка 25-28 февраля 2009 г., мкг/м³. Правая шкала - концентрация SO₄²⁻, концентрации остальных ионов даны на левой шкале.

В аэрозолях превалировала субмикронная фракция частиц с ионами SO₄²⁻ и NH₄⁺ (рис. 9). Во втором периоде отбора проб (27-28 февраля) низкие скорости ветра в более сухой атмосфере способствовали накоплению загрязняющих примесей в воздухе. Отмечается повышение концентраций ионов во всех анализируемых фракциях, особенно в самой мелкой < 1 мкм.

Динамика массовой концентрация ионов в теплое время года на ст. Листвянка показана на рисунке 10. Как и в других случаях, концентрации ионов в субмикронной фракции с размером частиц < 1 мкм самые высокие, где среди анионов превалируют SO₄²⁻, среди катионов NH₄⁺, Ca²⁺, Na⁺. На частицах крупных размеров сорбированы в основном ионы NH₄⁺, K⁺ и Na⁺ (рис. 11-12).

Определяющими факторами в формировании химического состава атмосферных аэрозолей на станции Монды являются почвенный и глобальный переносы примесей. В аэрозольном веществе на этой станции определены ионы NH₄⁺, SO₄²⁻, Cl⁻, Na⁺, причем максимальные концентрации ионов содержались в субмикронной фракции (< 0,69 мкм.). В атмосфере фоновых районов наличие таких ионов в аэрозолях, как SO₄²⁻ и NH₄⁺, обусловлено в основном результатом газофазных превращений в чистой атмосфере (рис. 13).

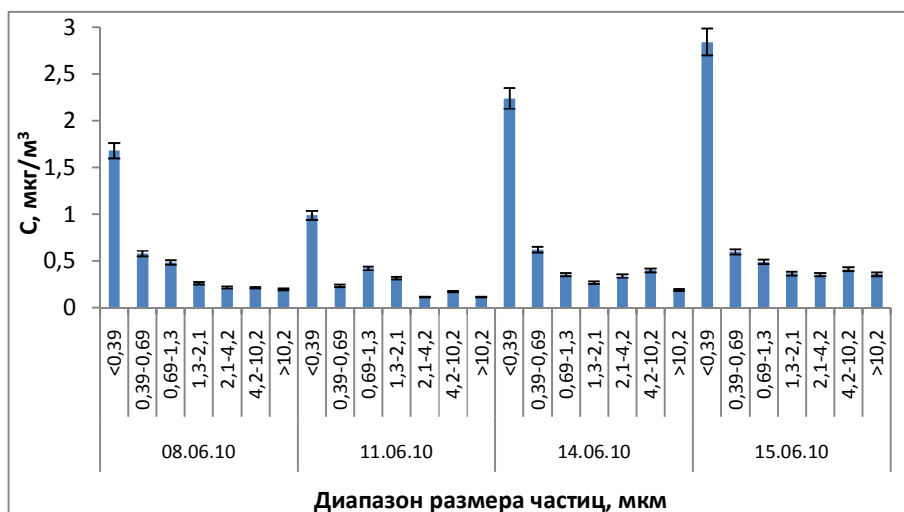


Рис. 10. Суммарная концентрация ионов в аэрозолях разных размерных фракций, ст. Листвянка, 8-15 июня 2010 г., мкг/м³.

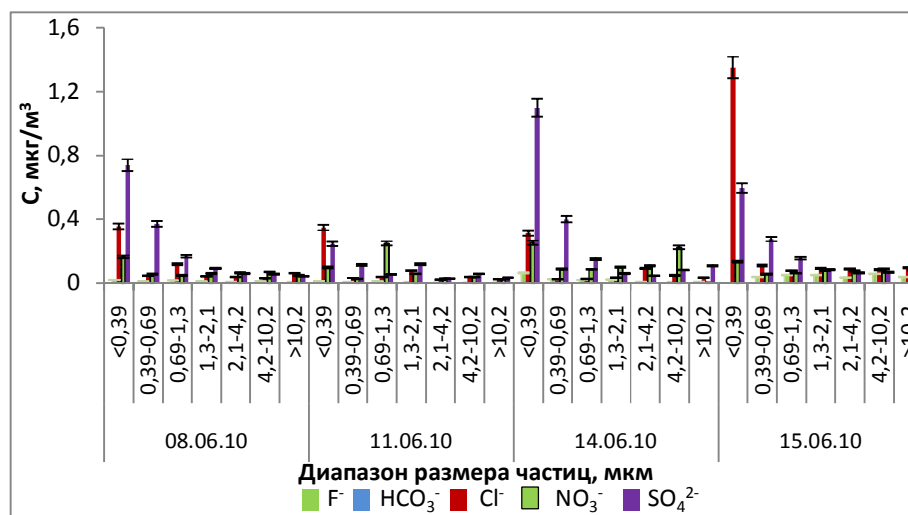


Рис. 11. Концентрация анионов в аэрозолях разных размерных фракций, ст. Листвянка, 8-15 июня 2010 г., мкг/м³.

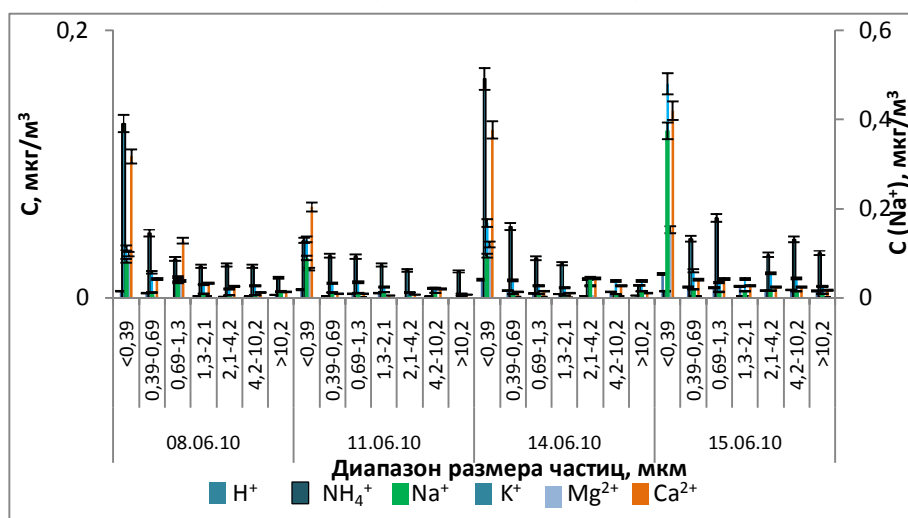


Рис. 12. Концентрация катионов в аэрозолях разных размерных фракций, ст. Листвянка, 8-15 июня 2010 г., мкг/м³.

Правая шкала - концентрация Na⁺, концентрации остальных ионов даны на левой шкале.

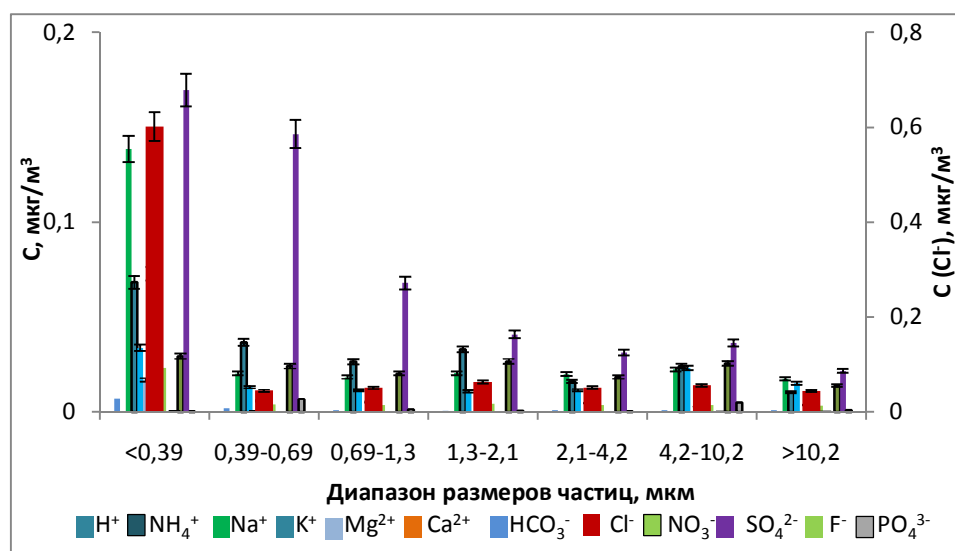


Рис. 13. Средний химический состав частиц разных размеров в атмосфере, ст. Монды, июль, 2010 г., мкг/м³.

Правая шкала - концентрация Cl⁻, концентрации остальных ионов даны на левой шкале.

Таким образом, установлено, что формирование химического состава частиц разных размеров на БПГ зависит от физико-географических условий местности, сезона года, конкретных метеорологических ситуаций. Наличие вблизи станции Листвянка большого водоема не способствует загрязнению атмосферы более крупными пылевидными частицами, которые легко поднимаются в атмосферу при усилении ветра в условиях промышленного города. Химический состав атмосферных аэрозолей в районе станции Монды определяется, в основном, естественными факторами, включающими в себя как локальные источники, так и примеси, сформировавшиеся в атмосфере в результате дальнего переноса.

Для исследования дальних и региональных переносов примесей (десятки и сотни км) предпочтительнее анализировать элементный состав аэрозольных частиц с наименьшими размерами. Для оценки загрязнения атмосферы Южного Байкала была выбрана размерная фракция < 1 мкм, которая может существовать в атмосферном воздухе до нескольких суток и переноситься на сотни км от источников ее происхождения. Из 20 элементов, проанализированных методом РФА-СИ было выбрано несколько наиболее информативных: Ti, Mn, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Sr, Br, Pb, по которым различия между источниками были наиболее значимы (рис. 14).

Все обследованные источники по выбранным элементам распадаются на две группы: первая - г. Ангарск и г. Саянск, вторая - г. Иркутск и г.Шелехов (рис. 14). Концентрации элементов, за исключением Cu, в первой группе значительно выше, чем во второй (шкала логарифмическая). Формы кривых (взаимное соотношение элементов) для этих двух групп также существенно различаются. Различия во взаимном соотношении элементов в выбросах отдельных источников могут служить индикатором удаленного влияния их на фоновые территории, в данном случае на Южную котловину озера. В работе для анализа относительного вклада этих городов-источников в загрязнение атмосферы Южного Байкала вместо абсолютных концентраций использовано отношение концентраций выбранных элементов к концентрации меди (Таблица 3).

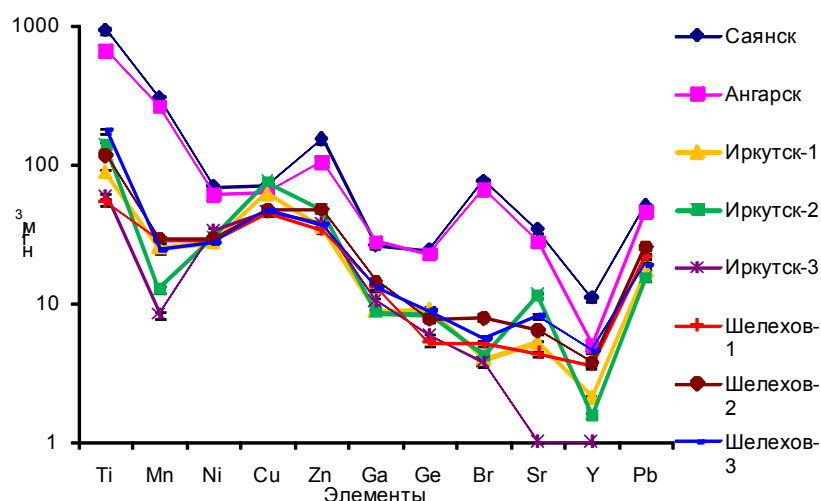


Рис. 14. Концентрации элементов в аэрозольных частицах с размерами 0,39-0,69 мкм вокруг основных источников Иркутско-Черемховского промышленного комплекса, зима 2009-2010 гг., нг/м^3 . В городах Иркутск и Шелехов для презентабельности были взяты пробы с трех разных мест, обозначенных как 1, 2 и 3.

Таблица 3

Отношения концентраций элементов к концентрации Cu в городах-источниках промышленных аэрозолей рассчитанные по линейной множественной регрессии

C_i / C_{Cu}	Саянск	Ангарск	Иркутск (среднее)	Шелехов (среднее)
Ti	29,23	9,88	1,41	1,53
Mn	20,19	2,52	0,31	0,55
Zn	2,07	1,60	0,73	1,16
Br	1,05	0,95	0,02	0,16
Sr	2,37	0,42	0,10	0,15
Y	0,18	0,10	0,02	0,08
Pb	0,78	0,71	0,25	0,55

Количественно относительный вклад обследованных источников в формирование химического состава аэрозолей Южного Байкала (на примере района Листвянки) может быть оценен с помощью множественного линейного регрессионного анализа. Такой анализ был сделан для оценки влияния четырех крупных городов-источников Прибайкалья: Саянск, Ангарск, Иркутск (среднее из трех проб) и Шелехов (среднее из трех проб). В качестве примера рассмотрены два случая отбора аэрозольных проб в п. Листвянка в октябре 2009 г. Обе пробы взяты при переносе воздушных масс со стороны г. Иркутска, первая (20-21 октября 2009 г.) взята при слабом северо-западном (СЗ) ветре, вторая (27-28 октября 2009) - при сильном СЗ ветре. Регрессионное уравнение достаточно надежно описывает вклад рассматриваемых четырех источников в химический состав аэрозолей района п. Листвянка (Таблица 4).

Таблица 4

Сравнительная характеристика соотношения элементов в аэрозолях на станции п. Листвянка с рассчитанным по уравнению регрессии

Листвянка			
20-21 октября 2009 г.		27-28 октября 2009 г.	
Хим. анализ	Расчет.	Хим. анализ.	Расчет.
1,12	1,13	5,27	5,21
0,26	0,26	1,09	1,10
0,85	0,84	0,86	0,95
0,13	0,11	0,10	0,19
0,10	0,12	0,65	0,52
0,10	0,08	0,12	0,24
0,33	0,38	0,33	0,14

Из полученных результатов следует, что при слабом северо-западном переносе, элементный состав мелкодисперсной фракции аэрозолей в п. Листвянка на 80 - 90% соответствует Иркутско-Шелеховскому аэрозолю. На долю более удаленных источников - городов Ангарска и Саянска (и возможно других) - приходится в общей сложности около 2 - 3%. При усилении СЗ ветра вклад г. Иркутска возрастает (до 70 %), а г. Шелехова уменьшается до 26 % (Таблица 5). Эти оценки являются приближенными и относятся только к мелкодисперсной фракции аэрозолей, в которой высока доля антропогенной составляющей, однако она может включать, частично, и примеси природных аэрозолей.

Таблица 5.

Возможный вклад (%) крупных городов Прибайкалья в загрязнение атмосферы Южного Байкала мелкодисперсным аэрозолем (на примере станции Листвянка), %

Станция наблюдения	Направление и скорость ветра	Вклад городов-источников аэрозолей, %			
		Саянск	Ангарск	Иркутск	Шелехов
Листвянка 20-21 октября 2009 г.	СЗ 3 - 5 м/с	1	1	36	62
Листвянка 27-28 октября 2009 г.	СЗ 10 - 15 м/с	2	2	70	26

Таким образом, знание особенностей элементного состава аэрозолей в атмосферных выбросах отдельных источников (или их комплекса) позволяет отслеживать влияние последних на удаленные природные объекты, например, оз. Байкал. В частности, получено, что при северо-западных ветрах основной вклад в

загрязнение атмосферы Южного Байкала (в районе истока р. Ангара) вносят атмосферные выбросы городов Иркутска и Шелехова. Вклад более удаленных источников составляет в общей сложности не более 2 - 3%.

Заключение

Впервые получены результаты по массовой концентрации и химическому составу аэрозольных частиц в размерных фракциях $> 10,2$ мкм; $10,2-4,2$; $4,2-2,1$; $2,1-1,3$; $1,3-0,69$; $0,69-0,39$ и $< 0,39$ мкм над различными районами Байкальской природной территории.

Химический состав аэрозолей над акваторией центральных районов оз. Байкал сравнительно однороден: основная масса (около 60%) растворимых компонентов находится в диапазоне частиц с размерами < 1 мкм, главными ионами в которых были гидрокарбонаты, сульфаты, водород, кальций и аммоний.

Различия в составе аэрозольных частиц разного размера над акваторией озера обусловлены локальными источниками загрязнения атмосферы, как природного, так и антропогенного происхождения. В придельтовых районах крупных рек в грубодисперсных частицах определены элементы терригенного происхождения: алюминий, кремний, калий, кальций, магний. В районе БЦБК массовая доля частиц крупных размеров ($4-10$ мкм) значительна, в которых доминируют химические компоненты, используемые при производстве целлюлозы - Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- .

Проанализированы отдельные индивидуальные частицы над акваторией оз. Байкал. Ограниченные частицы и скопления частиц в виде конгломератов, содержали элементы природного происхождения - C, O, Al, Ca, Si, Mg, Fe. В составе округлых частиц наряду с органическим материалом (до 80%) определены - Al, Si. Частицы других форм содержали более разнообразный набор элементов - O, C, Si, K, Fe, Al, S, Ca, Na, Mg.

Метеорологические ситуации и сезонные климатические факторы существенно влияют на концентрации атмосферных аэрозолей, а также на их распределение по размерам и химический состав на изучаемой территории. В теплый период года при устойчивых погодных условиях основная масса аэрозолей представлена частицами менее 1 мкм, в которых основными ионами были сульфаты и аммоний, в холодный период возрастал вклад крупных частиц, менялся их химический состав. В аэрозолях увеличивались концентрации ионов кальция, сульфатов, нитратов, что напрямую связано с атмосферными выбросами отопительных источников. В последние годы отмечена тенденция к снижению доли ионов аммония, сульфатов и возрастание в два раза нитратов в аэрозольных частицах по сравнению с началом 21 века.

Впервые получено распределение микроэлементов в аэрозольных частицах разных размеров в промышленных и фоновых районах БПТ. В крупнодисперсной фракции (> 4 мкм) преобладают типично почвенные элементы (Ca, K, Ti, Fe, Rb). Некоторые микроэлементы (Br, Zn, Pb) сосредоточены преимущественно в частицах мелких размеров (< 1 мкм), часть элементов может иметь два максимума распределения - в крупных и мелких частицах (V, Ni, Cu).

Для основной массы из 20 проанализированных микроэлементов их содержание в аэрозольных частицах соответствует кларкам земной коры. Для ряда микроэлементов и тяжелых металлов (Br, Zn, Cu, Pb, Ge) наблюдается многократное обогащение по сравнению с почвой. Оценен возможный вклад крупных городов Прибайкалья в

загрязнение атмосферы Южного Байкала. Для городов Саянск, Ангарск, Иркутск, Шелехов определены элементы Ti, Mn, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Sr, Br, Pb в мелкодисперсной фракции аэрозольных частиц по которым различия между источниками наиболее значимы. При северо-западных ветрах основной вклад в загрязнение атмосферы Южного Байкала вносят атмосферные выбросы городов Иркутска и Шелехова. Вклад более удаленных региональных источников составляет в общей сложности не более 2-3%.

Основные публикации по теме диссертации:

1. Оболкин В.А. Динамика серосодержащих примесей в атмосфере вокруг точечного источника Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (юго-восточное побережье оз. Байкал) / В.А. Оболкин, В.Л. Потемкин, Т.В. Ходжер, Л.П. Голобокова, **У.Г. Филиппова**, В.Л. Макухин, К.Тода, М.Такеучи, Т. Обата, К. Хирота // Оптика атмосферы и океана. - 2009. - Т. 22. № 9. - С. 853-858.
2. Голобокова Л.П. Химический состав атмосферных аэрозолей над акваторией оз. Байкал. (Chemical composition of atmospheric aerosol above the Lake Baikal area.) / Л.П. Голобокова, **У.Г. Филиппова**, И.И. Маринайте, О. Ю. Белозерова, А.Г. Горшков, В.А. Оболкин, В.Л. Потемкин, Т.В. Ходжер // Оптика атмосферы и океана. - 2011. - Т. 24. № 3. - С. 236-241.
3. Павлов В.Е. Корреляционные соотношения между концентрациями ряда ионов в растворимых фракциях аэрозолей на азиатском континенте / В.Е. Павлов, Л.П. Голобокова, Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов, **У.Г. Филиппова**, И.В. Хвостов, Т.В. Ходжер // Оптика атмосферы и океана. - 2011. - Т. 24. № 6. - С. 483-487.
4. Голобокова Л.П. Комплексные исследования атмосферы на станции мониторинга Азиатской территории России, работающих на программах ЕАНЕТ / Л.П. Голобокова, Т.В. Ходжер, О.Г. Нецветаева, **У.Г. Филиппова**, В.А. Оболкин, В.Л. Потемкин // Всероссийская конференция: 'Развитие системы мониторинга состава атмосферы (РСМСА)' - Тез. докладов. - Москва - 2007. С. 130.
5. Голобокова Л.П. Кислотообразующие газовые примеси (SO₂, NO_x, NH₃) в приземном слое Байкальского региона / Л.П. Голобокова, **У.Г. Филиппова**, В.А. Оболкин // Тезисы докладов 14-ой рабочей группы 'Аэрозоли Сибири'- Тез. докладов. - Томск - 2007. С. 15.
6. Голобокова Л.П. Контроль качества воздуха в районе газонефтяных месторождений на севере Иркутской области / Л.П. Голобокова, Т.В. Ходжер, И.И. Маринайте, **У.Г. Филиппова**, И.Н. Доля, М.Ю. Семенов // Контроль и реабилитация окружающей среды: Материалы VI Международного симпозиума - Тез. докладов. - Томск - 2008. С. 15 - 16.
7. Оболкин В.А. Измерение газовых и аэрозольных серосодержащих примесей в атмосфере вокруг Байкальского целлюлозно-бумажного комбината. / В.А. Оболкин, В.Л. Потемкин, Т.В. Ходжер, Л.П. Голобокова, **У.Г. Филиппова**, В.Л. Макухин, К.Тода, М.Такеучи, Т. Обата, К. Хирота // Тезисы докладов XV рабочей группы 'Аэрозоли Сибири'. К 100-летию теории МИ - Тез. докладов. - Томск - 2008. С. 16.
8. Маринайте И.И. Состояние воздушной среды г. Шелехова / И.И. Маринайте, **У.Г. Филиппова**, Л.П. Голобокова // Тезисы докладов XV рабочей группы 'Аэрозоли Сибири'. К 100-летию теории МИ - Тез. докладов. - Томск - 2008. С. 59.

9. Голобокова Л.П. Химический состав атмосферных аэрозолей над акваторией озера Байкал / Л.П. Голобокова, И.И. Маринайте, **У.Г. Филиппова**, Т.В. Ходжер // Сборник тезисов VII Всероссийской конференции по анализу объектов окружающей среды 'ЭКОАНАЛИТИКА -2009' - Тез. докладов. - Йошкар-Ола. - 2009. С. 66-67.
10. Маринайте И.И. Химический состав аэрозолей и газовых примесей в атмосфере г. Шелехов весной 2008 г / И.И. Маринайте, Л.П. Голобокова, **У.Г. Филиппова** // Материалы IX научного совещания по прикладной географии «Региональная политика России в современных социально-экономических условиях: географические аспекты» - Тез. докладов. - Иркутск - 2009. С. 240-241.
11. Голобокова Л.П. Исследование химического состава атмосферных аэрозолей над акваторией озера Байкал / Л.П. Голобокова, И.И. Маринайте, Т.В. Ходжер, **У.Г. Филиппова**, // Тезисы докладов XVIII международной школы морской геологии. 'Геология морей и океанов'. - Тез. докладов. - Москва. - 2009 г. - С. 9-13.
12. **Филиппова У.Г.** Сравнение химического состава аэрозолей в районе Южного Байкала / У.Г. Филиппова, Т.В. Ходжер // XVI рабочая группа 'Аэрозоли Сибири' - Тез. докладов. - Томск - 2009. С. 16.
13. Оболкин В.А. Многолетняя динамика диоксида серы в атмосфере над Южным Байкалом / В.А. Оболкин, **У.Г. Филиппова**, Л.П. Голобокова, Т.В. Ходжер / Материалы международной научной конференции 'Актуальные вопросы деятельности академических естественно-научных музеев' - Тез. докладов. - п. Листвянка - 2010. С. 268-274.
14. **Филиппова У.Г.** Пространственное распределение аэрозолей разных размерных фракций в районе оз. Байкал // Материалы ежегодной Международной научно-практической конференции - Тез. докладов. - Санкт-Петербург - 2010. С. 220-224.
15. **Филиппова У.Г.** Исследование химического состава частиц разных размерных фракций в атмосфере Байкальского региона / Л.П. Голобокова, Т.В. Ходжер, // Седьмая международная конференция 'Естественные и антропогенные аэрозоли'- Тез. докладов. - Санкт-Петербург. - 2010 г. - С. 76.
16. **Филиппова У.Г.** Исследование размерных фракций атмосферного аэрозоля вблизи основных источников загрязнения атмосферы Иркутской области / Л.П. Голобокова, Т.В. Ходжер, Е.В. Чипанина, // Пятая Верещагинская Байкальская конференция, Международная научная школа для молодежи «Экология крупных водоемов и их бассейнов», 16 объединенный семинар по проблемам изучения региональных осадений из атмосферы: тезисы докладов и стендовых сообщений - Тез. докладов. - Иркутск. - 2010 г. - С. 174-177.
17. **Филиппова У.Г.** Элементный состав аэрозолей разных размерных фракций на территории Иркутской области / В.А. Оболкин // XVII рабочая группа 'Аэрозоли Сибири' - Тез. докладов. - Томск - 2010. С. 21.
18. Павлов В.Е. Корреляционные связи между концентрациями ряда ионов в растворимых аэрозолях приземного воздуха на азиатском континенте / В.Е. Павлов, Л.П. Голобокова, Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов, **У.Г. Филиппова**, И.В. Хвостов, Т.В. Ходжер // XVII рабочая группа 'Аэрозоли Сибири' - Тез. докладов. - Томск - 2010. С. 64.