

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И МОЛОДЕЖИ  
РЕСПУБЛИКИ КРЫМ  
ТАВРИЧЕСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени В.И. ВЕРНАДСКОГО

*На правах рукописи*

**НИКИФОРОВА МАРИЯ ПАВЛОВНА**

УДК 911.2; 551.510.534

**РОЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ  
В ИЗМЕНЕНИЯХ СОСТОЯНИЯ ОЗОНОСФЕРЫ  
НА ПРИМЕРЕ ЕВРО-АТЛАНТИЧЕСКОГО РЕГИОНА**

Специальность 25.00.23 – физическая география и биогеография, география почв и  
геохимия ландшафтов

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

г. Симферополь – 2014 г.

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Севастопольском национальном техническом университете.

**Научный  
руководитель:**

**Холопцев Александр Вадимович**, доктор географических наук, профессор, действительный член Крымской академии наук и академии наук Польши, профессор кафедры судовождения и безопасности мореплавания, Севастопольская морская академия (г. Севастополь)

**Официальные  
оппоненты:**

**1. Ломакин Павел Демьянович**, доктор географических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела Океанографии МГИ НАН Украины (г. Севастополь)

**2. Горбунов Роман Вячеславович**, кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры геоэкологии, Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского (г. Симферополь, Республика Крым)

Защита состоится «26» декабря 2014 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета К 52.051.03 в Таврическом национальном университете имени В.И. Вернадского по адресу: 295007, г. Симферополь, ул. Ялтинская, 20, зал защиты диссертаций.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Таврического национального университета имени В.И. Вернадского (просп. академика Вернадского, 4г), и в сети Интернет по адресу: <http://science.crimea.edu/zashita/nikiforova/index.html>

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » ноября 2014 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор географических наук, профессор

Е.А. Позаченюк

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Пространственно-временная изменчивость характеристик озоносферы существенно влияет на вариации потоков ультрафиолетовой (УФ) солнечной радиации, которые воздействуют на биотические компоненты ландшафтов и вызывают образование в приземном слое атмосферы тропосферного озона. Кроме того, изменения ОСО влияют на состояния растительности и почвенную биоту. По этой причине уменьшение ОСО может способствовать опустыниванию и развитию эрозионных процессов, может приводить к изменению радиационного баланса территорий и радиационного коэффициента сухости, а значит вызывать смещения границ ландшафтных зон. Поэтому совершенствование методов ее моделирования и прогнозирования представляет собой актуальную проблему физической географии, геофизики и геохимии ландшафтов и землеведения. Ее решение имеет наибольший интерес для сегментов озоносферы, расположенных над густонаселенными и экономически развитыми регионами планеты. Одним из них является Евро-Атлантический регион ( $76^{\circ}\text{N}$ –  $15^{\circ}\text{N}$ ;  $81^{\circ}\text{W}$ –  $49^{\circ}\text{E}$ ).

Установлено, что наряду с антропогенными факторами, существенную роль в изменении характеристик озоносферы могут оказывать природные факторы. Видное место среди этих процессов способно занимать взаимодействие атмосферы и гидросферы, которое в значительной мере порождает потоки тепла и водяного пара, поступающих в атмосферу, а также приводит к образованию в ее устойчиво-стратифицированных слоях гравитационных и планетарных волн, сдвиговых воздушных течений и атмосферной турбулентности. При этом значимость влияния этого процесса на изменения общего содержания озона (ОСО) не одинакова и зависит от их географического положения и других физико-географических факторов. Среди них присутствуют разнообразные глобальные, крупномасштабные и региональные природные процессы, проявляющиеся в изменениях распределения температур поверхности Мирового океана (ТПО), и влияющие на изменения распределения характеристик вертикального обмена и горизонтального переноса в тропосфере и стратосфере (озона и веществ, принимающих участие в его разрушении).

Вместе с тем, роли подобных физико-географических процессов в формировании пространственно-временной изменчивости ОСО над Евро-Атлантическим регионом ныне изучены недостаточно. Поэтому при ее моделировании и прогнозировании адекватный учет влияния таких факторов является проблематичным, а эффективность их результатов не всегда удовлетворяют потребностям практики. Этим обусловлена актуальность выбранной темы диссертационного исследования.

**Связь диссертации с научными программами, планами, темами.** Работа выполнена на основе фактического материала, полученного автором при выполнении госбюджетной темы: «Фізико-географічне дослідження природи узбережжя Чорного моря між горлами Дунаю та Дністра» (№ держреєстрації 0108 U010014), где автор был участником.

**Цель и задачи исследования.** Целью исследования является выявление роли взаимодействия атмосферы и гидросферы в изменениях состояния озоносферы над Евро-Атлантическим регионом, а также совершенствование методик их моделиро-

вания и прогнозирования, с учетом влияния этого взаимодействия и других физико-географических факторов.

Для достижения поставленной цели решены следующие основные задачи:

1. Анализ статистических свойств изменчивости ОСО в различных сегментах атмосферы над рассматриваемым регионом и тенденций этого процесса.
2. Выявление условий, при которых влияние природных факторов на изменчивость ОСО над Евро-Атлантическим регионом является значимым.
3. Изучение возможностей моделирования и прогнозирования изменчивости ОСО в различных сегментах атмосферы над рассматриваемым регионом с использованием различных математических моделей этого процесса.

**Объект исследования** – пространственно-временная изменчивость ТПО Мирового океана, а также ОСО в земной атмосфере.

**Предмет исследования** – роль взаимодействия атмосферы и гидросферы в изменениях состояния озоносферы на примере Евро-Атлантического региона.

**Методы исследования.** При анализе исходной эмпирической информации применялись следующие методы: системный, объектно-ориентированного анализа, программирования, спектральный, корреляционный, прогнозирования случайных процессов, картометрический. При обобщении фактов, добытых ранее, а также синтезе новых знаний использовались методы: индукции, дедукции, математического моделирования. Применялись теории интерполяции (метод триангуляции Делоне), оптимизации, численного анализа и экстраполяции. Адекватность полученных результатов моделирования и прогнозирования проверялась с использованием статистических критериев согласия.

**Научная новизна полученных результатов** состоит в следующем:

1. Выявлена роль взаимодействия атмосферы и гидросферы в изменениях состояния озоносферы над Евро-Атлантическим регионом.
2. Определены значения интервалов пространственной корреляции рассматриваемых процессов в атмосфере над изучаемым регионом.
3. Выявлены особенности взаимной корреляции межгодовых изменений ОСО в изучаемых сегментах атмосферы, проявляющихся в разные месяцы.
4. Установлены тенденции межгодовой изменчивости среднемесячных значений ОСО над Евро-Атлантическим регионом.
5. Изучены статистические связи природных процессов и межгодовой изменчивости ОСО над Евро-Атлантическим регионом.
6. Оценены возможности применения различных математических моделей межгодовой изменчивости среднемесячных значений ОСО над Евро-Атлантическим регионом, при ее прогнозировании.
7. Проанализированы особенности полученных прогнозов состояния озоносферы над некоторыми частями Евро-Атлантического региона, характеризующихся различными упреждениями.

**Теоретическое и практическое значение полученных результатов** определяется тремя аспектами: научным, практическим и образовательным.

*В научном аспекте* значение полученных результатов обусловлено тем, что они развивают современные представления о закономерностях пространственно-

временной изменчивости ОСО в земной атмосфере, а также ее особенностях над Евро-Атлантическим регионом, обусловленных воздействием важнейших природных факторов, учет которых позволяет повысить эффективность ее моделирования и прогнозирования, а также усовершенствовать технические средства мониторинга.

*Практический аспект.*

Установленные статистические особенности изменчивости ОСО над Евро-Атлантическим регионом, а также ее причинные связи с природными процессами могут быть использованы при совершенствовании систем ее мониторинга.

Результаты работы использованы:

- Министерством Украины по чрезвычайным ситуациям при разработке мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера в ее регионах (№02-11232/162 от 14.09.2011). Он состоит в фактическом применении разработанных методик идентификации прогностических моделей межгодовых изменений ОСО для их прогнозирования над разными регионами Украины;
- для совершенствования технических средств мониторинга состояния озоносферы (патент №100445 от 25.12.2012 г.).

*Образовательный аспект* полученных результатов определяется их использованием на кафедре Прикладной экологии и охраны труда Севастопольского национального технического университета и на факультете Судовождения Севастопольской морской академии, при подготовке текстов лекций, а также методических указаний к лабораторным работам по дисциплинам «Метеорология и климатология», «Техно-урбоэкология», «Метеорология и океанография», «Гидрометобеспечение судоходства» и «Автоматизированные системы мониторинга окружающей среды»; возможностью их аналогичного применения в других высших учебных заведениях Российской Федерации и других стран.

**Личный вклад соискателя.** Главные научные результаты диссертационной работы диссертантом получены самостоятельно, а именно:

1. Выявлены особенности влияния взаимодействия атмосферы и гидросферы на изменения состояния озоносферы над Евро-Атлантическим регионом.
2. Установлены статистические особенности и тенденции изменчивости среднемесячных ОСО над Евро-Атлантическим регионом (1979 – 2010 гг.).
3. Определены условия, при которых влияние рассматривавшихся природных факторов на межгодовую изменчивость распределения среднемесячных значений ОСО над Евро-Атлантическим регионом было существенным.
4. Изучена возможность использования методов множественной регрессии и нестационарных мод для моделирования и прогнозирования изменений ОСО в разные месяцы над Евро-Атлантическим регионом.
5. Разработаны прогнозы (до 13 лет) изменчивости ОСО над некоторыми участками территории Евро-Атлантического региона.

**Апробация результатов диссертации** осуществлялась на научных семинарах в Севастопольском национальном техническом университете, Одесском государственном экологическом университете, а также на международных научно-практических конференциях «The second integrated land ecosystem – atmosphere

study», Мельбурн, Австралия в 2009 г.; «Каразинские естественнонаучные студии», Харьков, Украина в 2010, 2011 гг.; «Charman conference on complexity and extreme events in geosciences», Хайдарабад, Индия в 2010 г.; «Охрана окружающей среды и проблемы сбалансированного природопользования», Каменец-Подольский, Украина в 2011 г.; «Карпатская конференция по проблемам охраны окружающей среды», Ужгород, Украина в 2011 г., «Проблемы арктического региона», Мурманск, Российская Федерация в 2011 г.; всеукраинских конференциях «Проблемы охраны труда и техногенно-экологической безопасности», Севастополь, Украина в 2006, 2007 гг.; «Биосфера XXI в.», Севастополь, Украина в 2009, 2010 гг.; «Конференция молодых ученых», Одесса, Украина в 2010, 2011 гг.; «Актуальные проблемы исследования окружающей среды», Сумы, Украина в 2011 г., «Прогрессивные направления развития машиностроения, транспорта и экологии», Севастополь, Украина в 2013г.

**Публикации.** Основные результаты диссертации изложены в 26 публикациях, из них: 4 – монографии, изданные за рубежом, 13 – статей в научных специализированных изданиях ВАК Украины, 8 – тезисы и статьи в материалах конференций.

**Структура и объем работы.** Объем текста составляет 252 страниц, работа состоит из Введения, 5 разделов, Выводов и 6 приложений (объем основного текста ... страниц). Список использованных литературных источников составляет 289 наименований. Работа содержит 124 рисунка и 11 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** подчеркнута актуальность темы работы; охарактеризована связь диссертации с научными программами и темами; сформулированы объект, предмет, цель и задачи исследования; определена научная новизна, основные положения, выносимые на защиту, научная и практическая значимость работы, личный вклад соискателя, полнота апробации результатов диссертации и приведены общие сведения о работе.

В **Разделе 1** проанализированы современные представления о влиянии изменений состояния озоносферы на процессы пространственной дифференциации ландшафтов; связи этих изменений с вариациями распределения ТПО Мирового океана; особенностях изменчивости озоносферы, проявляющихся в Евро-Атлантическом регионе; их связях с физико-географическими факторами; рассмотрены существующие методики моделирования и прогнозирования ОСО. На основе обзора существующих представлений обосновывается концепция, исследованию которой посвящена данная работа. Показано, что изменения состояния озоносферы, гидросферы, тропосферы и ландшафтной оболочки нашей планеты являются взаимосвязанными и взаимообусловленными.

Современные представления об особенностях и причинах пространственно-временной изменчивости ОСО основаны на работах таких отечественных ученых, как Хргиан А.Х., Гуцин Г.П., Виноградова Н.Н., Александров Э.Л., Конашенков В.Н., Перов С.П., Израэль Ю.А., Кароль И.Л., Груздев А.Н., Жадин Е.А., Бекорюков В.И., Нерушев А.Ф., Звягинцев А.А., Крученицкий Г.М. и др., а также на работах зарубежных ученых: Randel W.J., Wang C., Dutsch H.U., Crutzen P.J., Ziemke J.R.,

Farman J.C., Hunt B.G., Hesstvedt E., Johnston H.S., Wofsy S.C., McElroy M.B., Molina M.J., Rowland F.S. и др.

Согласно им, изменения ОСО над различными участками земной поверхности – многофакторный процесс с многочисленными обратными связями. При этом, основной причиной изменчивости ОСО являются процессы, ответственные за разрушение озона в атмосфере. Указанный процесс происходит под действием многих факторов, которые условно можно разделить на природные и антропогенные.

Главным антропогенным фактором принято считать выбросы в атмосферу хлорфторуглеродов (ХФУ). Существенное влияние на состояние озоносферы могут оказывать также антропогенные изменения ландшафтов, вызывающие увеличение потока тепла, поступающего в атмосферу от соответствующих участков подстилающей поверхности, что снижает устойчивость тропосферы и активизирует вертикальный обмен воздуха. Было установлено, что большинство как природных, так и антропогенных источников озоноразрушающих веществ расположено на земной поверхности. Оказывать существенное влияние на изменчивость ОСО они могут только при существовании механизмов их миграции между тропосферой и стратосферой, а также между слоями последней.

Одним из существенных таких механизмов является вертикальный перенос веществ в атмосфере, связанный с распространением в ней планетарных и гравитационных волн [Жадин, 1989 г.]. Их источником может являться взаимодействие тропосферных струйных течений с орографическими и барическими неоднородностями, которые возникают из-за неоднородности распределения ТПО Мирового океана. Тем не менее, особенности связей изменений ОСО над Евро-Атлантическим регионом с вариациями различных индексов, характеризующих состояние физико-географической оболочки нашей планеты, и воздействующих на нее внешних факторов (вариации солнечной активности и др.) до конца не установлены.

Недостаточная исследованность таких связей не позволяет их учитывать при моделировании и прогнозировании изменчивости ОСО. Эффективность таких моделей существенно зависит от набора факторов, учитываемых в качестве их аргументов. Связи вариаций ОСО с изменениями многих климатических индексов в моделях такого типа не учитываются. Поэтому изучение особенностей таких связей и усовершенствование с их учетом методик моделирования и прогнозирования изменчивости ОСО является актуальной задачей физической географии, геофизики и геохимии ландшафтов, метеорологии, и экологии. Учитывая это, обоснована целесообразность выбранной цели исследования и решения сформулированных его задач.

Обзор современных представлений о роли взаимодействия атмосферы и гидросферы в изменениях состояния озоносферы позволил выдвинуть концепцию исследования. Согласно ей этот фактор проявляет себя, преимущественно, через изменчивость температур поверхности (ТПО) различных акваторий Мирового океана. Ее влияние на изменения ОСО в земной атмосфере, в частности над Евро-Атлантическим регионом, может оказываться путем «быстрого» и «медленного» механизмов. «Быстрый» механизм заключается в возникновении в местах существования термических и барических неоднородностей планетарных и гравитационных волн и дальнейшего «пробоя» тропопаузы при их взаимодействии с тропосферными

струйными течениями. Это вызывает проникновение в стратосферу озоноразрушающих веществ, большинство которых образуется на земной поверхности. «Медленный» механизм связан с тем, что Мировой океан является одним из самых мощных источников таких веществ. Вариации ТПО его акваторий вызывают изменения интенсивности выброса озоноразрушающих веществ в тропосферу. Попасты в стратосферу они могут лишь в местах, где существует неустойчивость термически стратифицированной атмосферы. Поэтому изменения ОСО в подобных сегментах озоносферы и вариации ТПО некоторой акватории могут быть существенно удалены друг от друга, как территориально, так и по времени, которое соответствует пути прохождения термических аномалий по системе океанических течений.

**Раздел 2** посвящен оценке достаточности фактического материала и методик исследования.

Информация об изменчивости распределения ОСО в сегменте озоносферы над Евро-Атлантическим регионом содержит данные, полученные с помощью наземных и спутниковых методов наблюдения. Такая информация представлена на Интернет-сайте Всемирного информационного центра по озону и УФ радиации – WOUDC (<http://www.woudc.org>).

Результаты наземного мониторинга в пунктах, расположенных в пределах Евро-Атлантического региона, получены на 18 озонометрических станциях Европы. Наиболее длительный ряд наблюдений соответствует ст. Ароза (Швейцария), где они непрерывно проводятся с января 1926 г.

Результаты спутникового мониторинга получены с использованием приборов TOMS и OMI. Эти приборы различают сегменты озоносферы размерами  $1^\circ \times 1,5^\circ$  град. Сравнение спутниковых значений ОСО над озонометрическими станциями Европы с соответствующими наземными данными показало, что между их результатами есть удовлетворительное соответствие. Это, невзирая на меньшую точность спутниковых данных, позволяет использовать их, как фактический материал работы.

По техническим причинам, в данных, полученных конкретным спутником, имеются пропуски. Компиляция и осреднение измерений ОСО, полученных за все время спутникового мониторинга всеми спутниками, позволила существенно уменьшить такие пропуски. Результат обработки представлен в виде карт (WOUDC), отображающих распределения среднесуточных ОСО. Эти данные и были использованы в работе в качестве фактического материала. С помощью разработанной автором компьютерной программы, они оцифровывались и осреднялись за каждый месяц каждого года в пределах Евро-Атлантического региона. Таким образом были получены временные ряды, отражающие межгодовые изменения среднемесячных ОСО, соответствующие каждому сегменту озоносферы над Евро-Атлантическим регионом размерами  $1^\circ \times 1^\circ$  град.

Информация об изменениях состояний исследуемых глобальных и крупномасштабных природных процессов, численными характеристиками которых являются соответствующие глобальные климатические индексы (ГКИ), получена с сайта NOAA/ESRL (National oceanic and atmospheric administration – Earth system research laboratory, <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/>). Точности, которыми ха-



рактируются эти исходные данные, существенно превосходят точность информации о среднемесячных ОСО. Рассматривались ГКИ:

- Solar – среднемесячный поток радиоизлучения ( $\lambda = 10,7$  см)
- GMSST – аномалия (от 1951 – 1980 гг.) температур приземного слоя атмосферы, усредненная по всей земной поверхности
- GLAAM – полный угловой момент атмосферы Земли
- AMM\_Index – Атлантическая меридиональная мода. ГКИ рассчитывается, как среднее значение аномалии (базис 1950 – 2005 гг.) ТПО тропической зоны Атлантики в квадрате  $21^{\circ}\text{S} - 32^{\circ}\text{N}$ ,  $74^{\circ}\text{W} - 15^{\circ}\text{E}$
- АМО – Атлантическое междесятилетнее колебание. ГКИ рассчитывается, как среднее значение аномалии (базис 1951 – 1980 гг.) ТПО Северной Атлантики между параллелями  $70^{\circ} - 0^{\circ}\text{N}$
- NTA – среднее значение аномалии (базис 1951 – 2000 гг.) ТПО северотропической зоны Атлантики в квадрате  $5^{\circ}\text{N} - 25,5^{\circ}\text{N}$ ,  $15^{\circ}\text{W} - 57,5^{\circ}\text{W}$
- NAO – Североатлантическое колебание. ГКИ рассчитывается, как главная компонента поля атмосферного давления на уровне моря в области  $20^{\circ} - 90^{\circ}\text{N}$
- АО – Арктическое колебание. ГКИ рассчитывается, как главная компонента аномалий (базис 1979 – 2000 гг.) атмосферного давления на уровне моря в области  $60^{\circ} - 90^{\circ}\text{N}$
- QVO – Квазидвухлетнее колебание. ГКИ рассчитывается, как среднее значение скорости ветра над экватором на высоте 30 мбар
- SOI – Южное колебание. ГКИ рассчитывается, как разность аномалий (1981 – 2010 гг.) среднемесячных значений атмосферных давлений над Таити и Дарвином
- Nino1+2 – среднее значение ТПО части Тихого океана ( $0^{\circ} - 10^{\circ}\text{S}$ ;  $90^{\circ}\text{W} - 80^{\circ}\text{W}$ )
- Nino3 – среднее значение ТПО части Тихого океана ( $5^{\circ}\text{N} - 5^{\circ}\text{S}$ ;  $50^{\circ}\text{W} - 90^{\circ}\text{W}$ )
- Nino4 – среднее значение ТПО части Тихого океана ( $5^{\circ}\text{N} - 5^{\circ}\text{S}$ ;  $160^{\circ}\text{E} - 150^{\circ}\text{W}$ )
- Nino3-4 – среднее ТПО части Тихого океана ( $5^{\circ}\text{N} - 5^{\circ}\text{S}$ ;  $170^{\circ}\text{W} - 120^{\circ}\text{W}$ )
- ТПП – среднемесячная температура воздуха над некоторым пунктом
- Осадки – месячные суммы атмосферных осадков в некотором пункте
- СПВ – среднемесячная скорость приземного ветра над некоторым пунктом

Изменчивость рассматриваемых региональных процессов получена на метеорологических обсерваториях. Такие данные получены с Интернет сайта <http://www.tutiempo.net/en/climate>.

Общей методикой исследования является метод пассивного эксперимента. Как частные методики, использованы стандартные методы математической статистики.

При решении первой задачи применялись методы корреляционного, спектрального анализа, а также выявления тенденций.

При решении второй задачи использовался корреляционный анализ. Достоверность выводов оценивалась с использованием  $t$ -критерия Стьюдента.

При решении третьей задачи применялись методы нестационарных мод и множественной регрессии. При прогнозировании рассматривался сценарий, при котором закономерности, определявшие предысторию изучаемых процессов, в будущем,

для которого разрабатывается прогноз, сохраняются неизменными. Это позволило идентифицировать прогностические модели, воспользовавшись одной частью соответствующих временных рядов, а качество, даваемых ими прогнозов с упреждением 1 – 2 г., оценивать по второй части этих рядов. Для п. Ароза, где измерения ОСО ведутся с 1926 г., качество прогноза оценено и для больших упреждений.

При идентификации регрессионных моделей учитывалось, что уравнение регрессии исследуемого процесса может быть как линейным (ЛМР модели), так и полиномиальным (НЛМР модели). Рассматривались полиномы порядка не выше 3. В качестве аргументов множественно-регрессионных моделей использовались временные ряды глобальных, крупномасштабных и региональных природных процессов, существенность которых установлена на предыдущем шаге исследования.

В качестве характеристики их робастности к временным сдвигам в будущее, рассматривались относительные различия среднеквадратических отклонений ошибки прогноза, возникающие при временных сдвигах рядов, отображающих изменения функции и ее аргументов, которые не превышают заданное упреждение прогнозов. Ее значение оценивалось с использованием предыстории процесса.

Для выбора среди всех возможных аргументов каждого процесса такой их совокупности, которая обеспечивает максимальную робастность модели к временным сдвигам в будущее, применялась процедура селекции факторов, по результатам которой выбирались 10 наилучших из них, с помощью метода прямого перебора.

**Раздел 3** посвящен исследованию статистических свойств межгодовой изменчивости среднемесячных значений ОСО над Евро-Атлантическим регионом. Представлены результаты корреляционного и спектрального анализа изучаемых процессов, а также рассмотрены возможности их моделирования и прогнозирования при помощи метода нестационарных мод.

В соответствии с выдвинутой концепцией работы, пространственной и взаимной корреляции межгодовой изменчивости среднемесячных ОСО над Евро-Атлантическим регионом должны быть присущи следующие особенности. Волны максимальной амплитуды пространственной корреляции изменчивости ОСО здесь могут возникать в зоне  $35 - 42^{\circ}\text{N}$ , к которой относится район взаимодействия Гольфстрима и Лабрадорского течения и проходящего над ним внутритропического струйного течения. По мере удаления от этой зоны к северу и югу интервал корреляции изменений ОСО должен уменьшаться. Его уменьшение должно происходить и при смещении в рассматриваемой зоне к востоку. Обратные закономерности должны наблюдаться для взаимной корреляции исследуемого процесса.

Изучены особенности функций пространственной корреляции изменений среднемесячных значений ОСО в исследуемом сегменте озоносферы. Установлено, что существенной их особенностью является пространственная анизотропия (интервал пространственной корреляции изменений ОСО в зональном направлении в 3 – 10 раз превышает его значение в меридиональном направлении), а также ее зависимость от времени года. Установлено, что имеет место общая закономерность: при движении с севера на юг, а также с запада на восток интервал пространственной корреляции временных рядов в Евро-Атлантическом регионе уменьшается. При этом в весенне-летний период наблюдаются большие значения исследуемого интер-

вала, а в осенне-зимний – меньшие. Полученные результаты подтверждают адекватность концепции работы.

На основе установленных особенностей пространственной корреляции изменений ОСО в разных сегментах озоносферы предложено усовершенствование спутникового прибора TOMS, позволяющее повысить точность измерения значений ОСО.

Установлено, что существенная сезонная изменчивость свойственна также и функции взаимной корреляции. Статистическая связь является значимой, лишь в случаях, когда изменения ОСО отвечают двум последовательным месяцам. Наиболее существенна она для временных рядов ОСО за март и апрель. Наименее существенна – для сентября – ноября. На расположение областей достоверной взаимной корреляции между изменениями ОСО над Евро-Атлантическим регионом влияет положение тропосферных струйных течений. Непосредственно над ними, как правило, статистические связи ослаблены. Причиной этого может являться атмосферная турбулентность, возникающая под влиянием вертикального сдвига скорости воздушных потоков над стрежнем струйного течения.

В качестве примера, на рис. 1 представлено распределение коэффициентов взаимной корреляции изменчивости ОСО в январе и феврале.

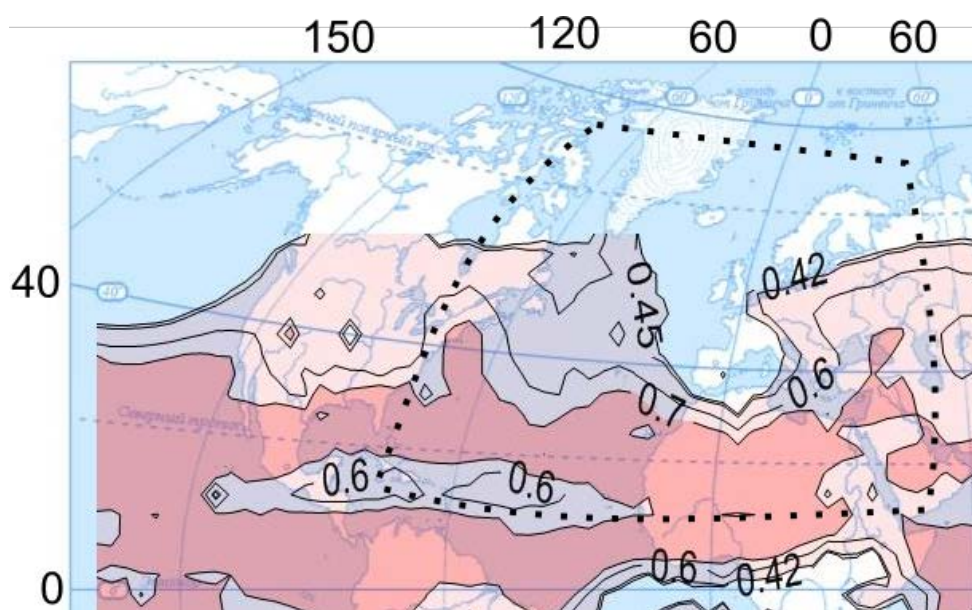


Рис. 1 Распределение коэффициентов взаимной корреляции межгодовой изменчивости среднемесячных ОСО в январе и феврале (0,42: 95% порог, 0,45: 99% – светлые области, темные области – коэффициенты  $>0,7$ )

Исследование автокорреляционных функций изучаемых процессов показало, что в любые месяцы над всеми частями Евро-Атлантического региона число степеней свободы соответствующих временных рядов равно количеству их членов.

Как количественная характеристика тенденции изучаемых процессов рассматривался угловой коэффициент их линейных трендов (УКЛТ). Особенности ее распределения в пределах Евро-Атлантического региона изучены для всех месяцев и для трех временных интервалов: 1979 – 1994 гг., 1995 – 2010 гг. и 1979 – 2010 гг.

Установлено, что изменчивость тенденций, свойственных изучаемому процессу в сегментах атмосферы над континентальными частями Евро-Атлантического региона существенно зависит от широты. По мере увеличения широты она усиливается. За период с 1979 г. по 1994 г. над Евро-Атлантическим регионом преобладает тенденция к снижению значений ОСО. С 1995 г. практически над всем рассматриваемым регионом ОСО возрастало. За период 1979 – 2010 гг. выявлено преобладание тенденций к снижению ОСО. Предложено объяснение наблюдаемых явлений через связи тенденций межгодовых изменений ОСО над Евро-Атлантическим регионом с вариациями распределения ТПО Атлантики (в период с 1979 г. по 2010 г.).

Спектральный анализ позволил установить, что изучаемые процессы являются многомодовыми, а межгодовые изменения среднемесячных значений ОСО могут рассматриваться как нестационарный случайный процесс, что позволяет использовать метод нестационарных мод для его моделирования и прогнозирования.

Адекватность данного предположения проверена для некоторых сегментов озоносферы над Евро-Атлантическим регионом. Установлено, что для рассматриваемых сегментов в большинстве месяцев спектр изменчивости ОСО содержит моды с начальными периодами 2, 3, 5 и 8 лет. Наличие в составе 2-х, 3-х и 5-ти летних мод мы связываем с влиянием квазидвухлетнего колебания. Максимальным оно является в январе, феврале, мае и сентябре, а минимальным – в апреле и июне.

Присутствие в отмеченных спектрах моды с начальным периодом 8 лет связано, по нашему мнению, с влиянием Североатлантического колебания и Эль-Ниньо – Южного колебания, в изменениях состояния которых присутствует эта составляющая. Наиболее часто эта мода встречается в августе и декабре, а наиболее редко – в сентябре.

С использованием идентифицированных моделей построены прогнозы изменений ОСО на период 2010 – 2023 гг. В качестве примера, на рис. 2 представлены фактические изменения среднемесячных значений ОСО над квадратом территории Евро-Атлантического региона с координатами  $76^{\circ}\text{N}$ ,  $81^{\circ}\text{W}$ , а также результаты их моделирования и прогнозирования.

Как видно из рис. 2, между фактическими изменениями ОСО над данным квадратом территории, и результатами их моделирования имеет место удовлетворительное соответствие. Качественное соответствие имеет место также между результатами мониторинга ОСО за 2011 – 2014 гг. и результатами прогнозирования, основанными на изучении предыстории за период 1979 – 2010 гг. Это позволяет допускать, что и в будущем некое соответствие между фактическими изменениями ОСО и разработанными прогнозами также сохранится.

Полученный прогноз свидетельствует о том, что в январе за период до 2023 г. изменения ОСО будут иметь осциллирующий характер, при этом будет преобладать тенденция к уменьшению их значений. Это позволяет допускать, что потоки УФ радиации, поступающие к соответствующей части подстилающей поверхности, а также содержание в ее приземном слое озона будут расти. Более того негативное влияние также увеличится и на состояние растительности и почвенной биоты.

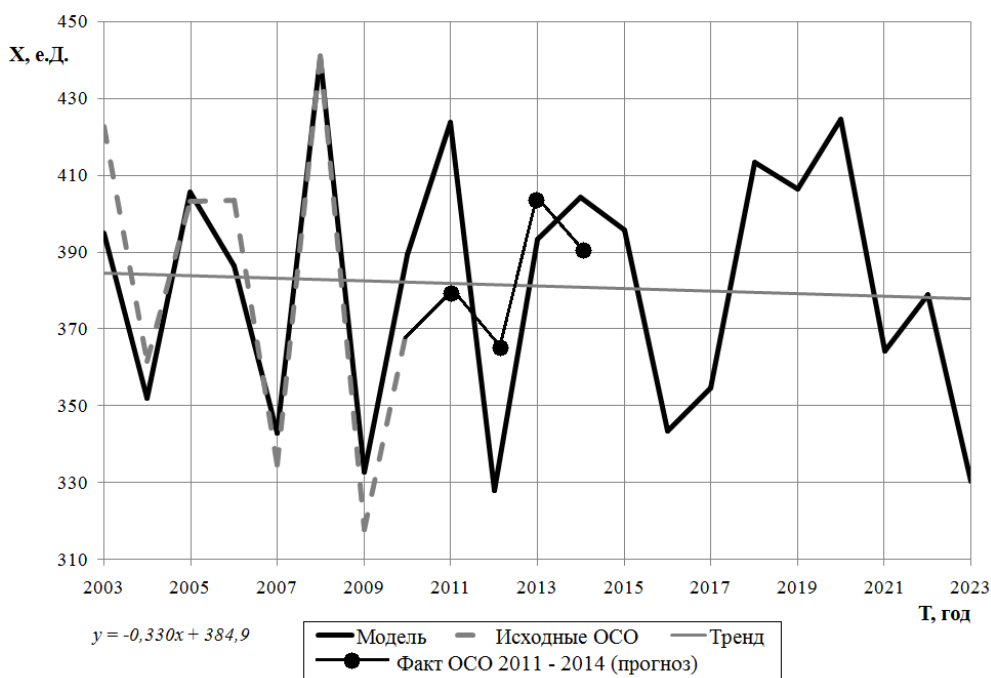


Рис. 2 Фактические изменения среднемесячных значений ОСО над квадратом территории Евро-Атлантического региона с координатами  $76^{\circ}\text{N}$ ,  $81^{\circ}\text{W}$ , а также результаты их моделирования и прогнозирования в январе

Также из рис. 1 видно, что эффективность такого прогноза не достаточно высока, а метод требует дальнейшего совершенствования. Предполагается, что улучшить их устойчивость при сдвигах в будущее можно с использованием моделей множественной регрессии.

**Раздел 4** диссертационной работы посвящен изучению связей изменений ОСО в различных сегментах атмосферы над Евро-Атлантическим регионом с процессами в климатической системе планеты, а также внешними факторами, способными влиять на распределение озона в земной атмосфере.

В соответствии с концепцией работы представляется вероятным, что площади областей достоверной корреляции между изменчивостями рассматриваемых процессов и ОСО в зависимости от сдвига между их временными рядами, как правило, будут иметь два максимума. Первый из них проявится при небольших сдвигах (0 – 1 мес.), а второй – при больших значениях. Такая закономерность, прежде всего, должна прослеживаться во взаимосвязи изменений ОСО над рассматриваемым регионом и ТПО некоторых акваторий.

Учитывая установленное количество степеней свободы изучаемых временных рядов, определены значения 95% – 0,42 и 99% – 0,45 порогов достоверной корреляции по критерию Стьюдента. Рассчитаны коэффициенты корреляции временных рядов ОСО и каждого из этих процессов для случаев, когда ряды последних опережали ряды ОСО на 0 – 12 месяцев. Полученные результаты представлены в виде карт, отображающих распределения над Евро-Атлантическим регионом областей их достоверной корреляции с помощью изолиний, соответствующих выявленным порогам.

Полученные результаты соответствует выдвинутой концепции работы. Так, достоверная корреляция между изменчивостями среднемесячных ОСО и индексов, со-

ответствующих средним ТПО различных частей Атлантики (АМО, АММ\_Index, NTA), в зимние месяцы над Евро-Атлантическим регионом не наблюдается практически над всей его территорией. В весенние месяцы (с марта по май) области достоверной корреляции между ними существует, преимущественно, в тропическом поясе над территорией Африки и акваторией Атлантического океана в поясе  $15^{\circ} - 20^{\circ}\text{N}$  (при сдвигах 0 – 2 мес.) и выше  $40^{\circ}\text{N}$  у восточного побережья Канады (при сдвигах 11 – 12 мес.). Как правило, при небольших сдвигах коэффициенты корреляции отрицательны, а при больших – положительны. В качестве примера, на рис. 3 представлено распределение областей достоверной корреляции между изменчивостями АМО и ОСО в октябре (сдвиг = 0 мес.)

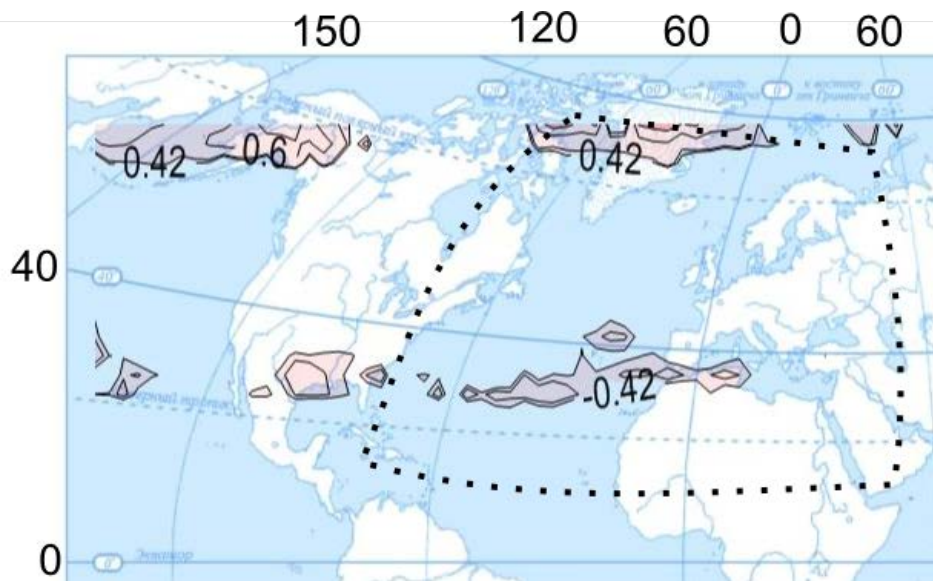


Рис. 3 Распределение областей достоверной корреляции между изменчивостями АМО и ОСО в октябре (сдвиг = 0 мес.)

Таким образом, полученные результаты, подтверждают адекватность концепции работы о том, что вариации ТПО могут оказывать влияние на изменения состояния озоносферы путем «быстрого» и «медленного» механизмов.

Меньшее влияние на пространственно-временную изменчивость ОСО над Евро-Атлантическим регионом оказывают изменения ТПО Тихого океана (ГКИ Nino). В большей степени оно проявляется, когда временные ряды ОСО соответствуют февралю – марту и декабрю, а в меньшей – июлю и сентябрю. Области достоверной корреляции в пределах Евро-Атлантического региона между изменчивостями ОСО и ТПО, как правило, сосредоточены в местах прохождения субтропических и внутритропических струйных течений. Это также справедливо и для таких рассматриваемых факторов, как GMSST и ТПП (г. Кингисепп,  $59,2^{\circ}\text{N}$ ,  $28,4^{\circ}\text{E}$ ).

Установлено, что распределение в земной атмосфере сегментов, в которых имеет место значимая корреляция межгодовых изменений ОСО и ГКИ Solar существенно зависит от времени года, но практически не зависит от временного сдвига между этими процессами. С декабря по март над Евро-Атлантическим регионом рассматриваемые процессы практически над всей его территорией взаимосвязанными не являются. Наибольшие суммарные площади областей достоверной корреля-

ции между рассматриваемыми процессами наблюдаются в летние месяцы. Достоверная корреляция практически во все месяцы отсутствует над территориями прохождения тропосферных струйных течений.

На пространственно-временную изменчивость ОСО над Евро-Атлантическим регионом оказывают влияние также и процессы, связанные с изменениями поля атмосферного давления в Северном полушарии (NAO, AO). С января по август наибольшее влияние оказывают значения САК в январе, а также их значения за предыдущий и совпадающий месяц с рядом ОСО. В этих случаях, как правило, коэффициенты отрицательны, в остальных – положительны. Постоянная область достоверной корреляции между рассматриваемыми процессами над регионом исследования наблюдается в районе Исландского минимума. Так же значимая взаимосвязь изменчивостей ОСО и NAO часто проявляется над Азорским максимумом и в тропическом поясе Евро-Атлантического региона. Аналогичные особенности наблюдаются и для взаимосвязи изменчивостей АО и ОСО над Евро-Атлантическим регионом.

КДК также оказывает существенное влияние на формирование пространственно-временной изменчивости ОСО над рассматриваемым регионом. В августе – ноябре изменчивости ОСО и QBO практически над всей территорией Евро-Атлантического региона не взаимосвязаны. В остальные месяцы наибольшие площади областей достоверной корреляции между рассматриваемыми процессами наблюдаются при 0 и 9 мес. сдвига между их временными рядами. Сосредоточены такие области, преимущественно в тропическом и субтропическом поясах. Похожие закономерности характерны и для взаимосвязи изменчивостей ОСО и СПВ в г. Кингисепп.

Полученные результаты подтверждают выдвинутую концепцию работы, а также значимость влияния взаимодействия атмосферы и гидросферы на пространственно-временную изменчивость ОСО над Евро-Атлантическим регионом.

Установлено, что количество факторов изменчивости ОСО в каждом сегменте озоносферы, которые в соответствии с выбранными критериями рассматриваются как значимые, существенно превышает длину имеющихся временных рядов наблюдений. Поэтому при идентификации регрессионных моделей изучаемого процесса среди них необходимо осуществить дополнительную селекцию.

Прогнозы нестационарных случайных процессов, разрабатываемые с использованием регрессионных моделей, могут являться эффективными, если в будущем, которому они соответствуют, связи этих процессов с факторами, используемых в качестве аргументов, сохранят свою значимость. Для их выявления принималось допущение, согласно которому в будущем изменения характеристик их связей с изучаемым процессом будут происходить по тем же законам, что и в прошлом. Учитывая это, для селекции факторов, обеспечивающих наиболее эффективное прогнозирование, изучены тенденции изменения силы связи каждого изучаемого фактора с предысторией процесса. Выявлены факторы, связи с которыми проявляли устойчивую тенденцию к усилению и превысили выбранный уровень значимости. Осуществление подобной селекции позволило выявить набор аргументов регрессионных моделей, использование которых при прогнозировании межгодовых изменений

ОСО над тем или иным районом обеспечивает наибольшую вероятность того, что разрабатываемый прогноз окажется адекватным и эффективным.

Эффективность прогнозов, даваемых такими ЛМР и НЛМР моделями, оценена с использованием данных мониторинга, соответствующих 2011 – 2014 гг. Установлено, что прогнозы являются адекватными. Также проведено сравнение с результатами прогнозирования, полученными по моделям, представленным в работах Aalst R.M. (2010 г.) и Ланкин Ю.П., Сакаш И.Ю. (2006 г.). Показано, что эффективность прогнозирования изменений ОСО над Евро-Атлантическим регионом, как правило, повышается при учете в их моделях выявленных природных факторов.

## **ВЫВОДЫ**

В работе впервые осуществлено теоретическое обобщение результатов исследований взаимосвязей пространственно-временной изменчивости ОСО над Евро-Атлантическим регионом и изменений характеристик подстилающей поверхности, что позволило выявить проявляющиеся здесь особенности влияния взаимодействия атмосферы и гидросферы на состояние озоносферы. Предложено новое решение проблемы повышения эффективности мониторинга вариаций распределения озона в стратосфере, которое состоит в учете при его осуществлении выявленных статистических связей этого процесса с его предысторией, а также рядом глобальных, крупномасштабных и региональных физико-географических факторов, влияющих на особенности взаимодействия атмосферы и гидросферы.

- 1) На примере Евро-Атлантического региона определены условия, при которых учет выявленных факторов позволяет повысить эффективность моделирования и прогнозирования изменений ОСО в различных сегментах атмосферы.
- 2) Доказано, что решения поставленных задач, которые получены с использованием рассматриваемого фактического материала и предложенной методики, являются статистически достоверными.
- 3) Результаты исследования пространственной и временной корреляции изменений ОСО над Евро-Атлантическим регионом соответствуют представлениям Е.А. Жадина о роли взаимодействия Мирового океана и атмосферы в изменениях состояния озоносферы, а также свидетельствуют об адекватности выдвинутой гипотезы об участии атмосферной турбулентности в воздухообмене тропосферы и стратосферы через разрывы тропопаузы.
- 4) Подтверждена адекватность выдвинутой гипотезы о существовании значимых связей тенденций межгодовых изменений ОСО над Евро-Атлантическим регионом с вариациями распределения ТПО Атлантики, которые являются причиной их перемены над выявленными его частями, произошедшей в период с 1979 г. по 2010 г.
- 5) Оценены возможности моделирования и прогнозирования межгодовых изменений ОСО в сегментах атмосферы над Евро-Атлантическим регионом, с учетом и без учета выявленных связей; определены условия, при которых те или иные упомянутые подходы являются адекватными.
- 6) Показано, что над многими ландшафтными комплексами Западной и Центральной Европы и Северной Америки, в ближайшие годы будут преобла-



дать тенденции к уменьшению ОСО, что вызовет увеличение концентраций в соответствующих сегментах приземного слоя атмосферы озона и ухудшит состояние их биотических компонентов и почвенной биоты. В тоже время над Атлантическим океаном, а также регионами Восточной Европы более вероятны тенденции к их увеличению, что благотворно скажется на изменениях их растительного покрова.

- 7) Предложены дополнения к существующему спутниковому спектрофотометру TOMS, которые позволяют повысить точность, осуществляемых им измерений.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Холопцев А.В., Никифорова М.П. Изменчивость озоновой дыры: факторы и прогнозы. – Saarbrucken, Deutschland.: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 142 с.
2. Холопцев А.В., Никифорова М.П. Роль Мирового океана в изменчивости озоносферы. – Saarbrucken, Deutschland.: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 158 с.
3. Холопцев А.В., Никифорова М.П. Солнечная активность и прогнозы физико-географических процессов. – Saarbrucken, Deutschland.: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 333 с.
4. Холопцев А.В., Никифорова М.П., Больших А.В. Мировой океан и озоносфера. – Saarbrucken, Deutschland.: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. – 522 с.
5. Холопцев А.В. Особенности сезонной изменчивости общего содержания озона в атмосфере над различными климатическими поясами Земли / А.В. Холопцев, М.П. Никифорова // Культура народов Причерноморья. – 2007. – №132. – С. 12 – 21
6. Холопцев А.В. Об особенностях статистической связи между изменениями среднемесячных температур приземного слоя атмосферы и общего содержания озона над территорией Украины в период с 1979 г. по 2006 г. / А.В. Холопцев, М.П. Никифорова, М.И. Силаков // Вісник Одес. нац. ун-ту. Геогр. та геолог. науки. – 2008. – Том 13, вип. 6. – С. 228 – 238
7. Холопцев А.В. Об особенностях статистической связи межгодовых изменений среднемесячных значений ОСО над регионами тропического и умеренного климатических поясов планеты, а также средних температур ее Северного полушария в период с 1979 по 2006 гг. / А.В. Холопцев, М.П. Никифорова // Культура народов Причерноморья. – 2008. – №148. – С. 40 – 52
8. Холопцев А.В. Сравнительный анализ особенностей статистической связи межгодовых изменений среднемесячных значений ОСО над регионами умеренных и тропических климатических поясов Земли и солнечной активности / А.В. Холопцев, М.П. Никифорова // Культура народов Причерноморья. – 2009. – №156. – С. 15 – 24

9. Никифорова М.П. Оценка погрешностей моделирования современной межгодовой динамики среднегодовых значений общего содержания озона над Европой с учетом ее нестационарности / М.П. Никифорова // Людина і довкілля. Проблеми неоекології. – 2009. – №2 (13). – С. 26 – 34
10. Холопцев А.В. Анализ современной пространственно-временной изменчивости общего содержания озона над Карпатским регионом / А.В. Холопцев, М.П. Никифорова // Вестник ХНУ им. Каразина. Серия «Экология». – 2009 г. – №893, Вып. 5. – С. 30 – 40
11. Холопцев А.В. Изменение состояния североатлантического колебания как фактор пространственно-временной изменчивости распределения общего содержания озона над Северной Атлантики / А.В. Холопцев, М.П. Никифорова // Вісник ОДЕКУ. – 2010. – Вип. 10. – С. 88 – 97
12. Холопцев А.В. Особенности факторов погрешностей моделирования межгодовых изменений среднемесячных значений общего содержания озона над Западной и Центральной Европой с учетом их нестационарности и многомодовости / А.В. Холопцев, М.П. Никифорова // Укр. гідрометр. ж-л. – 2010. – Н. 6. – С. 5 – 11
13. Холопцев О.В. Математична модель міжрічних змін стану північноатлантичного коливання у період 1973 – 2008 рр. / О.В. Холопцев, М.П. Нікіфорова // Вісник ОДЕКУ. – 2011. – Вип. 11. – С. 124 – 134
14. Холопцев А.В. Особенности откликов распределения общего содержания озона в земной атмосфере на изменения поверхностной температуры центрального сектора экваториальной зоны Тихого океана / А.В. Холопцев, М.П. Никифорова // Людина і довкілля. Проблеми неоекології. – 2011. – №11. – С. 15 – 23
15. Холопцев А.В. Методика сверхдолгосрочного прогнозирования изменений состояния солнечной активности с использованием модели множественной линейной регрессии / А.В. Холопцев, М.П. Никифорова // Вестник ХНУ им. Каразина. Серия «Экология». – 2011 г. – Вып. 10. – С. 42 – 53
16. Холопцев О.В. Фаза циклу сонячної активності як фактор її внутрішньої мінливості / О.В. Холопцев, М.П. Нікіфорова // Збірник наук. праць Сев. нац. ун-ту ядер. енер. та промис. – 2006. – Вип. 2 (18). – С. 153 – 159
17. Холопцев А.В. Потепление климата, межгодовые изменения ОСО над Арктикой и поток тепла в Северную Атлантику из Южной / А.В. Холопцев, М.П. Никифорова // В-ник Крымской АН Сев. отд.- 2013. - №3. – С. 60 – 65
18. Холопцев А.В. Особенности энергетических спектров межгодовой изменчивости общего содержания озона над территорией Украины в период с 1979 г. по 2006 г. / А.В. Холопцев, М.П. Никифорова // Причорноморський екол. бюл. – 2009. – №1 (31). – С. 182 – 197
19. Холопцев А.В. О влиянии фактора географического положения на особенности сезонной изменчивости общего содержания озона / А.В. Холопцев, М.П. Никифорова // Проблемы охраны труда и техногенно-экологической безопасности: XI всеукр. науч.-техн. конф., 5-9 жовт. 2006 р.: тез. докл. – Севастополь, 2006. – С. 17 – 18

20. Нікіфорова М.П. Про зв'язок сезонних змін середніх температур приземного шару атмосфери над різними регіонами планети, а також сезонних змін середніх об'ємів озону понад ними / М.П. Нікіфорова, О.В. Холопцев // Екологія та охорона навколишнього середовища: Підсумкова наук.-практ. конф. II туру Всеукр. конкурсу студ. наук. робіт, 19 квіт. 2007 р.: тез. доп. – Донецьк, 2007. – С. 37
21. Nikiforova M. Comparison analysis of the statistical relations features of monthly mean TOA values and sun activity over torrid zone in the period from 1979 yr. to 2006 yr. / M. Nikiforova, K. Kholoptsev // The second integrated land ecosystem – atmosphere study (ILEAPS), 24 – 28 серп. 2009 р.: тез. доп. – Мельбурн, 2009. – С. 153 – 155
22. Никифорова М.П. Оценка качества прогнозов межгодовых изменений среднемесячных значений общего содержания озона с использованием модели, учитывающей их нестационарность и многомодовость / М.П. Никифорова, А.В. Холопцев // «Биосфера XXI», 4 – 10 квіт. 2009 р.: тез. доп. – Севастополь, 2009. – С. 14
23. Никифорова М.П. Межгодовая изменчивость общего содержания озона над Европой и термический режим в регионах России, расположенных на 60-й параллели / М.П. Никифорова, А.В. Холопцев // «Биосфера XXI», 6 – 12 квіт. 2010 р.: тез. доп. – Севастополь, 2010. – С. 28
24. Холопцев А.В. Особенности пространственно-временной изменчивости ОСО в первой половине XXI в. над Европой при различных сценариях потепления в Арктике / А.В. Холопцев, М.П. Никифорова // «Каразинские естественно-научные студии», 01 – 04 лют. 2010 р.: тез. доп. – Харків, 2010. – С. 18
25. Nikiforova M. Analysis and prediction of extreme day mean values of total ozone amount interannual changes over Europe in the period from 1979 to 2006 yrs. / M. Nikiforova, A. Kholoptsev // Chapman conference on complexity and extreme events in geosciences, Hyderabad 15 – 19.02.2010, p. 41 – 43
26. Холопцев А.В. Изменчивость распределения среднемесячных ОСО в земной атмосфере в весенние и осенние месяцы, как отклик на вариации геомагнитной активности / А.В. Холопцев, М.П. Никифорова // Материалы научно-технической конференции: Прогрессивные направления развития машиностроения, транспорта и экологии, 20-23 мая 2013 г. – Севастополь, 2013. – С. 141 – 142

### АННОТАЦИЯ

**Никифорова М.П. Роль взаимодействия атмосферы и гидросферы в изменениях состояния озоносферы на примере Евро-Атлантического региона. – Рукопись.** Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 11.00.01 – Физическая география, геофизика и геохимия ландшафтов.

В диссертационной работе впервые проведено исследование особенностей влияния взаимодействия атмосферы и гидросферы, а также других природных факторов на пространственно-временную изменчивость общего содержания озона (ОСО) над

Евро-Атлантическим регионом. Изучены статистические свойства и тенденции изменений ОСО в рассматриваемом сегменте озоносферы. На основе полученных результатов предложена методика моделирования и прогнозирования межгодовой изменчивости среднемесячных значений ОСО над исследуемым регионом с использованием авторегрессионных и множественно-регрессионных моделей (как линейных, так и нелинейных). С ее использованием разработаны прогнозы изменений распределения ОСО над Евро-Атлантическим регионом на период до 2023 г., которые позволяют предполагать, что в данный период, над большей частью его поверхности будут преобладать тенденции к деградации озоносферы. Это вызовет увеличение концентрации в воздухе приземного озона и ухудшит состояние биотических компонентов ландшафтов и почвенной биоты.

На основе обзора существующих представлений об особенностях и факторах пространственно-временной изменчивости ОСО выдвинута концепция работы, заключающаяся в обосновании роли взаимодействия атмосферы и гидросферы в изменениях состояния озоносферы через планетарные и гравитационные волны, возникающие при существовании в рассматриваемой области тропосферных струйных течений и термических или барических неоднородностей.

В качестве фактического материала в работе использованы результаты спутникового мониторинга озоносферы, соответствующие всем месяцам года за период 1979 – 2010 гг., а также наземного мониторинга ОСО и изучавшихся глобальных, крупномасштабных и региональных природных процессов.

Установлено, что временные ряды ОСО над Евро-Атлантическим регионом обладают существенной пространственной корреляцией в широтном направлении. Наибольшая ширина интервала корреляции в этом случае составляет  $100^\circ$  град. Пространственная корреляция изучаемых процессов в меридиональном направлении значительно менее выражена, наибольшая ширина интервала корреляции –  $40^\circ$  град. Такие особенности пространственно-временной изменчивости ОСО предложено использовать для совершенствования приборов спутникового мониторинга состояния озонового слоя, путем уменьшения динамического диапазона измерения исследуемой величины. Полученные результаты пространственной и временной корреляции изменчивости ОСО над Евро-Атлантическим регионом подтверждают адекватность концепции работы.

Проанализированы особенности распределения угловых коэффициентов линейных трендов изучаемых процессов над исследуемым регионом за все месяцы за периоды 1979 – 1994 гг., 1995 – 2010 гг., 1979 – 2010 гг. Показано соответствие наблюдаемых особенностей тенденций изменений ОСО над рассматриваемым регионом и изменчивости ТПО Атлантики.

Установлено, что параметрам энергетических спектров временных рядов ОСО над Евро-Атлантическим регионом присуща нестационарность и многомодовость. Эти особенности позволяют использовать при моделировании и прогнозировании исследуемых процессов авторегрессионные модели нестационарных мод.

Впервые проведен корреляционный анализ изменчивостей рассматриваемого процесса и различных глобальных, крупномасштабных и региональных природных процессов, а также установлены особенности распределения областей их достовер-

ной взаимосвязи при сдвигах между их временными рядами от 0 до 12 мес. Полученные результаты представлены в виде карт, отображающих такие распределения.

Установлено, что наиболее значимыми из упомянутых процессов являются изменения солнечной активности; глобальной температуры приземного слоя атмосферы; неравномерность вращения Земли; Североатлантическое, Арктическое, Эль-Ниньо – Южное и Квазидвухлетнее колебания; изменения температуры поверхности акваторий тропической зоны Атлантики; температуры подстилающей поверхности, месячных сумм атмосферных осадков, а также скоростей приземных ветров над различными участками земной поверхности. Распределения областей достоверной корреляции между их изменчивостями и изменениями ОСО над Евро-Атлантическим регионом подтверждают адекватность выдвинутой концепции работы. На основе полученных результатов построены множественно-регрессионные (линейные и нелинейные) модели изменчивости ОСО над исследуемым регионом. Показано, что учет в регрессионных моделях этих процессов факторов, отражающих взаимодействие атмосферы и гидросферы, позволяет повысить при прогнозировании их эффективность и устойчивость.

**Ключевые слова:** физико-географический процесс, общее содержание озона, Евро-Атлантический регион, взаимодействие атмосферы и гидросферы, тропосферное струйное течение, температура поверхности океана, факторы изменений состояния озоносферы, моделирование, прогнозирование.

## SUMMARY

**Nikiforova M.P. Role of atmosphere – hydrosphere interaction in ozonosphere changes by the example of Euro-Atlantic region. – Manuscript.** Thesis for a Candidate's degree of geographical sciences on specialty 11.00.01 – Physical geography, landscape geophysics and geochemistry.

In thesis the spatial-temporal variability features of total ozone amount (TOA) over Euro-Atlantic region in response to natural factors were researched, the autoregression and regression modeling methodology was developed and on their basis the TOA long-term forecast over viewed territory on a period 2010 – 2023 yrs. was calculated. Special program software for obtaining time series of monthly mean TOA interannual changes over territories, located within squares  $1 \times 1^\circ$  deg. was developed.

It is shown, that TOA time series over Euro-Atlantic region have significant spatial autocorrelation, which is much more distinct for latitude correlation than for longitude one. Such features were suggested to use for improving ozone monitoring satellite tools.

The features of trends linear coefficients distribution of the studied processes over all earth surface for all months during periods 1979 – 1994 yrs., 1995 – 2010 yrs., 1979 – 2010 yrs. were examined. It is shown that during 1979 – 2010 yrs. ozone levels depletion was typical for all ozonosphere, from 1995 yr. till 2010 yr. over some territories opposite peculiarities were observed, but for all the period 1979 – 2010 yrs. negative trends of viewed process were evident.

For the first time variabilities correlation analysis of TOA and different global, large-scale and regional natural processes was examined, also the distribution features of their plausible correlation areas with shifts between their time series from 0 to 24 months were

established. Obtained results were presented as maps, which show such distributions. Based on them, a conceptual model of TOA spatial-temporal variability in response to natural factors with regard to their persistence was proposed.

The parameters of autoregression and regression models over the squares of Euro-Atlantic territory, over which the viewed processes are not correlated, were identified. Based on the obtained results, the TOA levels forecasts till 2023 yr. were build. It is established, that for the viewed prediction period over the biggest part of Euro-Atlantic region the negative tendencies will be saved.

**Key words:** physiogeographic process, total ozone amount, Euro-Atlantic region, atmosphere – hydrosphere interaction, troposphere jet stream, sea surface temperature, factors of ozonosphere changes, simulation, forecast.