

На правах рукописи



Дементьева Аюна Лубсановна

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МАССОВОЙ
КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОЗОЛЕЙ ФРАКЦИИ PM_{10} И $PM_{2,5}$ В АТМОСФЕРЕ АРИДНЫХ
ТЕРРИТОРИЙ
(НА ПРИМЕРЕ ПУСТЫНИ ГОБИ)**

Специальность 25.00.30 – метеорология, климатология и агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Улан-Удэ

2014

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт физического материаловедения» Сибирского отделения Российской академии наук

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук, доцент Жамсуева Галина Санжиевна

Официальные оппоненты: Ходжер Тамара Викторовна, доктор географических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Лимнологический институт» Сибирского отделения Российской академии наук, заведующая лабораторией Гидрохимии и химии атмосферы,
Зинченко Александр Васильевич, кандидат физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова», старший научный сотрудник

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева» Сибирского отделения Российской академии наук

Защита диссертации состоится 26 ноября 2014 г. в 15.00 ч. на заседании диссертационного совета Д 327.005.01 по защите докторских и кандидатских диссертаций при федеральном государственном бюджетном учреждении «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» по адресу: 194021, г. Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного учреждения «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова», <http://voeikovmgo.ru>

Автореферат разослан "___" _____ 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, д.г.н.



Мещерская Анна Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Увеличение общей загрязненности атмосферы и связанные с этим глобальные изменения климата Земли вызывают повышенный интерес к атмосферным аэрозолям. Аэрозоль вносит вклад в изменение радиационного баланса в системе земля-атмосфера, следовательно, в изменение погоды и климата. Мелкодисперсная аэрозоль является в основном сложной гетерогенной смесью многих компонентов, причем их свойства (спектр распределения по размерам, химический состав) широко изменяются во времени и пространстве. Аэрозоль, выпадая на земную поверхность, принимает участие в формировании почв и донных отложений, содержит практически все элементы литосферы, в том числе радиоактивные изотопы естественного и техногенного происхождения. Вещества техногенного происхождения, принесенные воздушными потоками на удаленные от мест источников загрязнения, накапливаются в почве, растительности и негативно сказываются на здоровье людей.

Исследование атмосферного аэрозоля и разнообразных аспектов его влияния на окружающую среду является многокомпонентной задачей, которая осложняется продолжающимся интенсивным ростом загрязнения атмосферы не только в областях, расположенных в непосредственной близости от источников загрязнения, но и на отдаленных территориях, и потому требует совершенствования как системы мониторинга загрязнения атмосферы, так и методов модельных исследований.

В последние годы все большее внимание уделяется проблеме, связанной с пыльными бурями, являющимся крупным источником минерального аэрозоля, которые поднимают огромное количество песка и пыли в атмосферу сильным ветром и переносят по всему земному шару. Как известно, основным очагом азиатских пылевых бурь являются пустыни Центральной Азии, в том числе пустыня Гоби (Arimoto, 2001, Nishikawa et al., 2003, Zhang et al., 2003, Park et al., 2009). Таким образом, увеличение содержания аэрозолей не только в районах с развитой промышленной и сельскохозяйственной деятельностью, но и в регионах, где основной вклад вносят природные источники аэрозолей, имеет не только местный, но и глобальный характер.

По современным оценкам Европейской секции Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) высокое содержание в атмосферном воздухе мелкодисперсного аэрозоля, наряду с приземным озоном, представляет основную опасность здоровью населения и наносит ущерб природным экосистемам, способствует коррозии металлов, деградации зданий и материалов. Особое внимание уделяется исследованиям мелкодисперсного аэрозоля PM_{10} (взвешенные частицы размером менее 10 мкм) и $PM_{2,5}$ (взвешенные частицы размером менее 2,5 мкм) вследствие относительно долгой продолжительности их жизни в атмосфере и переноса на

дальние расстояния. При повышении концентраций данных фракций аэрозоля существенно ухудшается метеорологическая дальность видимости и качество воздуха.

Мониторинговые исследования содержания мелкодисперсной фракции аэрозоля PM_{10} и $PM_{2.5}$ проводятся во многих странах мира (Корея, Япония, Китай, США, Германия и др.). К сожалению, до настоящего времени содержание взвешенных частиц данных фракций в атмосфере пустыни Гоби изучено недостаточно, особенно в отношении техногенного загрязнения в связи с бурным освоением природных месторождений в регионе и началом строительства крупных промышленных объектов. Поэтому исследование пространственно-временных особенностей фракций аэрозоля PM_{10} и $PM_{2.5}$, условий и процессов образования пыльных бурь, путей дальнего переноса пылевого аэрозоля, влияние его на различные процессы, происходящие в атмосфере и других средах аридных территорий Монголии, является актуальной задачей.

Объект и предмет исследования. *Объектом исследования* данной работы является атмосфера аридных территорий Монголии, *предметом исследования* – пространственно-временная изменчивость аэрозольных примесей под влиянием как природных, так и антропогенных факторов.

Целью работы является исследование механизмов формирования пыльных бурь, путей переноса пылевого аэрозоля, пространственно-временной изменчивости массовой концентрации мелкодисперсных фракций аэрозоля PM_{10} и $PM_{2.5}$ в атмосфере аридных территорий Монголии.

В соответствии с **целью работы** были поставлены следующие задачи:

1. Выявить основные траектории движения воздушных масс на основе траекторной модели реанализа поля ветра NCEP/NCAR HYSPLIT на высотах, которые в наибольшей степени отражают дальний перенос примесей регионального и глобального масштабов (1500, 2500 и 3500 м) в атмосфере аридных территорий Центральной Азии.

2. Исследовать ветровой режим атмосферы аридных и полуаридных территорий Монголии по многолетним экспериментальным, ежедневным фоновым данным и с помощью системы поля ветра CLIWARE.

3. Выявить особенности вертикальной структуры атмосферы пустыни Гоби на основе ежедневных многолетних аэрологических данных.

4. Исследовать годовую, суточную изменчивость массовой концентрации аэрозоля фракции PM_{10} и $PM_{2.5}$ по данным станций мониторинга пылевого аэрозоля, расположенных в пустыне Гоби и отобранных по международной программе KOSA Monitor.

5. Провести сравнительную оценку изменчивости мелкодисперсных фракций аэрозоля, отличающихся различным вкладом антропогенных и природных источников, в атмосфере Восточной и Южной Гоби.

6. Создать базу данных массовой концентрации аэрозолей фракции PM_{10} в атмосфере пустыни Гоби, содержащую их суточные и сезонные вариации.

Научную новизну характеризуют следующие полученные результаты:

1. Впервые исследован годовой и суточный ход массовой концентрации мелкодисперсной фракции аэрозоля PM_{10} и $PM_{2,5}$ в атмосфере пустыни Гоби.

2. Выявлено пространственное различие изменчивости массовой концентрации аэрозоля PM_{10} и $PM_{2,5}$ в атмосфере Южной (ст. Даланзадгад) и Восточной (ст. Сайншанд, ст. Замын-Ууд) частях пустыни Гоби.

3. Обнаружена высокая повторяемость струйных течений в атмосфере пустыни Гоби на основе 3-х летних аэрологических наблюдений на ст. Сайншанд.

4. Созданы базы данных, содержащие многолетние ряды наблюдений массовой концентрации аэрозольных примесей, высотных профилей температуры и скорости ветра по ежедневным аэрологическим данным в атмосфере пустыни Гоби.

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. Проведен контроль качества анализов в рамках аккредитованной аналитической лаборатории в Росаккредитации (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 международным требованиям ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009.

Научная ценность и практическая значимость

Полученные в работе экспериментальные результаты исследования пространственно-временного распределения аэрозольных примесей могут быть применены для создания и совершенствования климатических моделей атмосферы, верификации теоретических моделей, при решении различных задач физики приземного слоя воздуха.

Основная часть исследований по теме диссертации имела целевую практическую направленность и выполнялась в рамках следующих проектов и программ: Программа

Президиума РАН № 4 «Природная среда России: адаптационные процессы в условиях изменяющегося климата и развития атомной энергетики». Подпрограмма: «Проблемы опустынивания Центральной Азии», Проект № 12 «Исследования проявлений экстремальных природных явлений в приземном, пограничном и тропосферном слоях атмосферы Центральной Азии и Сибири средствами активного и пассивного зондирования, локального контроля»; проекты РФФИ № 11-05-92219-Монг_а «Экспериментальные исследования динамики пылевого аэрозоля, малых газовых примесей атмосферы пустыни Гоби и их роль в формировании региональных и глобальных климатических изменений»; № 13-05-92207-Монг_а «Оценка уровней загрязнения атмосферы пустыни Гоби в результате природных и антропогенных воздействий для прогнозирования возможных последствий влияния атмосферных загрязнений на аридные экосистемы»; интеграционный проект СО РАН № 25 «Атмосферный аэрозоль азиатской части России и обменные процессы в системе атмосфера - водная поверхность - биота»; Объединенный международный проект № 14, выполняемый СО РАН совместно с Монгольской академией наук «Исследование региональных изменений окружающей природной среды Монголии и экологически ориентированное природопользование трансграничных территорий России и Монголии».

Материалы работы используются в Институте метеорологии и гидрологии Монголии, Агентстве окружающей среды Монголии в рамках Договора о научно-техническом сотрудничестве Института метеорологии и гидрологии Монголии с Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институт физического материаловедения СО РАН. Созданная база данных, содержащая результаты многолетних измерений массовой концентрации мелкодисперсной фракции аэрозоля PM_{10} в атмосфере аридных территорий Центральной Азии за 2008-2011 гг., метеорологических параметров атмосферы, пополняемые в ходе мониторинговых наблюдений, позволят обеспечить оперативное использование информации для оценки состояния и прогноза изменений природных сред, процессов и явлений в результате техногенного загрязнения, оценок риска здоровью населения, а также будут учитываться при подготовке справочного климатического материала.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. По результатам теоретических расчетов движения воздушных масс NCEP/NCAR HYSPLIT, системы CLIWARE, спутниковых данных MODIS, многолетних экспериментальных и ежедневных фоновых метеорологических данных выявлено влияние местных циркуляций в летний период в атмосфере аридных территорий Монголии. Наблюдается увеличение повторяемости южных, юго-восточных и юго-западных ветров до 25% при общем северо-западном переносе.

2. Выявлены особенности годового хода массовой концентрации мелкодисперсной фракции аэрозоля PM_{10} и $PM_{2,5}$ на ст. Даланзадгад, ст. Сайншанд и ст. Замын-Ууд. На станциях в Восточной Гоби (ст. Сайншанд, ст. Замын-Ууд) максимальные концентрации мелкодисперсного аэрозоля наблюдаются в весенние месяцы в период интенсивных пыльных бурь. Повышенные концентрации PM_{10} и $PM_{2,5}$ в Южной Гоби (ст. Даланзадгад) наблюдаются в зимние месяцы за счет увеличения доли вклада антропогенных источников.

3. Обнаружена высокая повторяемость струйных течений в атмосфере на ст. Сайншанд, способствующая стратосферно-тропосферному обмену и дальнему переносу аэрозольно-газовых примесей.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на Всероссийских и Международных конференциях: XIII - XVIII Рабочих группах «Аэрозоли Сибири» (Томск, 2006 - 2013); XIV, XVIII International symposium “Atmospheric and ocean optics atmospheric physics” (Lake Baikal, 2007, Irkutsk, 2012), 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), IV - VIII конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы физики» (Улан-Удэ, 2007 - 2013).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 25 научных работ, из них 3 в изданиях, рекомендованных ВАК России, 1 коллективная монография, 1 свидетельство регистрации баз данных.

Вклад автора

Автор работы принимал участие в проведении экспериментов, обработке и интерпретации полученных данных, подготовке публикаций и докладов на конференциях, что отражено в совместных публикациях коллектива авторов. Все результаты, составляющие научную новизну диссертации и выносимые на защиту положения, получены автором лично.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, представленных на 110 страницах, включая 47 рисунков, 4 таблиц и списка литературы из 109 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается общая характеристика работы, обосновывается актуальность темы, определяется тематика и формулируется цель и задачи работы, охарактеризована новизна и практическая значимость результатов, полученных в ходе выполнения диссертационной работы, приведены основные защищаемые положения.

В первой главе рассмотрена физико-географическая и климатическая характеристика Монголии. Монголия расположена в центре Азиатского материка и значительно удалена от океанов и морей. Большая часть территории страны находится в среднем на высоте 1580 м над уровнем моря и практически со всех сторон ограничена горными хребтами. Горные хребты Алтай, Танну-Ола, Саяны, окружающие территорию страны с запада и северо-запада, а также хребты Монгольского и Гобийского Алтая, проходящие вдоль юго-западной границы Монголии, оказывают большое влияние на эволюцию барических образований и на перемещение атмосферных фронтов. В теплое время года Монголия находится под влиянием полярного (умеренного) атмосферного фронта, разделяющего умеренные и тропические воздушные массы, что приводит к активному циклогенезу в этом регионе.

Как известно, особенностью общей циркуляции атмосферы пустыни Гоби, расположенной между 30° и 45° с.ш., характеризуемой как «пояс пустынь», является взаимодействие теплых воздушных масс в экваториальной зоне (ячейка Хэдли) и воздушных масс умеренных широт (ячейка Ферреля). Синоптические условия и ветры, которые вызывают сильные пыльные бури в пустыне Гоби, часто переносят большое количество песка и пыли в восточную часть Китая, Корею, Японию, Россию (Дальний Восток, Читинская область) и на акваторию Тихого океана.

Пустыня Гоби Монголии является одним из основных очагов пылевых бурь в Центральной Азии, более 70% пастбищ находятся в процессе опустынивания. В последние годы площадь пустынь в Центральной Азии увеличивается, что сказывается на увеличении числа пыльных бурь и высокого роста содержания мелкодисперсного аэрозоля в атмосфере. Классифицированы случаи пыльных бурь по метеорологической дальности видимости согласно протоколу ВМО. Исследования пространственно-временного распределения мелкодисперсного аэрозоля, пыльных бурь проводятся во многих странах мира (Китай, Корея, Япония, США, Германия, Индия и др.). Созданы сети станций мониторинга загрязнения атмосферы, разработаны прогностические модели, позволяющие получать и визуализировать результаты расчетов путей трансграничного переноса пылевого аэрозоля. В рамках международных программ, таких как Японского агентства международного сотрудничества (JICA), «Мониторинг за азиатской пылью «KOSA Monitor» и Центрально-Азиатского регионального экономического сотрудничества (CAREC) проводятся мачтовые, лидарные, спутниковые измерения. В Центральной Азии из источников формирования пыльных бурь в атмосферу поднимается около 10,4 млн. т частицы фракции PM_{10} , 27,6 млн. т частицы фракции PM_{30} и 51,3 млн. т частицы фракции PM_{50} в год. В зависимости от мощности пыльной бури наблюдаются резкие колебания концентрации и состава атмосферных аэрозолей. Концентрация аэрозолей PM_{10} в период пыльных бурь в Пекине достигает 1500 мкг/м^3 , в 5-10 раз превосходя содержание взвешенных частиц в обычные дни в городе. При оценке отношений концентраций элементного

состава РМ при пыльных бурях и без них в Сеуле выявлено, что почвенные компоненты Al, Mg, Ca, Ti и Fe преобладают во фракциях РМ_{10-2,5}, по сравнению с фракцией РМ_{2,5}, однако их доля резко увеличивается во фракциях РМ_{2,5} при пыльных бурях.

В настоящее время все еще недостаточно сведений о вариациях концентраций аэрозольных примесей в атмосфере аридных территорий Центральной Азии, особенно для такой обширной территории как пустыня Гоби. По сравнению с другими регионами в пустыне Гоби сохраняется чистая природная среда. С очень малой плотностью населения, удаленная на значительные расстояния от промышленных центров Монголии и Китая пустыня Гоби всегда считалась «фоновой» территорией, в меньшей степени подверженной антропогенным воздействиям. Однако в связи с освоением природных месторождений в регионе, началом строительства крупных промышленных объектов, негативное воздействие на аридные экосистемы возрастает. Атмосфера является наиболее быстрым и прямым каналом доставки загрязнений от источников выбросов. Доставка загрязняющих веществ в аридных регионах становится даже более эффективной из-за отсутствия или малого количества облаков и атмосферных осадков над такими районами. Вредные примеси, попадающие в атмосферу, могут перемещаться на большие расстояния, в том числе из промышленно развитых соседних регионов (Китай, Россия, Монголия). Поэтому исследования количественного и качественного состава атмосферы аридной зоны Монголии, полученные пока еще на подготовительном этапе к строительству промышленных объектов, могут характеризоваться как фоновые и являться основой для организации государственной системы контроля за загрязнением атмосферы в регионе. С другой стороны, комплексные исследования атмосферных процессов в аридных зонах, способствующих формированию и переносу примесей в атмосфере, позволят изучить особенности процессов распространения, трансформации и осаждения атмосферных примесей в аридных районах в зависимости от региональных и локальных физико-географических условий, обусловленных наличием удаленных и местных источников, суточной и межсуточной изменчивости атмосферы, спецификой местных ветров и термодинамической устойчивостью атмосферы.

В настоящее время в России специальные исследования, направленные на оценку вклада пылевого аэрозоля, формируемого в пустынях Центральной Азии при трансграничных переносах, на состав атмосферы данных регионов не ведутся. Поэтому анализ фоновых экспериментальных данных и натурные наблюдения пылевого аэрозоля необходимы не только для изучения состава атмосферы и качества воздуха в конкретном районе, влияния аэрозоля на климат (метеорологические и радиационные характеристики), но и для идентификации источников или мест их образования и путей переноса.

Вторая глава посвящена рассмотрению особенностей характера движения воздушных масс, ветрового режима, путей переноса пылевого аэрозоля, метеорологических и турбулентных характеристик в атмосфере пустыни Гоби.

Для изучения вертикальной неоднородности структуры атмосферы Восточной Гоби проанализированы ежедневные данные аэрологического зондирования за 3 года (162717 измерений) на ст. Сайншанд ($44^{\circ} 54'N$; $110^{\circ} 07'E$). Отмечена высокая повторяемость приземных инверсий температуры в слое 2-300 м, которые составляют зимой 89,9 %, приподнятых инверсий осенью - 32,7 % .

Обнаружено образование мощных струйных течений в этом регионе. Если считать за нижний предел скорости струйных течений 30 м/с, то частота появления струйных течений по данным радиозондирования в мае составила 62%, в июне - 47%, в июле - 42% времени наблюдений. В качестве примера на рисунке 1 показаны высотные профили температуры и скорости ветра на ст. Сайншанд в летнее время, построенные по радиозондовым данным.

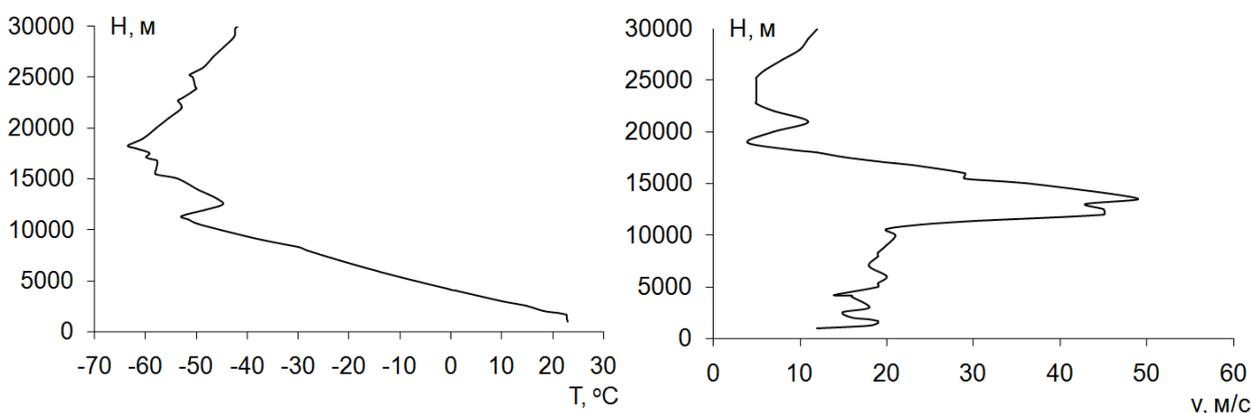


Рисунок 1. Высотные профили температуры и скорости ветра на ст. Сайншанд.

Исследованы особенности циркуляции и переноса воздушных масс в Центральной Азии. Для изучения ветрового режима пустыни Гоби обработаны ежедневные данные наблюдений наземных метеорологических станций (ст. Сайншанд и ст. Баруун-Урт). Розы ветров за два года (2004-2005), построенные по фоновым метеорологическим данным, характеризуют в основном северо-западное и северо-восточное направление воздушных масс. На рисунке 2 представлены розы ветров в летний период, которые определяют формирование местных атмосферных циркуляций в теплое время года в исследуемом регионе. Можно выделить увеличение повторяемости южных, юго-восточных и юго-западных потоков воздуха (25% и 21 %), а также восточных и северо-восточных направлений ветра (26,4 и 35,2 %) на ст. Сайншанд и ст. Баруун-Урт, соответственно. В то время как в другие сезоны преобладает северо-западное (40%) направление ветра.

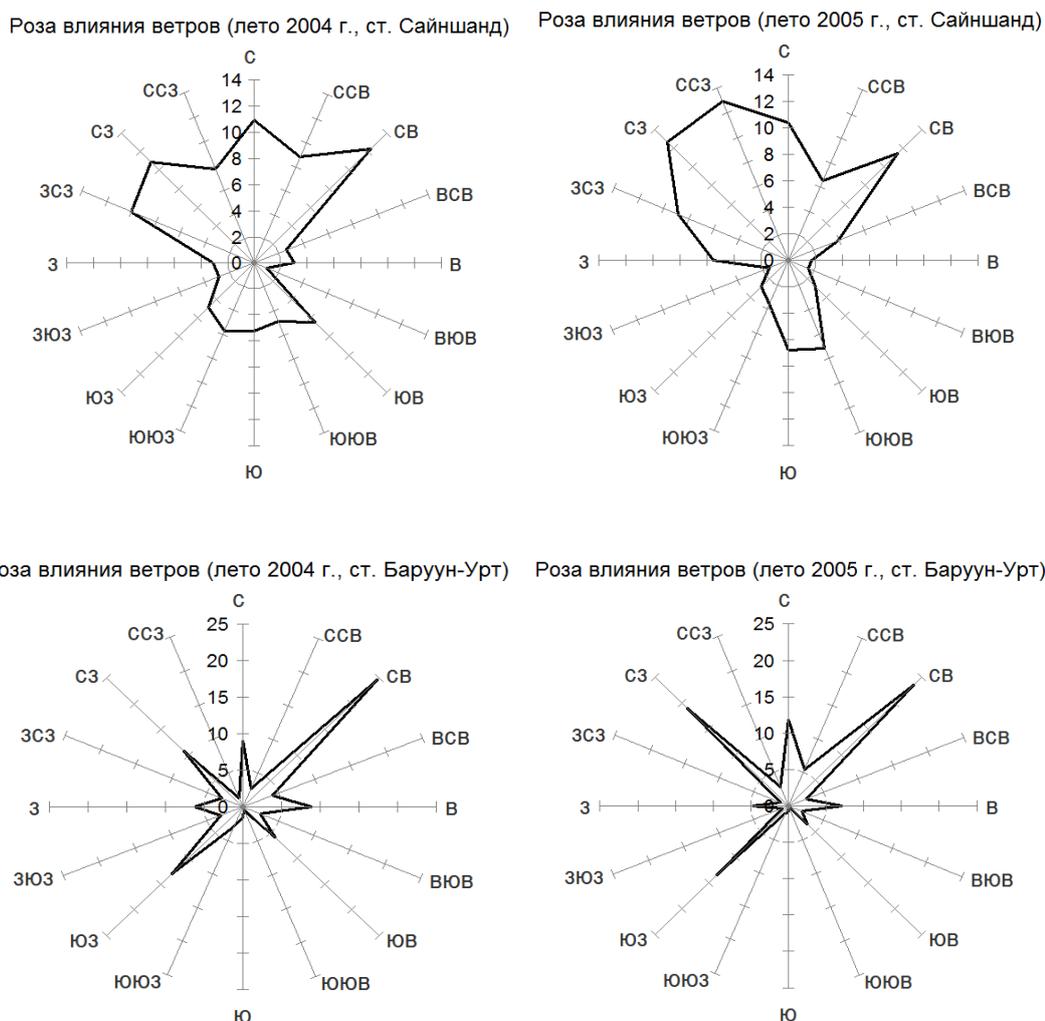


Рисунок 2. Роза ветров (ст. Сайншанд, Баруун-Урт).

Для изучения траекторий переноса воздушных масс использованы траекторная модель реанализа NCEP/NCAR HYSPLIT (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>) и архивные метеорологические данные National Oceanic and Atmospheric Administration (США), которые позволяют рассчитывать прямые и обратные траектории движения воздушной массы в пограничном слое атмосферы с учетом вертикальных перемещений. Прямые траектории характеризуют вынос воздушных масс, обратные – занос в регион исследования.

Для построения прямых и обратных траекторий задавались географические координаты ст. Сайншанд ($44^{\circ}54'$; $110^{\circ}07'$) и ст. Баруун-Урт ($46^{\circ}41'$; $113^{\circ}17'$). Траектории рассчитывались с продолжительностью 120 ч на высотах 1500, 2500 и 3500 м, т.к. эти высоты в наибольшей степени отражают дальний перенос примесей регионального и глобального масштабов. Для анализа переноса воздушных масс проведены расчеты 849 траекторий с использованием траекторной модели HYSPLIT, из них 420 прямых и 429 обратных траекторий для всех сезонов 2005-2008 гг. для ст. Сайншанд и ст. Баруун-Урт.

На основе данных реанализа поля ветра были выделены наиболее часто встречающиеся типы траекторий направления ветра, характеризующие вынос воздушных масс: северо-восточное направление составило 31,4%, 42,9%, юго-восточное - 38,6%, 24,3% и восточное – 17,1%, 20% для ст. Баруун-Урт и ст. Сайншанд, соответственно. Результаты расчета обратных траекторий движения воздушных масс показали преобладание северо-западного, западного, юго-западного и южного заноса воздушных масс. В этом случае с южными и юго-западными потоками воздуха создаются условия для поступления в район исследования воздушных масс с территории Китая, что подтверждается построением обратных траекторий по модели HYSPLIT.

Проведено исследование механизмов формирования сильных пыльных бурь в мае 2008 года в пустыне Гоби. Доминирующей особенностью этих эпизодов весной является прохождение холодных фронтов. Для исследования особенностей атмосферных процессов в Центральной Азии проведен анализ приземных карт давления и высотных (500 гПа) карт барической топографии (<http://www.aari.nw.ru/odata/d0010.php>) Северного полушария. Анализ приземных и высотных барических карт за май 2008 г. и результаты моделирования с помощью модели HYSPLIT показали, что в переходный период оз. Байкал влияет на смещение арктических воздушных масс на территорию Монголии, впоследствии приводящих к формированию пыльных бурь в Монголии и Китае. Выявлено, что холодные воздушные арктические массы, перемещиваясь с воздушными массами умеренных широт над обширной холодной поверхностью оз. Байкал, проходили далее на северо-восток Монголии. В данном случае между холодными воздушными массами Восточной Сибири и прогретыми воздушными массами Монголии создались значительные градиенты давления и температуры, что привело к зарождению интенсивных пыльных бурь.

В третьей главе исследована пространственно-временная изменчивость мелкодисперсного аэрозоля фракций PM_{10} и $PM_{2,5}$ в атмосфере Восточной и Южной частях пустыни Гоби.

Для исследования повторяемости и продолжительности пыльных бурь в Восточной Гоби привлечены ежедневные фоновые данные погодных явлений на ст. Сайншанд за 20 лет (1991-2010 гг.). Установлено увеличение количества дней с пыльными бурями с 1991 по 2006 гг. в 3 раза (рис. 3), а их продолжительности с 2003 по 2007 гг. в 40 раз. Продолжительность пыльных бурь в 2003 г. составила 14 ч 34 мин с максимальным значением в ноябре (5 ч), в 2004 г. – 84 ч 33 мин с максимумом в мае 23 ч. 25 мин, в 2005 г. продолжительность пыльных бурь увеличилась на порядок по сравнению с 2003 г. - 176 ч 16 мин с максимальным числом часов в апреле - 78 ч. 15 мин. Наибольшая продолжительность пыльных бурь 573 часа наблюдалась в 2007 году. В то же время в последние годы в пустыне Гоби прослеживается увеличение числа дней с пыльными бурями в осенние и зимние месяцы (с 2004 г.), чего ранее не наблюдалось.

Так, например, пыльные бури в 1997 г. наблюдались в декабре 1 день, в сентябре 2004 г. - 6 дней, в ноябре и декабре 2009 г. - по 7 дней.

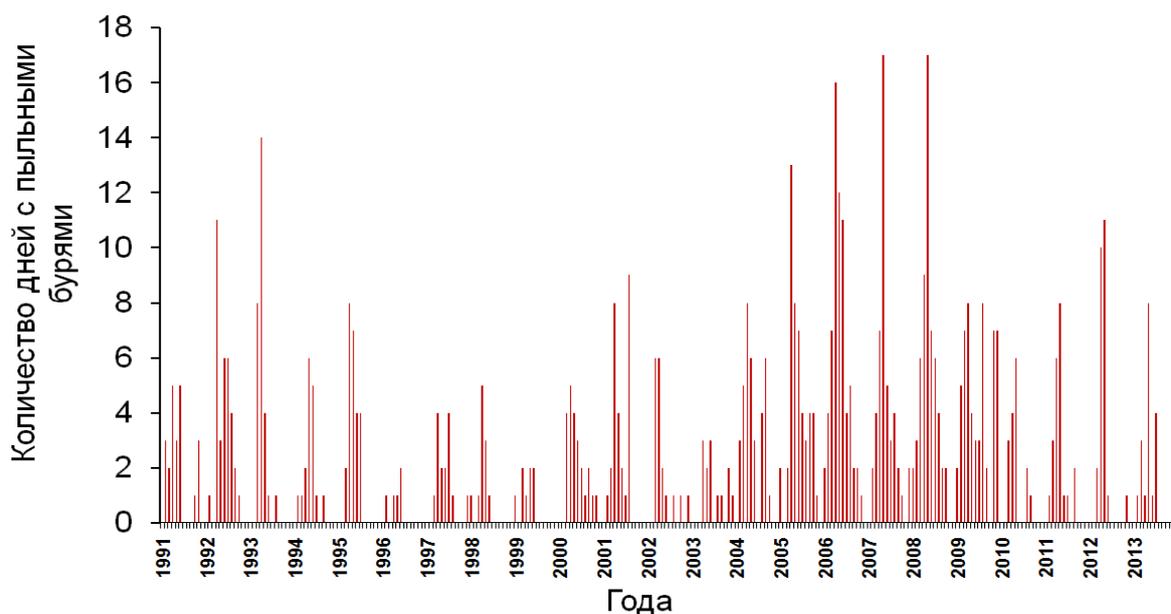


Рисунок 3. Годовое изменение числа дней с пыльными бурями.

Для исследования пространственно-временного распределения массовой концентрации аэрозольных частиц в атмосфере аридных территорий Монголии привлечены ежедневные фоновые данные массовой концентрации PM_{10} и $PM_{2.5}$ за 2008-2012 гг. на ст. Сайншанд, ст. Замын-Ууд и ст. Даланзадгад. На рисунке 4 представлена физико-географическая карта расположения пунктов наблюдений.

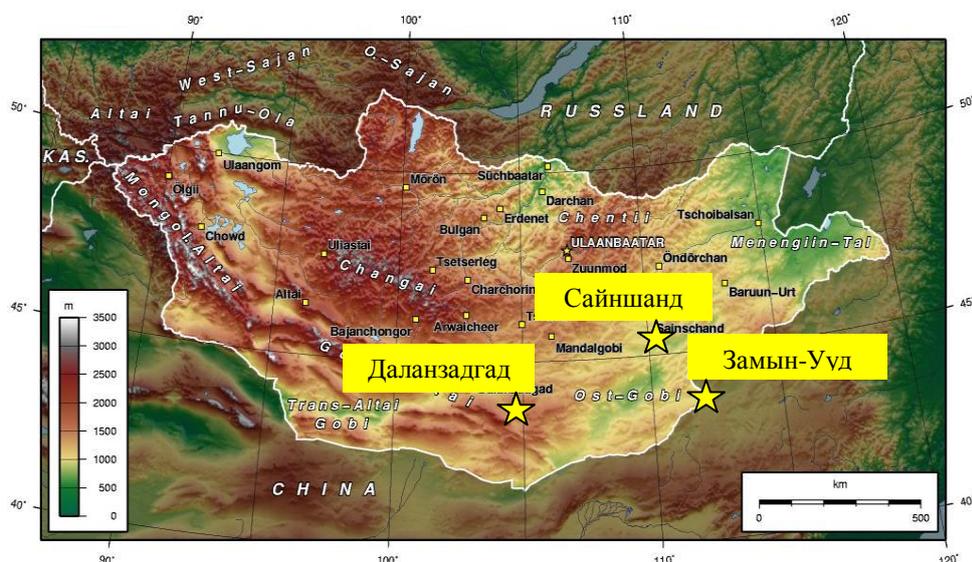


Рисунок 4. Пункты наблюдений.

Измерения взвешенных частиц на данных станциях проводятся с 2007 г. по международной программе KOSA Monitor с помощью пробоотборника серии TOA - DKK Co.

производства Японии. Прибор работает в непрерывном режиме отбора проб по методу светорассеяния. Во входном отверстии пробоотборника установлен импактор для фракционного разделения частиц пробы с диаметрами PM_{10} и $PM_{2,5}$. Массовая концентрация взвешенных частиц определяется через каждые 3 часа при постоянном объемном расходе воздуха, равном 16,7 л/мин через фильтрующую ленту. Предел допускаемой основной погрешности измерений составляет 10%.

Среднегодовая концентрация мелкодисперсного аэрозоля на ст. Сайншанд в среднем невысокая, не превышает 17 мкг/м^3 для пыли фракции PM_{10} и 7 мкг/м^3 для пыли фракции $PM_{2,5}$ (рис. 5). Максимальные значения среднемесячных концентраций в годовом ходе наблюдаются в мае в связи с высокой повторяемостью пыльных бурь, они составляют 51 мкг/м^3 (PM_{10}) и 20 мкг/м^3 ($PM_{2,5}$). В дни с устойчивой, маловетреной погодой средние массовые концентрации PM_{10} и $PM_{2,5}$ изменяются в пределах $8 - 11 \text{ мкг/м}^3$ (PM_{10}) и $3 - 5 \text{ мкг/м}^3$ ($PM_{2,5}$). Но при пыльных бурях максимальные значения концентраций превышают 1780 мкг/м^3 (PM_{10}) и 380 мкг/м^3 ($PM_{2,5}$), что в 28 раз (PM_{10}) и в 15 раз ($PM_{2,5}$) превышают предельно-допустимые концентрации, принятых в Европейском Союзе (ЕС).

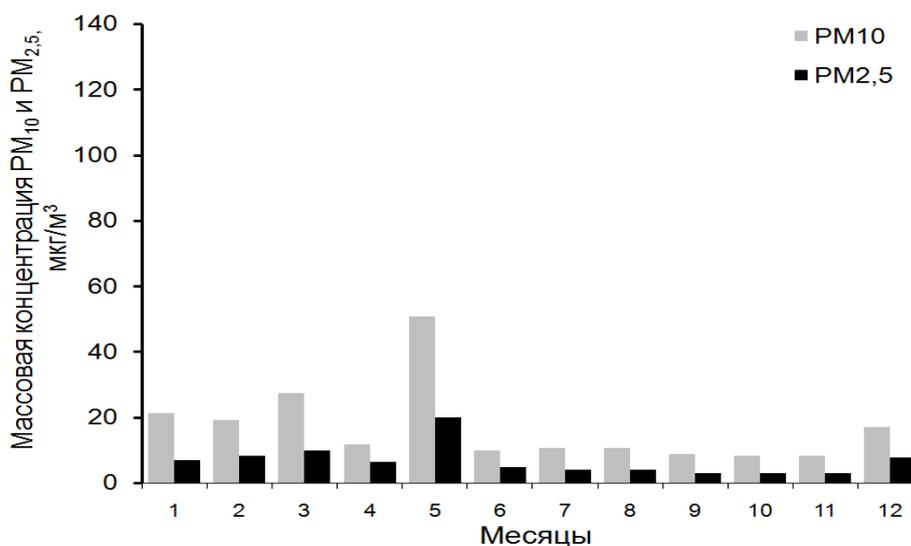


Рисунок 5. Годовой ход массовой концентрации аэрозоля PM_{10} и $PM_{2,5}$ на ст. Сайншанд (2008 г.)

Станция Замын-Ууд ($43^{\circ} 44'N$; $111^{\circ} 54'E$) расположена на границе Монголии и Китая на расстоянии 200 км от ст. Сайншанд. Среднегодовая концентрация мелкодисперсных фракций аэрозоля на ст. Замын-Ууд на границе с Китаем значительно выше, чем на ст. Сайншанд и составляет 72 мкг/м^3 для PM_{10} и 34 мкг/м^3 для пыли фракции $PM_{2,5}$ (рис. 6). Максимальные среднемесячные концентрации PM_{10} и $PM_{2,5}$ отмечены также в мае и достигают 139 и 53 мкг/м^3 , соответственно. При слабых ветрах концентрации изменяются в пределах $20 - 22 \text{ мкг/м}^3$ (PM_{10}) и $16 - 18 \text{ мкг/м}^3$ ($PM_{2,5}$). При пыльных бурях максимальные концентрации превышают значения

1930 мкг/м³ (PM₁₀) и 700 мкг/м³ (PM_{2,5}), что в 24 раза (PM₁₀) и в 28 раз (PM_{2,5}) превышают предельно-допустимые концентрации в ЕС. Повышенные значения среднемесячных концентраций PM₁₀ и PM_{2,5} наблюдаются в весенние и зимние месяцы. Отмечается рост массовой концентрации данных фракций аэрозоля при южных направлениях ветра со стороны Китая, их значения варьируют от 30 до 400 мкг/м³. Усредненный 10-дневный суточный максимум концентрации PM₁₀ на ст. Замын-Ууд в мае составляет 122 мкг/м³ и хорошо согласуется с данными, полученными на ст. Эрдэнэ (44° 27'N, 111° 05'E), расположенной в 100 км к северо-западу от Замын-Ууд, где усредненный 10-дневный суточный максимум концентрации PM₁₀ составляет 140 мкг/м³.

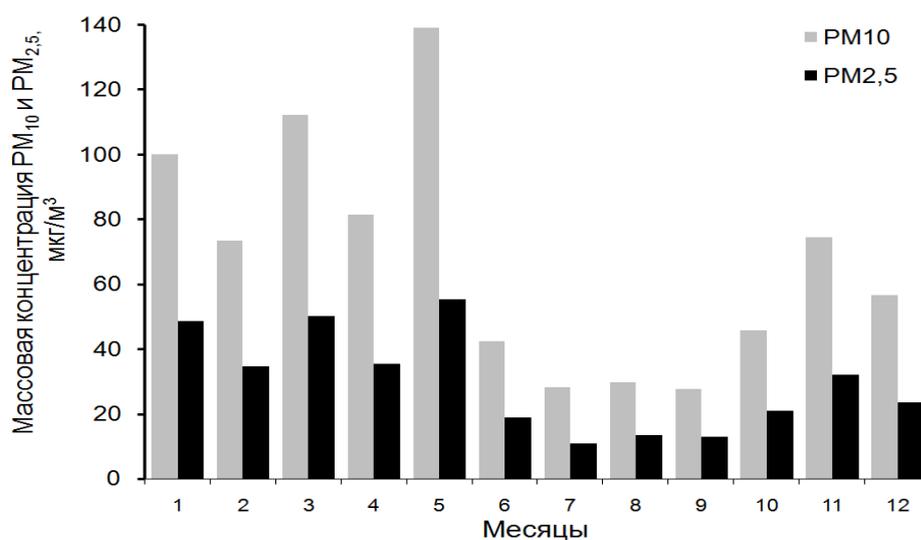


Рисунок 6. Годовой ход массовой концентрации аэрозоля PM₁₀ и PM_{2,5} на ст. Замын-Ууд (2008 г.)

Станция Даланзадгад (43° 35'N; 104° 25'E) является центром Южногобийского аймака, расположена в коридоре ветровых потоков у подножия восточной оконечности горного массива Гурван Сайханы Нуруу. Среднегодовая концентрация мелкодисперсных фракций аэрозоля на ст. Даланзадгад составляет 79 мкг/м³ для PM₁₀ и 35 мкг/м³ для пыли фракции PM_{2,5} (рис. 7).

Изменчивость годового хода массовой концентрации мелкодисперсной фракции аэрозоля в течение года на ст. Даланзадгад значительно отличается от годового хода данных фракций на ст. Сайншанд и ст. Замын-Ууд. Максимальные значения среднемесячных концентраций в годовом ходе выявлены в холодное время года, например, в декабре составляют 214 мкг/м³ (PM₁₀) и 93 мкг/м³ (PM_{2,5}). В то время как на ст. Сайншанд среднемесячная концентрация PM₁₀ и PM_{2,5} составляет 17 мкг/м³ (PM₁₀) и 8 мкг/м³ (PM_{2,5}), а на ст. Замын-Ууд 57 мкг/м³ (PM₁₀) и 23 мкг/м³ (PM_{2,5}).

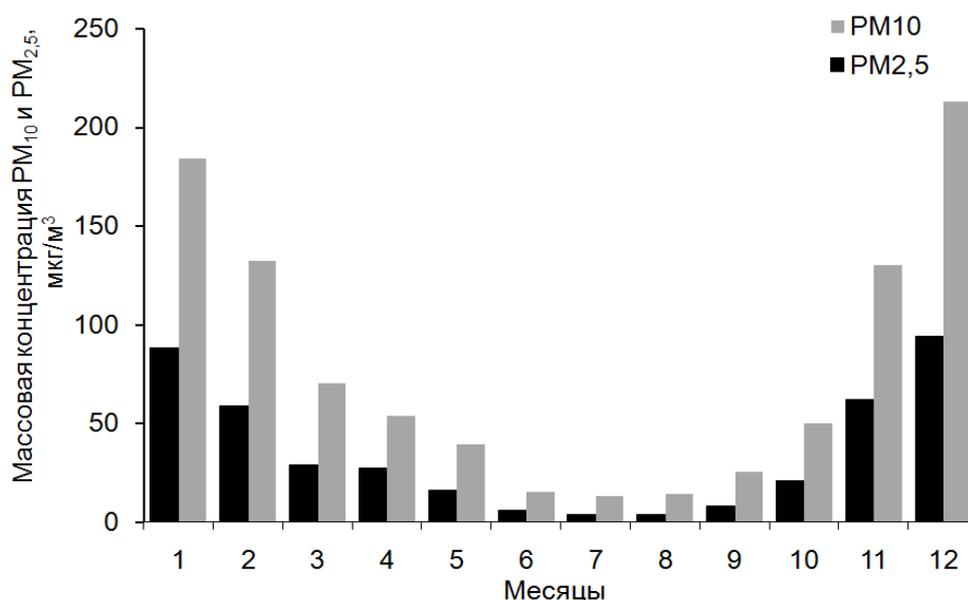


Рисунок 7. Годовой ход массовой концентрации аэрозоля PM_{10} и $PM_{2,5}$ на ст. Даланзадгад (2009 г.)

В последние годы (с 2010 г.) на юге Гоби активно развиваются разработки золотомедного месторождения Оюу-Толгой и угольного месторождения Таван-Толгой, вследствие чего отмечается резкое увеличение концентрации пыли в атмосфере из-за открытых разработок месторождений, строительства карьеров, транспортировки полезных ископаемых. Выявлены экстремально высокие концентрации аэрозольных частиц фракций PM_{10} и $PM_{2,5}$ за 2011 и 2012 гг. в атмосфере ст. Даланзадгад. Наибольшие концентрации данных фракций наблюдались в период с 24-30 октября 2011 г., когда аэрозольное загрязнение в 15 раз превысило предельно-допустимые концентрации для фракций PM_{10} и в 28 раз для фракций $PM_{2,5}$ (рис. 8). В этот период преобладало южное и юго-восточное направление ветра со стороны разработок месторождений. Понижение концентраций данных фракций отмечалось при смене направления ветра с юго-восточного на западное и усилении ветра, но при последующей смене направления ветра на юго-восточное максимальная концентрация составила 1289 мкг/м^3 (PM_{10}) и 1180 мкг/м^3 ($PM_{2,5}$) (рис. 9). Похожий эпизод был идентифицирован с 17 июня по 02 июля 2012 г., когда в течение нескольких суток концентрация PM_{10} и $PM_{2,5}$ значительно превышала предельно-допустимые концентрации 9 (17) раз для PM_{10} ($PM_{2,5}$).

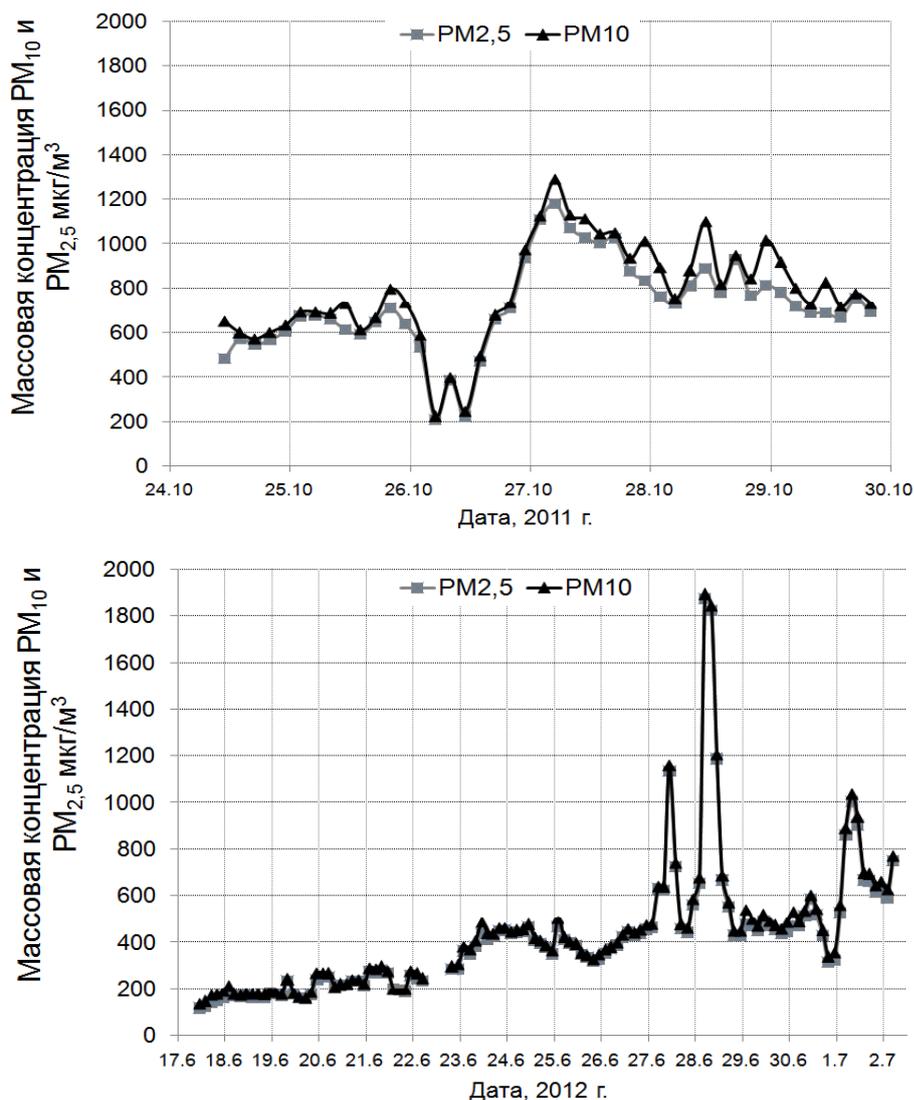


Рисунок 8. Среднесуточный ход массовой концентрации PM₁₀ и PM_{2,5} в атмосфере ст. Даланзадгад.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ:

1. Установлено увеличение числа дней с пыльными бурями в 3 раза за период с 1991 по 2006 гг. и их продолжительности с 2003 по 2007 гг. в 40 раз в аридных районах Монголии. Наибольшая продолжительность пыльных бурь 573 часа наблюдалась в 2007 году. Выявлено, что в последние годы при общем увеличении числа пыльных бурь в пустыне Гоби прослеживается их увеличение в осенние и зимние месяцы с 2004 г., чего ранее не наблюдалось.

2. С использованием траекторной модели реанализа NCEP/NCAR HYSPLIT и архивных метеорологических данных (архив FNL) National Oceanic and Atmospheric Administration (США) проведены исследования характера движения воздушных масс и основных направлений переноса пылевого аэрозоля в аридных районах Монголии. Установлено, что в данном районе в

основном преобладает восточный, северо-восточный и юго-восточный вынос воздушных масс и северо-западный, западный и юго-западный занос воздушных масс на ст. Сайншанд и ст. Баруун-Урт. В целом ветровой режим в пустыне Гоби в течение года повторяет направление общего северо-западного переноса, характерное для свободной атмосферы. В летний же период велико влияние местных циркуляций.

3. Установлено, что оз. Байкал влияет на смещение воздушных масс из Арктического бассейна, которые приводят к значительным градиентам температуры и давления на территории Монголии, в результате чего возникают сильные ветры, сопровождающиеся интенсивными пыльными бурями в аридных и полупустынных территориях Монголии и Китая.

4. Обнаружена высокая повторяемость струйных течений в Восточной Гоби. Наибольшая повторяемость струйных течений наблюдается в зимнее и летнее время и составляет 63 % и 40 %, соответственно, которые способствуют дальнему переносу малых газовых примесей и пылевого аэрозоля.

5. Выявлен годовой и суточный ход массовой концентрации мелкодисперсного аэрозоля PM_{10} и $PM_{2,5}$ на станциях Сайншанд, Замын-Ууд и Даланзадгад. Установлено, что среднегодовые концентрации на ст. Сайншанд невысокие, но при пыльных бурях максимальная концентрация мелкодисперсных аэрозолей, превышает 1780 мкг/м^3 (PM_{10}) и 380 мкг/м^3 ($PM_{2,5}$) на станции Сайншанд и 1930 мкг/м^3 (PM_{10}) и 700 мкг/м^3 ($PM_{2,5}$) на станции Замын-Ууд. Изменчивость годового хода массовой концентрации мелкодисперсной фракции аэрозоля в течение года на ст. Даланзадгад значительно отличается от годового хода данных фракций на ст. Сайншанд и ст. Замын-Ууд.

6. Установлено, что экстремально высокие короткопериодные локальные флуктуации PM_{10} и $PM_{2,5}$ в атмосфере ст. Даланзадгад обусловлены влиянием местных эмиссий и формируются в результате переноса с открытых разработок месторождений Оюу-Толгой и Таван-Толгой и трансграничным переносом со стороны Китая.

7. Создана база данных массовой концентрации аэрозолей фракции PM_{10} в атмосфере пустыни Гоби, содержащая их суточные и сезонные вариации.

Основные публикации по теме диссертации

1. Дементьева, А.Л. Ветровой режим и особенности атмосферной циркуляции при образовании пыльных бурь в пустыне Гоби / А.Л. Дементьева, Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов, В.В. Цыдыпов, А.А. Аюржанаев, Д. Азжая, Д. Оюнчимег // Оптика атмосферы и океана. - 2009. - Т. 22. - № 6. - С. 615-621.

2. Дементьева, А.Л. Исследование метеорологических параметров атмосферы пустыни Гоби/ А.Л. Дементьева, Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов, В.В. Цыдыпов // Естественные и технические науки. – 2012. - № 3. – С. 507-509.

3. Дементьева, А.Л. Массовая концентрация мелкодисперсных фракций аэрозоля PM_{10} и $PM_{2.5}$ в пустыне Восточной Гоби/ А.Л. Дементьева, Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов, В.В. Цыдыпов, А.А. Аюржанаев, Д. Аззая, Д. Оюнчимег // Метеорология и гидрология. – 2013. - № 2. –С. 31-40.

4. Particularities of formation and transport of arid aerosol in Central Asia: Chapter 4 / G. Zhamsueva, A. Zayakhanov, V. Tsydypov, A. Ayurzhanayev, A. Dementeva, D. Oyunchimeg and D. Azzaya // Advanced Air Pollution. – Croatia: Intech, 2011. – P. 51-66.

5. Dementeva, A.L. 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. Ayurzhanayev // International society for Optical Engineering (SPIE). – 2008. - Vol. 6936, 69360Z. - doi: 10.1117/12.783350.

6. База данных «Концентрация мелкодисперсной фракции аэрозоля PM_{10} в атмосфере аридных территорий Центральной Азии (2008-2011 гг.): Свидетельство о государственной регистрации базы данных; заявка № 2014620697 / Дементьева А.Л., Жамсуева Г.С., Заяханов А.С.; правообладатель ИФМ СО РАН; дата поступ. 23.05.2014 (в печати).

7. Dementeva, A.L. Research of particularities of circulation and processes of air mass in east Gobi / A.L. Dementeva, G.S. Zhamsueva, A.S. Zayakhanov, V.V. Tsydypov, A.A. Ayurzhanayev // International conference and Young Scientists School on Computational information technologies for Environmental Sciences (CITES), Tomsk. 2007. P.19.

8. Dementeva, A.L. 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. Ayurzhanayev // XIV International symposium “Atmospheric and ocean optics. Atmospheric physics”, Buryatia, June 24-29. 2007. P. 144.

9. Dementeva, A.L. Research of atmospheric composition of the Central Asia desert using monitoring mobile station / G.S. Zhamsueva, A.S. Zayakhanov, V.V. Tsydypov, A.A. Ayurzhanayev, A.L. Dementeva, D. Azzaya, D. Oyunchimeg // XIV International symposium “Atmospheric and ocean optics. Atmospheric physics”, Buryatia, June 24-29. 2007. P. 128.

10. Дементьева, А.Л. Исследование малых газовых примесей и турбулентных характеристик в атмосфере аридных и полуаридных территорий Монголии / А.Л. Дементьева, Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов, В.В. Цыдыпов, А.А. Аюржанаев // Материалы VI Международной школы молодых ученых и специалистов “Физика окружающей среды”. Томск, 1-5 ноября 2007 г. – Томск: ТГУ, 2007. - С. 46-49.

11. Dementeva, A.L. Research of turbulent condition in atmosphere Mongolia of arid and semi arid territory / A.L. Dementeva, G.S. Zhamsueva, A.S. Zayakhanov, V.V. Tsydypov // Abstracts of 8th Annual Meeting of the European Meteorological Society, 29 September – 03 October 2008, Amsterdam, The Netherlands, Vol. 5, EMS2008-A-00327.

12. Дементьева, А.Л. Исследование переноса воздушных масс и анализ пыльных бурь в условиях резко-континентального климата Монголии / А.Л. Дементьева, Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов, В.В. Цыдыпов // Тез. докл. XII международная конференция молодых ученых «Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические процессы». Борок, 19-23 мая 2008 г. – Борок: ИФЗ им. О.Ю.Шмидта РАН, 2008. - С. 87.

13. Дементьева, А.Л. Исследование метеорологических параметров и аэрозоля фракции PM_{10} и $PM_{2,5}$ во время пыльных бурь в Восточной Гоби/ А.Л. Дементьева, Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов, В.В. Цыдыпов, Н. Энхмаа // Материалы симпозиума XVIII Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы". Иркутск, июль, 2012 г. - Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2012. - С. 184-187.

14. Дементьева, А.Л. Влияние струйных течений на пространственно-временное распределение озона в атмосфере пустыни Гоби / А.Л. Дементьева, Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов, В.В. Цыдыпов, Д. Азжая, Д. Оюнчимэг // Тезисы докладов XIX Международного симпозиума "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы". Барнаул, 1-6 июля 2013 г. - Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2013. – С. 105.

15. Дементьева, А.Л. Годовой и суточный ход концентраций аэрозоля ($PM_{10-2,5}$ и $PM_{2,5}$) в атмосфере Южной Гоби / А.Л. Дементьева, Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов // Тезисы докладов Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике (БШФФ-2013). Иркутск, 9-14 сентября 2013 г. – Иркутск: Изд-во ИСЗФ СО РАН, 2013. - С. 63-64.