

Диссертация выполнена в Отделе физических проблем при Президиуме Бурятского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук (г. Улан-Удэ).

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук, доцент
Дарижапов Даши Дашипунсыкович

Научный консультант: кандидат медицинских наук
Дулганов Климентий Петрович

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

доктор технических наук,
профессор
Кашкин Валентин Борисович

Ведущая организация: Институт мониторинга климатических и
экологических систем СО РАН, г. Томск

Защита состоится « 12 » ноября 2009 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д.212.004.06, действующего при Алтайском Государственном Техническом Университете им. И.И. Ползунова по адресу: 656038, Российская Федерация, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, аудитория № 127 глав. корп.).

E_mail: krivobok@ab.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского Государственного Технического Университета

Автореферат разослан « ____ » _____ 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, к.т.н.

Кривобоков Д.Е.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Стратосферный озон среди атмосферных составляющих, эффективно взаимодействующих с солнечным излучением и в значительной степени влияющих на его проникновение в атмосферу, занимает особое место. Озон обычно относят к одной из малых примесей атмосферы, поскольку его общее содержание составляет всего лишь $0,64 \times 10^{-6}$ массы всей атмосферы. Однако, значимость озона в атмосферных процессах достаточно велика, что и обуславливает большой интерес к колебаниям его концентрации, связанным с процессами образования и разрушения. Являясь оптически активным газом, озон, поглощая, главным образом, ультрафиолетовое излучение Солнца в диапазоне 200÷300 нм, определяет термический режим стратосферы, существенно влияет на стратификацию температуры и предотвращает попадание биологически активного жесткого ультрафиолета на поверхность Земли.

Измерения общего содержания озона (ОСО) в атмосфере проводятся с 1920-х годов. С тех пор методы измерений эволюционировали от наземных до бортовых (аэростатов, самолетов, ракет) и спутниковых. Достижения в развитии приборного оснащения позволили расширить измерения озона от столба атмосферы над наземной станцией до ежедневного глобального охвата озоносферы Земли. Информация, получаемая в результате спутниковых измерений ОСО над территорией земного шара по геодезической сетке $\theta \times \lambda = 1^\circ \times 1,25^\circ$, сосредоточена и накапливается во Всемирном банке данных *TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer)* и предоставляется в свободное пользование через Интернет–сайт <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>.

Объем информации, получаемый в результате обработки данных из ежедневно обновляемого Всемирного банка *TOMS*, постоянно увеличивается, совершенствуется как сам спектрометр, так и алгоритм обработки данных, поступающих с каналов *TOMS*. В настоящее время рекомендуется использовать результаты работы новой версии 8 алгоритма обработки *TOMS* данных, с уровнем погрешности 2÷3 %. Это весьма приемлемая точность для спутниковой информации, поэтому на первый план выходят задачи ее обработки и анализа. С 2005 года по настоящее время *TOMS*–программу продолжает находящийся на орбите более совершенный спектрометр *OMI (Ozone Meter Instrument)*. Практически все исследования, посвященные использованию спутниковых данных, сводятся к сопоставлению результатов космических (*OMI*) и наземных измерений над географическими координатами наземных станций. В России такие исследования проводит Центральная аэрологическая обсерватория (ЦАО), информационная система которой рассчитывает и строит изолинии отклонения ОСО над Евразией. Однако такие исследования не обеспечивают достаточной информацией

задачи анализа атмосферно-биосферных связей, поскольку наряду с изолиниями необходима дополнительная информация. В ряде случаев требуется подсчет среднего содержания ОСО в территориально-административных единицах, которые редко имеют правильные геометрические границы, для чего зачастую необходима информация о непрерывных зависимостях из дискретных данных ОСО в точках между геодезической сеткой спутниковых измерений. Решение подобного рода задач требует принципиально иной информационной системы. Для ее организации требуется решить взаимосвязанный круг задач от организации структуры базы данных до реализации алгоритмов и методов обработки и анализа полученной информации.

Целью диссертационной работы является создание автоматизированной системы для информационного обеспечения экологического мониторинга и контроля территориального распределения общего содержания озона (ОСО) для анализа статистических показателей и построения карт ОСО.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Разработка программных средств обработки потока информации из обновляемого Всемирного банка данных *TOMS* для формирования временных рядов и электронных карт статистических показателей ОСО для регионов России;
2. Анализ способов графической визуализации информации, выбор наиболее подходящих достоверных методов и разработка на их основе оригинальных алгоритмов преобразования дискретных данных в непрерывные зависимости и их экспериментальное исследование;
3. Разработка алгоритмического и программно-технического комплекса методов и алгоритмов следующих блоков системы: а) накопления и сбора данных ОСО; б) статистической обработки данных; в) визуализации; г) обработки больших массивов данных в фоновом режиме;
4. Использование с целью практического применения автоматизированной информационной системы для исследования атмосферно-биосферных связей на примере корреляционного анализа связи изменчивости уровня ОСО с показателями злокачественных новообразований кожи (ЗНК) в Республике Бурятия.

Научная новизна.

- Предложен новый метод обработки спутниковой информации для расчета непрерывных зависимостей из дискретных данных Всемирного банка *TOMS* и визуализации динамики пространственно-временного распределения ОСО на основе известных алгоритмов;
- Разработана и реализована информационная система автоматизированной

обработки спутниковых данных из Всемирного банка данных *TOMS*, позволяющая исследовать динамику полей ОСО в виде временных рядов областей как с плавно меняющимися характеристиками внутри обширных территорий, так и с дискретной привязкой к границам административно-территориальных образований;

- Создан перспективный проблемно-ориентированный инструмент для выявления закономерностей влияния изменчивости уровня ОСО на статистические показатели в различных административных регионах России на примере системы «Изменчивость ОСО — показатели злокачественных новообразований кожи (ЗНК) в Республике Бурятия».

Достоверность полученных результатов достигается тем, что для составления оригинальных алгоритмов, нацеленных на применение в исследованиях ОСО по регионам России на основе спутниковых данных, используются известные алгоритмы и методы, такие как, например, алгоритм билинейной интерполяции и «метод прогонки». Погрешность вычислений значений ОСО информационной системой сравнительно с системой запросов *TOMS* не превышает 1 %. Итоги расчетов временного распределения ОСО над Республикой Бурятия полученные с использованием разработанных алгоритмов, были использованы для проведения корреляционного анализа между изменчивостью уровня ОСО и ЗНК в Республике Бурятия, результаты которых находятся в качественном согласии с данными независимых исследований, опубликованными ранее другими авторами.

Практическая ценность работы. Разработанная методика и программный комплекс в настоящее время используются для проведения атмосферных исследований Отделом физических проблем БНЦ СО РАН. Созданная на основе данных Всемирного банка *TOMS*, постоянно действующая автоматизированная информационная система «Атламас» предоставляет необходимый материал для исследований в регионах Сибири и Дальнего Востока, поскольку сеть наземных озонметрических станций недостаточно плотно здесь распределена. Разработанные в диссертации алгоритмы и методы предназначены для использования при разработке специального программного и математического обеспечения систем управления, оптимизации, анализа, принятия решений и обработки информации о пространственно-временном распределении ОСО. Информационная система может быть использована для предоставления необходимой информации с целью оперативного решения научных и прикладных задач, например, проведения экологической экспертизы при работе Ресурсно-экологического атласа Республики Бурятия (Региональный экологический атлас / А.Р. Батуев, А.В. Белов, В.В. Воробьев и др. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1998. С.266-278); карты территориального распределения ОСО над регионами России, например, в медицинской картографии для сопряженного анализа карт климатических факторов и онкозаболеваемости, в частности, для учета миграционного фактора при выявлении

корреляции между ОСО и показателями ЗНК по организации государственного канцер-регистра в России (Приказ МЗ ЗФ № 420 от 23.12.1996.).

Личный вклад автора. Основные результаты диссертации являются оригинальными и получены лично автором под руководством Дарижапова Д.Д., который является основным соавтором публикаций. Автору принадлежит разработка принципиальной схемы информационной системы, проведение анализа предметной области, построение модели программного комплекса, проектирование структуры базы данных (БД), определение требований к программному комплексу и разработка решений для их реализации, включая обоснование и выбор программной среды. Проведение исследований с использованием результатов, полученных разработанной автором информационной системы в области влияния изменчивости озонного слоя на показатели злокачественных новообразований кожи в Республике Бурятия.

На защиту выносятся следующие **положения и результаты:**

1. Разработанный способ обработки, управления, оптимизации и хранения на основе СУБД MySQL информации глобального мониторинга ОСО позволяет создать новый формат представления временных рядов в виде ряда полей ОСО с произвольными границами

2. Комплекс алгоритмов автоматизированной информационной системы «Атламас», который на основе расчета непрерывных зависимостей из дискретных данных Всемирного банка *TOMS* обеспечивает построение цветowych карт распределения ОСО как с плавно меняющимися характеристиками внутри обширных территорий, так и с дискретной привязкой к границам административно-территориальных образований.

3. Количественные показатели заболеваемости населения Республики Бурятия раком кожи значимо до $r = |0,87|$ коррелирует с изменчивостью уровня ОСО в теплый период года.

Апробация работы. Основная часть исследований и разработок по теме диссертации выполнялись в рамках проектов, поддержанных РФФИ №№ 03-05-79100, 08-02-98009-р_сибирь_a, 99-05-64943 и 00-05-64733, INTAS № 97-1040 «Establishing a Regional System for Ecological Monitoring in the Lake Baikal Region», Междисциплинарным интеграционным проектом СО РАН № 90 «Комплексное исследование состояния динамики развития экосистемы дельты реки Селенга как естественного биофильтра и индикатора современного состояния в условиях интенсификации антропогенного загрязнения озера Байкал», Раздел «Радиофизические исследования методами дистанционного зондирования земных покровов и атмосферы в районе дельты реки Селенга», Программой "Бурятия. Наука, технологии и инновации". Проект "Создание баз данных для тематической обработки радиолокационных изображений природных объектов Байкальского региона".

Результаты работы докладывались на международных и российских конференциях:

Научная сессия молодых ученых "Гелио и геофизические исследования" (Иркутск, 1998); VII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана» (Томск, 2000); Научно-практическая конференция аспирантов, преподавателей и сотрудников ВСГТУ (Улан-Удэ, 2001); II Международная конференция «Окружающая среда и экология Сибири, Дальнего Востока и Арктики (EESFEA–2003)» (Томск, 2003); Научно-практическая конференция «Актуальные вопросы онкологии» (Улан-Удэ, 2004); XI Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы". (Томск, 2004)г.; II, III конференции по фундаментальным и прикладным проблемам физики (Улан-Удэ, 2004, 2005); XIV International Symposium «Atmospheric and ocean optics. Atmospheric physics» (Maximikha, 2007).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 25 работ, из них 4 — в изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 117 страниц, 6 таблиц и 53 рисунка и графиков. Список литературы включает 120 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность темы, формулируются цель и задачи исследования, вводятся основные защищаемые положения.

В первой главе рассмотрены физические и химические свойства озона. Показана способность озона к поглощению солнечного излучения в различных участках спектра, что обуславливает возможность измерений ОСО, или суммарного озона, методами дистанционного зондирования. Приведены описания приборов и методов измерения озона как контактными, так и дистанционными методами. Приведен обзор существующих в настоящее время информационных систем экологического мониторинга. Рассмотренные системы направлены на исследование различных климатоэкологических аспектов в регионах измерений.

Наземные и бортовые (*зонды, самолеты, ракеты*) измерения нашли широкое применение в наблюдениях за озоновым слоем. Однако к неудобствам этих методов можно отнести то, что они имеют строгие пространственные ограничения.

Значительное количество информации о характеристиках состояния озоносферы необходимо для понимания комплекса динамических, фотохимических и радиационных процессов, анализа естественных и антропогенных возмущений и обнаружения временных изменений в состоянии озоносферы может быть получено с помощью спутниковых приборов и методов. Ежедневные измерения озона со спутников обеспечивают глобальный

мониторинг распределения озона при любых погодных условиях и по всей территории Земли. В настоящий момент имеется широкий набор наблюдений ОСО: наземные и космические измерения, носящие как локальный, так и глобальный характер. Эти данные позволяют проводить разнообразные исследования, касающиеся динамики поведения озона в земной атмосфере в глобальном масштабе. Спутниковые инструменты на данный момент являются единственными, которые имеют возможность демонстрировать динамику изменения ОСО в глобальном масштабе.

Многолетние наблюдения за ОСО показывают, что оно испытывает значительные как пространственные, так и временные вариации и, в среднем, имеет выраженную зависимость от широты и сезона. Суммарного озона в умеренных и полярных широтах больше, чем в тропических, с максимумом весной и минимумом осенью. При этом наблюдаются большие вариации среднемесячных значений ОСО в Северном полушарии, особенно в зимне-весенний период.

Показано, что исследования изменчивости озонового слоя не были бы столь актуальны, если бы не его биологически защитное свойство. В 1995 году Международное агентство по изучению рака официально признало, что существует достаточно доказательств роли ультрафиолетовой солнечной инсоляции в этиологии ЗНК. Ультрафиолетовый спектр солнечного излучения на поверхность Земли делится на три части: УФ-С с длиной волны $\lambda < 280$ нм, УФ-В (280÷320 нм) и УФ-А (320÷400 нм). Активно выраженным биологическим воздействием обладает коротковолновое УФ-В-излучение, и именно оно поглощается молекулами стратосферного озона. УФ-А-излучение озоном не поглощается, но особой угрозы не несет; именно эта часть спектра ответственна за загар. УФ-С-излучение, кроме озона, поглощается и другими атмосферными газами, поэтому поверхности Земли практически не достигает. На основании литературных данных показано решающее канцерогенное влияние солнечного коротковолнового УФ-В-излучения как причины развития рака кожи.

Известно, что для чистой атмосферы долговременные изменения уровня приземной солнечной УФ-В-радиации в значительной степени контролируются ОСО, причем поведение индексов среднемесячных значений УФ-В-радиации представляет собой зеркальное отображение ряда индексов среднемесячных значений ОСО (при вычитании сезонного хода). Таким образом, определено, что в исследованиях влияния УФ-В-радиации на биологические объекты, при отсутствии достоверных непрерывных длительных рядов радиационных наблюдений, в регионах средних и высоких широт с высоким уровнем суммарного озона в качестве адекватной замены могут быть использованы временные ряды ОСО.

В настоящее время онкологическая эпидемиология находится на таком этапе развития, когда вырабатываются критерии оценки влияния среды на человека, но при этом недостаточно полно определена связь между возникновением заболеваний и влиянием факторов природной среды. Медицинское картографирование предполагает определение влияния климатических факторов регионов на онкологическую заболеваемость. В литературе достоверно установлена этиологическая роль ультрафиолетовой радиации в распространенности злокачественных опухолей кожи. Поэтому при сопряженном анализе информационная система, отражающая изменчивость этого фактора, приобретает определяющее значение. Сравнительный анализ карт предполагает сопоставление карты районирования территории по комплексу климатических факторов с картами по заболеваемости.

Таким образом, в данной главе настоящей работы показана необходимость разработки информационной системы для реконструкции временных рядов уровней ОСО на основе спутниковых данных *TOMS*. Временные ряды, рассчитанные системой для различных регионов, могут служить источником данных для проведения анализа поведения ОСО в зависимости от различных факторов, либо для исследования влияния изменчивости озонного слоя на биосферу.

Во второй главе представлены результаты собственных измерений ОСО в Бурятии, а также спектральной УФ–облученности (СУФО) с использованием фильтрового озонметра М-124, зарегистрированного в ГГО им. Воейкова под № 29, и разработанного в ИОА СО РАН высокочувствительного автоматизированного спектрофотометра на базе монохроматора МДР-23. На рисунке 1 приведен временной ряд ежедневных наблюдений, где для сравнения приведён также ряд ОСО по данным спутниковых измерений (прибор *TOMS* на спутнике *Earth Probe*). Рисунок 2 демонстрирует графики, отражающие поведение СУФО и ОСО. В безоблачные дни (11–14 и 19.09.2000) наблюдалась выраженная обратная зависимость между ОСО и ультрафиолетовой солнечной радиацией. При появлении тонкой перистой и слоистой облачности (08–10 и 15–18.09.2000) отмечалось возрастание СУФО, которое происходит за счёт увеличения вперёд направленного рассеяния, обусловленного вытягиванием индикатрисы рассеяния на облачных частицах.

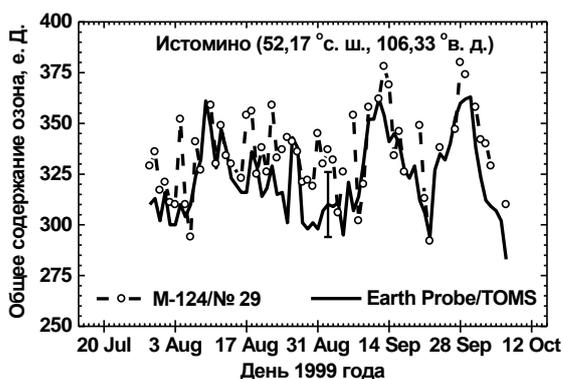


Рисунок 1. Сравнение данных ежедневных спутниковых и наземных измерений ОСО в Истомино.

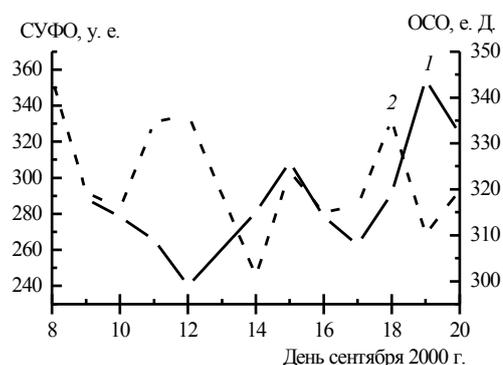


Рисунок 2. Изменения ОСО (1) и СУФО в диапазоне 290÷340 нм (2).

Таким образом, результаты исследований, выполненных автором, подтверждают, что между ОСО и ультрафиолетовой солнечной радиацией в отсутствие облачности наблюдается выраженная обратная зависимость; данные наземных и спутниковых измерений качественно согласуются между собой.

На основании этих выводов был разработан представленный далее комплекс программных средств, составляющий автоматизированную информационную систему, предназначенную для использования спутниковых данных Всемирного банка данных *TOMS* (архива результатов работы прибора космического мониторинга и построения карт — *Total Ozone Mapping Spectrometer*), в настоящее время программу которого продолжает более совершенный спектрометр *OMI* (*Ozone Monitoring Instrument*) установленный на борту ИСЗ *Aura*. На рисунке 3 представлена принципиальная схема информационной системы «Атлас» — аббревиатура от слов: «Атлас Малых Атмосферных Составляющих».

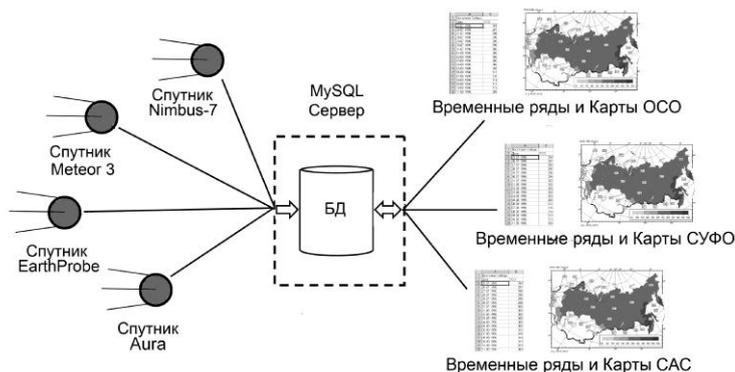


Рисунок 3. Принципиальная схема системы автоматизированной обработки спутниковых данных *TOMS* (*/OMI*)

Система (рисунок 4) включает в себя ядро и базу данных, которые обслуживаются несколькими подсистемами:

- подсистема накопления данных,
- подсистема сервиса пользователя,
- подсистема построения карт,

- подсистема формирования отчетов.

Главная функция ядра состоит в приеме информации и передаче ее на обработку соответствующей подсистеме. Ядро обслуживает кэш системы, под которым понимается резервируемая системой оперативная память для хранения некоторой выборки из базы данных.



Рисунок 4. Функциональная схема информационной системы

Проведено обоснование и выбор системы управления базой данных (СУБД), разработанная база данных организует хранение информации из текстовых файлов Всемирного банка данных *TOMS*. База данных (БД) предназначена для информационного обеспечения решаемых задач и является одной из основных структурных компонентов в автоматизированной системе. БД непосредственно связана с рабочими модулями, которые составляют информационную систему. Хранимая в БД информация используется для построения временных рядов ОСО над различными регионами России. Получаемые результаты позволяют осуществить составление карт пространственно-временного распределения ОСО.

Подсистема накопления данных состоит из процедур скачивания информации из Всемирного банка *TOMS* и записи в Базу данных информационной системы. Данная подсистема использует настройки, используемые по умолчанию в Internet Explorer (IE) установленной на компьютере пользователя операционной системы, и не требует каких-либо дополнительных настроек. Настройки IE информационная система «Атламас» распознает в процессе инсталляции. Подсистема сервиса пользователя предназначена для управления статистической обработкой данных, содержащихся в Базе данных информационной системы. С ее помощью задаются регионы и временные диапазоны для построения карт, обработки и формирования временных рядов. Подсистема построения карт визуализирует электронные карты статистических показателей ОСО для произвольных территорий. Наконец, подсистема формирования отчетов позволяет осуществлять обработку больших массивов данных в фоновом режиме и формировать отчеты в формате *.xls или *.txt.

Подсистема построения карт, управляемая подсистемой сервиса пользователя получает указания о

- выборе территории, по которой необходимо построить карту,
- временных параметрах и
- вариантах построения карт — по регионам, либо по России в целом.

Входные условия, задаваемые пользователем, передаются в подсистему построения карт, и на выходе строится карта.

Подсистема построения карт позволяет строить цветковые карты распределения ОСО как с плавно меняющимися характеристиками внутри обширных территорий, так и с дискретной привязкой к границам административно-территориальных образований.

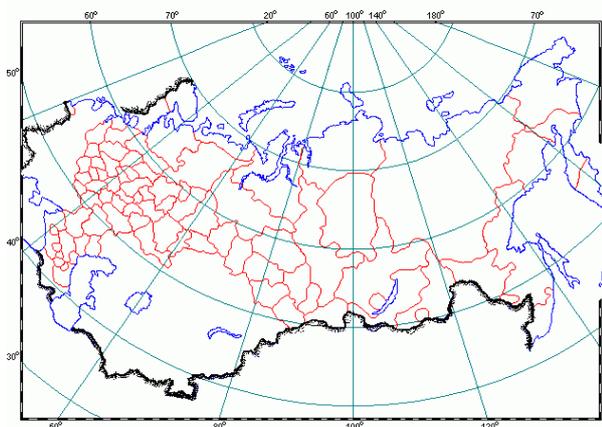


Рисунок 5. Карта России с нанесенными границами регионов

Карта России в проекции Ламберта–Гаусса с нанесенными границами регионов (рисунок 5) погружена в декартову систему координат (x, y) в границах $a_1 \leq x \leq a_2$, $b_1 \leq y \leq b_2$. Начало координат находится в верхнем левом углу. Преобразование декартовых координат (x, y) в географические (θ, λ) осуществляется с помощью двумерной функции $S: (x, y) \rightarrow (\theta, \lambda)$, которая задается таблицей соответствий, заключенной в специальном программном модуле информационной системы.

На данный момент реализованы два варианта построения карт.

- (I)** – построение карт распределения значений ОСО по территории России;
- (II)** – построение карт по средним значениям регионов;

Данные алгоритмы позволяют как реконструировать временные ряды над определенными географическими точками (вариант **I**), так и рассчитать средние по регионам показатели уровня ОСО (вариант **II**).

Информация во Всемирном банке данных *TOMS* представлена в виде ежесуточных значений, приведенных к регулярной прямоугольной геодезической сетке с ячейками $1^\circ \times 1,25^\circ$. Из этих дискретных данных для построения цветковых карт пространственного

распределения ОСО, для анализа динамики в конкретных точках местности, а также для построения карт регионов, чьи границы не сочетаются с точками Всемирного банка необходимо вычисление непрерывных зависимостей между узлами сетки. Для решения данной задачи информационной системой «Атлас» предложено использовать алгоритм билинейной интерполяции в узлах сетки вычисления функции $f(\theta_i, \lambda_i)$ – функции значения параметра в точке с координатами (θ_i, λ_i) . Использование данного алгоритма обосновано тем, что значения распределены равномерно по сетке через заданный промежуток. Билинейная интерполяция в компьютерной графике используется для расчета цветов дополнительных пикселей относительно основных, исходных, что позволяет сглаживать переходы. Затем из результатов вычислений цвета восстанавливается значение ОСО в любой точке между узлами сетки.

В качестве функции интерполяции применена кубическая сплайн-функция:

$$s(x) = f_{i-1}\alpha_0(u) + f_i\alpha_1(u) + [m_{i-1}\beta_0(u) + m_i\beta_1(u)]h_i, \quad i = \overline{1, N};$$

где x — аргумент ряда интерполяции,

f_i — узловые значения ряда интерполяции,

$\alpha_0, \alpha_1, \beta_0, \beta_1$ — коэффициенты сплайн-функции,

m_i — производные второго порядка в узлах ряда интерполяции,

N — число узлов ряда.

Для нахождения коэффициентов сплайн-функции используется метод прогонки.

Общий принцип построения конечной функции заключается в следующем:

- в качестве исходных данных на обработку поступают данные значений по территории, немного большей заданной территории (для выведения ошибочных приграничных зон за пределы карты территории). Данные могут быть как за определенный день, так и усредненные за какой-либо период;

- поступившие данные обрабатываются алгоритмом;

- на выходе строится функция вычисления значения ОСО в любой точке карты.

В варианте (I) построения общей карты распределения ОСО по территории России для каждой точки карты вычисляется полное значение цвета на основе действительного значения ОСО в данной точке:

$$V = f(\theta, \lambda),$$

$$T(x, y) = (C_1, C_2 - V \cdot k_1, C_2 - V \cdot k_2)$$

Аппроксимация значений по всей координатной плоскости карты ведется методом наибольших вкладов.

Значение количества озона в любой точке карты можно узнать, обратившись к аппроксимирующей функции $F(\theta, \lambda)$ (где θ — широта, λ — долгота), которая была получена на шаге аппроксимации.

Введя цветовую функцию $C(f)$, которая в качестве аргумента принимает значение количества озона, а возвращает цветовой индекс, соответствующий данному значению, получим:

$$C(f) = \begin{cases} c_1, & \text{если } f_1 < f \leq f_2 \\ c_2, & \text{если } f_2 < f \leq f_3 \\ \dots & \\ c_n, & \text{если } f_n < f \leq f_{n+1} \end{cases}$$

где n — число цветов,

(f_i, f_{i+1}) — интервал, поставленный в соответствие данному цветовому индексу.

Теперь для каждой точки карты (x, y) можно указать цветовой индекс:

$$(x, y): f = F(S(x, y)) \mid a_1 \leq x \leq a_2, b_1 \leq y \leq b_2$$

$$c = C(f)$$

Узкое место алгоритма — общая скорость работы геометрически зависит от размерности карты. Один из вариантов достижения компромисса между скоростью работы и точностью отображения — это разбиение карты на фрагменты. В пределах фрагмента цветовой индекс будет считаться постоянным. Значение цветового индекса вычисляется по среднему для данного фрагмента значению количества озона.

Тогда для каждого фрагмента карты (x_1, y_1, x_2, y_2) :

$$f' = \underset{\substack{x_1 \leq x < x_2 \\ y_1 \leq y < y_2}}{\text{avg}} F(S(x, y))$$

$$c = C(f')$$

где f' — усредненное значение количества озона в фрагменте (x_1, y_1, x_2, y_2) .

Фрагмент полностью заполняется цветом цветового индекса.

Осуществляя вложенную итерацию по фрагментам карты и вычисляя цветовой индекс для каждого фрагмента, можно заполнить всю карту за достаточно короткий период времени. Результат работы алгоритма (I) представлен на рисунке 6.

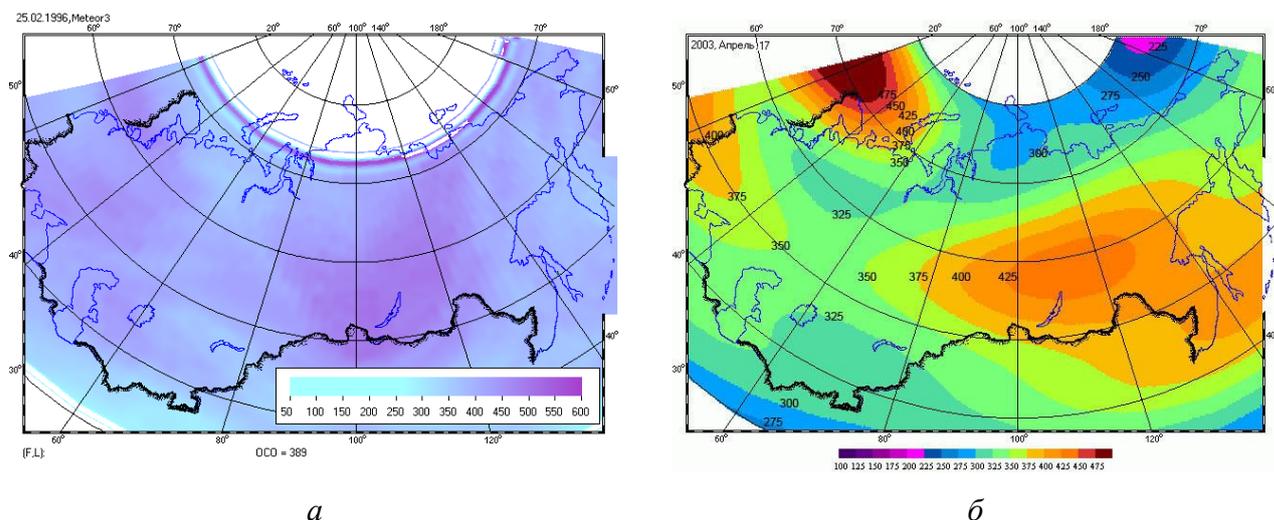


Рисунок 6. Варианты визуализации распределения поля ОСО по территории России и прилегающих стран: цветовая, со шкалой 1 (а) и изолинии, со шкалой 2 (б)

Построение карт распределения значений ОСО по варианту (I) иллюстрирует поведение озонного слоя (либо его статистических характеристик) за тот или иной период времени. Данный алгоритм служит вспомогательным средством для вычисления статистических характеристик временных рядов ОСО для различных географических точек. Погрешность вычислений значений ОСО информационной системой над точкой с определенными географическими координатами сравнительно с результатами работы системы запросов Всемирного банка данных *TOMS* для различных городов России не превышает 1 %.

Алгоритм (II) определяет значения ОСО в узлах сетки измерений *TOMS*, попадающие в заданную территорию, используя процесс обхода территории региона, который состоит из двух шагов.

На первом шаге вычисляются декартовы координаты прямоугольника, в который заключен регион, обход территории осуществляется алгоритмом “лесной пожар”, позволяющим выявить все точки карты в декартовых координатах, принадлежащих данному региону. Обход завершается, когда на территории нет точек, не включенных в процесс обхода. В процессе обхода отслеживаются минимальные и максимальные координаты прямоугольника, и формируется “маска” региона, используемая на втором шаге и в дальнейшем при отображении информации о регионе.

На втором шаге идет непосредственно линейный обход с вычислением ОСО в географических координатах и проверкой на “попадание” текущей точки в “маску”. Далее суммированное значение ОСО усредняется, и территория закрашивается цветом, определенным для данного значения. На рисунке 7 сплошным цветом показан результат работы алгоритма “лесной пожар”, а сеткой точек – алгоритма линейного обхода.

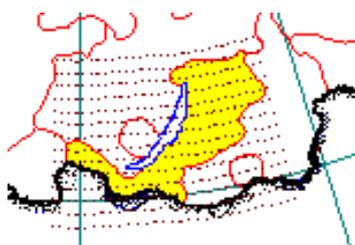


Рисунок 7. Результат обработки территории Республики Бурятия после полного завершения обхода

Далее суммированное значение ОСО усредняется, и территория закрашивается цветом, вычисленным по общей формуле:

$$T = (C_1, C_2 - V \cdot k_1, C_2 - V \cdot k_2)$$

где T — полное значение цвета;

V — усредненное значение ОСО для данного региона;

C_1, C_2, k_1, k_2 — коэффициенты.

Результаты работы алгоритма (II) представлены на рисунке 8:

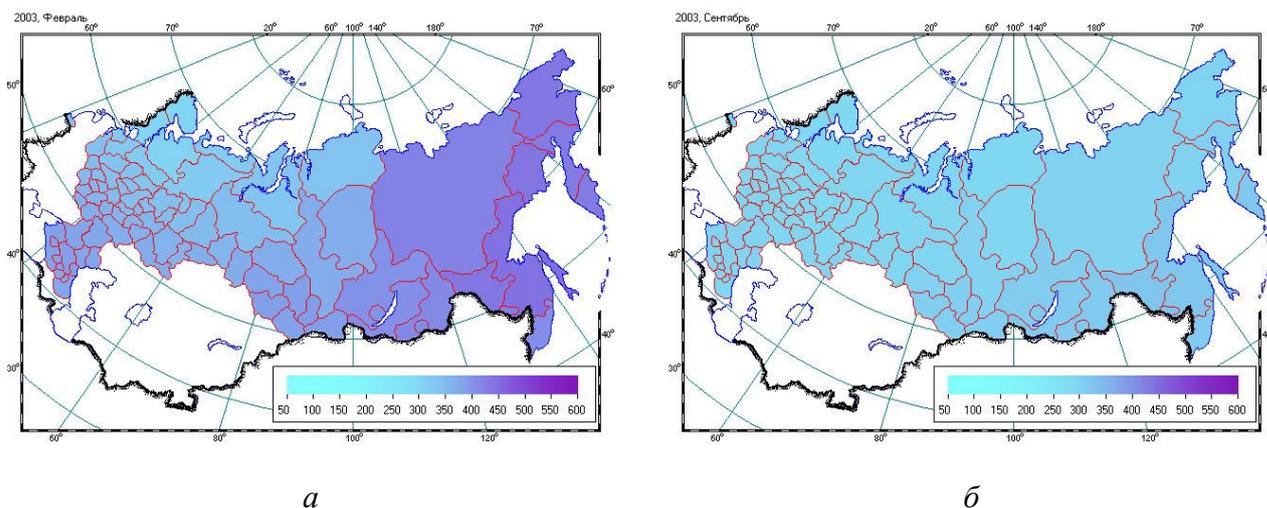


Рисунок 8. Карта распределения ОСО по регионам России в периоды зимне-весеннего максимума (а) и летне-осеннего минимума (б)

Данный алгоритм служит вспомогательным средством для расчета статистических характеристик распределения ОСО для различных регионов.

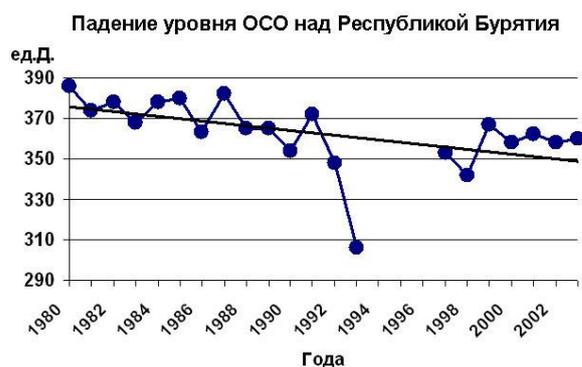
Далее в главе описаны подсистема формирования отчетов, позволяющая рассчитать показатели ОСО по различным регионам или точкам за заданный период в фоновом режиме и подсистема сервиса пользователя, заключающаяся в интерфейсе информационной системы.

В третьей главе приводятся результаты приложения автоматизированной информационной системы «Атламас» в исследовании этиологии злокачественных новообразований кожи населения Республики Бурятия.

Злокачественный рост в коже, как и во всех тканях, начинается с повреждения ДНК клетки. Жизнеспособность организма зависит от способности иммунной системы выявлять все дефектные клетки и уничтожать их. Обычно она справляется с этой задачей. Но иногда одной такой клетке удается остаться незамеченной, и она, в конце концов, образует опухоль. В коже основным повреждающим фактором признано коротковолновое ультрафиолетовое излучение солнца с $\lambda = 300\div 310$ нм, стимулирующее развитие ЗНК. Исследования в этой области для Республики Бурятия особенно актуальны в связи с максимальным количеством солнечных дней и, соответственно, с повышенной инсоляцией биологически активной коротковолновой УФ–В радиации по сравнению с другими регионами России.

Основным модулятором солнечной, наиболее биологически активной коротковолновой УФ–В радиации является стратосферный озонный слой. Для циркумполярных широт (выше 50° с.ш.), куда попадает и Республика Бурятия, коэффициент корреляции между коротковолновой УФ–В радиацией и ОСО превышает |0,65|. При этом принципиально, что надежные наземные инструментальные ряды измерений солнечной УФ радиации в Бурятии отсутствуют, для соседней Иркутской области они недолговременны и прерывисты. Погрешность же спутниковых измерений солнечной УФ радиации превышает 10 %, зачастую достигает 20 % и *TOMS*–программа в настоящее время не рекомендует использовать информацию архивов Всемирного банка данных по солнечной УФ радиации для анализа. В отличие от этого спутниковый мониторинг глобального поля ОСО осуществляется уже более четверти века, и полученные данные являются достаточно надежными.

На территории Республики Бурятия (РБ) относительно низкие показатели заболеваемости раком кожи, как у мужчин, так и у женщин. В структуре общей заболеваемости злокачественными заболеваниями в Бурятии рак кожи составляет 5–6 %, занимая стабильное 4–6 место. Однако своеобразие климата Республики, к которому относится обилие солнечного света, сухость воздуха, малая облачность, создает предпосылки исследования влияния солнечного ультрафиолетового излучения на заболеваемость раком кожи. В последние годы появилась озабоченность в плане уменьшения толщины озонового слоя, вследствие которого увеличивается заболеваемость раком кожи. Считается, что уменьшение озонового слоя на 10 % повышает заболеваемость раком кожи на земле в среднем на 1 %.



а

б

Рисунок 9. Уменьшение ОСО и рост показателей ЗНК в Бурятии за исследуемый период

Так, в среднем по Бурятии с 1979 по 2003 гг. среднегодовое содержание озона в атмосфере упало примерно на 10,5% (34 е.Д.) со средней скоростью $-(0,41 \pm 0,03)\%$ в год (рисунок 9а). В 1991-1994 гг. падение уровня ОСО было наибольшим, и отрицательный тренд составил соответственно $-(4,50)\%$ в год. Это падение связывают с извержением вулкана Пинатубо. К сожалению, за этот и последующий период восстановления озонного слоя спутниковые данные отсутствуют. Но и после данного явления наблюдается дальнейшее уменьшение содержания озона над этим регионом. В это же время в Республике Бурятия произошел перманентный рост рака кожи в ~ 2 раза (рисунок 9б).

Разумеется, что не только инсоляция солнца играет этиологическую роль, и факторы риска следует искать также и в профессионально-бытовых, метеорологических, радиационных и других условиях жизни. В то же время влияние ультрафиолетовой и солнечной радиации на рост числа заболеваний раком кожи подтверждают многие авторы. Рассчитанные данные позволяют сделать первый шаг к выявлению статистических закономерностей между изменчивостью общего содержания озона и показателями ЗНК, а именно знание статистической зависимости между переменными в данном случае может иметь большое практическое значение.

С помощью информационной системы «Атлас» впервые было исследовано влияние изменчивости ОСО на уровень заболеваемости раком кожи в Республике Бурятия. В качестве данных были использованы:

➤ отчетные статистические материалы Бурятского республиканского онкологического диспансера:

- ✓ «Сведения о заболеваниях злокачественными новообразованиями (Форма № 7)»;
- ✓ «Сведения о больных злокачественными новообразованиями (Форма № 35)»;

➤ данные космического зондирования ОСО, обработанные информационной системой «Атламас».

Для проведения корреляционного анализа были использованы ежегодные значения ЗНК за период с 1978 по 2003 гг. и средние значения ОСО по годам, месяцам, а также теплым (апрель–октябрь) и холодным (октябрь–апрель) сезонам. Для удобства, сформированные временные ряды были стандартизированы путем вычитания трендов, центрированы, нормированы и преобразованы в безразмерные величины — индексы.

В большинстве случаев статистически обеспеченной значимой корреляционной связи обнаружено не было, что связано с большим количеством иных, кроме УФ–В инсоляции, факторов риска в этиологии рака кожи, информация о воздействии которых на показатели ЗНК в Республике отсутствует. Тем не менее, была обнаружена корреляция показателей рака кожи с ОСО в мае и летние месяцы, коэффициенты приведены в таблице:

Таблица.

Значимые коэффициенты корреляции показателей ЗНК со среднемесячными (23 года) значениями ОСО

Месяцы	Значимые <i>R</i>
Май	– 0,62
Июнь	– 0,87
Июль	– 0,73
Август	– 0,49

Значимость объясняется тем, что пик наиболее биологически активной коротковолновой УФ–В радиации на длине волны $\lambda = 300\div 310$ нм и период падения ОСО на средних широтах приходятся именно на эти месяцы. Принимая во внимание длительность латентного периода рака кожи, был проведен корреляционный анализ показателей ЗНК и ОСО со сдвигом. Избранные ряды составляли по 23 значения, поэтому максимальный лаг составил 10 лет. Основным результатом исследования представлен на рисунке 10. Звездочками (*) показаны статистически значимые по критерию Фишера, используемого в медицине, при $\alpha = 0,05$ коэффициенты корреляции, сплошной линией — критерий значимости.

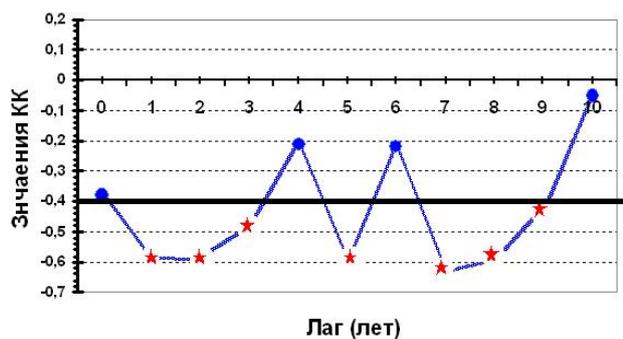


Рисунок 10. Коэффициенты корреляции показателей ЗНК от средних за 23 года месяцев 'Май-Июнь-Июль' индекса ОСО со сдвигом

Развитие злокачественной опухоли кожи подразделяется на три стадии: «Инициации», «Промоции» и «Прогрессии». Причем коротковолновая солнечная УФ–В радиация в качестве основного фактора риска присутствует на всех стадиях, что определяет ее в качестве полного канцерогена.

На стадии *инициации* иницирующий агент вызывает первую мутацию в клетке-мишени. Иницированные таким образом клетки передают необратимые изменения ДНК потомству. Стадия *промоции*, в отличие от короткой стадии *инициации* (которая осуществляется при однократном воздействии иницирующего агента), длительна. Ее латентный период – время от начала промоции, обусловленной, например, воздействием ионизирующей радиации в условиях производства, до развития кожного рака составляет от нескольких недель до нескольких десятилетий. Кроме того, она до определенного времени (пока не сочетается с изменением генома) обратима – устранение в это время активности промотора обеспечивает спонтанную инволюцию *предраковых поражений кожи*. Новообразование считается доброкачественным до тех пор, пока злокачественно трансформированные клетки находятся в ее пределах. Опухолевые клетки приобретают злокачественность на стадии *прогрессии*, при этом они легко отделяются друг от друга и от мест прикрепления к тканевому субстрату, мигрируют, инвазируют нормальные ткани. Таким образом, опухоль приобретает свойство автономного и бесконтрольного роста.

Рак кожи в 80 % случаев локализуется на коже головы и шеи. Клинически выделяют опухолевый и язвенный типы рака кожи. Опухолевый тип представляет собой неподвижный узел, легко кровоточащий при малейшем прикосновении. Язвенный тип характеризуется поверхностной язвой неправильной формы с четкими краями.

Вероятно, значимая корреляция между уровнями ОСО и ЗНК населения в показанные месяцы (таблица), объясняется тем, что *прогрессирующие* опухоли и изъязвления, возникающие под воздействием солнечного УФ₃₀₀₋₃₁₀, максимум которого на средних широтах приходится на этот период года, определяют роковой диагноз.

Проведенное исследование иллюстрирует возможности использования алгоритмов и методов информационной системы «Атламас» в проведении медико-географических исследований. Геодезическая сетка спутниковых измерений отвечает требованиям для построения карт в глобальных масштабах, что же касается административных регионов, то она в нередких случаях недостаточно плотна. Другие информационные системы оперируют данными над географическими точками, в которых расположены наземные станции измерений, информативности которых недостаточно для определения ОСО над протяженным регионом. Оригинальные алгоритмы информационной системы позволяют производить расчеты непрерывных зависимостей из дискретных данных в точках между сеткой спутниковых измерений, что позволяет получить наибольшее количество данных о поле ОСО в территориально-административных единицах, которые редко имеют правильные геометрические границы. Это позволяет собирать полную и достоверную информацию о климатическом факторе по всей площади региона, в котором проводится исследование. Материалы подобных исследований других авторов, отраженных в литературе, ограничиваются констатацией наличия географических особенностей распространения рака кожи и сравнением уровня заболеваемости населения в южных и северных районах России и других стран. Организация государственного онкологического регистра в России (Приказ МЗ РФ № 420 от 23.12.1996) дает возможность использования персонального учета лиц с установленным диагнозом, что позволит принимать во внимание миграцию населения по регионам России. Однако в настоящее время данный регистр находится на стадии внедрения. Информация о состоянии озонового слоя в границах административных субъектов Российской Федерации как дополнение к онкорегистрам представляет собой научную и практическую значимость в определении этиологии кожных онкозаболеваний.

В заключении сформулированы **основные результаты** и **выводы** диссертационной работы.

Основные результаты:

1. Предложены и реализованы алгоритмы и методы обработки спутниковой информации для расчета и визуализации динамики пространственно-временного распределения ОСО, составляющие основу автоматизированной информационной системы «Атламас».

2. Организован способ хранения и управления спутниковой информацией ОСО на основе СУБД MySQL, позволяющий организовать поступающую из Всемирного банка данных *TOMS* информацию, представленную в виде текстовых файлов, в БД системы. Дальнейшая обработка происходит под управлением пользователя в ходе выполнения специальных алгоритмов.

3. Разработан алгоритм расчета непрерывных зависимостей из дискретных данных *TOMS* для получения наибольшего количества данных о поле ОСО, что позволяет рассчитать значения поля ОСО за заданный период для различных административных регионов с неправильными геометрическими границами и отдельных географических точек, координаты которых отличаются от координат геодезической сетки спутниковых измерений.

4. Реконструированы временные ряды ОСО на основе спутниковых данных по территории Республики Бурятия. Результаты проведения корреляционного анализа подтверждают высокую (до $r = |0,87|$) зависимость показателей ЗНК от изменчивости уровня ОСО в Республике Бурятия в теплое время года.

Информационная система автоматизированной обработки и анализа спутниковых данных может быть использована как вспомогательное средство при разработке математических и физических моделей взаимосвязи ОСО с другими природными факторами и явлениями. Эти модели необходимы для оценки возможных изменений отдельных элементов климата и окружающей среды, а также планирования экспериментальных исследований атмосферы и интерпретации получаемых данных.

Информационная система «Атламас» позиционируется как система визуализации и представления данных и позволяет обеспечить решение экологических задач в области формирования интегрированных информационно-измерительных систем мониторинга и контроля состояния окружающей среды. В БД системы сосредоточена основная информация о спутниковых данных пространственного распределения ОСО. Информационная система на основе данных БД позволяет строить цифровые двумерные карты ОСО. Дальнейшее усовершенствование информационной системы предполагает формирование аналогичных баз данных на основе спутниковой информации, такой как поток солнечного ультрафиолета, стратосферный аэрозоль. В заключение автор выражает глубокую благодарность научному руководителю к.ф.-м.н., доценту Дарижапову Д.Д., д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН, профессору Зуеву В.В. за постановку задачи и организацию экспериментов, научному консультанту к.м.н. Дулганову К.П., соавторам публикаций к.ф.-м.н. Батуевой Е.В. и к.ф.-м.н. Кирбижековой И.И., а также к.ф.-м.н. Бондаренко С.Л., к.ф.-м.н. Зуевой Н.Е. и к.ф.-м.н. Смирнову С.В. за постоянное внимание к работе и ценные обсуждения.

Основные публикации по теме диссертации.

1. Базаров А.В. Начало мониторинга общего содержания озона над юго-восточной частью озера Байкал / Базаров А.В., Дарижапов Д.Д., Батуева Е.В., Зуев В.В., Смирнов С.В., Хряпов П.А. // Материалы VII Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана». – Томск, 2000. – С.113.

2. Базаров А.В. Результаты одновременных наблюдений стратосферного озона над

южным Байкалом наземным широкополосным спектрометром и космическим аппаратом TOMS / Базаров А.В., Батуева Е.В., Дарижапов Д.Д. // Труды всероссийской научной конференции «Дистанционное зондирование земных покровов и атмосферы аэрокосмическими средствами». – Муром, 2001 – С.37-39.

3. Bazarov A.V. Integrated Measurements of Total Ozone, UV-B radiation, and NO₂ in Buryatia / Bazarov A.V., Batueva E.V., Grishaev M.V., Zuev V.V., Smirnov S.V. // VIII Joint International Symposium “Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics”. – Irkutsk, 2001. – P.247.

4. Базаров А.В. Измерения ОСО в Истомино // Сб. научных трудов: серия «Технические науки». – Вып. 9. – Т.2. – ВСГТУ, 2001. – С.23-26.

5. Базаров А.В. Комплексные измерения в Бурятии общего содержания озона, суммарного содержания и вертикального распределения двуокиси азота и спектральной УФ–облученности / Базаров А.В., Батуева Е.В., Дарижапов Д.Д., Гришаев М.В., Зув В.В., Зув П.В., Смирнов С.В. // Оптика атмосферы и океана. – 2001. – Т.14, №12. – С.1153-1156.

6. Базаров А.В. Построение карт ОСО на территории СНГ / Базаров А.В., Дарижапов Д.Д., Батуева Е.В., Новолодский А.Ю. // Программа и тезисы докладов Всероссийской конференции «Дистанционное зондирование поверхности Земли и атмосферы». – Иркутск, 2003. – С.28-29.

7. Базаров А.В. Статистический анализ распределения ОСО на территории СНГ / Базаров А.В., Дарижапов Д.Д., Батуева Е.В., Новолодский А.Ю. // II Международная конференция «Окружающая среда и экология Сибири, Дальнего Востока и Арктики» EESFEA–2003. – Материалы конференции. – Томск, 2003. – Т.1. – С.72.

8. Базаров А.В. Лидарные измерения оптических характеристик стратосферного аэрозольного слоя в районе озера Байкал / Базаров А.В., Бурлаков В.Д., Зув В.В., Гришаев М.В., Долгий С.И., Ельников А.В., Невзоров А.В., Дарижапов Д.Д., Батуева Е.В. // II Международная конференция «Окружающая среда и экология Сибири, Дальнего Востока и Арктики» EESFEA–2003. – Материалы конференции. – Томск, 2003. – Т.1. – С.97.

9. Базаров А.В. Сравнение данных общего содержания озона с данными рака кожи в Восточной Сибири за 2000 год / Базаров А.В., Дулганов К.П., Новолодский А.Ю., Дарижапов Д.Д. // Материалы конференции: Актуальные вопросы онкологии. – Улан-Удэ, 2004. – С.138-142.

10. Базаров А. Оптические характеристики фонового стратосферного аэрозольного слоя над регионами Сибири: эмпирические модели и эпизоды аномального аэрозольного рассеяния / Базаров А., Батуева Е., Бурлаков В., Гришаев М., Дарижапов Д., Ельников А., Зув В., Невзоров А. // XI Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика

атмосферы". – Томск, 2004. – Том.1.

11. Базаров А.В. Статистический анализ распределения ОСО на территории СНГ / Базаров А.В., Дарижапов Д.Д., Батуева Е.В., Кирбижекова И.И., Новолодский А.Ю. // Современные достижения в исследованиях окружающей среды и экологии. Сб. науч. статей, посвященный памяти академика В.Е. Зуева. – Томск, 2004. – С.10-14.

12. Базаров А.В. Об измерениях общего содержания озона в дельте реки Селенги / Базаров А.В., Батуева Е.В. // II конференция по фундаментальным и прикладным проблемам физики. – Улан-Удэ: изд-во БНЦ, 2004. – С.42-43.

13. Базаров А.В. Информационные методы представления данных об общем содержании озона / Базаров А.В., Новолодский А.Ю., Дарижапов Д.Д. // Материалы международной научной конференции «Information Technology in Natural, Humanitarian and Engineering Science». – Taganrog: TSURE, 2004. – Pp.7-8.

14. Базаров А.В. Построение карт аэрозольного поля над Байкальской территорией / Базаров А.В., Дарижапов Д.Д., Новолодский А.Ю. // XI Рабочая группа «Аэрозоли Сибири». – Томск: 2004. – С.20.

15. Базаров А.В. Построение карт ОСО над территорией СНГ / Базаров А.В., Дарижапов Д.Д., Батуева Е.В., Новолодский А.Ю. // Солнечно-земная физика. – 2004. – Вып. 5. – С.158-159.

16. Базаров А.В. Исследование влияния общего содержания озона на заболеваемость меланомой в Республике Бурятия / Базаров А.В., Дарижапов Д.Д., Дулганов К.П., Новолодский А.Ю. // Вестник БГУ. Физика и техника. – Улан-Удэ: изд-во БГУ, 2005. – Вып. 4. – С.251-264.

17. Bazarov A.V. The Software for Monitoring the Total Ozone on the Satellite Data [Электронный ресурс] / Bazarov A.V., Darizhapov D.D. – Режим доступа: http://ursi-f-2005.jrc.it/fullpapers/URSI-F-2005-Art_9.6.pdf – URSI Commission F Symposium on Microwave Remote Sensing of the Earth, Oceans, Ice, and Atmosphere in Barza d'Ispra (Varese, Italy). – 2005.

18. Базаров А.В. Влияние общего содержания озона на заболеваемость меланомой в Республике Бурятия / Базаров А.В., Дарижапов Д.Д., Дулганов К.П. // Материалы конференции: Актуальные проблемы клинической онкологии и преканцерогинеза. – Якутск, 2005. – С.146-147.

19. Базаров А.В. Построение карт общего содержания озона над Байкальской природной территорией на основе дистанционного зондирования / Базаров А.В., Дарижапов Д.Д., Новолодский А.Ю. // XXI Всероссийская научная конференция «Распространение радиоволн». – Йошкар-Ола, 2005. – Т.2. – С.188-190.

20. Базаров А.В. Пакет программ для построения карт ОСО на территории РФ /

Базаров А.В., Дарижапов Д.Д., Новолодский А.Ю. // III конференция по фундаментальным и прикладным проблемам физики. – Улан-Удэ, 2005. – С.94-100.

21. Базаров А.В. Картирование общего содержания озона по спутниковым данным / Базаров А.В., Дарижапов Д.Д. // Труды XXIII Всероссийского симпозиума "Радиолокационное исследование природных сред". – С-Пб., 2005. – Вып. 5, ч.3. – С.487-493.

22. Базаров А.В. «Исследование пространственного распределения статистических характеристик ОСО над территорией России» / Базаров А.В., Батуева Е.В., Дарижапов Д.Д. // Научная конференция преподавателей, научных работников и аспирантов ВСГТУ. – Улан-Удэ, 2006.

23. Bazarov A.V. The Concept of Atmospheric Monitoring above the Baikal Natural Territory / Bazarov A.V., Darizhapov D.D. // XIV International Symposium «Atmospheric and ocean optics. Atmospheric physics». – Maximikha, 2007. – P.210.

24. Базаров А.В. Исследование влияния ОСО на заболеваемость ЗНК по Бурятии с 1979 по 2003 гг. / Базаров А.В., Дарижапов Д.Д., Кирбижекова И.И. // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2008. – № 8–9. – С.28–31.

25. Базаров А.В. Автоматизированная информационная система мониторинга территориального распределения общего содержания озона по данным Всемирного банка TOMS / Базаров А.В., Дарижапов Д.Д., Кирбижекова И.И., Сультимов Б.Б. // Естественные и технические науки. – 2009. – № 4. – С.340–342.