На правах рукописи

Стонт Жанна Ивановна

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И ИХ ОТРАЖЕНИЕ В ПРИБРЕЖНЫХ ПРОЦЕССАХ

Специальность 25.00.28 – океанология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Калининград – 2014

Работа выполнена в Атлантическом отделении Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук

Научный руководитель: **Чубаренко Ирина Петровна**, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник

Официальные оппоненты: **Науменко Михаил Арсеньевич**, доктор географических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт озероведения РАН, заведующий лабораторией гидрологии

Ионов Виктор Владимирович, кандидат географических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет», доцент, и.о. заведующего кафедрой океанологии

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный гидрометеорологический университет»

Защита состоится 26 июня 2014 г. в 15-30 ч. на заседании диссертационного совета Д 212.084.02 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» по адресу: 236040, г. Калининград, ул. Университетская, 2, ауд. 206. e-mail: ecogeography@rambler.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Балтийского федерального университета им. И. Канта и на сайте http://www.kantiana.ru/postgraduate/dis-list/134095/

Автореферат разослан «____» мая 2014 г.

Ученый секретарь Диссертационного совета — Баринова Галина Михайловна

ОБШАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Одна из важнейших задач океанологии – выявление закономерностей взаимодействия гидрометеорологических процессов и явлений, происходящих в Мировом океане, в связи с процессами в атмосфере и литосфере, с учетом астрономических и антропогенных факторов. Особенно актуальны подобные исследования для такого интенсивно осваиваемого и экологически уязвимого бассейна как Балтийское море. Современное развитие Балтики определяется принадлежностью к наиболее густонаселённым и высокоразвитым регионам мира с высокой концентрацией промышленности и интенсивным сельским хозяйством, поэтому исследования внутренних и внешних связей бассейна исключительно важны для вопросов сохранения экосистемы моря, включая его берега и побережье в целом, в условиях глобальных изменений климата, увеличения выпадающих осадков, температуры воды и воздуха, повышения уровня моря. Эти неоспоримые факторы ставят под угрозу целостность экосистем и увеличивают риски, вызванные стихийными бедствиями. Для минимизации негативных последствий необходим более высокий уровень междисциплинарных исследований, опирающихся на современные ГИС-технологии и достижения международных программ по выработке принципов и норм безопасного использования природных ресурсов Балтики.

Предмет исследования. Данная работа посвящена исследованию пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических процессов, происходящих в приводном слое юго-восточной части Балтийского моря (ЮВБ), в контексте глобальных и региональных изменений климата.

Цель – выявление новейших тенденций пространственной и временной изменчивости гидрометеорологических процессов в приводном слое атмосферы ЮВБ и их влияния на динамику прибрежных процессов.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие **задачи**:

- детализировать концепцию локальных определяющих центров [Абрамов, Стонт, 2004], исследовать их динамику в ЮВ Балтике за последние десятилетия и выявить связь с изменениями климата;
- исследовать современные тенденции пространственно-временной изменчивости ветровых условий в регионе;
- выявить современные тенденции изменчивости температурного режима Юго-Восточной Балтики.
- проанализировать влияние региональных климатических изменений ветровых условий на разрушение берегов Калининградской области и динамику прибрежных вод.

Научная новизна

– Впервые учтено влияние локальных центров действия атмосферы, расположенных над акваторией Балтийского моря, наряду с общепринятым использованием NAO для анализа причин климатических изменений в Балтийском регионе.

– На основании выявленных тенденций (увеличение скоростей штормовых ветров – на 1,1 м/с для скоростей больше 15 м/с, поворот направления ветра к северу – возрастание доли северных и северо-западных направлений на 3 %, увеличение продолжительности штормов – 0,7 дней в год) допускается, что в ближайшее десятилетие в регионе следует ожидать возрастания повторяемости разрушительных штормов, вызываемых ветрами северных румбов.

– Установлена связь и последствия ветро-волнового воздействия на Калининградское побережье в зависимости от траектории циклонов.

– Статистически значимо показано, что средний рост температуры поверхности моря (ТПМ) в регионе за последнее десятилетие (приращение +0,7 °С) оказался интенсивнее роста температуры воздуха (приращение +0,02 °С). Основная причина этого – максимальные отрицательные приращения среднесезонной температуры воздуха приходятся на зимний период (-0,40 °С/год), а температура воды связана не только теплообменом через поверхность, но и транспортом тепла течением.

На защиту выносятся:

– концепция локальных определяющих центров;

– обоснование поворота вектора интегрального атмосферного переноса над Северной Атлантикой на 15° к северу и увеличение напряженности выноса на 0,7 гПа на градус долготы;

– доказательства смещения локальных определяющих центров на юго-восток и изменения их интенсивности – основных проявлений динамики глобального климата в региональном масштабе;

– обнаружение среднего роста температуры поверхности моря (приращение +0,7 °С/период) и температуры воздуха (приращение +0,02 °С/период).

Практическая значимость. Выявленные закономерности временной и пространственной изменчивости гидрометеорологических параметров Юго-Восточной Балтики могут быть использованы в качестве базовой информации для оценки современного состояния и прогнозирования тенденций развития абиотических и биотических компонент прибрежных экосистем, особенно важных в условиях современных климатических изменений и растущих антропогенных нагрузок. Исследование гидрометеорологических параметров необходимо для решения прикладных задач: морской навигации, рыболовства, обеспечения

безопасности и эффективной добычи полезных ископаемых, рекреации, поиска и спасения на море, охраны берегов.

Соответствие диссертации паспорту специальности. Исследование современных тенденций пространственной и временной изменчивости гидрометеорологических параметров в приводном слое и выявление закономерностей влияния гидрометеорологического режима на динамику вод и береговых и ледовых процессов является одной из задач океанологии, рассматриваемой с целью выявления процессов, определяющих состояние и изменчивость вод Мирового океана для выработки практических рекомендаций в области решения прикладных вопросов. Результаты работы соответствуют паспорту специальности 25.00.28 – Океанология, область исследования – динамические процессы (волны, вихри, течения, пограничные слои) в океане (п. 3) и взаимодействие в системе литосфера-гидросфера-атмосфера (п. 9).

Достоверность результатов обеспечена использованием многочисленных гидрометеорологических и гидрофизических натурных данных, а также обработкой спутниковых снимков и синоптических карт приземного атмосферного давления, полученных стандартными общепринятыми в океанологической практике методами.

Апробация работы. Основные положения работы были представлены на многочисленных международных и всероссийских конференциях, рабочих совещаниях, региональных конференциях. Автор представляла доклады по теме диссертации на 8th Baltic Sea Science Congress 2009 Tallinn, Estonia; 9th BSSC 2011 St.Peterburg, Russia и 10th Baltic Sea Science Congress 2013 Klaipeda, Lithuania. Была участницей международных совещаний и школ: 2nd Baltic Green Belt Forum “Towards sustainable development of the Baltic Sea coast”. 13-16.04.10 Palanga; 2nd International Conference (school) on dynamics of costal zone of non-tidal seas. Baltiysk (Kaliningrad Oblast, Russia), 26-30 June 2010; 2012 IEEE/OES Baltic International Symposium “Ocean: past, present and future. Climate change research, ocean observation & advanced technologies for regional sustainability”. Klaipeda, Lithuania, May 8-11, 2012; ECSA 51th International Symposium Research & Management of transitional waters, September 23-27, 2012 Klaipeda, Lithuania.

Автор участвовала в 16 всероссийских конференциях и рабочих совещаниях, крупнейшими из которых являются XIV съезд Русского географического общества, 2010 г.; Международная конференция «Комплексное управление, индикаторы развития, пространственное планирование и мониторинг прибрежных регионов Юго-Восточной Балтики» (март 2008 г.); Конференция, посвященная 90-летию географического факультета Санкт-Петербургского университета (декабрь 2008 г., Санкт-Петербург); VII Международная научно-практическая

конференция молодых ученых «ПОНТ ЭВКСИНСКИЙ - 2011», г. Севастополь, 24-27 мая 2011г.; Научно-практическая конференция «Методы защиты открытых песчаных берегов внутренних морей и концепция защиты морских берегов Калининградской области», Светлогорск (Калининградская область), 03-06 июня 2013 г.; а также на ежегодных региональных конференциях и рабочих совещаниях.

Публикации. По теме диссертации всего опубликовано 72 работы, из них девятнадцать статей в журналах, рекомендованных ВАК, и рецензируемых изданиях, а также четыре раздела в монографиях, двенадцать статей в научных сборниках и периодических научных изданиях и тридцать восемь тезисов докладов в материалах научных мероприятий.

Личный вклад. Автором были подготовлены и проанализированы массивы гидрометеорологических данных, включая параметры положений центров действия атмосферы (ЦДА) и локальных центров, определяющих погоду в регионе (ЛОЦ), снятых с карт приземного анализа; получены и обработаны с помощью программы BEAM© карты температуры поверхности моря. Автор участвовала в 10 прибрежно-морских экспедициях с 2004 по 2011 гг., где была собрана значительная часть используемых данных, выполнила статистическую обработку натурных данных; детально исследовала пространственную и временную изменчивости гидрометеорологических параметров. Результаты выполненных автором исследований были представлены на 19 международных и российских конференциях и научных семинарах.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, 4 глав и заключения. Общий объем диссертации составляет 165 страниц; содержит 71 рисунок, 18 таблиц. Список литературы включает 225 библиографических ссылок, из них 71 – на иностранных языках.

Автор глубоко благодарна своему научному руководителю дф-мн И.П. Чубаренко за поддержку и постоянное внимание к работе. С особой благодарностью отмечаю роль кгн Р.В. Абрамова в годы совместной работы. Автор искренне признательна за помощь, полезные советы и комментарии в процессе работы над диссертацией зав. лаб. геоэкологии кг-мн В.В. Сивкову и зав. лаб. прибрежных систем АО ИО РАН кф-мн Б.В. Чубаренко, кф-мн О.А. Гущину и дгн В.Ф. Дубравину. Благодарна коллегам за заинтересованные обсуждения и полезные рекомендации: кф-мн Н.Н. Голенко, дф-мн В.А. Гриценко, кгн В.П. Бобыкиной, кгн С.Е. Навроцкой, сотрудникам лабораторий геоэкологии, прибрежных систем и морской экологии АО ИО РАН и многим другим. Особая благодарность ООО «ЛУКОЙЛ-КМН» и О.Е. Пичужкиной, ООО «Морское венчурное бюро» и В.И. Буканову.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** рассматриваются природно-климатические особенности Юго-Восточной Балтики, сформулированы цели и задачи работы, подчеркнута научная новизна, актуальность работы, значение исследования для науки и практическая значимость, а также сформулированы основные положения, выносимые на защиту, и основные выводы.

В **Главе 1** представлен обзор научных исследований и современных тенденций изменчивости гидрометеорологических параметров приводного слоя акватории Юго-Восточной Балтики. Исторически сложилось, что основные исследования проводились по всей Балтике, в ее центральной и западной части. В современных условиях активно развиваются исследования в Литве, Польше, Эстонии. Кроме того, дается подробная характеристика используемых для анализа данных. В завершающей части обзора сделаны выводы, обосновывающие постановку задачи диссертационной работы, которая заключается в комплексной оценке основных тенденций изменчивости гидрометеорологических параметров приводного слоя акватории и взаимодействии климатических условий с окружающей средой в юго-восточной части Балтийского моря.

В **Главе 2** выявлены тенденции межгодовой изменчивости поля атмосферного давления. Одним из основных режимообразующих факторов гидрометеорологического режима Балтийского моря является *общая атмосферная циркуляция.* Для определения результирующего переноса над Северной Атлантикой использовались ежедневные положения центров высокого (Азорского антициклона) и низкого (Исландского минимума) давления и барических центров, определяющих погоду над ЮВ Балтикой, на 00 UTC, снятые с приземных карт атмосферного давления английского метеоцентра Бракнелла (http://www.metoffice.gov.uk/). Определяющие свойства параметров ЦДА заключаются в устойчивости от года к году среднего положения центров действия и направления переноса, иллюстрируемого перпендикулярной к градиенту атмосферного давления стрелкой, среднее положение которой за 9 лет (2004-2012 гг.) представлено на рисунке 1. Перенос над Северной Атлантикой неизменно направлен с запада на восток. Угол, который направление переноса составляет с параллелью, варьирует: увеличивается или уменьшается северная составляющая. Приращение направления переноса за последние 9 лет составило 15° к северу, т.е. в направлении вектора стала преобладать северная составляющая. Перенос стал происходить от WNW на ESE (от западо-северо-запада к востоко-юго-востоку). Увеличилась напряженность выноса (dP/dS) – приращение +0,7 гПа/град меридиана.

Сравнивая направление переноса над Северной Атлантикой и над Юго-Восточной Балтикой, видно, что в Европу перенос приходит от запада-северо-запада, над ЮВБ имеет место направление от юго-запада (рисунок 2). Рассчитанные тренды положения (широта φ°, долгота λ°, глубина/мощность гПа) барических образований, определяющих погоду в регионе, показали, что давление в центре атмосферных вихрей претерпело изменение: циклоны стали менее глубокими (+0,02 гПа/год), антициклоны – менее мощными (-0,10 гПа/год), сами центры сместились южнее (0,06°/год – циклоны, 0,07°/год – антициклоны). Произошла подвижка центров на восток, причем скорость смещения циклонов оказалась в 1,5 раза больше, чем антициклонов (0,14°/год и 0,10°/год соответственно).

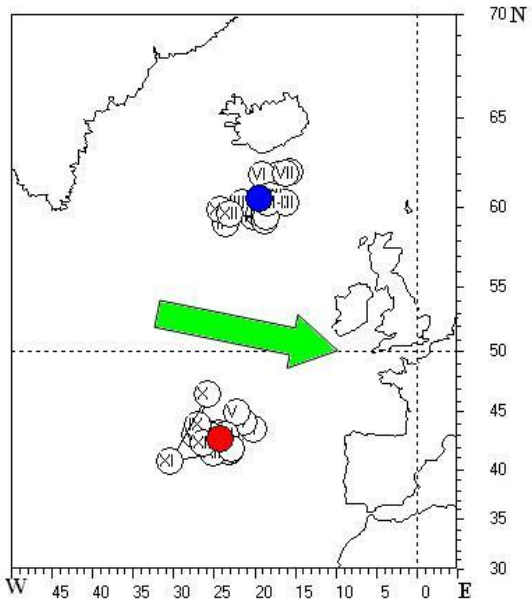


Рисунок 1 – Среднемноголетнее (2004-2012 гг.) положение Северо-Атлантических ЦДА и направление результирующего переноса

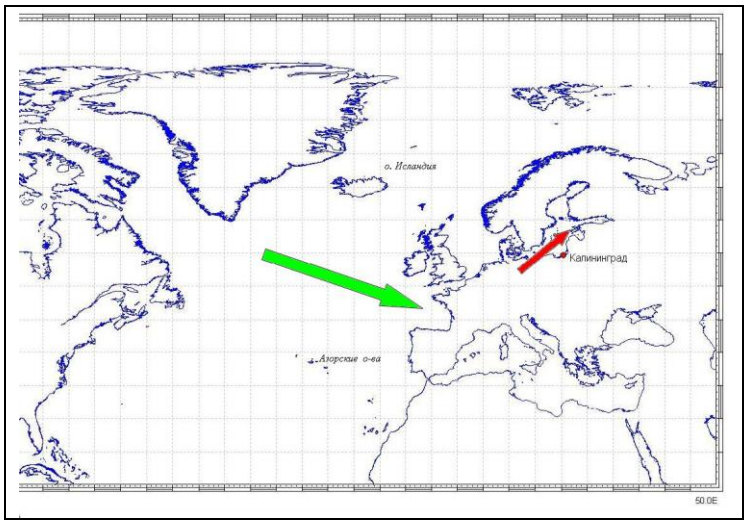


Рисунок 2 – Направление результирующего переноса над Северной Атлантикой и Юго-Восточной Балтикой

Выявленные особенности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой и Юго-Восточной Балтикой являются основной причиной

изменчивости локальных климатических параметров в Балтийском регионе.

Глава 3 посвящена рассмотрению пространственно-временной изменчивости ветра и его роли в динамике прибрежных процессов. Для анализа привлечены данные экологического мониторинга морской ледостойкой стационарной платформе (МЛСП D-6). Главные черты поля ветра в Юго-Восточной Балтике заключаются в преобладании ветров от западной половины горизонта (W, NW, SW) с увеличением их скорости в холодный период года. Розы ветров в ЮВ Балтике почти симметричны относительно зональной оси W-E (рисунок 3); значения модуля скорости результирующего ветра (1,79 м/с) и его устойчивости (0,3) невысоки.

По данным измерений ветра (направление, скорость), выполненных на МЛСП D-6, вектор результирующего переноса, рассчитанный за 2004-2012 гг., направлен с юго-запада на северо-восток (230°), что еще раз подтверждает закономерность, присущую юго-восточной части Балтийского моря.

Всего за 2004-2012 гг. отмечено 254 штормов, в среднем 28,2 ± 6,6 штормов в год. Линейный тренд составил -0,1 шторм/год, или приращение по тренду -1 шторм/период. На осенне-зимний период приходится > 88 % штормов, наблюдаются максимальные измеренные 28 м/с и в порывах 37 м/с скорости, что соответствует обеспеченности 1 раз в 5 лет и 1 раз в 10 лет (таблица). Средняя и максимальная продолжительность штормов в юго-восточной части Балтийского моря за период 2004-2012 гг. в холодный период года в 3 раза больше, чем в теплый.

Таблица – Основные характеристики сильных ветров (≥ 15 м/с, продолжительностью ≥ 6 ч), измеренных на МЛСП D-6 в 2004-2012 гг.

Сезон / Характеристика	Зима (n=120)	Весна (n=23)	Лето (n=16)	Осень (n=95)
Ср. измеренная скорость, м/с	21±1,5	18±2,9	17±1,4	21±2,3
Макс. измеренная скорость, м/с	28	25	24	29
Макс. скорость в порывах, м/с	32	29	24	37
Ср. продолжительность штормов, ч	35±10	11±5	11±3	25±10
Макс. продолжительность штормов, ч	92	27	27	81

Выявлены следующие особенности штормовых условий: в августе 2005 г. зафиксирован 10-балльный шторм, не характерный для летнего периода; с октября 2006 г. по январь 2007 г. отмечено 15 штормов со скоростью ветра свыше 18 м/с; в январе 2008 г. продолжительность одного из штормов была максимальной за весь период мониторинга – 92 ч (около 4 суток); одинаково мало было как тихих (0-1 балл), так и штормовых (10-11 баллов) ветров; основные шторма приходили от западной четверти, шторма от восточной четверти уступали им по продолжительности и силе;

сильные шторма (≥ 22 м/с) наблюдались только от запада и юго-запада (рисунок 4).

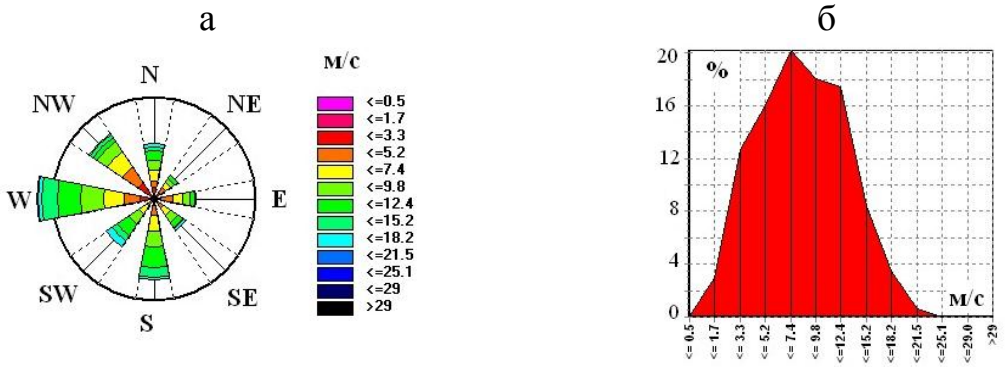


Рисунок 3 – Роза ветров (а) и повторяемость скоростей (б) ветра (2004-2012 гг.). Масштаб: радиус розы (R) равен 20 %

За период 2006-2012 гг. на МЛСП D-6 по данным 8-срочных наблюдений (~20100 случаев) было отмечено 1332 случая ветров скоростью ≥ 15 м/с (6,63 %), в 133 случаях скорость превышала 18 м/с (0,66 %). В 37 случаях измерена скорость 21-25 м/с и в 5 случаях – 26-30 м/с. Штормовой ветер был преимущественно западных и северных румбов.

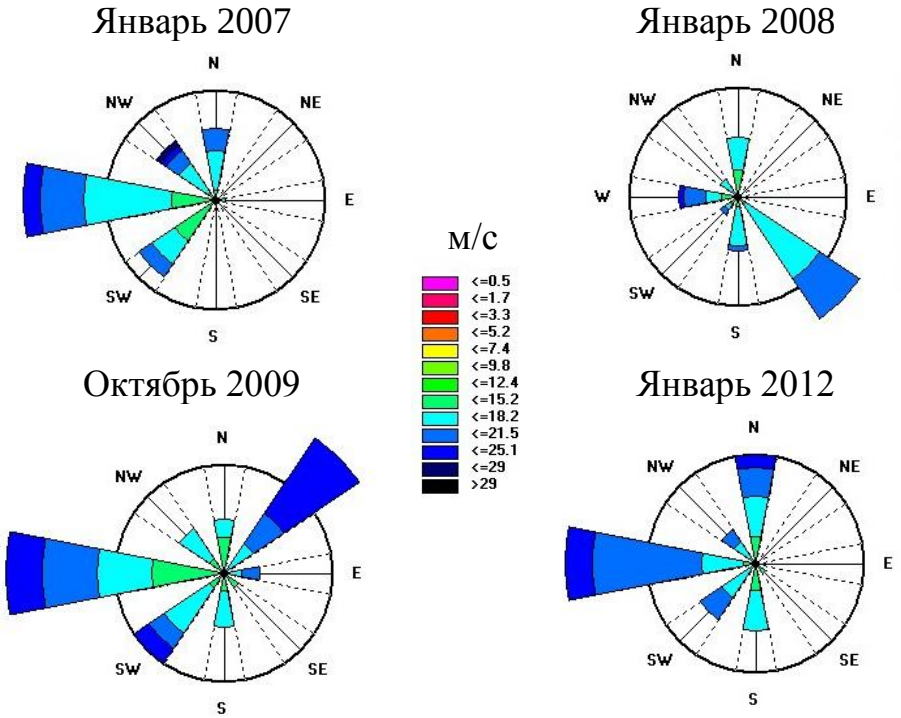


Рисунок 4 – Розы сильных ветров: январь 2007 г., январь 2008 г., октябрь 2009 г. и январь 2012 г.

Штормовые ветра (скорость ≥ 15 м/с) оказывают значительное влияние на разрушительные процессы в прибрежных районах,

формирование берегового рельефа. Расчет трендов для максимальной скорости ветра в Юго-Восточной Балтике за период 2006-2012 гг. показал некоторое повышение – тренд +0,2 м·с$^{-1}$/год для скоростей ≥ 15 м/с, соответствующее трендовое приращение +1,4 м·с$^{-1}$/период. При этом количество дней с сильными ветрами за этот период увеличилось – тренд +0,7 дн./год, приращение составило 5 дней.

Произошли изменения и в структуре основных направлений: количество преобладающих юго-западных ветров уменьшилось (приращение -0,5 %), также уменьшилось количество северо-восточных и восточных ветров, которые по силе редко относятся к штормовым. Но увеличилось количество ветров северных румбов: на 3 % северо-западных и на 0,3 % северных. В связи с наблюдаемыми тенденциями в изменениях скорости и направлении ветров, увеличении частоты штормов можно ожидать увеличения повторяемости разрушительных штормов, вызванных северными ветрами.

Рассмотрены синоптические ситуации возникновения штормов, влияющих на берега, и последствия волно-ветрового воздействия на Калининградское побережье в зависимости от траектории циклонов. На конкретных примерах показаны особенности штормовых последствий для берегов при западных циклонах (шторма зимнего периода 2006-2007 гг.), «южных циклонах» (август 2005 г.), «ныряющих» (северных) циклонах (январь 2012 г.).

Размыв берегов калининградского побережья происходит в зависимости от господствующих направлений штормовых и особенностей экспозиции берега (при условии высокого стояния уровня):

- *северные ветра* и связанное с ними волнение имеют максимальный разгон и обладают наибольшей потенциальной энергией, особенно при высоком стоянии уровня. Этим ветрам открыт северный берег Самбийского п-ова, простирающийся с запада на восток, и наибольшие разрушения встречаются на курортном побережье. При этом размыв берегов Куршской и Вислинской кос также значителен, но носит выборочный характер.
- *западные*, наиболее часто встречающиеся штормовые ветра, наибольшие разрушения вызывают на морском побережье кос, особенно Куршской косы, где смывается до 6-10 м морского склона авандюны, образуется уступ размыва высотой до 2-3 м, в котором обнажаются ледниковые отложения и погребенные почвы.

Анализ конкретных ситуаций показал степень уязвимости берегов и урон, который наносится прибрежному и курортному хозяйству области. Учитывая наметившиеся положительные тренды в повторяемости сильных северных ветров, возможно увеличение повторяемости аналогичных экстремальных ситуаций.

При комплексном изучении Балтийского моря, используя температуру поверхности моря (ТПМ), полученную с помощью

сканирующего спектрорадиометра MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer), установленного на спутниках Aqua и Terra, и карты приземного анализа атмосферного давления, была проанализирована ситуация возникновения апвеллинга при различных синоптических условиях. Установлено, что в 82 % случаев апвеллинг возникал при распространении влияния на ЮВ Балтику южной и западной периферий антициклонов с ветрами северных и восточных румбов (рисунок 5).

Исследования апвеллинга в Балтийском море показывают, что эта тема вызывает значительный интерес и, несомненно, является актуальной из-за ее близкой связи с практическими приложениями.

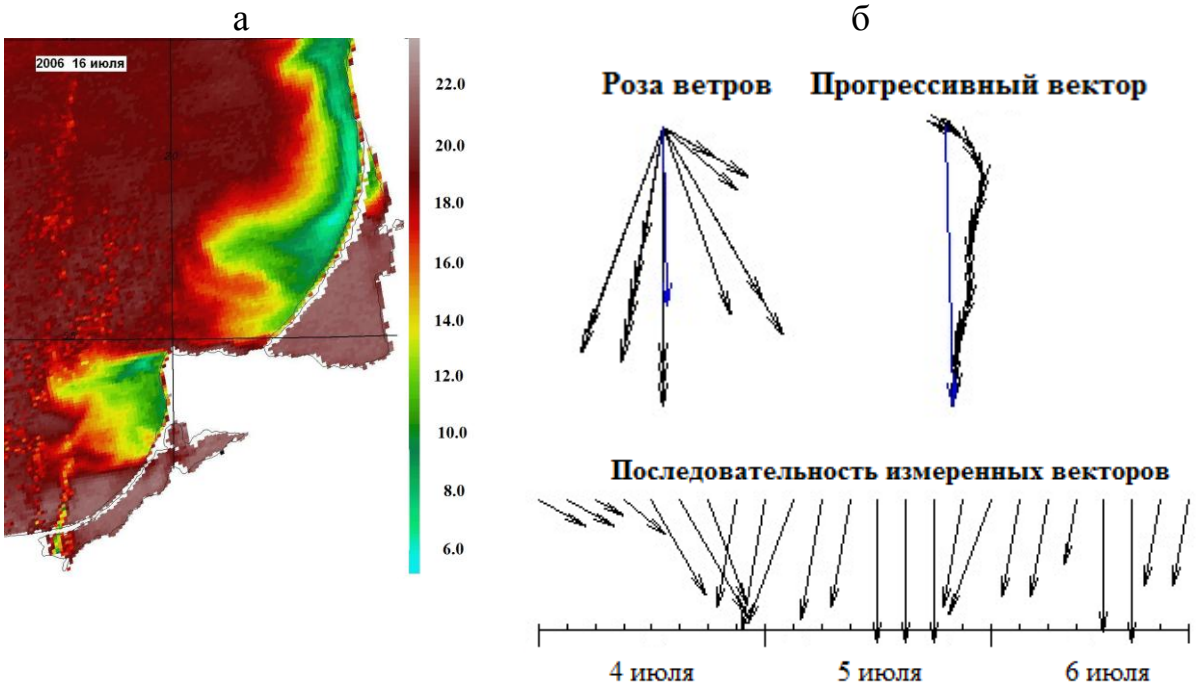


Рисунок 5 – Пространственная структура апвеллинга по спутниковым данным MODIS 16 июля 2006 г. (а) и характеристики ветра, измеренного в период с 14 по 16 июля 2006 г. на МЛСП D-6 (б).

В **Главе 4** исследовано пространственно-временное распределение температуры воздуха и температуры поверхности моря и связанные с ними ледовые условия в юго-восточной части Балтийского моря.

Температура воздуха принадлежит к числу важнейших параметров климатических изменений. По данным МЛСП D-6 изменение среднегодовой температуры воздуха в целом за девятилетний период (2004-2012 гг.) характеризуется положительным линейным трендом, близким к 0°C (+0,002 °C/год) и, соответственно, приращение составило 0,02 °C/период. Положительное приращение средней температуры наблюдалось летом +0,04 °C/год (внутригодовой максимум температуры приходится на июль-август) и весной +0,08 °C/год, отрицательное

приращение наибольшее в зимний -0,40 °С/год; осенний тренд слабоотрицателен (-0,07 °С/год).

По известным оценкам с 1982 по 2006 гг. средняя годовая температура поверхности Балтийского моря увеличилась на 1,35 °С [Philippart et al, 2011; Belkin, 2009], рост температуры составляет 0,3-0,8 °С за декаду, а в северных районах превышает 1°С [Voss et al, 2012; Lehmann et al, 2011; BACC Author Group…2008; Climate Change …2007]. Для южного побережья Балтики свойственны общие закономерности в многолетней изменчивости средней годовой температуры воды. Известно, что повышение температуры поверхности моря в ЮВБ составило 0,6-0,8 °С за последнее десятилетие [Lehmann et al, 2011; BACC Author Group…2008; Bradtke et al, 2010].

Оценка изменчивости ТПМ в ЮВБ проведена на массивах данных, полученных дистанционным методом со сканера цвета океана MODIS, установленного на спутниках Aqua и Terra Национального управления по воздухоплаванию и исследованию космического пространства США (NASA). Начиная с 2003 г., в открытой части ЮВБ изменения ТПМ по спутниковым данным характеризуются положительными линейными трендами от 0,03 до 0,14 °С/год в зависимости от местоположения станции. Построенная карта распределения трендовых приращений (рисунок 6) показывает, что тренд и приращение за 2003-2012 гг. для прибрежных станций опережает приращение для открытой части ЮВБ.

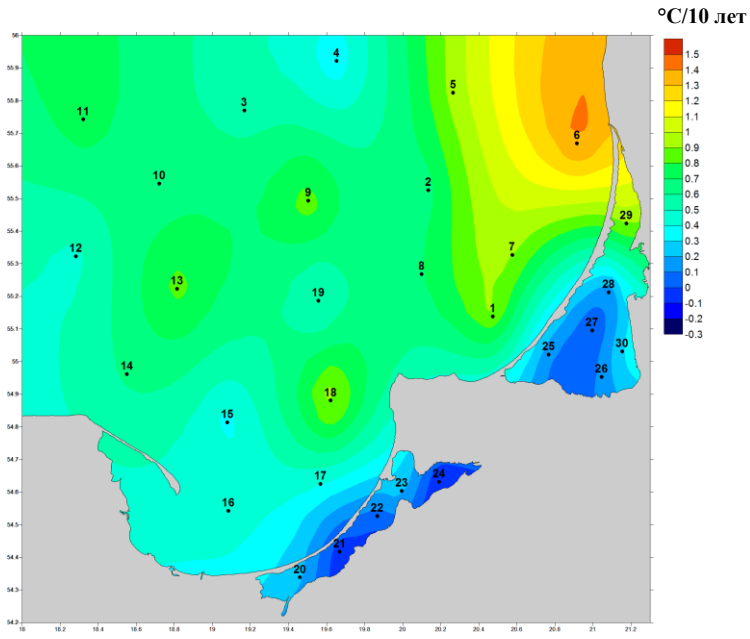


Рисунок 6 – Карта распределения трендовых приращений температуры поверхности моря в ЮВБ по данным спутникового радиометра MODIS за 2003-2012 гг.

В среднем по станциям, расположенным по акватории ЮВБ, линейный тренд составляет 0,07±0,03 °С/год и приращение за период 2003-2012 гг. (десять лет) составило 0,7± 0,27 °С/период. Полученные результаты полностью согласуются с известными оценками.

В течение рассматриваемого периода основной трендовый прирост температуры воды на поверхности в ЮВБ происходил в теплое время года: весной (0,5±0,38 °С/10 лет) и максимальный прирост летом (1,1±0,37 °С/10 лет). Приращение в соответствии с трендом за зимний и осенний периоды отрицательно -0,4±0,56 и -0,9±1,00 °С/10 лет. Максимальный отрицательный прирост до -1,4 °С/10 лет наблюдался зимой на станциях, расположенных на севере района. В свою очередь прибрежные станции демонстрируют наибольшие положительные трендовые приращения зимой (до 0,6 °С/10 лет).

Рост температуры воды за последнее десятилетие (приращение +0,7 °С) был интенсивнее роста температуры воздуха (приращение +0,02 °С). Это обусловлено тем, что максимальные отрицательные приращения среднесезонной температуры воздуха приходятся на зимний период (-0,40 °С/год), а температура воды связана не только теплообменом через поверхность, но и транспортом тепла течением.

Российская часть Юго-Восточной Балтики обладает своеобразным ледовым режимом, который определяется географическим положением и климатическими условиями. Для исследования процессов льдообразования в Юго-Восточной Балтике выделен район, ограниченный 56° с.ш., 19° в.д. и береговой чертой на востоке и юге. Площадь района исследования составила 18052 км^2. Для оконтуривания ледяных полей с помощью программы ArcGIS использовались радиолокационные данные со спутников ENVISAT (ESA), RADARSAT-1 (CSA) и RADARSAT-2 (MDA). Преимуществами метода является возможность всепогодной и круглосуточной съемки. Ограничение метода – скорость приводного ветра должна лежать в интервале 2-10 м/с.

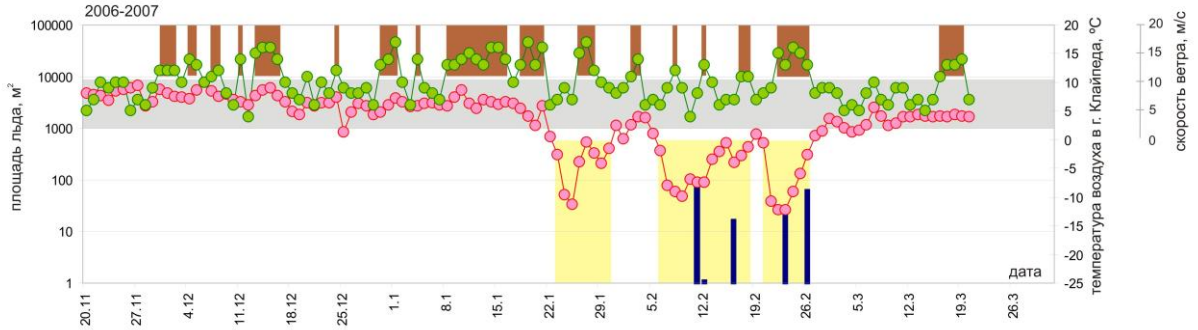
Для оценки метеорологической обстановки использовались данные по температуре воздуха и ветру, полученные с АГМС, установленной ~ в 20 км от берега и метеоданные г. Клайпеда (www.rp5.ru). Описание синоптических ситуаций производилось по картам приземного анализа английского метеоцентра Бракнелл (http://www.metoffice.gov.uk/). Дополнительной информацией о наличии ледяного покрова на морской поверхности служили спутниковые данные по температуре поверхности моря, полученные со спектрорадиометра MODIS, установленного на спутниках Terra и Aqua.

На основании типизации ледовых условий Л.Г. Сергеевой [Сергеева, 1983] в зависимости от климатической суровости за период 2005-2013 гг. были выделены суровые, умеренные и мягкие зимы.

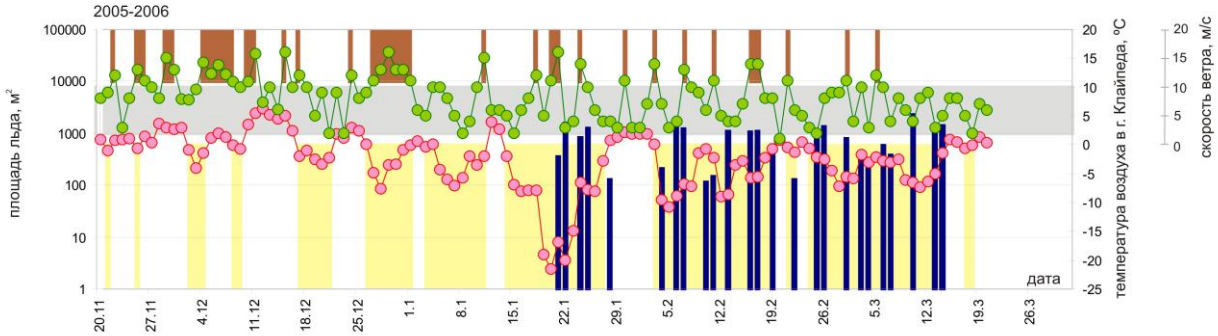
Три зимы можно отнести к категории *мягких* (или несуровых): 2006-2007, 2007-2008, 2008-2009. В *мягкие* зимы преобладает циклоническая

деятельность, господствуют ветра западных румбов. Условий для формирования льда не наблюдается (рисунок 7), что подтверждается отсутствием льда на спутниковых изображениях MODIS в исследуемом районе.

Мягкие зимы: 2006-2007 гг.



Умеренные зимы: 2005-2006 гг.



Суровые зимы: 2010-2011 гг.

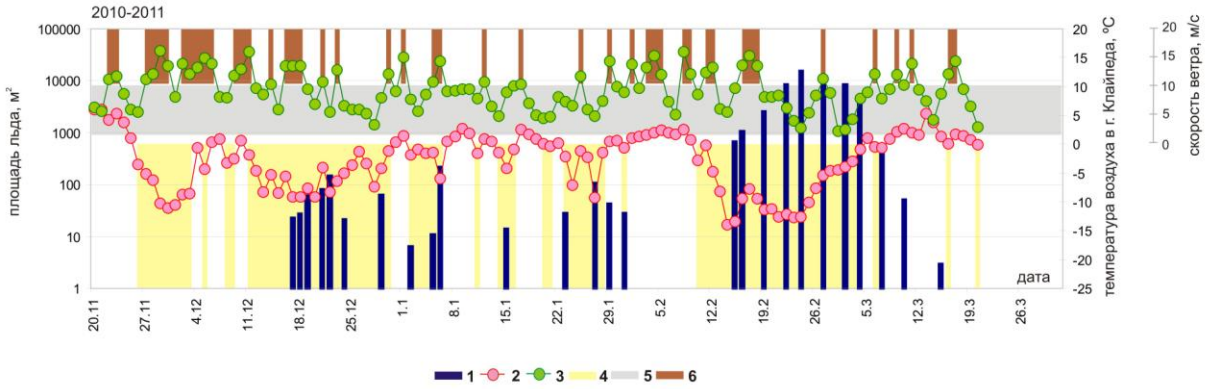


Рисунок 7 – Сопоставление площади ледового покрытия ЮВ Балтики с температурой воздуха и скоростью ветра.
Условные обозначения: 1 – площадь льда, м^2; 2 – температура воздуха в г. Клайпеда, ºС; 3 – среднесуточная скорость ветра по данным АГМС на D-6, м/с; 4 – температура воздуха < 0 ºС; 5 – скорость ветра 2-10 м/с; 6 – период интенсивного перемешивания поверхностных вод (скорость ветра > 10 м/с).

В *умеренные* зимы наблюдаются черты, характерные для мягких и для суровых зим. Циклоническая деятельность прерывается вторжением полярных циклонов с Гренландского и Баренцева морей. Понижение температуры значительное, но непродолжительное. Вторжения арктического воздуха могут повторяться неоднократно. Такие черты были характерны для зим 2005-2006; 2009-2010; 2011-2012; 2012-2013 гг. Ледовые условия и покрытие поверхности моря различными формами льда в умеренную зиму 2005-2006 гг. приведены на рисунке 7 и 8. К концу января 2006 г. площадь льда достигла 1586,26 км^2, что составило 8,8 % площади исследуемого района.

Для *суровых зим* характерна меридиональная атмосферная циркуляция. Преобладает арктический воздух с Норвежского и Карского морей. Иногда устанавливается влияние ядер Сибирского антициклона. Характерны отрицательные температуры воздуха, что способствует активному льдообразованию. Такие черты свойственны зиме 2010-2011 гг. (рисунок 7). Посчитанная площадь распространения ледовых полей в ЮВ Балтике к концу февраля 2011 г. составила ~15725 км^2, что составило 87 % от общей площади всего района. Это максимальное покрытие за исследуемый период времени (рисунок 9).

Образование ледового покрова связано с установлением антициклональных условий, когда наблюдается значительное понижение температуры воздуха и преобладание ветров восточных румбов, при отсутствии условий для вертикального перемешивания поверхностных вод. При господстве западного переноса и циклональных условий в Юго-Восточной Балтике активных процессов льдообразования не наблюдается (зима 2006-2007 гг. и 2007-2008 гг.).

В **Заключении** выполнено краткое обобщение представленного в диссертации материала и полученных результатов.

Основные результаты

I. Анализ изменчивости положения центров действия атмосферы показал:

В целом, перенос в умеренных широтах над Северной Атлантикой в 2004-2012 гг. неизменно направлен с запада на восток, что отражает классические закономерности общей циркуляции атмосферы Земли. Однако время от времени усиливается северная составляющая переноса.

Отмечена важная черта: приращение направления переноса за последние 9 лет составило 15° к северу, т.е. в направлении стала преобладать составляющая от севера. Перенос стал происходить от WNW на ESE (от западо-северо-запада к востоко-юго-востоку). Увеличилась напряженность выноса (dP/dS) – приращение +0,7 гПа/град меридиана.

а б

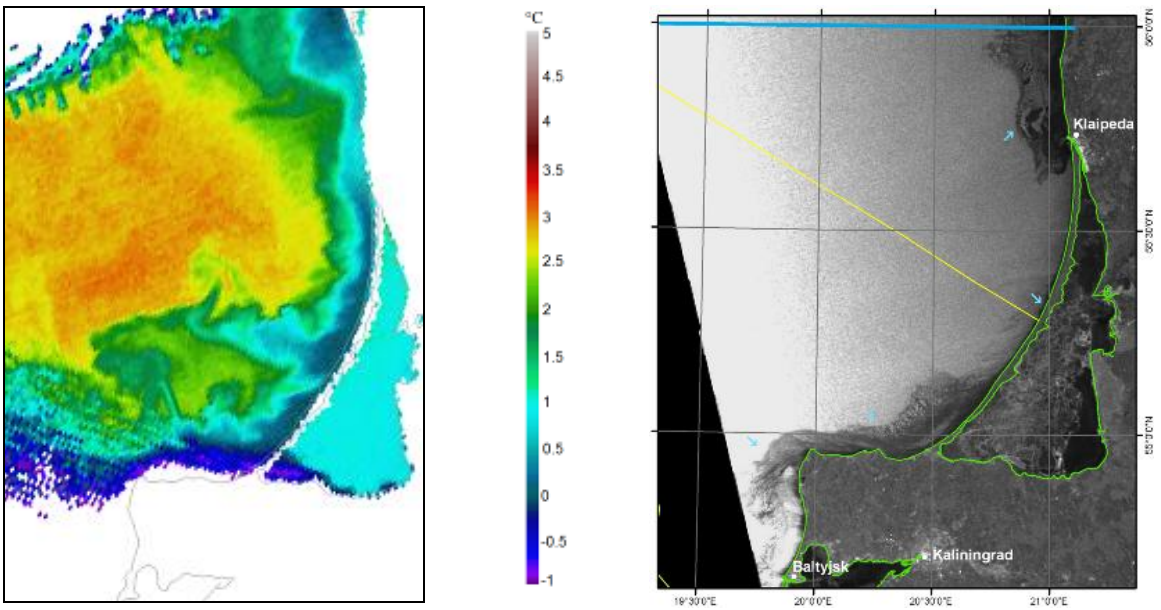


Рисунок 8 – Изменчивость температуры поверхности ЮВБ по данным MODIS-Aqua 29.01.2006 (11:00 UTC) – а; фрагмент РЛИ, полученного 22.01.2006 г. со спутника ENVISAT (20:05 UTC) с выделенными ледовыми полями, показанными голубыми стрелками – б.

а б

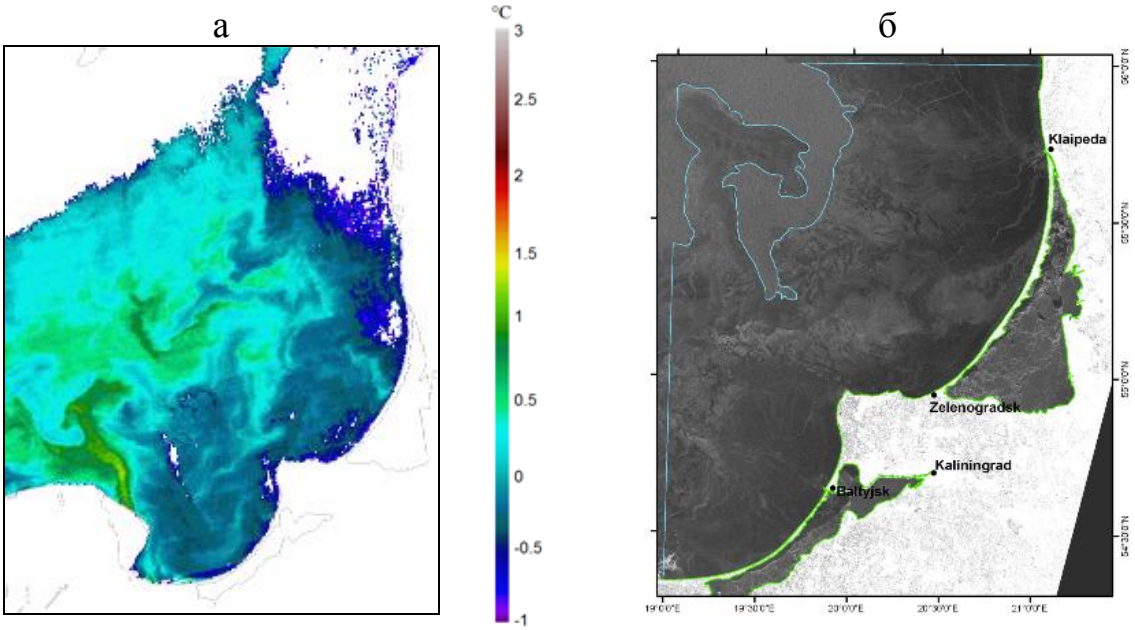


Рисунок 9 – Температура поверхности ЮВБ по данным MODIS-Terra 28.02.2011 г. (20:30 UTC) – а; фрагмент РЛИ, полученного 24.02.2011 г. со спутника ENVISAT (09:12 UTC) с выделенным максимальным распространением льда (голубой контур) – б.

Впервые разработана и применена методика выделения интегральных региональных центров действия атмосферы, которые определяют синоптические вариации сезонного хода погодных условий в ЮВБ.

Анализ вычисленных положений центров (широта φ°, долгота λ°) и глубины/мощности (гПа) барических образований, определяющих погоду в регионе, показал, что (1) – давление в центре атмосферных вихрей претерпело изменение: циклоны стали менее глубокими (+0,02 гПа/год), антициклоны – менее мощными (-0,10 гПа/год); (2) – сами центры сместились южнее (0,06 °/год – циклоны, 0,07 °/год – антициклоны). Произошла подвижка центров также и на восток, причем скорость смещения циклонов оказалась в 1,5 раза больше, чем антициклонов (0,14 °/год и 0,10 °/год соответственно).

II. Созданная база данных ежечасных наблюдений ветра (направление, скорость, порывы) за 2004-2012 гг. на МЛСП D-6 позволила получить новые сведения для анализа.

Данные за 2004-2012 гг. свидетельствуют о небольшом увеличении средней скорости ветра (0,45 м/с за период).

Расчет трендов для максимальной скорости ветра в Юго-Восточной Балтике за период 2006-2012 гг. показал некоторое повышение: для скоростей ≥ 15 м/с тренд составил +0,2 $м \cdot с^{-1}$/год, соответствующее трендовое приращение составило +1,4 $м \cdot с^{-1}$/период.

Количество штормовых дней за этот период увеличилось – тренд +0,7 дн./год, приращение составило 5 дней/период.

Произошли изменения в структуре основных направлений: количество преобладающих юго-западных ветров уменьшилось на 4,5 %, также уменьшилось количество северо-восточных и восточных ветров. Но увеличилось количество ветров северных румбов: приращение северо-западных ветров 3 % и северных +0,3 % за период.

В связи с наблюдаемыми тенденциями в изменениях скорости и направлении ветров, увеличении частоты штормов можно ожидать увеличения повторяемости разрушительных штормов, вызванных северными ветрами.

Размыв берегов калининградского побережья происходит в зависимости от господствующих направлений штормовых и особенностей экспозиции берега (при условии высокого стояния уровня):

- северные ветры имеют максимальный разгон и обладают наибольшей потенциальной энергией, особенно при высоком стоянии уровня. Этим ветрам открыт северный берег Калининградского п-ова. Размыв берегов Куршской и Вислинской кос также значителен, но носит выборочный характер.
- западные штормовые ветра вызывают разрушения на морском побережье кос, особенно Куршской косы, где смывается морской склон авандюны, образуется уступ размыва высотой до 2-3 м.

III. Оценка пространственно-временной изменчивости температуры воздуха, температуры поверхности моря и ледовых условий в регионе ЮВБ на основе анализа рядов данных, собранных путем обработки спутниковой информации MODIS-Aqua и MODIS-Terra за 2003-2012 гг., показала:

В целом за период 2004-2012 гг. изменение среднегодовой температуры воздуха по данным МЛСП D-6 характеризуется линейным трендом, близким к 0 °С (+0,002 °С/год) и, соответственно, приращение составило 0,02 °С/период.

Положительное приращение средней годовой температуры наблюдалось летом +0,04 °С/год (внутригодовой максимум температуры приходится на июль-август) и весной +0,08 °С/год, отрицательное приращение наибольшее в зимний период -0,40 °С/год; осенний тренд слабо отрицателен (-0,07 °С/год).

Повышение температуры поверхности моря в ЮВБ, которое составило 0,7±0,27 °С за последнее десятилетие, определяет ЮВБ как регион быстрого потепления.

Положительный тренд ТПМ обусловлен интенсивным ростом температуры в теплый период года (лето и весна). Холодный период (зима, осень) характеризуется отрицательными трендами ТПМ.

Рост температуры воды за последнее десятилетие (приращение +0,7 °С) был интенсивнее роста температуры воздуха (приращение +0,02 °С). Это обусловлено тем, что максимальные отрицательные приращения среднесезонной температуры воздуха приходятся на зимний период (-0,40 °С/год), а температура воды связана не только теплообменом через поверхность, но и транспортом тепла течением.

Показано преимущество комплексного мониторинга с использованием радарных снимков, визуальных наблюдений с фотографированием, синоптических карт, спутниковых данных ИК-диапазона по температуре поверхности моря, что позволяет провести более точный анализ и рассчитать оконтуренную площадь покрытия льдом.

Выводы

1. Локальные центры действия атмосферы, расположенные над Юго-Восточной Балтикой, определяют синоптические вариации сезонного хода погодных условий и являются проявлением климатических изменений в Балтийском регионе.
2. Выявленные тенденции пространственно-временной изменчивости ветровых условий свидетельствуют о вероятности дальнейшего увеличения повторяемости разрушительных штормов, вызванных ветрами северных румбов.

3. Возникновение апвеллинга у побережья ЮВ Балтики в 82 % всех рассмотренных случаев наблюдалось при влиянии антициклональных условий.
4. Средний рост температуры поверхности моря в регионе за последнее десятилетие (приращение +0,7 °С) оказался интенсивнее роста температуры воздуха (приращение +0,02 °С). Основная причина этого – максимальные отрицательные приращения среднесезонной температуры воздуха приходятся на зимний период (-0,40 °С/год), а температура воды связана не только теплообменом через поверхность, но и транспортом тепла течением.

Представленные в работе данные и выявленные закономерности временной и пространственной изменчивости гидрометеорологических параметров Юго-Восточной Балтики могут быть использованы в качестве базовой информации для диагностики состояния экосистем в районе инфраструктуры нефтяного месторождения Кравцовское (МЛСП D-6), а также для прогнозирования их развития в условиях происходящих климатических изменений и растущих антропогенных нагрузок на прибрежные зоны, подверженные экстремальным штормовым воздействиям.

Список публикаций по теме диссертации

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Навроцкая С.Е., **Стонт Ж.И.** Годовой ход уровня реки Преголи в центре Калининграда и случае подъема выше критических отметок по наблюдениям 1996-2008 гг. // Известия РГО. – 2010. – Т. 142. – Вып. 5. – С. 54-60.

2. **Стонт Ж.И.,** Чубаренко Б.В., Гущин О.А. Изменчивость гидрометеорологических характеристик для побережья Юго-восточной Балтики // Известия РГО. – 2010. – Т. 142. – Вып. 4. – С. 48-56.

3. Морозов Е.Г., Щука С.А., Голенко Н.Н., Запотылько В.С., **Стонт Ж.И.** Структура температуры в прибрежной зоне Балтийского моря // Доклады Академии наук. – 2007. – Т. 416. –№ 1. – С. 115-118.

4. Амбросимов А.К., **Стонт Ж.И.,** Якубов Ш.Х. Характеристики сезонного взаимодействия ветра с морской поверхностью юго-восточной части Балтийского моря // Экологические системы и приборы. – М.: Научтехиздат. – 2011. – № 4. – С. 46-56.

5. Навроцкая С.Е., Гущин О.А., **Стонт Ж.И.** Колебания уровня р. Преголи в центре Калининграда в 1996-2008 гг. // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. Сер. «Естеств. Науки». – 2011. – Вып. 1. – С. 28-35.

6. **Стонт Ж.И.**, Гущин О.А., Дубравин В.Ф. Штормовые ветра Юго-Восточной Балтики по данным автоматической метеорологической станции в 2004-10 гг. // Известия РГО. – 2012. – Т. 144. – Вып. 1. – С. 51-58.

7. Дубравин В.Ф., **Стонт Ж.И.** Эволюции гидрометеорологических полей над Юго-Восточной Балтикой // Известия РГО. – 2012. – Т. 144. – Вып. 5. – С. 37-48.

8. Burnashov E., Chubarenko B., **Stont Z.** Natural Evolution of Western Shore of the Sambian Peninsula on Completion of Dumping from an Amber Mining Plant // Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics. – 2010. – V. 57. – No 2. – P. 105-117.

9. Есюкова Е.Е., **Стонт Ж.И**. О влиянии гидрометеорологических условий на береговые процессы побережья Вислинского залива // Известия РГО. – 2013. – Т. 145. – Вып. 1. – С. 50-60.

10. Абрамов Р.В., Гущин О.А., Навроцкая С.Е., **Стонт Ж.И.** Гидрометеорологический мониторинг побережья Юго-Восточной Балтики в 1996-2010 гг. // Известия РАН. Серия географическая. – 2013. – № 1. – С. 54–61.

11. Амбросимов А.К., Кабатченко И.М., **Стонт Ж.И.**, Якубов Ш.Х. Сезонные характеристики волнения в юго-восточной части Балтийского моря в период 2008-2009 гг. // Метеорология и гидрология. – 2013. – № 3. – С. 75-84.

Публикации в других изданиях:

1. Абрамов Р.В., **Стонт Ж.И**. «Витязь» и «Балтийская коса». Погода и экологическая обстановка 1997-2002 гг. – Калининград: Изд-во КГУ, 2004. – 307 с.

2. Дубравин В.Ф., **Стонт Ж.И**., Маслянкин Г.Е. Пространственно-временная структура гидрометеорологических полей над Юго-Восточной Балтикой // XIV съезд РГО СПб, 2010.– Сб. научных работ.– Книга 4.– Ч. 1.– С. 71-75.

3. Дубравин В.Ф., **Стонт Ж.И**., Гущин О.А. Эволюции суточного хода гидрометеорологических элементов над Юго-Восточной Балтикой // Известия КГТУ. – № 17. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2010. – С. 20-24.

4. Дубравин В.Ф., **Стонт Ж.И.**, Гущин О.А. Пространственно временная изменчивость гидрометеорологических полей Юго-Восточной Балтики // Известия КГТУ. – № 19. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2010. – С. 234-241.

5. Абрамов Р.В., Гущин О.А., **Стонт Ж.И.** Виртуальный атмосферный перенос над Северной Атлантикой и Юго-Восточной Балтикой в терминах Тейсерана де Бора на примере последних лет (2008-2010) // Известия КГТУ. – № 24. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2012. – С. 11-19.

6. Чубаренко Б.В., Навроцкая С.Е., **Стонт Ж.И.**, Гущин О.А. Изменчивость гидрометеорологических характеристик у побережья Юго-Восточной Балтики по наблюдениям за 1996-2009 гг. // Основные концепции современного берегопользования. – СПб: РГГМУ, 2012: т. IV. – С. 247-269.

7. Дубравин В.Ф., **Стонт Ж.И.** Гидрометеорологический режим, структура и циркуляция вод // Нефть и окружающая среда Калининградской области. – Т. II: Море. – Калининград: Терра Балтика, 2012. – С. 69-105.

8. **Стонт Ж.И.,** Гущин О.А. Ветровые условия // Нефть и окружающая среда Калининградской области. – Т. II: Море. – Калининград: Терра Балтика, 2012. – С. 231-245.

9. Амбросимов А.К., **Стонт Ж.И.**, Якубов Ш.Х. Волнение и уровень моря // Нефть и окружающая среда Калининградской области. – Т. II: Море. – Калининград: Терра Балтика, 2012. – С. 246-262.

10. Есюкова Е.Е., **Стонт Ж.И.** Оценка влияния гидрометеорологических условий на береговые процессы побережья северо-восточной части Вислинского залива в 2011-2013 гг. // Известия КГТУ. – № 32. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2014. – С. 210-217.

11. Гущин О.А., Кулакова В.В., **Стонт Ж.И.** Метеорологический мониторинг ветра и численное моделирование переноса примесей в атмосфере // Известия КГТУ. – № 32. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2014. – С. 202-210.

12. **Стонт Ж.И.** К вопросу о местном ветре // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса». / Сб. научн. ст. – Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2005. – Вып. 3.– С.192-210.

13. **Стонт Ж.И.** Сравнение морских и береговых наблюдений за ветром // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса». / Сб. научн. ст.– Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2008.– Вып. 6.– С.180-185.

14. **Стонт Ж. И.,** Бобыкина В.П. О зимней штормовой активности 2011-12 гг. и её последствиях для Куршской косы // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса». – Калининград: изд. Балтийского федерального университета им. И. Канта. – 2013. – № 9. – С. 126-136.

Стонт Жанна Ивановна

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И ИХ ОТРАЖЕНИЕ В ПРИБРЕЖНЫХ ПРОЦЕССАХ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Подписано в печать 28.04.2014 г.
Бумага для множительных аппаратов. Формат 60×90 1/16
Гарнитура «таймс». Ризограф. Усл. печ. л. 1.5. Уч.-изд. л. 1.2.
Тираж 100 экз. Заказ

Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта
236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14