

На правах рукописи

Аюржанаев Александр Андреевич

Разработка методического и программно-технического обеспечения для контроля содержания примесей в приземном слое атмосферы региона оз. Байкал и аридных территорий Монголии

Специальность 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул – 2011

Работа выполнена в Отделе физических проблем Учреждения Российской академии наук
Бурятского научного центра Сибирского отделения РАН

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук, доцент
Заяханов Александр Савельевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор
Суторихин Игорь Анатольевич

доктор технических наук,
профессор
Еськов Александр Васильевич

Ведущая организация: Учреждение Российской академии наук
Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Защита диссертации состоится "21" сентября 2011 г. в 14 час. на заседании
диссертационного совета Д.212.004.06 в Алтайском государственном техническом
университете им. И.И. Ползунова по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46.
e-mail: krivobok@ab.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного
технического университета.

Автореферат разослан " ____ " _____ 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, к.т.н.

Кривобоков Д.Е.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Изучение состава атмосферы, ее глобального изменения, влияния на климат и среду обитания человека относятся к числу приоритетных направлений исследований последних десятилетий. Неуклонный рост парниковых газов в атмосфере влечет глобальное изменение климата и воздействует на геосферно-биосферные процессы. Воздействия малых газовых примесей, таких как приземный озон, оксиды азота, диоксид серы и углекислый газ на природную среду имеют как глобальный, так и региональный масштаб.

Несмотря на то, что исследования малых газовых примесей ведутся по разным направлениям, имеется много требующих решения проблем. Одной из актуальных задач в настоящее время является выявление особенностей механизмов образования, трансформации и переноса озона и газов-предшественников в различных природно-климатических условиях, особенно в тех регионах, где такие исследования ранее не проводились. К таким регионам относятся обширные аридные территории Монголии, где отсутствует сеть мониторинговых станций и регион оз. Байкал, который еще недостаточно изучен в отношении техногенного загрязнения.

Исследования механизмов формирования и переноса атмосферных примесей в двух контрастных по климатическим характеристикам регионах влажного климата оз. Байкал и сухого климата пустыни Гоби Монголии требует комплексного подхода, учитывающего их взаимное влияние на процессы формирования и распределения аэрозольно-газовых компонентов. В этой связи экологическая оценка атмосферы, основанная на новых методах комплексных экспериментальных исследований содержания атмосферных примесей в различных природно-климатических территориях, является актуальной проблемой. Подобные исследования требуют привлечения современных средств дистанционного и локального контроля, результатом работы которых является огромный массив данных, требующий разработки программного обеспечения систематизации и обработки данных, что также является актуальной задачей.

Целью работы является разработка аппаратно-программного комплекса для контроля содержания аэрозольных, газовых компонент, метеорологических и турбулентных характеристик в приземном слое атмосферы. На основе экспериментальных измерений разработать методические рекомендации для контроля содержания атмосферных примесей в приземном слое атмосферы региона оз. Байкал и аридных территорий Монголии.

В соответствии с целью работы были поставлены и решены следующие задачи:

- разработка аппаратно-программного комплекса регистрации, систематизации и обработки экспериментальных данных, объединяющего в единую базу данных результаты измерений концентрации аэрозольных, газовых примесей, метеорологических, турбулентных характеристик атмосферы;

- разработка методик градиентных измерений содержания приземного озона в условиях неоднородного рельефа;

- организация и проведение измерений концентрации приземного озона, оксидов азота и метеорологических параметров в приземном и приземном слое атмосферы оз. Байкал, в аридных территориях Монголии;

- выявление основных факторов, влияющих на изменчивость озона и других малых газовых примесей, аэрозоля в различных природно-климатических условиях.

Научную новизну характеризуют следующие полученные результаты:

1. Разработан аппаратно-программный комплекс регистрации, систематизации и обработки экспериментальных данных, объединяющий в единую базу данных результаты измерений концентрации аэрозольных, газовых примесей, метеорологических, турбулентных характеристик в приземном слое атмосферы, который способен осуществлять контроль содержания аэрозольно-газовых примесей природного и антропогенного происхождения;

2. Разработана методика контроля содержания приземного озона в условиях неоднородного рельефа;

3. Впервые получены данные о пространственных и временных вариациях приземного озона, диоксида азота и углекислого газа в атмосфере аридных и полуаридных территорий Монголии;

4. Впервые исследованы суточные вариации распределения субмикронных аэрозольных частиц по размерам в приземном слое атмосферы в аридных районах Монголии и в регионе оз. Байкал.

Достоверность полученных результатов обеспечена проведением контроля качества анализов в рамках аккредитаций аналитической лаборатории (Аттестат аккредитации лаборатории № РОСС RU.0001.512069) на техническую компетентность и независимость в организации и обеспечении достоверности измерений в области мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды и соответствия требованиям ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006 (международного стандарта ИСО/МЭК 17025:2005) в Системе аккредитации Федерального Агентства по техническому регулированию и метрологии, ежегодной поверкой газоаналитического оборудования в НПО «Тайфун» (г. Обнинск), в ЗАО «ОПТЭК» (г. С-Петербург). Для контроля погрешности измерений

проводилась регулярная калибровка газоанализаторов с использованием стандартных поверочно-газовых смесей (ООО «Мониторинг», СПб), калибратора озона, окислов азота и диоксида серы (мод. 8500 ML, США) с использованием аттестованных источников микропотоков ИМ-SO₂, ИМ-NO₂ (ООО «Аналитприбор», г. Смоленск) и генератора газовых смесей 665 гр 03М.

Достоверность полученных результатов обеспечивается высокой статистической надежностью полученных оценок, основанных на большом объеме исходных данных. Полученные в работе экспериментальные результаты находятся в согласии с данными независимых исследований, опубликованными ранее другими авторами.

Практическая значимость. Апробированный аппаратно-программный комплекс регистрации, систематизации и обработки экспериментальных данных и сформированная в результате исследований количественного и качественного состава атмосферы база данных позволяет обеспечить оперативный контроль состояния и прогноза изменений природных сред, процессов и явлений.

Основная часть исследований по теме диссертации имела целевую практическую направленность и выполнялась в рамках следующих проектов и программ: РФФИ № 05-05-97240, № 08-05-98007; проект СО РАН № II.8.3.7; интеграционный проект СО РАН № 13 Программы Президиума РАН № 4; комплексный интеграционный проект СО РАН № 75; заказной интеграционный проект СО РАН № 8.

Материалы работы используются в Государственной программе Росгидромета «Организация регулярных наблюдений за содержанием приземного озона в Байкальском регионе» (Поручение Правительства РФ № ХВ-П9-21167 от 08.12.2001 г.) и в программе Управления Роспотребнадзора по Республике Бурятия «Оценка риска здоровью населения от загрязнения атмосферного воздуха».

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на III и IV Международных школах молодых ученых и специалистов "Физика окружающей среды" (Томск, 2002, 2004); X, XIV, XVI Joint International Symposium "Atmospheric and Ocean optics. Atmosphere physics" (Томск, 2003; Максимиха, 2007; Томск, 2009); X-XVII Рабочих группах "Аэрозоли Сибири" (Томск, 2003-2010); Международной конференции «Природные ресурсы Забайкалья и проблемы геосферных исследований» (Чита, 2006); International Conference "Science for watershed conservation: multidisciplinary approaches for natural resource management" (Ulan-Ude – Ulan-Bator, 2004); The First International Symposium on Terrestrial and Climate Change in Mongolia (Ulaanbaatar, Mongolia, 2005); The Fourth Vereshchagin Baikal Conference (Irkutsk, 2005); The Second International Workshop on Central and Northern Asia Environment and Desertification (Ulan-

Ude-Istomino-Boyarsk, 2009); Workshop “Climate change in Eastern region of Mongolia” (Sainshand, Mongolia, 2009); Workshop “Climate change in Eastern region of Mongolia” (Underkhaan, Mongolia, 2010); The Fifth Vereshchagin Baikal International Conference (Irkutsk, 2010).

На защиту выносятся:

1. Аппаратно-программный комплекс регистрации, систематизации и обработки данных количественного и качественного состава атмосферы, являющийся эффективным инструментом контроля содержания аэрозольно-газовых примесей природного и антропогенного происхождения.
2. Методика контроля содержания приземного озона и изменчивости динамических характеристик атмосферы в условиях неоднородного рельефа.
3. Результаты экспериментальных исследований концентрации аэрозольно-газовых примесей в атмосфере Байкальского региона и аридных территорий Монголии.

Публикации. Автор имеет 59 публикаций. По теме диссертации опубликовано 21 научная работа, из них 3 в журналах, рекомендованных ВАК России, свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ, свидетельство об официальной регистрации базы данных.

Личный вклад диссертанта заключался в разработке аппаратно-программного комплекса, методик контроля содержания приземного озона в условиях неоднородного рельефа. Автор принимал непосредственное участие в экспериментальных исследованиях. Анализ и интерпретация данных, подготовка публикаций выполнялись совместно с соавторами.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения; изложена на 145 страницах, включая 48 рисунков и 18 таблиц. Список литературы включает 114 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, охарактеризована новизна и практическая значимость полученных в ходе выполнения диссертационной работы результатов, приведены основные защищаемые положения.

В первой главе приводится краткий обзор работ по исследованию содержания парниковых газов, аэрозоля, в континентальных районах и их влияния на климатические изменения, а также рассмотрены современные методы, приборы, интегрированные

автоматизированные системы для исследования малых газовых примесей и аэрозоля в атмосфере.

Представлен обзор литературных данных о современном состоянии исследований количественного и качественного состава атмосферы оз. Байкал и аридных территорий Монголии. Сложный характер взаимодействия приземного озона с другими компонентами атмосферы, метеорологическими, радиационными характеристиками, неоднородностями рельефа, типом постилающей поверхности требует постановки специальных экспериментов, позволяющих оценить вклад отдельных факторов в формирование пространственно-временной структуры газовых компонент. Проведение таких экспериментов требует разработки новых методик наблюдения за содержанием газовых компонент, в том числе и аэрозоля, включая синхронные «многоточечные» измерения в разных пунктах, отличающихся особыми условиями, влияющими на их вариации. Одновременные наблюдения в разнесенных пунктах на основе градиентных измерений позволяют получить более полные данные о пространственно-временных изменениях газовых компонент с целью выявления механизмов, определяющих их изменчивость.

На основе обзора существующих автоматизированных систем контроля атмосферных примесей отмечена их узкая целевая направленность. Данные системы применяются для мониторинга климатических изменений или для измерения уровней загрязнения атмосферы промышленных и природных объектов, в научных целях. Поэтому актуальной задачей является создание гибкой автоматизированной системы, позволяющей вкуче решать вышеперечисленные задачи. Подобная система, генерирующая большой объем информации, нуждается в разработке программного обеспечения, способного объединять и обрабатывать разнородные данные, что также является важной задачей.

В конце обзорной главы сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе описывается структура аппаратно-программного комплекса регистрации, систематизации и обработки данных исследования аэрозольно-газового состава атмосферы, метеорологических и турбулентных характеристик.

Аппаратно-программный комплекс (АПК) состоит из автоматизированной системы контроля качества воздуха и программного пакета, обрабатывающего данные измерений. Разработанный АПК позволяет контролировать в атмосферном воздухе и в выбросах промышленных предприятий концентрации основных загрязняющих компонентов: приземный озон, оксид и диоксид азота, оксид и диоксид углерода, диоксид серы, взвешенные частицы-аэрозоли. Для контроля фоновых и экстремальных природных феноменов, таких как лесные пожары, пыльные бури, извержения вулканов, влияющих на содержание аэрозольных примесей, в состав автоматизированной системы контроля

качества воздуха включены солнечный фотометр и комбинированный спектрометр аэрозолей.

Приборное оборудование автоматизированной системы контроля качества воздуха функционально разделяется на 4 группы и состоит из:

1. газоаналитического оборудования – газоанализаторы O_3 , NO , NO_2 , CO , CO_2 , SO_2 в атмосферном воздухе и многокомпонентный газоанализатор NO , NO_2 , CO , CO_2 , SO_2 , O_2 в промышленных выбросах;
2. метеорологического обеспечения – автономные ультразвуковые метеоконкомплексы АМК в стационарном, переносном и двухуровневом исполнениях;
3. аэрозольного оборудования – комбинированный спектрометр аэрозолей (диффузионный спектрометр аэрозолей ДСА и счетчик аэрозольных частиц ПК.ГТА-0,3-002), высокообъемные пробоотборники взвешенных частиц TSP и PM10;
4. фотометрической установки – солнечный фотометр SP7 с метеорологическими датчиками.

Результатом работы автоматизированной системы контроля качества воздуха является массив файлов различной структуры и содержания. Ультразвуковой комплекс АМК генерирует файлы четырех типов, которые содержат усредненные и мгновенные значения метеорологических величин, их статистические характеристики, а также определяемые параметры турбулентности. Выходные данные программного обеспечения аэрозольного оборудования включают информацию о средних диаметрах субмикронных частиц, их общее содержание и распределение концентраций по размерам. Солнечный фотометр SP7 на основании измерений приходящей солнечной радиации в различных участках спектра восстанавливает характеристики прозрачности атмосферы и записывает их в файлы, включающие также метеорологическую информацию. Универсальное программное обеспечение газоанализаторов фирмы «ОПТЭК» (г. Санкт-Петербург) обрабатывает и выводит в файл сигналы встроенных АЦП. Выходной файл программы является текстовым и содержит дату, время и результаты измерений концентраций газа. Также в файл выводится информация о результатах периодической внутренней калибровки прибора. В режиме непрерывного мониторинга аппаратно-программный комплекс записывает более 150000 файлов в год.

Для систематизации и обработки данных измерений состава и свойств атмосферы разработан программный пакет, который позволяет объединить в единый массив или базу данных результаты исследований, а также рассчитать их статистические характеристики. Реализация программного пакета осуществлялась с использованием среды разработки Delphi, позволяющей создавать приложения различной степени сложности с поддержкой

баз данных. Разработанный программный продукт представляет собой стандартное Windows-приложение с характерными элементами управления. На рис. 1 представлена структурная схема связей в программном пакете.

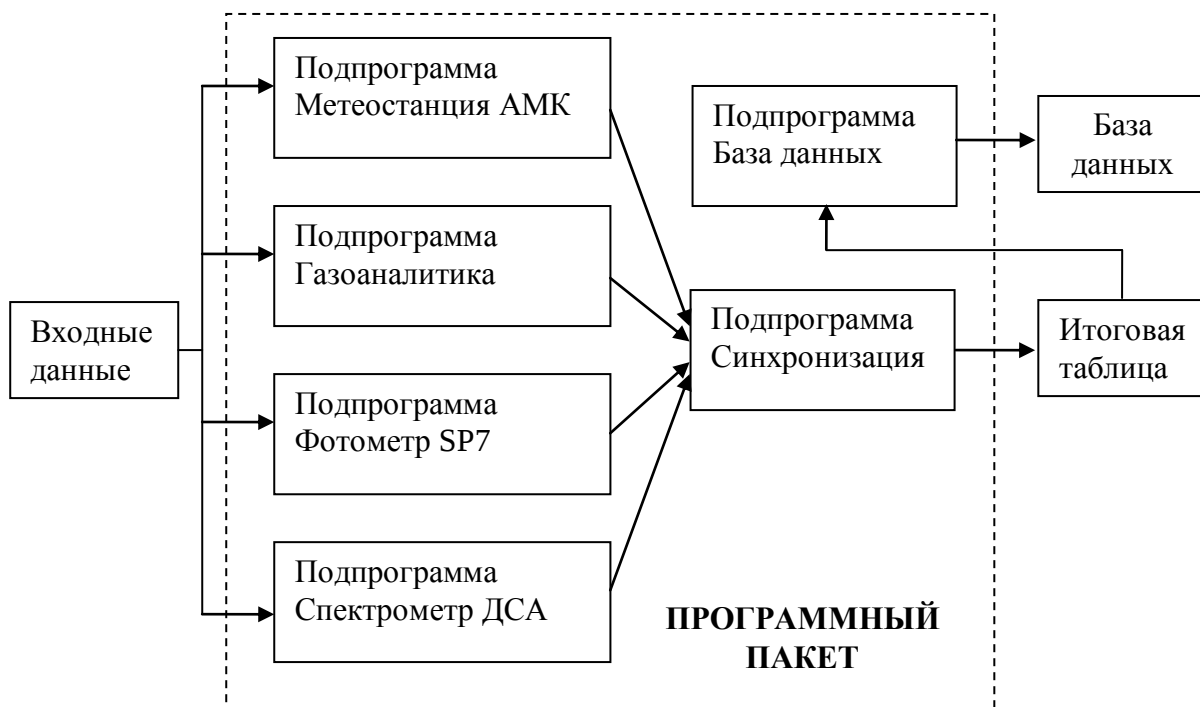


Рисунок 1 – Структурная схема связей в программном пакете

Программный пакет состоит из шести подпрограмм:

1. Подпрограмма «Метеостанция АМК». Выбирает из массива файлов, содержащих статистические отчетные данные, определяемые пользователем метеорологические и турбулентные параметры.

2. Подпрограмма «Газоаналитика». Записывает данные газоанализаторов атмосферного воздуха и выбросов загрязняющих веществ предприятий. Определяемые параметры техногенных выбросов передаются и используются в разработанной программе расчета распространения атмосферных примесей от антропогенных источников (Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2007610935).

3. Подпрограмма «Фотометр SP7». Производит выборку и усреднение аэрозольной оптической толщи на разных длинах волн и общего влагосодержания, определяемых солнечным фотометром SP7. Определяет статистические параметры рядов за указанный период времени.

4. Подпрограмма «Спектрометр ДСА». Производит выборку и усреднение общей счетной концентрации и распределения аэрозольных частиц по размерам в диапазоне 1,6-200 нм и 300-1000 нм. Определяет статистические параметры рядов за указанный период времени.

5. Подпрограмма «Синхронизация». Использует выходные данные подпрограмм «Метеостанция АМК», «Газоаналитика», «Фотометр SP7», «Спектрометр ДСА» и записывает их в единый текстовый файл. Подпрограмма совмещает данные в общую строку по признаку равенства даты и времени.

6. Подпрограмма «База данных». Предназначена для записи в таблицу БД синхронизированных данных, являющихся итогом работы подпрограммы «Синхронизация». Имеется функция восстановления базы данных, опционально поставляемой с ультразвуковой метеорологической станцией АМК и процедура записи в базу данных параметров выбросов промышленных предприятий.

Подпрограммы «Метеостанция АМК», «Газоаналитика», «Фотометр SP7» и «Спектрометр ДСА» содержат процедуры для вычисления статистических характеристик временных рядов: среднее, минимальное и максимальное значения, дисперсия, коэффициенты асимметрии и эксцесса.

Разработанный программный пакет имеет удобный и понятный интерфейс, что делает возможным его эксплуатацию неподготовленным пользователями.

Созданный аппаратно-программный комплекс предназначен для контроля выбросов промышленных предприятий и содержания атмосферных загрязняющих веществ на стационарном пункте, при проведении маршрутных и подфакельных наблюдений, а также для автоматизации процессов измерений, сбора, хранения и обработки получаемой информации. Кроме того, комплекс может применяться для научных исследований атмосферы природных сред, процессов и явлений.

В зависимости от задач, для которых используется аппаратно-программный комплекс, целесообразно применять следующие методические рекомендации по режиму измерений. Для определения разовых и среднесуточных концентраций при обследовании загрязненности атмосферного воздуха в населенных пунктах в стационарном режиме измерения должны проводиться с 20-30 минутным отбором проб в 01, 07, 13 и 19 часов местного времени. При эпизодическом и оперативном контроле загрязнения атмосферы АПК применяется при маршрутных и подфакельных исследованиях на передвижном посту. Выбор места обследования, время и отбор проб осуществляется согласно Руководящего документа 52.04.186-89.

При исследовании состава приземной атмосферы аридных территорий Монголии выявлено, что содержание аэрозоля при отсутствии явлений пыльных бурь в этом регионе низкое. Средняя счетная концентрация субмикронного аэрозоля, измеренная в ходе полевых работ на ст. Сайншанд (пустыня Гоби), составила $4500/\text{см}^3$ и в два раза меньше концентрации в континентальных районах, удаленных от антропогенных источников. По нефелометрическим данным (www-lidar.nies.go.jp) среднесуточная массовая концентрация дисперсных частиц, диаметром менее 10 мкм (PM10), на ст. Сайншанд равна $11 \text{ мкг}/\text{м}^3$, что составляет 7% от предельно-допустимой концентрации PM10, рекомендованной ЕРА. Таким образом, для контроля содержания аэрозоля и тяжелых металлов в аэрозольных частицах в атмосфере аридных территорий Монголии целесообразно применять высокообъемный пробоотборник с суточной частотой отбора. Выявленные по экспериментальным исследованиям высокие концентрации озона и диоксида азота на ст. Сайншанд обуславливают необходимость непрерывного контроля их содержания для оперативного оповещения населения о потенциальном риске для здоровья.

Третья глава посвящена описанию методик контроля содержания приземного озона в условиях неоднородного рельефа оз. Байкал. Приведены результаты экспериментальных исследований вариаций атмосферных примесей в Байкальском регионе.

Для выявления пространственно-временной изменчивости малых газовых примесей в Байкальском регионе в течение нескольких лет в летнее время проведены измерения концентраций атмосферных примесей на научном стационаре "Боярский", расположенном на юго-восточном побережье оз. Байкал и на стационарном посту ОФП БНЦ СО РАН в г. Улан-Удэ с использованием разработанного аппаратно-программного комплекса.

По данным многолетних измерений в прибрежной зоне оз. Байкал обнаружено, что содержание озона существенно зависит от температурной стратификации приземного слоя атмосферы. На рис. 2 для примера представлены вариации приземного озона и вертикального градиента температуры в летнее время 2007 г. При температурных инверсиях, которым соответствуют положительные значения вертикального градиента температуры, в вечернее и ночное время содержание озона в атмосфере значительно снижается. Это сопровождается ослаблением скорости и сменой направления ветра, характерной для бризовой циркуляции вокруг озера.

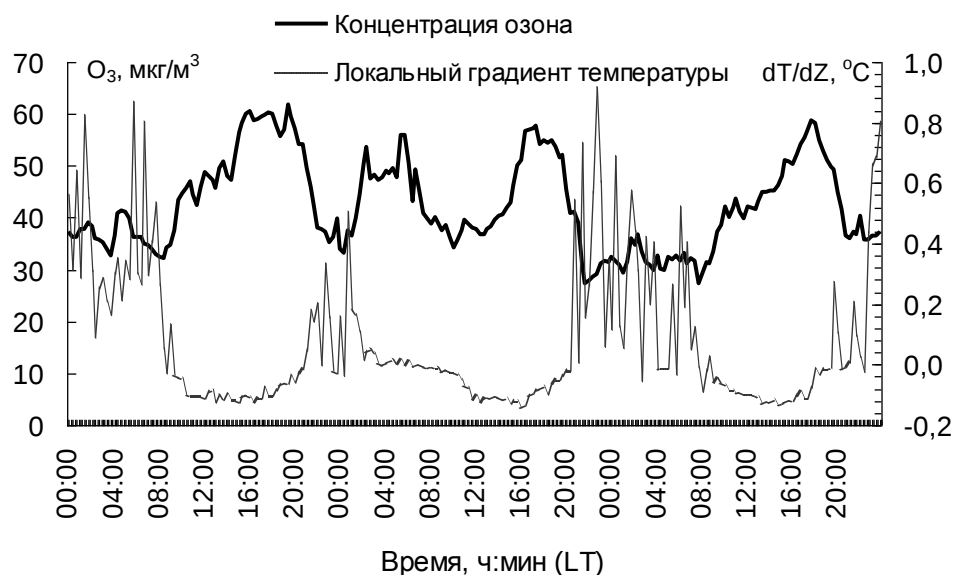


Рисунок 2 – Вариации содержания озона и вертикального градиента температуры в прибрежной зоне оз. Байкал

Для детального изучения влияния термической стратификации атмосферы на содержание приземного озона разработана методика, заключающаяся в градиентных измерениях концентрации озона и динамических характеристик атмосферы с использованием акустических высокочастотных методов, что позволяет исследовать турбулентные потоки малых газовых компонентов атмосферы. С этой целью на вертикальной мачте устанавливаются ультразвуковые метеорологические комплексы АМК, пробоотборные тефлоновые трубки, отходящие от газоанализаторов озона серии 3.02П, прикрепляются к метеорологической мачте на 2-х уровнях. Синхронные непрерывные измерения малых газовых примесей, температуры воздуха и турбулентных пульсаций скорости ветра по трем ортогональным направлениям проводятся круглосуточно. Предварительно проводится взаимная градуировка метеорологических комплексов и калибровка газоанализаторов озона калибратором модели 8500 Monitor Labs. Применение автоматизированной системы регистрации и обработки данных газовых примесей совместно с измерениями метеорологических величин атмосферы позволило оценить влияние динамических характеристик атмосферы на содержание озона и процессов его осаждения на юго-восточном побережье оз. Байкал.

По данным экспериментальных исследований обнаружена обратная зависимость содержания озона от разности температур на двух уровнях (рис. 3). Развитие термической инверсии происходит на фоне уменьшения притока тепла и совпадает со снижением содержания озона в приземном слое атмосферы в вечернее время.

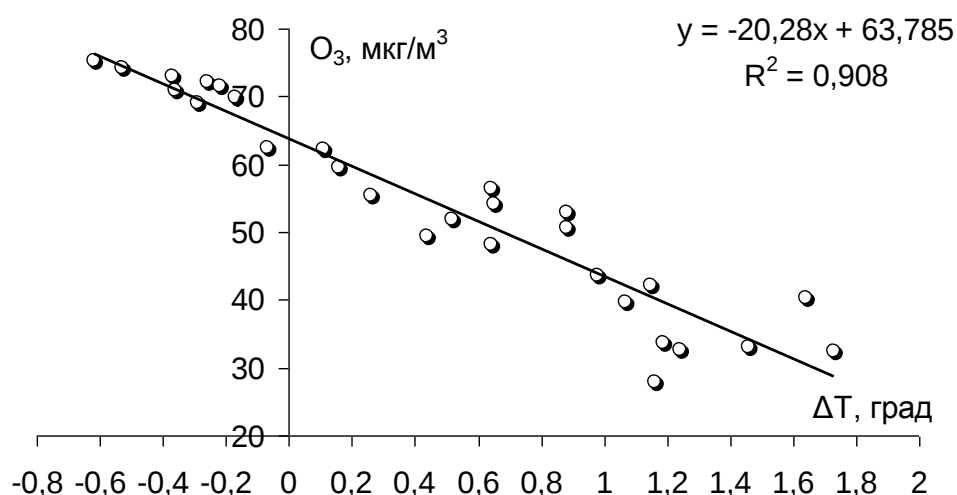


Рисунок 3 – Зависимость концентраций озона и разности температур на высотах 2 и 8 метров в период развития термической инверсии

С использованием разработанной методики градиентных измерений малых газовых составляющих над водной поверхностью проведены измерения содержания O_3 , NO , NO_2 , CO_2 на высотах 0,5 и 3 метра в приводном слое оз. Байкал. Исследования выявили суточную изменчивость концентрации озона и окислов азота, однако существенного отличия содержания газов на разных уровнях не обнаружено.

На основании экспериментальных исследований локальных особенностей пространственно-временной динамики приземного озона на юго-восточном побережье оз. Байкал разработана методика контроля содержания и сухого осаждения O_3 в условиях неоднородного рельефа. Измерения содержания озона, метеорологических и турбулентных параметров в приземном слое атмосферы проводились синхронно и круглосуточно в двух точках, разнесенных на расстоянии 500 м и 50 м по высоте, расположенных вблизи границы «суша-вода» и в удалении на стационаре «Боярский». Для измерения концентрации озона использовались газоанализаторы серии 3.02П, достоинством которых является адекватное определение содержания O_3 при увеличении в атмосферном воздухе количества аэрозольных частиц, при участии которых происходит разрушение газа. В пунктах наблюдения для регистрации метеорологических параметров применялись ультразвуковые метеорологические станции АМК, позволяющие определять турбулентные характеристики атмосферы, от которых значительно зависит изменчивость концентрации озона.

Обнаружено значительное различие содержания приземного озона в ночное и утреннее время в зависимости от разницы температуры воздуха в двух пунктах

наблюдений (рис. 4). В утренние часы происходит разрушение температурной инверсии, сопровождающееся усилением турбулентного обмена, содержание приземного озона в точках наблюдения выравнивается.

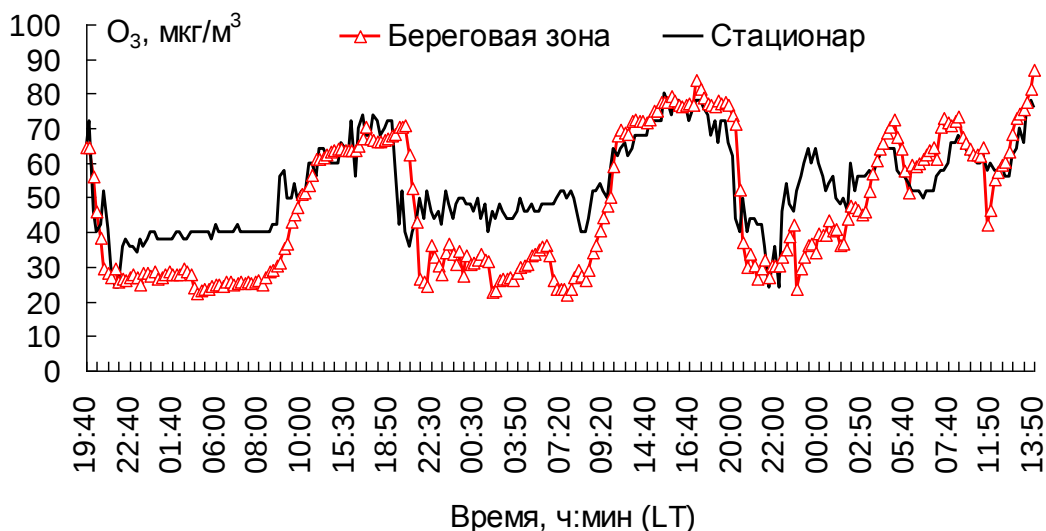


Рисунок 4 – Временной ряд содержания приземного O_3 на стационаре «Боярский» и на берегу оз. Байкал

Характерно, что в тихую погоду концентрация O_3 в двух пунктах наблюдения в ночное время может значительно различаться (до 20 мкг/м^3) во время температурных инверсий, препятствующих вертикальному переносу субстанции. Полученные данные подтверждают результаты проведенных ранее исследований, когда было обнаружено существенное различие содержания приземного озона в ночное и утреннее время в зависимости от разницы температуры воздуха в местах наблюдений. Установлено, что ночью при инверсионных ситуациях возможны случаи резкого повышения уровня озона вследствие его турбулентного переноса, сопровождающегося усилением флуктуаций температуры и компонент скорости ветра.

Проведена оценка потока сухого осаждения озона на подстилающую поверхность, который определяется по формуле [Wesely M.L., Hicks B.B., 1977]:

$$F = -V \cdot C,$$

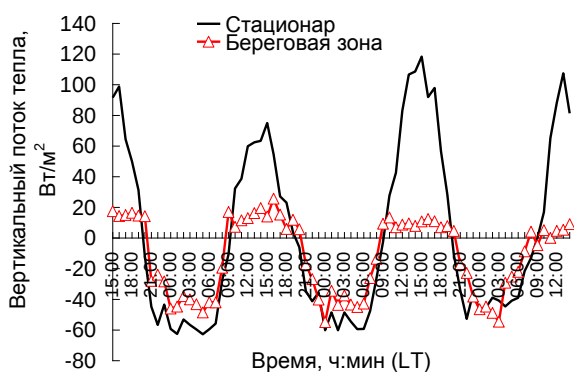
где C – концентрация приземного озона, V – скорость сухого осаждения.

$$V = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

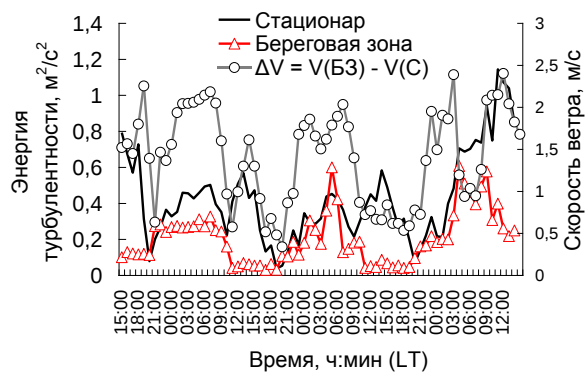
R_1 – аэродинамическое сопротивление потоку примеси, R_2 – сопротивление квазиламинарного слоя, прилегающего к поверхности, R_3 – сопротивление, обусловленное

типом подстилающей поверхности. Параметры R_1 , R_2 и R_3 рассчитываются по данным метеорологических наблюдений [Chang W., Heikes B.G., 2004].

Получено, что скорость сухого осаждения озона в прибрежной зоне в среднем составляет 0,07 см/с, что значительно ниже, чем на стационаре «Боярский», где $V = 0,18$ см/с. Соответствующие потоки озона равны $-0,065$ мкг/м²с и $-0,16$ мкг/м²с. Днем на стационаре «Боярский» скорость сухого осаждения постоянна и снижается с вечера, достигая своих минимальных значений в ночное время. Другая ситуация наблюдается на берегу оз. Байкал: суточный ход V не выражен и не совпадает с вариациями скорости осаждения в пункте наблюдения, расположенном в удалении от озера. Данное отличие определяется особенностями вариаций метеорологических и турбулентных параметров в пунктах измерений. На рис. 5 представлены графики данных синхронных измерений потока тепла, энергии турбулентности и разности скорости ветра на научном стационаре «Боярский» и на берегу оз. Байкал. В целом термическая стратификация атмосферы в месте наблюдения носит изменчивый характер, обусловленный различием типов подстилающей поверхности и сложным рельефом. Подстилающая поверхность (трава) для стационара, песок и водная поверхность для границы раздела «суша-вода» обуславливает различие вертикального потока тепла (рис. 5а), значения которого в литорали озера в несколько раз меньше, чем на стационаре (500 м от озера) вследствие неравномерности прогрева почвы и воды. Сравнительный анализ значений энергии турбулентности в береговой зоне и в удалении от него показал, что, несмотря на более высокую скорость ветра в прибрежной зоне, значения кинетической энергии флуктуаций ветра меньше, чем на стационаре (рис. 5б). Так, вблизи границы раздела «вода-суша» скорость ветра и коэффициент турбулентности во время инверсий в среднем равны 2 м/с и 0,18 м²/с. При этом на стационаре эти значения составляли 0,4 м/с и 0,28 м²/с, соответственно, т.е. воздушные потоки в приводном слое носят более ламинарный характер, чем на стационаре, несмотря на более высокую скорость ветра.



а



б

Рисунок 5 – Временной ход потока тепла (а), энергии турбулентности и разности скорости ветра (б) на научном стационаре «Боярский» и на берегу оз. Байкал

Четвертая глава посвящена результатам многолетних исследований (2005-2010 гг.) пространственно-временного распределения аэрозольно-газовых примесей в атмосфере аридных и полуаридных территорий Монголии, приводится сравнительный анализ содержания атмосферных примесей, метеорологических и турбулентных характеристик атмосферы Байкальского региона и пустыни Гоби.

Пункты наблюдений в аридных районах Монголии располагались на гидрометеорологических станциях, расположенных в удалении от населенных пунктов. Станция Сайншанд (44°54' с.ш., 110°07' в.д.) расположена в аридной зоне (пустыня Гоби), характеризующейся почти полным отсутствием растительного покрова. Станция Баруун-Урт (46°41' с.ш., 113°17' в.д.) расположена в полуаридной степной зоне.

По результатам непрерывных измерений содержания малых газовых примесей обнаружено, что в атмосфере пустыни Гоби наблюдаются значительные вариации концентраций приземного озона и диоксида азота, при этом их уровни сохраняются достаточно высокими. Максимальные среднечасовые концентрации приземного озона достигали значений 196 мкг/м^3 , диоксида азота 72 мкг/м^3 (рис. 6).

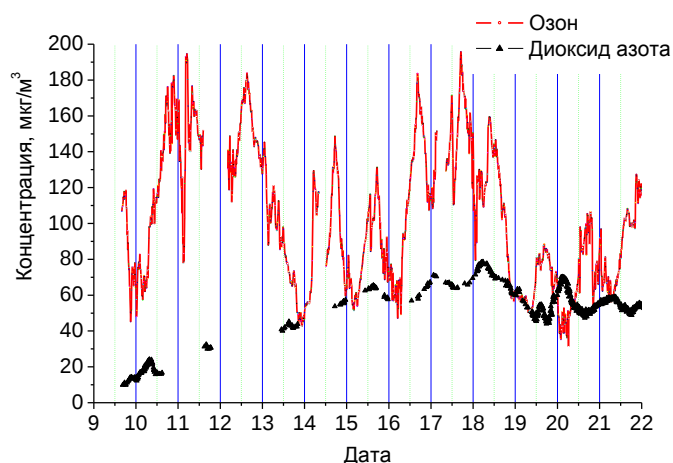


Рисунок 6 – Вариации содержания озона и диоксида азота на ст. Сайншанд, август, 2010 г.

Выявлено, что изменения концентрации озона, окислов азота в регионе, где отсутствуют значительные антропогенные и естественные источники и предшественники озона, связаны в основном с процессами переноса воздушных масс. При южном и юго-восточном направлениях ветра отмечен перенос атмосферных примесей в пункт

наблюдения с Китая, что также подтверждается проведенными расчетами обратных траекторий движения воздушных масс по модели HYSPLIT. Рис. 7 иллюстрирует зависимость диоксида азота от направления ветра, наблюдается резкое повышение концентрации диоксида азота при смене направления ветра с северного на южное, т.е. при переносе азотсодержащих веществ со стороны Китая.

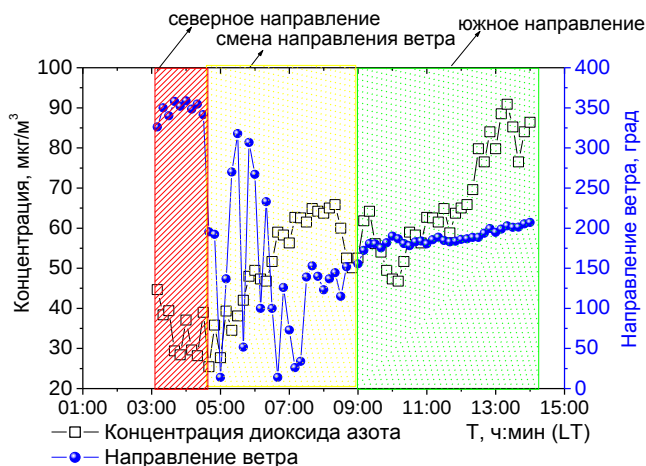


Рисунок 7 – Временной ход концентрации диоксида азота и направления ветра, ст. Сайншанд, 23 июля 2008 г.

В атмосфере пустыни Гоби дополнительным источником приземного озона также служит вертикальный обмен воздушных масс, переносящий О₃ из верхних слоев атмосферы. Проведенный анализ фоновых данных радиозондовых измерений вертикального профиля скорости ветра за 3 года на ст. Сайншанд свидетельствует об образовании мощных струйных течений, которые могут приводить к разрыву тропопаузы и переносу стратосферного озона в тропосферу. Данные спутникового зондирования (<http://acdb-xt.gsfc.nasa.gov>) за летние месяцы также подтверждают высокие концентрации тропосферного озона на этих широтах, причем высокие концентрации отмечены именно в зоне субтропического струйного течения, что является следствием, в первую очередь, интенсивного стратосферно-тропосферного обмена.

Выявлено, что содержание приземного озона в атмосфере пустыни Гоби значительно выше, чем в Байкальском регионе. В целом характер суточного хода озона для обоих мест наблюдений совпадает: максимальные значения наблюдаются в дневные часы, минимальные в утренние.

На рис. 8 представлены графики суточной изменчивости полной энергии турбулентности и вертикального потока тепла на станциях Сайншанд, Баруун-Урт и Боярский.

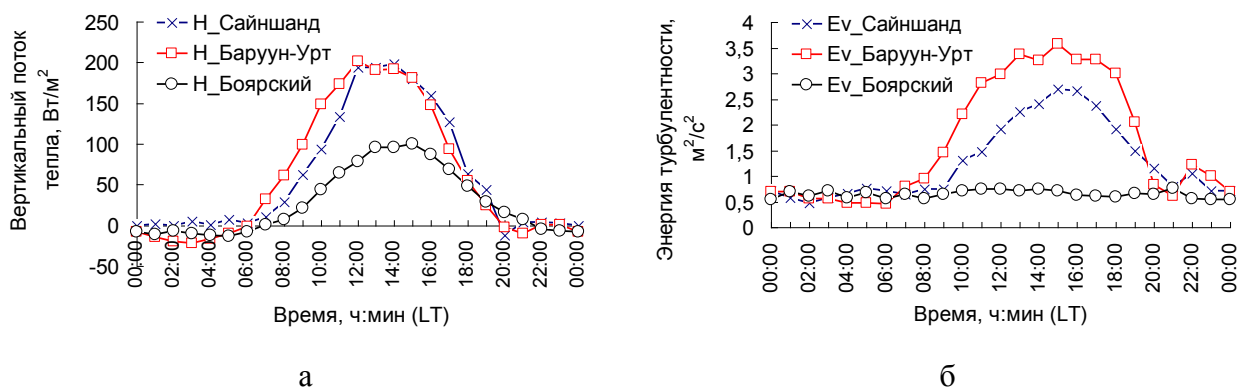


Рисунок 8 – Суточные вариации полной энергии турбулентности (а) и вертикального потока тепла (б) на ст. Сайншанд, Баруун-Урт и Боярский

Отмечено, что интенсивность турбулентных движений (рис. 8а) днем в аридных и полуаридных территориях в несколько раз больше, чем в атмосфере влажного климата оз. Байкал. Содержание приземного озона существенно зависит от динамики высоты слоя перемешивания, который характеризуется интенсивностью турбулентных движений. Развитая турбулентность аридного климата вызвана, в первую очередь, конвекцией, способствующей росту кинетической энергии пульсационных движений. Как видно из рис. 8б вертикальный поток тепла, характеризующий конвективные потоки, в пустыне Гоби в дневное время выше в 2-3 раза, чем на Байкале.

Экспериментальные исследования взвешенных в атмосфере частиц выявили, что значения счетных концентраций аэрозоля, измеренных в атмосфере аридных территорий Центральной Азии, соответствуют континентальному типу распределения частиц, в целом же максимальная среднесуточная концентрация аэрозольных частиц не превышала $7,5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$. Анализ функции распределения субмикронного аэрозоля по их диаметрам d выявил, что вариации содержания частиц нуклеационной моды ($d < 0,01 \text{ мкм}$) выражены значительно больше, чем частиц моды Айткена ($d < 0,1 \text{ мкм}$). Сравнение среднесуточных общих концентраций субмикронного аэрозоля на станциях Сайншанд и Боярский в летнее время выявило, что содержание аэрозоля в атмосфере пустыни Гоби меньше, чем на Байкале, где его значение составило $19 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$. Уровень же среднесуточных концентраций аэрозоля антропогенного происхождения в атмосфере г. Улан-Удэ превысил 10^5 частиц/см^3 .

В Приложении приведены копии аттестата аккредитации аналитической лаборатории, свидетельств Роспатента и фрагмент листинга программного пакета систематизации и обработки данных автоматизированной системы контроля качества воздуха.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработан и апробирован аппаратно-программный комплекс регистрации, систематизации и обработки экспериментальных данных, позволяющий автоматизировать процесс измерений и являющийся эффективным инструментом формирования базы данных концентраций аэрозольных и газовых примесей, метеорологических и турбулентных характеристик атмосферы, который способен осуществлять контроль содержания аэрозольно-газовых примесей природного и антропогенного происхождения.

2. Разработана методика контроля содержания озона в приземном слое атмосферы, позволяющая определять концентрации O_3 в зависимости от температурной стратификации и в условиях неоднородного рельефа. На основании экспериментальных исследований аэрозольно-газового состава атмосферы Байкальского региона и аридных территорий Монголии разработаны методические рекомендации по режиму работы аппаратно-программного комплекса.

3. Оценены потоки и скорости сухого осаждения озона в зависимости от типа подстилающей поверхности. На границе «вода-атмосфера» оз. Байкал поток и скорость сухого осаждения равны $-0,065 \text{ мкг/м}^2\text{с}$ и $0,07 \text{ см/с}$, в прибрежной зоне составляют $-0,16 \text{ мкг/м}^2\text{с}$ и $0,18 \text{ см/с}$, соответственно.

4. Обнаружено высокое содержание озона в атмосфере аридных территорий Монголии. Выявлено, что повышенные концентрации определяются присутствием фотохимически активных компонентов, таких как окислы азота; высокой повторяемостью струйных течений, приводящей к разрыву тропопаузы и переносу стратосферного озона в тропосферу; развитой турбулентностью, что приводит к выравниванию вертикального профиля озона в пределах слоя перемешивания и увеличению приземной концентрации озона.

Присутствие высокого содержания окислов азота в пробах воздуха в атмосфере пустыни Гоби, удаленной от крупных антропогенных источников на значительные расстояния, свидетельствует о региональном переносе загрязняющих веществ из промышленных центров Китая.

5. Получены распределения субмикронных аэрозольных частиц по размерам в атмосфере Байкальского региона и пустыни Гоби. Выявлено, что счетная концентрация субмикронного аэрозоля в аридной зоне Монголии соответствует фоновым значениям и существенно меньше, чем на оз. Байкал.

Основные публикации по теме диссертации:

1. Аюржанаев, А.А. Экспериментальные исследования малых газовых составляющих атмосферы аридных и полуаридных территорий Монголии / Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов, В.В. Цыдыпов, А.А. Аюржанаев, Д. Аззая, Д. Оюнчимег // Оптика атмосферы и океана. - 2008. - Т. 21. - №3. - С. 273-277.
2. Ayurzhanaev, A.A. Assessment of small gaseous impurities in atmosphere of arid and semi-arid territories of Mongolia / G.S. Zhamsueva, A.S. Zayakhanov, V.V. Tsydypov, A.A. Ayurzhanaev, D. Azzaya, D. Oyunchimeg // Atmospheric Environment. - 2008. – V. 42. - Issue 3. - P. 582-587.
3. Аюржанаев, А.А. Автоматизированная система контроля загрязнения атмосферы / А.С. Заяханов, Г.С. Жамсуева, В.В. Цыдыпов, А.А. Аюржанаев // Измерительная техника. - 2008. - № 12. - С. 52-56.
4. Программный комплекс расчета полей концентраций атмосферных примесей от различных источников выбросов: Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2007610935, Рос. Федерация. заявка №2006613795 / Аюржанаев А.А., Заяханов А.С., Цыдыпов В.В., Жамсуева Г.С.; правообладатель БНЦ СО РАН; дата поступл: 10.11.2006; дата регистрации: 28.02.2007.
5. База данных концентраций приземного озона в атмосфере г. Улан-Удэ: Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2008620238, Рос. Федерация. заявка №2008620129 / Заяханов А.С., Жамсуева Г.С., Цыдыпов В.В., Аюржанаев А.А.; правообладатель БНЦ СО РАН; дата поступл: 04.05.2008; дата регистрации: 18.06.2008.
6. Ayurzhanaev, A.A. Particularities of circulation and the analysis of dust storm in sharp-continental climate conditions of Mongolia / A.L. Dementeva, G.S. Zhamsueva, A.S. Zayakhanov, V.V. Tsydypov, A.A. Ayurzhanaev // Proc. of SPIE. - 2008. - Vol. 6936, 69360Z. - doi: 10.1117/12.783350.
7. Ayurzhanaev, A.A. Results of investigations of small gaseous impurities in the atmosphere in the Gobi of Mongolia / G.S. Zhamsueva, A.S. Zayakhanov, D. Azzaya, D. Oyunchimeg, B.Z. Tsydypov, V.V. Tsydypov, A.A. Ayurzhanaev // Papers in Meteorology and Hydrology. – 2005. - №27/5. - P. 86-90.
8. Аюржанаев, А.А. Монгол орны Говийн бусэд Орос–Монголын хамтран хийсэн бага хольцтой хийн судалгааны ур дунгээс / Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов, В.В. Цыдыпов, А.А. Аюржанаев, Д. Аззая, Д. Оюнчимег // Papers in Meteorology and Hydrology – 2009. – № 30. – P. 130-136.
9. Аюржанаев, А.А. Программный комплекс расчета распространения атмосферных загрязнений / В.В. Цыдыпов, А.А. Аюржанаев // Сб. статей IV межд. школы

молодых ученых и специалистов "Физика окружающей среды". Томск, 27 июня-3 июля 2004 г. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2004. – С. 75–78.

10. Аюржанаев, А.А. Комплексные исследования CO₂ на Байкале в зимний период / Д.А. Пестунов В.М. Домышева, М.В. Сакирко, А.А. Аюржанаев, В.В. Цыдыпов, А.С. Заяханов, Г.С. Жамсуева, Б.Д. Белан, В.П. Мамышев, С.Л. Одинцов, М.В. Панченко // Тез. докл. IV Верецагинская междунар. Байкальская конф. Иркутск, 26 сент. – 1 окт. 2005 г. – Иркутск: Изд-во ООО «Аспринт», 2005. - С. 152-153.

11. Ayurzhanaev, A.A. Study of trace gases in the Govi region of Mongolia / G.S. Zhamsueva, A.S. Zayakhanov, B.Z. Tsydypov, V.V. Tsydypov, A.A. Ayurzhanaev, D. Azzaya, D. Oyunchimeg // Proc. on Regional Climate Change. Dalanzadgad, Mongolia, August 22-23, 2005. – P. 175-178.

12. Аюржанаев, А.А. Пространственно-временное распределение концентраций газовых примесей в акватории оз. Байкал / Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов, В.В. Цыдыпов, А.А. Аюржанаев // Материалы научной конф. «Природные ресурсы Забайкалья и проблемы геосферных исследований». Чита, 12-15 сент. 2006 г. – Чита: Изд-во ЗабГГПУ, 2006. – С. 60-62.

13. Ayurzhanaev, A.A. Investigation of circulation of air mass and analysis of turbulence characteristics of atmosphere of East Gobi / G.S. Zhamsueva, A.S. Zayakhanov, B.Z. Tsydypov, V.V. Tsydypov, A.A. Ayurzhanaev, D. Azzaya, D. Oyunchimeg // Proceedings on Regional Climate Change. Sainshand, Mongolia, September 16-18, 2009. – P. 191-194.

14. Ayurzhanaev, A.A. The comparative analysis of diurnal variation of trace gases in the arid and semi-arid region of Mongolia / D. Azzaya, D. Oyunchimeg, G.S. Zhamsueva, A.S. Zayakhanov, V.V. Tsydypov, A.A. Ayurzhanaev // Proceedings on Regional Climate Change. Baruun-Urt, Mongolia, August 3-8, 2006. – P. 15-19.

15. Аюржанаев, А.А. Результаты измерений малых газовых примесей в атмосфере Центральной Азии / А.С. Заяханов, Г.С. Жамсуева, А.А. Аюржанаев, В.В. Цыдыпов, Б.З. Цыдыпов, Д. Аззая, Д. Оюнчимег // Тез. докл. XII Рабочая группа "Аэрозоли Сибири". Томск, 29 ноября – 2 декабря 2005 г. - Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2005. – С. 14.

16. Аюржанаев, А.А. Автоматизированная передвижная эколого-метеорологическая станция-лаборатория контроля качества воздуха / Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов, В.В. Цыдыпов, А.А. Аюржанаев // Каталог научно-технических разработок и инновационных проектов Республики Бурятия. – Улан-Удэ. - 2006. – С. 67-68.

17. Ayurzhanaev, A.A. Research of atmospheric composition of the central Asia Desert using monitoring mobile station / G.S. Zhamsueva, A.S. Zayakhanov, V.V. Tsydypov,

A.A. Ayurzhanaev, A.L. Dementeva, D. Azzaya, D. Oyunchimeg // Abstracts of XIV International symposium "Atmospheric and ocean optics. Atmospheric physics". Buryatia, June 24-29, 2007. – Tomsk: Press IOA SB RAS, 2007. - P. 128.

18. Аюржанаев, А.А. Вариации приземного озона, окислов азота и их связь с динамическими процессами и особенностями общей циркуляции атмосферы аридных территорий Монголии / А.С. Заяханов, Г.С. Жамсуева, В.В. Цыдыпов, А.А. Аюржанаев, А.Л. Дементьева, Д. Аззая, Д. Оюнчимег // Тез. докл. XIV Рабочая группа "Аэрозоли Сибири". Томск, 27-30 ноября 2007 г. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2007. – С. 47.

19. Ayurzhanaev, A.A. Trace gases content in the atmosphere of sharp continental and arid climatic zones / A.A. Ayurzhanaev, A.S. Zayakhanov, G.S. Zhamsueva, V.V. Tsydypov // Abstracts of XVIth International Symposium "Atmospheric and ocean optics. Atmospheric physics". Tomsk, October 12 - 15, 2009. – Tomsk: Press IOA SB RAS, 2009. - P. 669-670.

20. Аюржанаев, А.А. Сравнительный анализ характеристик атмосферного аэрозоля аридных территорий Монголии и региона оз. Байкал / Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов, В.В. Цыдыпов, А.А. Аюржанаев, С.А. Нагуслаев, Л.П. Голобокова, Т.В. Ходжер, Д. Аззая, Д. Оюнчимэг // Тез. докл. XVI Рабочая группа "Аэрозоли Сибири". Томск, 24-27 ноября 2009 г. - Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2009. - С. 77.

21. Ayurzhanaev, A.A. Dynamics and properties of aerosol and gas composition of atmosphere of Mongolia / G.S. Zhamsueva, A.S. Zayakhanov, V.V. Tsydypov, A.A. Ayurzhanaev, L.P. Golobokova, T.V. Khodzher, Yu. S. Balin, M.V. Panchenko, D. Azzaya, D. Oyunchimeg // Abstracts of the Fifth Vereshchagin Baikal conference, 16-th Joint seminar RDPА. Irkutsk, October 4-9, 2010. - P. 207.