

Форма Тм. Титульная страница заявки в РФФИ

НАЗВАНИЕ ПРОЕКТА Исследование динамики шторм – треков и меридионального переноса тепла и влаги в Северном полушарии в условиях изменяющегося климата с помощью моделей климатической системы		НОМЕР ПРОЕКТА 13-05-00480	
ОБЛАСТЬ ЗНАНИЯ 05		КОД КЛАССИФИКАТОРА 05-611, 05-610, 05-612	
ВИД КОНКУРСА А Инициативный			
ФАМИЛИЯ, ИМЯ, ОТЧЕСТВО РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА Крупчатников Владимир Николаевич		ТЕЛЕФОН РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА +79134790492	
ПОЛНОЕ НАЗВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ, В КОТОРОЙ РЕАЛИЗУЕТСЯ НАУЧНЫЙ ПРОЕКТ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук			
ОБЪЕМ ФИНАНСИРОВАНИЯ на 2013 г., (руб.) 600000,00		ГОДА НАЧАЛА ПРОЕКТА 2013	ГОДА ОКОНЧАНИЯ ПРОЕКТА 2015
ЧИСЛО УЧАСТНИКОВ ПРОЕКТА (включая руководителя) 6	ЧИСЛО УЧАСТНИКОВ, ИМЕЮЩИХ УЧЕНУЮ СТЕПЕНЬ 4	ЧИСЛО МОЛОДЫХ (до 35 лет включительно) УЧАСТНИКОВ 3	
"УЧАСТНИКИ ПРОЕКТА СОГЛАСНЫ С УСЛОВИЯМИ КОНКУРСОВ РФФИ, В ТОМ ЧИСЛЕ С ОПУБЛИКОВАНИЕМ (В ПЕЧАТНОЙ И ЭЛЕКТРОННОЙ ФОРМАХ) АННОТАЦИЙ ПРОЕКТА И НАУЧНЫХ ОТЧЕТОВ, А ТАКЖЕ ПЕРЕЧНЯ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ПРОЕКТУ"			
ФАМИЛИЯ, ИМЯ, ОТЧЕСТВО ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ (полностью)	Боровко Ирина Владимировна		
	Голубева Елена Николаевна		
	Мартынова Юлия Валерьевна		
	Платов Геннадий Алексеевич		
	Юсупова Дина Фаруковна		
ПОДПИСЬ РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА		ДАТА ПОДАЧИ ЗАЯВКИ 11.10.2012	

ЗАЯВКА ПО ПРОЕКТУ 13-05-00480

Форма 1м. Данные о проекте

- 1.1.1. Название проекта**
Исследование динамики шторм – треков и меридионального переноса тепла и влаги в Северном полушарии в условиях изменяющегося климата с помощью моделей климатической системы
- 1.1.2. Название проекта**
Study of dynamics of the storm – track and meridional heat and moisture transport in the Northern Hemisphere under climate change using climate system model
- 1.2.1. Вид конкурса**
А Инициативный
- 1.2.2. Область знания**
05 - НАУКИ О ЗЕМЛЕ
- 1.3.1. Научная дисциплина – основной код**
05-611 Диагноз и моделирование климата
- 1.3.2. Научная дисциплина – дополнительные коды**
05-610 Общая циркуляция атмосферы и динамическая метеорология, 05-612 Волновые процессы и турбулентность в атмосфере
- 1.4. Ключевые слова**
Математическое моделирование, динамика климатической системы, общая циркуляция атмосферы, шторм - треки,
- 1.5. Аннотация**
Настоящий проект направлен на разработку фундаментальной проблемы и в сфере приложений отвечает следующему Приоритетному направлению развития науки, технологий и техники РФ, в котором могут быть использованы результаты данного проекта:
« Рациональное природопользование (влияние на экологическую и климатическую систему последствий естественно-природных и техногенных катастроф)»
Цель проекта:
- исследовать динамику шторм-треков, структуры средней циркуляции атмосферы в разные сезоны при различных сценариях динамики климата,
- исследовать механизмы влияния океана и квазистационарных волн на формирование годового хода шторм-треков, потоков тепла и влаги в атмосфере и океане Северного Полушария.
В центре внимания данного проекта стоит фундаментальная проблема: исследование влияния изменений климата на структуру глобальной циркуляции атмосферы, свойств климатической системы как сложного нелинейного объекта с помощью методов математического моделирования и теоретической физики (Дымников В.П., Лыкосов В.Н., Володин Е.М., Галин В.Я., Глазунов А.В., Грицун А.С., Дианский Н.А., Толстых М.А., Чавро А.И., 2005; Дымников В.П., Грицун А.С., 2005; Дымников В.П., Лыкосов В.Н., Володин Е.М., 2006; Володин Е.М., Дианский Н.А., 2006; Мелешко В.П., Голицын Г.С., Говоркова В.А., Демченко П.Ф., Елисеев А.В., Катцов В.М., Малевский-Малевич С.П., Мохов И.И., Надежина Е.Д., Семенов В.А., Спорышев П.В., Хон В.Ч., 2004; Крупчатников В.Н., Кузин В.И., Голубева Е.Н., Мартынова Ю.В., Платов Г.А., Крылова А.И., 2009; Кабанов В.М., Лыкосов В.Н., 2006; Trenberth K.E., Fasullo J.T., and Kiehl J. ,2009; B.J. Soden, I. Held, 2005; Held, I. M., and A. Y. Hou, 1980; Pierrehumbert R.T., 2010; Wallace J.M, 2000 и др.)
- 1.6. Количество основных исполнителей**
6
- 1.7. Сроки выполнения**
2013 - 2015
- 1.8. Запрашиваемый объем финансирования на 2013 год**
600000

Подпись руководителя проекта

Форма 2. Данные о руководителе и основных исполнителях

- 2.1.1.1. **Фамилия**
Боровко
- 2.1.1.2. **Имя (полностью)**
Ирина
- 2.1.1.3. **Отчество (полностью)**
Владимировна
- 2.1.2.1. **Фамилия (на английском языке)**
Borovko
- 2.1.2.2. **Имя (на английском языке, полностью)**
Irina
- 2.1.2.3. **Отчество (на английском языке, полностью)**
Vladimirovna
- 2.2.1. **Дата рождения (арабскими цифрами – число.месяц.год)**
02.02.1978
- 2.2.2. **Пол (указать цифрой: 1 – мужской; 2 – женский)**
2
- 2.3.1. **Ученая степень (сокращенное название)**
без ученой степени
- 2.3.2. **Год присуждения ученой степени**
- 2.4.1. **Ученое звание (сокращенное название)**
без ученого звания
- 2.4.2. **Год присвоения ученого звания**
- 2.5.1. **Полное название организации – основного места работы**
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук
- 2.5.2. **Сокращенное название организации - основного места работы**
ИВМиМГ СО РАН
- 2.6. **Должность по основному месту работы (сокращенное название)**
мнс
- 2.7.1. **Область научных интересов (ключевые слова, не более 15, строчными буквами, через запятые))**
математическое моделирование, динамика климата
- 2.7.2. **Область научных интересов (коды по классификатору 2013 года)**
05-610, 05-612
- 2.8. **Общее число публикаций (исключая тезисы докладов)**
10
- 2.9. **Телефон для связи**
89137184076
- 2.10. **Электронный адрес**
irina.borovko@yandex.ru
- 2.11. **Участие в проекте (буква Р – руководитель; буква И – исполнитель)**
И

Участник проекта сообщает свои персональные данные Фонду и согласен на использование этих данных для информационного и финансового сопровождения своего проекта.

Подпись участника проекта _____

Форма 2. Данные о руководителе и основных исполнителях

- 2.1.1.1. **Фамилия**
Голубева
- 2.1.1.2. **Имя (полностью)**
Елена
- 2.1.1.3. **Отчество (полностью)**
Николаевна
- 2.1.2.1. **Фамилия (на английском языке)**
Golubeva
- 2.1.2.2. **Имя (на английском языке, полностью)**
Elena
- 2.1.2.3. **Отчество (на английском языке, полностью)**
Nikolayevna
- 2.2.1. **Дата рождения (арабскими цифрами – число.месяц.год)**
12.10.1957
- 2.2.2. **Пол (указать цифрой: 1 – мужской; 2 – женский)**
2
- 2.3.1. **Ученая степень (сокращенное название)**
доктор физико-математических наук
- 2.3.2. **Год присуждения ученой степени**
2011
- 2.4.1. **Ученое звание (сокращенное название)**
Старший научный сотрудник
- 2.4.2. **Год присвоения ученого звания**
1997
- 2.5.1. **Полное название организации – основного места работы**
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук
- 2.5.2. **Сокращенное название организации - основного места работы**
ИВМиМГ СО РАН
- 2.6. **Должность по основному месту работы (сокращенное название)**
снс
- 2.7.1. **Область научных интересов (ключевые слова, не более 15, строчными буквами, через запятые))**
- 2.7.2. **Область научных интересов (коды по классификатору 2013 года)**
05-512, 05-519, 01-223
- 2.8. **Общее число публикаций (исключая тезисы докладов)**
43
- 2.9. **Телефон для связи**
+7-913-9267521, 8(383)3306-450
- 2.10. **Электронный адрес**
elen@ommfao.sscg.ru
- 2.11. **Участие в проекте (буква Р – руководитель; буква И – исполнитель)**
И

Участник проекта сообщает свои персональные данные Фонду и согласен на использование этих данных для информационного и финансового сопровождения своего проекта.

Подпись участника проекта _____

Форма 2. Данные о руководителе и основных исполнителях

- 2.1.1.1. **Фамилия**
Крупчатников
- 2.1.1.2. **Имя (полностью)**
Владимир
- 2.1.1.3. **Отчество (полностью)**
Николаевич
- 2.1.2.1. **Фамилия (на английском языке)**
Krupchatnikov
- 2.1.2.2. **Имя (на английском языке, полностью)**
Vladimir
- 2.1.2.3. **Отчество (на английском языке, полностью)**
Nikolaevich
- 2.2.1. **Дата рождения (арабскими цифрами – число.месяц.год)**
26.12.1946
- 2.2.2. **Пол (указать цифрой: 1 – мужской; 2 – женский)**
1
- 2.3.1. **Ученая степень (сокращенное название)**
доктор физико-математических наук
- 2.3.2. **Год присуждения ученой степени**
1995
- 2.4.1. **Ученое звание (сокращенное название)**
Старший научный сотрудник
- 2.4.2. **Год присвоения ученого звания**
1988
- 2.5.1. **Полное название организации – основного места работы**
ГУ "Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт"
- 2.5.2. **Сокращенное название организации - основного места работы**
СибНИГМИ
- 2.6. **Должность по основному месту работы (сокращенное название)**
дир.
- 2.7.1. **Область научных интересов (ключевые слова, не более 15, строчными буквами, через запятые))**
Математическое моделирование, диагноз динамики климатической системы,
- 2.7.2. **Область научных интересов (коды по классификатору 2013 года)**
05-611, 05-610
- 2.8. **Общее число публикаций (исключая тезисы докладов)**
89
- 2.9. **Телефон для связи**
+79134790492
- 2.10. **Электронный адрес**
vkрупчатnikov@yandex.ru
- 2.11. **Участие в проекте (буква Р – руководитель; буква И – исполнитель)**
Р

Участник проекта сообщает свои персональные данные Фонду и согласен на использование этих данных для информационного и финансового сопровождения своего проекта.

Подпись участника проекта _____

Форма 2. Данные о руководителе и основных исполнителях

- 2.1.1.1. **Фамилия**
Мартынова
- 2.1.1.2. **Имя (полностью)**
Юлия
- 2.1.1.3. **Отчество (полностью)**
Валерьевна
- 2.1.2.1. **Фамилия (на английском языке)**
Martynova
- 2.1.2.2. **Имя (на английском языке, полностью)**
Yuliya
- 2.1.2.3. **Отчество (на английском языке, полностью)**
- 2.2.1. **Дата рождения (арабскими цифрами – число.месяц.год)**
04.09.1983
- 2.2.2. **Пол (указать цифрой: 1 – мужской; 2 – женский)**
2
- 2.3.1. **Ученая степень (сокращенное название)**
кандидат физико-математических наук
- 2.3.2. **Год присуждения ученой степени**
2011
- 2.4.1. **Ученое звание (сокращенное название)**
без ученого звания
- 2.4.2. **Год присвоения ученого звания**
- 2.5.1. **Полное название организации – основного места работы**
ГУ "Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт"
- 2.5.2. **Сокращенное название организации - основного места работы**
СибНИГМИ
- 2.6. **Должность по основному месту работы (сокращенное название)**
нс
- 2.7.1. **Область научных интересов (ключевые слова, не более 15, строчными буквами, через запятые))**
- 2.7.2. **Область научных интересов (коды по классификатору 2013 года)**
05-611, 05-610
- 2.8. **Общее число публикаций (исключая тезисы докладов)**
4
- 2.9. **Телефон для связи**
+7-913-812-4780
+7-913-944-5613
- 2.10. **Электронный адрес**
FoxyJ13@gmail.com
- 2.11. **Участие в проекте (буква Р – руководитель; буква И – исполнитель)**
И

Участник проекта сообщает свои персональные данные Фонду и согласен на использование этих данных для информационного и финансового сопровождения своего проекта.

Подпись участника проекта _____

Форма 2. Данные о руководителе и основных исполнителях

- 2.1.1.1. **Фамилия**
Платов
- 2.1.1.2. **Имя (полностью)**
Геннадий
- 2.1.1.3. **Отчество (полностью)**
Алексеевич
- 2.1.2.1. **Фамилия (на английском языке)**
Platov
- 2.1.2.2. **Имя (на английском языке, полностью)**
Gennady
- 2.1.2.3. **Отчество (на английском языке, полностью)**
Alekseevich
- 2.2.1. **Дата рождения (арабскими цифрами – число.месяц.год)**
03.05.1963
- 2.2.2. **Пол (указать цифрой: 1 – мужской; 2 – женский)**
1
- 2.3.1. **Ученая степень (сокращенное название)**
кандидат физико-математических наук
- 2.3.2. **Год присуждения ученой степени**
1993
- 2.4.1. **Ученое звание (сокращенное название)**
без ученого звания
- 2.4.2. **Год присвоения ученого звания**
- 2.5.1. **Полное название организации – основного места работы**
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук
- 2.5.2. **Сокращенное название организации - основного места работы**
ИВМиМГ СО РАН
- 2.6. **Должность по основному месту работы (сокращенное название)**
снс
- 2.7.1. **Область научных интересов (ключевые слова, не более 15, строчными буквами, через запятые))**
- 2.7.2. **Область научных интересов (коды по классификатору 2013 года)**
05-511, 05-510, 05-519
- 2.8. **Общее число публикаций (исключая тезисы докладов)**
52
- 2.9. **Телефон для связи**
(38341) 26680
- 2.10. **Электронный адрес**
Platov.G@gmail.com
- 2.11. **Участие в проекте (буква Р – руководитель; буква И – исполнитель)**
И

Участник проекта сообщает свои персональные данные Фонду и согласен на использование этих данных для информационного и финансового сопровождения своего проекта.

Подпись участника проекта _____

Форма 2. Данные о руководителе и основных исполнителях

- 2.1.1.1. **Фамилия**
Юсупова
- 2.1.1.2. **Имя (полностью)**
Дина
- 2.1.1.3. **Отчество (полностью)**
Фаруковна
- 2.1.2.1. **Фамилия (на английском языке)**
Yusupova
- 2.1.2.2. **Имя (на английском языке, полностью)**
Dina
- 2.1.2.3. **Отчество (на английском языке, полностью)**
Farukovna
- 2.2.1. **Дата рождения (арабскими цифрами – число.месяц.год)**
18.08.1983
- 2.2.2. **Пол (указать цифрой: 1 – мужской; 2 – женский)**
2
- 2.3.1. **Ученая степень (сокращенное название)**
без ученой степени
- 2.3.2. **Год присуждения ученой степени**
- 2.4.1. **Ученое звание (сокращенное название)**
без ученого звания
- 2.4.2. **Год присвоения ученого звания**
- 2.5.1. **Полное название организации – основного места работы**
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук
- 2.5.2. **Сокращенное название организации - основного места работы**
ИВМиМГ СО РАН
- 2.6. **Должность по основному месту работы (сокращенное название)**
мнс
- 2.7.1. **Область научных интересов (ключевые слова, не более 15, строчными буквами, через запятые))**
физика океана, математическое моделирование, океаническая циркуляция
- 2.7.2. **Область научных интересов (коды по классификатору 2013 года)**
05-510
- 2.8. **Общее число публикаций (исключая тезисы докладов)**
2
- 2.9. **Телефон для связи**
+79537774553
- 2.10. **Электронный адрес**
yusupova.dina.f@gmail.com
- 2.11. **Участие в проекте (буква Р – руководитель; буква И – исполнитель)**
И

Участник проекта сообщает свои персональные данные Фонду и согласен на использование этих данных для информационного и финансового сопровождения своего проекта.

Подпись участника проекта _____

ФОРМА 3м. ДАННЫЕ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ, В КОТОРОЙ РЕАЛИЗУЕТСЯ НАУЧНЫЙ ПРОЕКТ

- 3.1. Сокращенное название:**
ИВМиМГ СО РАН
- 3.2.1. Полное название:**
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук
- 3.2.2. Полное название на английском языке:**
Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch RAS
- 3.3. Ведомственная принадлежность:**
Сибирское отделение РАН
- 3.4.1. Почтовый индекс:**
630090
- 3.4.2. Почтовый адрес:**
г. Новосибирск, просп. акад. Лаврентьева, д.6
- 3.5. Город, населенный пункт:**
Новосибирск
- 3.6. Код региона:**
54 - Новосибирская область
- 3.7. Идентификационный номер налогоплательщика (ИНН):**
5408100025
- 3.8. № ОГРН (основной государственный регистрационный номер):**
1025403656420

Подпись главного бухгалтера:

Руководитель организации подтверждает, что ознакомлен с условиями конкурса РФФИ и согласен на реализацию научного проекта, в случае его поддержки, через организацию.
Выполнение проекта будет осуществляться в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации и нормативными документами РФФИ.

Подпись руководителя организации:

М.П.

Форма 4. Содержание инициативного проекта

- 4.1. Фундаментальная научная проблема, на решение которой направлен проект**
Фундаментальная научная проблема состоит в изучении динамики шторм-треков и средней структуры основного состояния циркуляции атмосферы в разные сезоны, происходящие в последние десятилетия, а также исследование их возможных изменений в будущем. Проект связан с решением общей фундаментальной проблемы о реакции климатической системы на внешние притоки тепла (см. например, Leith, C. E., 1975; Dymnikov, V. P., and A. S. Gritsun, 2005; Gritsun, A., and G. Branstator, 2007) и понимания того, как формируются сезонные аномалии в годовом ходе переноса тепла, влаги, импульса и углового момента в Северном Полушарии.
- 4.2. Конкретная фундаментальная задача в рамках проблемы, на решение которой направлен проект (если данная задача является дополнением к теме работ, выполняемых авторами по плану своей организации, - указать название и гос. регистрационный номер этой темы)**
В данном проекте ставится задача оценки на основе математического моделирования климата, диагноза современных данных наблюдений и теоретического анализа влияния изменений климата на:
- динамику шторм – треков, их интенсивность и положение;
 - положение струи западного потока в средних широтах Северного полушария и динамику Арктических колебаний/Североатлантических колебаний (АК/САК);
 - изменение ячейки Гадлея, связанное со сдвигом ее границ (расширение или сужение зоны тропиков), изменение статической устойчивости в тропосфере и высоты тропопаузы.
- 4.3. Предлагаемые методы и подходы (с оценкой степени новизны; общий план работ на весь срок выполнения проекта)**
Основные объекты исследования
1. Шторм - треки составляют важный компонент климатической системы в средних широтах Северного полушария, оказывающий сильное влияние на погоду и климат Евразии и Северной Америки. Уникальные свойства шторм - треков являются результатом взаимодействия процессов, обусловленных особенностями поверхности суши, включая топографию, контрастом море - суша и аномалиями температуры поверхности океана. В результате потепления климата (по данным наблюдений и моделирования) происходит сдвиг шторм-треков к полюсу, а также изменения их интенсивности. Однако, полного понимания механизмов взаимодействия этих факторов и каждого в отдельности, а также обратных связей между ними, все еще нет. Такое понимание необходимо для надежных оценок возможных изменений климата в будущем.
 2. В тропиках ячейка Гадлея (ЯГ) является основной формой переноса тепла, импульса и углового момента из тропиков в субтропики, оказывая сильное влияние на формирование струйного течения в верхней тропосфере с относительно сильным градиентом температуры на его северном фланге.
 3. Атмосферная реакция (шторм – треков, ячейки Гадлея) на аномалии в структуре нагрева у поверхности, тесно связана с неоднородностью подстилающей поверхности и термохалинной циркуляцией океана.
- Методической основой проекта является математическое моделирование с помощью совместных моделей атмосферы и океана, теоретический анализ, диагноз с использованием статистических и динамических методов, сценарный подход к планированию численных экспериментов.
- В этом проекте предлагается подход к исследованию шторм – треков, потоков тепла и влаги к полюсу и в целом структуры общей циркуляции атмосферы и океана, основанный на использовании современных сложных моделей климатической системы и моделей промежуточной сложности с идеализированными параметризациями физических механизмов и краевых условий. Эта иерархия моделей позволяет интерпретировать результаты моделирования сложных моделей в терминах более простых конфигураций и делать соответствующие теоретические выводы.
- В проекте будут использованы:
- совместная модель океан-атмосфера (версия CM3), разработанная в ИВМ РАН (Володин Е.М., Дианский Н.А., 2006);
 - модель климатической системы промежуточной сложности, разработанная в Метеорологическом институте Гамбургского университета (Fraedrich et al., 2005),
 - модель Северной Атлантики и Тихого Океана (Е. Голубева, В. И. Кузин, Г.А. Платов, 2010).
- 4.4. Ожидаемые в конце года научные результаты (развернутое описание с оценкой степени оригинальности; форма изложения должна дать возможность провести экспертизу результатов)**
На основе моделирования при сценарии потепления климата (с помощью модели климатической системы промежуточной сложности) в 2013 году планируется получить следующие результаты:

- количественные характеристики изменчивости интенсивности и положения шторм – треков Северного полушария;
- оценка вклада в изменчивость ячейки Гадлея, обусловленного сдвигом ее границ (например, в силу расширения зоны тропиков), статической устойчивостью в тропосфере и высотой тропопаузы в тропиках;
- данные об изменении положения струи западного ветра и основных бароклинических зон в средних широтах;
- выводы о роли динамики Арктического и Североатлантического колебаний.

4.5. **Современное состояние исследований в данной области науки, сравнение ожидаемых результатов с мировым уровнем**

В последнее время появилось большое число работ по изучению реакции квазистационарного состояния атмосферы к термическому форсингу, который имеет следующие основные аспекты влияния на изменение климата: потепление верхней тропосферы в тропиках, выхолаживание в полярной стратосфере и увеличение температуры поверхности в полярной области.

- 1) Потепление в тропической тропосфере имеет двоякий эффект на внетропическую циркуляцию: сдвиг к полюсу шторм-треков и ослабление циркуляции Брюер - Добсона (Brewer–Dobson). Первый результат позволяет предположить, что нагревание в тропической тропосфере играет фундаментальную роль в дрейфе к полюсу шторм-треков, что было обнаружено экспертами Межправительственной группы по изменению климата (МГЭИК); последний результат находится в противоречии с тенденцией циркуляции Брюер –Добсона, обнаруженной в большинстве предыдущих экспериментов по изменению климата.
- 2) Выхолаживание в полярной атмосфере также вызывает сдвиг к полюсу шторм – треков в средних широтах и было показано, что эта реакция зависит от уровня и глубины форсинга. В стратосфере циркуляция Брюер – Добсона ослабляется в средних широтах, но усиливается в полярной области из-за аномальных потоков тепла на кромке полярного вихря.
- 3) Нагревание поверхности в полярной области вызывает сдвиг шторм-треков к экватору, т.е. реакция противоположна реакции шторм-треков на нагревание в тропосфере тропиков.
- 4) Знак тропосферной и стратосферной реакции к термическим форсингам устойчив к сезонным изменениям основного состояния, но величина и детальная структура реакции существенно зависит от сезона.

Внетропические шторм - треки. Шторм – треки средних широт играют важную роль в климатической системе Земли, перенося огромное количество энергии к полюсу и оказывая сильное влияние на климат. Климатическая изменчивость на временных масштабах от сезона до десятилетних колебаний также тесно связана с изменчивостью шторм-треков. Глобальное потепление, как ожидается, может привести сдвигу к полюсу внетропических шторм-треков. Как будет меняться их интенсивность - менее ясно, и, вероятно, это зависит от сезона. Важно дать оценку количественных изменений энергии внетропических вихрей в шторм - треках при переходе из «холодного» в «теплый» климат и наоборот, и понять, могут ли произойти резкие изменения в поведении циклонов в этих случаях.

Количество водяного пара в атмосфере очень чувствительно к изменениям температуры и увеличивается примерно на 20% при повышении температуры на 3К, если относительная влажность остается примерно постоянной. Модели климата дают прогноз изменений в распределении относительной влажности такой, что общее его изменение сравнительно невелико. Очень сложной задачей является полный учет и описание эффектов водяного пара в атмосфере и скрытой теплоты при теоретическом рассмотрении, например, таких явлений, как расширение ячейки Гадлея, сдвиг шторм - треков, изменение их интенсивности при изменении климата. Учитывая значительное увеличение в атмосферном водяном паре с ростом температуры, естественно спросить, как будут меняться количество и интенсивность осадков. Устойчивая количественная оценка ожидаемых изменений в осадках является основной проблемой моделирования климата. Для ее получения полезным является использование так называемого мультимодельного (с помощью нескольких моделей) исследования динамики атмосферы. Динамика, лежащая в основе поведения шторм – треков очень сложна и не дает простых ответов на то, какова будет реакция на потепление климата, несмотря на то, что существует ряд правдоподобных предложений о механизмах реакции (Held, 1993; Lorenz and DeWeaver , 2007; Chen and Held , 2007; Lu et al. ,2008; Kidston et al., 2010 и др.)

Циркуляция в тропиках, ее динамика в условиях глобальных изменений климата. В системе общей циркуляции атмосферы тропическая циркуляция - ячейка Гадлея (ЯГ) играет ключевую роль в формировании климата Земли, перенося энергию и угловой момент по направлению к полюсу, являясь результатом сложной трехмерной тропической циркуляции. Понимание того, как структура и интенсивность ЯГ и, связанная с этим, динамика засушливых субтропических зон могут меняться в условиях глобального потепления - представляет теоретический и прикладной интерес. Детальная структура ЯГ находится под влиянием многих факторов, включая источники

нагрева в тропиках, устойчивость в атмосфере, внетропическую вихревую динамику и влажность в атмосфере.

В данном проекте ставится задача исследования динамики ЯГ при глобальных изменениях климата, связанных с изменением средней температуры поверхности Земли. При исследовании данных наблюдений, начиная с 70-х годов 20-го века, было обнаружено, что скорость нагрева поверхности суши (в среднем) выше, чем скорость нагрева поверхности океана (в среднем). Следующий вопрос, который ставится в проекте, - в какой степени изменения сезонной динамики циркуляции в субтропиках и средних широтах связаны с динамикой источников в ЯГ (сигнал) на фоне внутренней их изменчивости? Данные реанализа атмосферы указывают на интенсификацию циркуляции Гадлея во второй половине 20-го столетия (Mitas and Clement, 2005). Однако, это не обнаруживается ни в данных радиозондирования, ни в большинстве совместных моделей общей циркуляции атмосферы и океана, ни в моделях общей циркуляции атмосферы (Mitas and Clement, 2005, 2006). Простые физические соображения (например, Held, Soden, 2006) показывают, что при глобальном потеплении должно происходить замедление тропической циркуляции. Такое замедление показывают модели общей циркуляции (Vecchi, Soden, 2006) и обнаруживается при анализе данных наблюдений циркуляции Уокера (Vecchi et al., 2006; Zhang, Song, 2006). Однако, неизвестно, проектируется ли это и на зонально-усредненную компоненту тропической циркуляции. При этом, анализ спутниковых наблюдений указывает на то, что границы ЯГ продвинулись по направлению к полюсу за последние 27 лет (Fu et al., 2006). Вопрос, является ли это частью реакции на глобальное потепление, остается нерешенным и требуется дополнительное исследование.

Несмотря на то, что аргументы, основанные на энергетическом и гидрологическом балансе, дают представление о том, как общий восходящий поток массы в тропической зоне меняется при изменении климата, они недостаточны, чтобы объяснить, как меняется результирующий вертикальный поток массы и интенсивность циркуляции Гадлея. Даже вблизи экватора, в области восходящей ветви ЯГ, результирующий вертикальный поток массы составляет только часть общего вертикального потока массы. Причина заключается в том, что циркуляция Гадлея определяется не только энергетическим и гидрологическим балансом, но и балансом углового момента.

Результаты моделирования с помощью моделей общей циркуляции атмосферы показывают, что степень влияния вихревого потока углового момента на интенсивность ЯГ меняется вместе с изменением климата. Наиболее сильное влияние наблюдается в случае холодного климата. Кроме вихревого потока углового момента, для того чтобы объяснить, как меняется интенсивность ЯГ, необходимо также учитывать нелинейную адвекцию момента средней меридиональной циркуляцией. Нелинейная адвекция момента средней меридиональной скоростью дает существенный вклад в баланс зонального момента верхней ветви ЯГ в летний период. В этом случае ЯГ состоит, в основном, из летнего Азиатского муссона (Dima, Wallace, 2003). Как показывают данные моделирования с помощью моделей общей циркуляции атмосферы, интенсивность ЯГ в меньшей степени чувствительна к вихревому потоку углового момента, чем ЯГ Земли в периоды равноденствия. Это является следствием того, что в моделях не учитывался перенос тепла в океане, где, в низких широтах, доминирует меридиональный поток тепла (Trenberth, Caron, 2001).

Характерные масштабы ячейки Гадлея. Данные, полученные в ходе международного сравнительного эксперимента (IPCC - AR4), дают основание утверждать, что реакция ЯГ к глобальному потеплению проявляется как в ослаблении циркуляции, так и в распространении границ ЯГ к полюсам. Существует ряд возможных механизмов, которые объясняют такое поведение ЯГ. Например, увеличению высоты ЯГ и соответствующему увеличению высоты тропопаузы в тропиках может быть дано объяснение на основе рассмотрения радиационных процессов (Held, 1982; Schneider, 2007).

Когда концентрация парниковых газов увеличивается (увеличивается оптическая толщина слоя для длинноволновой радиации), увеличивается высота эмиссии и, как правило, температура подстилающей поверхности. Вертикальный градиент температуры уменьшается, так как приближается к влажноадиабатическому градиенту температуры, который уменьшается с увеличением температуры. Все эти факторы дают вклад в увеличение высоты тропопаузы, что и наблюдается при моделировании. Высота тропопаузы в тропической зоне в последние десятилетия увеличилась на десятки метров (Seidel et al., 2001). Аналогичные оценки изменения высоты тропопаузы получаются при моделировании климатических сценариев.

В последние десятилетия наблюдается также увеличение широтной зоны, занимаемой ЯГ (например, Johanson, Fu, 2009). Какие механизмы лежат в основе этого явления – пока неясно.

Известно, что бароклинные вихревые потоки в средних широтах сдерживают широтное расползание ЯГ, но, как показано в работе (Held, Hou, 1980), при условии сохранения углового момента для верхней ветви ЯГ, расползания ячейки может не быть.

Циркуляция в ЯГ переносит энергию в занимаемой широтной зоне, которая должна быть такой, чтобы сбалансировать градиент температуры радиационного равновесия, так чтобы не нарушался баланс термического ветра. В работе (Held, Hou, 1980) получена формула, дающая оценку широты границы тропической зоны, занимаемой ЯГ, примерно в 30° , что соответствует реальному расположению ЯГ.

Остается открытым вопрос, в какой степени этот подход применим для оценки реакции циркуляции ЯГ к климатическим изменениям.

Оценка границы ЯГ зависит от статической устойчивости, что предполагает связь с вихревыми бароклинными потоками. В сухой атмосфере, увеличение статической устойчивости означает, что широта, где бароклинные вихри становятся достаточно глубокими и достигают верхней тропосферы, сдвигается к полюсу. Таким образом, глубокие бароклинные вихри также являются важным атрибутом увеличения широтной зоны ЯГ. Можно предположить также, что циркуляция ЯГ распространяется до широты на которой как меридиональные потоки энтропии, так и волновая активность, которая генерируется у поверхности, достигают верхней тропосферы, поскольку меридиональный поток энтропии пропорционален вертикальной компоненте волновой активности (Edmon et al., 1980).

Циркуляция в средних широтах и ее динамика в условиях глобального потепления.

Глобальное увеличение высоты тропопаузы тесно связано с изменением температуры выше и ниже тропопаузы. В условиях глобальных изменений климата в тропосфере происходит нагревание, а в стратосфере выхолаживание, что оказывает влияние на структуру зонального ветра в верхней тропосфере в субтропиках и в нижней стратосфере.

Это связано со структурой высоты тропопаузы: в тропиках высота тропопаузы достигает 16 км, во внетропической зоне высота тропопаузы приблизительно равна 12 км, выше которой происходит выхолаживание стратосферы. Таким образом, в промежуточном слое 12-16 км тропики нагреваются, а в средних широтах происходит выхолаживание, что приводит к увеличению меридионального градиента температуры и, в силу соотношения термического ветра, к увеличению зонального ветра над этим слоем и, следовательно, к усилению стратосферного вихря. Существуют некоторые теоретические представления о взаимодействии стратосферы и тропосферы в переходном слое, но до создания полной теории еще далеко. В работе (Chen G., Held, 2007) предложен механизм, который устанавливает связь между структурами нагревания и выхолаживания в переходном слое, соответствующими аномалиями зонального ветра и сдвигом струйных течений к полюсу. Центральную роль в этом механизме играет вихревая динамика в средних широтах - вихри перемещаются вместе с зональным потоком к востоку и в сторону экватора, достигая критической широты, где их фазовая скорость совпадает со скоростью зонального потока. В окрестности критической широты происходит разрушение волн, торможение потока - поглощение волновой активности. Связанное с изменением климата увеличение скорости ветра приводит к увеличению скорости волн, но быстрые волны не могут проникать далеко к экватору в область малых зональных ветров, что приводит к сдвигу струйного течения к полюсу. В терминах главных мод низкочастотных колебаний это приводит к преобладанию положительной фазы колебаний АК/САК (Арктическое Колебание/Североатлантическое колебание) (Wallace and Gutzler, 1981; Barnston and Livezey, 1987; Thompson D.W., Wallace J.M., 2000; Wallace J.M., 2000). Стратосферный полярный вихрь, в свою очередь, оказывает влияние на направление потока волновой активности: сильный полярный вихрь экранирует волновой поток, направляя значительную его часть в сторону экватора. Взаимодействие между зональным потоком и распространяющимися вверх планетарными волнами в стратосфере приводит к распространению вниз фазы возмущений среднего зонального потока. Это означает, что в стратосфере меняются динамические условия таким образом, что аномалии среднего потока распространяются вниз и могут оказывать влияние на циркуляцию в тропосфере. В последнее время такие исследования были выполнены как на основе данных наблюдений, так и на основе моделирования в контексте Арктического колебания (АК). В этих работах установлена связь между стратосферным полярным вихрем и тропосферной модой АК. В меньшей степени нам известен механизм обратного влияния. Однако можно выделить три механизма, которые можно положить в первое приближении в основу теории влияния стратосферы на циркуляцию в тропосфере: влияние потенциального вихря в стратосфере; взаимодействие между зональным потоком и планетарными волнами; перераспределение массы за счет вынужденной меридиональной циркуляции. Данные наблюдений показывают, что тенденция амплитуд главных мод атмосферной низкочастотной изменчивости, охватывающих слои атмосферы от поверхности до стратосферы, тесно связана с повышением температуры в высоких широтах Северного полушария. В работе (Ambaum M.H.P., Hoskins B.J., 2002.) предложена простая концептуальная

модель, которая объясняет, почему индекс АК/САК и мощность стратосферной струи связаны между собой и как они влияют на высоту тропопаузы и приземное давление во внетропической области. Было показано, что углубление Исландского минимума, непосредственно связанного с увеличением индекса АК/САК, сопровождается понижением высоты тропопаузы и отклонением к экватору волн Россби-Блиновой, распространяющихся из тропосферы. Вследствие этого эффект торможения стратосферной струи уменьшается, происходит ее усиление и генерация положительной аномалии потенциального вихря. Это, в свою очередь, приводит к увеличению высоты тропопаузы над полярной областью, вытягиванию столба тропосферного воздуха и, следовательно, к генерации относительного вихря и низкого давления. Результаты экспериментов по чувствительности циркуляции в тропосфере к вариациям стратосферного полярного вихря, которые были выполнены на основе модели общей циркуляции атмосферы, подтверждают данный механизм влияния стратосферы (Боровко И.В., Крупчатников В.Н., 2009).

Большую роль главные моды низкочастотной изменчивости на масштабах времени от года до нескольких десятилетий играют в динамике климата Евразии/Арктики. АК/САК связано с региональными аномалиями осадков и температуры. Например, обнаружено, что положительная фаза колебания АК/САК связана с теплыми и влажными зимами в Сибири и с холодными, сухими зимами в Гренландии и в северо-восточной части Канады. Океан играет активную роль в динамике АК/САК на декадных масштабах времени и более, межгодовая изменчивость АК/САК связана в большей степени с внутренней динамикой атмосферы. В последние три десятилетия наблюдается тенденция к преобладанию положительной фазы АК/САК и, вероятно, эта тенденция сохранится в будущем (как это показывают данные моделирования климата).

Современный климат характеризуется тем, что примерно половина общего потока энергии в средних широтах атмосферы составляет поток скрытого тепла. Это указывает на значительную роль водяного пара в вихревой динамике (Gall R., 1976; Дымников В.П., Фоменко А.А., 1981; Mak M., 1982; Tippet M., 1999; Pierrehumbert, 2002; Trenberth and Stepaniak, 2003; Крупчатников В.Н. и др., 2009). Вместе с тем, если влажность в тропиках играет ключевую роль в тропической динамике, то ее роль в динамике средних широт не столь очевидна. Из общих соображений ясно, что степень влияния влажности должна зависеть от того, какой климат рассматривается - более теплый или менее теплый, чем современный. В условиях более теплого климата ее значимость должна возрастать. Тем не менее, чтобы ответить на вопрос как будет меняться роль влажности в вихревой динамике средних широт в зависимости от климатических изменений, требуются дополнительные исследования.

Термическая стратификация тропосферы в средних широтах.

Термическая стратификация тропосферы в средних широтах оказывает сильное влияние на климатические характеристики, такие как вихревая кинетическая энергия, динамика шторм-треков, высота тропопаузы, меридиональный поток энергии. Динамика влажного воздуха влияет на стратификацию через выделение скрытого тепла в крупномасштабной конденсации и влажной конвекции. По данным моделей общей циркуляции атмосферы статическая устойчивость в средних широтах растет, когда климат становится «теплее» по отношению к современному климату, главным образом, благодаря усилению потока скрытого тепла к полюсу и к верхним слоям тропосферы. Но, оказывается, статическая устойчивость в средних широтах также растет, когда климат становится «холоднее» по отношению к современному климату. В условиях «холодного» климата количество водяного пара в средних широтах тропосферы мало, поэтому для «сухой» атмосферы параметр статической устойчивости растет вместе с ростом меридионального градиента приземной температуры (ссылка!). Но когда климат «теплеет», скрытое тепло играет все более важную роль в формировании стратификации в средних широтах благодаря потоку скрытого тепла за счет крупномасштабных вихрей, поэтому для более «теплого» климата эта теория становится менее пригодной (Schneider T., O’Gorman P.A., 2008).

Влияние температуры поверхности океана. Известно, что тропосферная динамика весьма чувствительна к расположению и знаку градиента возмущений температуры поверхности океана (ТПО). Например, струя западного переноса смещается в сторону фланга, где бароклинная волна усиливается за счет увеличения градиента аномалий ТПО, и она смещается в сторону от фланга, где бароклинность уменьшается. В экспериментах с зонально-симметричными источниками нагревания в низких широтах, ячейка Гадлея всегда усиливается в тропиках, но при этом ячейка Гадлея сокращается или расширяется в зависимости от протяженности меридиональной структуры нагревания. Тем не менее, остается открытым вопрос о вкладе зонально-асимметричных аномалий ТПО в тропиках, в средних и верхних широтах в реакцию атмосферы к структуре поверхностного нагревания.

В этом проекте нас будет интересовать влияние динамики температуры поверхности океана в тропиках (ТПОТ) в средних и верхних широтах на изменчивость шторм-треков и ЯГ. ТПОТ

меняется во времени и оказывает большое влияние на глобальную циркуляцию атмосферы. Наиболее значимые изменения ТПОТ связаны с одним из известных явлений естественной межгодовой изменчивости климата океана - Эль-Ниньо – Южное Колебание (ЭНЮК), имеющее теплую и холодную фазы. Прежде всего, ЭНЮК влияет на интенсивность тропического циклогенеза над акваториями Тихого океана. Однако, существующие исследования говорят о том, что процессы, связанные с ЭНЮК, тесно связаны с событиями, происходящими в других регионах. Например, в годы Эль-Ниньо - интенсивнее зимняя Исландская депрессия. Замечено, что в годы Ла-Нинья повышается активность тропического циклогенеза в Атлантическом океане. Кроме того, в ТПОТ наблюдается положительный тренд, связанный с потеплением климата. Эти тренды в тропическом Тихом океане проявляются в таких пространственных структурах ТПО, которые напоминают структуры ТПО, соответствующие теплой фазе ЮКЭН (Deser C., Phillips A.S., Hurrell J.W., 2004). В ряде исследований (Robinson W.A., 2007; Seager R., Harnik N., Kushnir Y., Robinson W., Miller J., 2003; Robinson W.A., 2002; Orlanski I., 2005; Yulaeva E., Wallace J.M., 1994) было показано, что тропическая зона сужается во время теплой фазы ЮКЭН, на что указывают смещение струйного течения, шторм - треков и границы ЯГ к экватору. Из сказанного выше следует, что наблюдаемые изменения в глобальной циркуляции атмосферы в условиях изменения климата имеют достаточно сложный характер и, пока, не существует удовлетворительной теоретической концепции того, как это происходит. Основная причина это дефицит качественных климатических наблюдений и несовершенство моделей климата. Надежные наблюдения могли бы дать детальное представление о природе изменений, верифицировать модели климата и проверить существующие теории.

Исследования, которые проводит коллектив участников данного проекта, находятся на современном мировом уровне, о чем свидетельствуют публикации, выступления на международных конференциях и сотрудничество с ведущими учеными, как в России, так и за рубежом.

Используемая литература.

- Дымников В.П., Лыкосов В.Н., Володин Е.М., Галин В.Я., Глазунов А.В., Грицун А.С., Дианский Н.А., Толстых М.А., Чавро А.И. Моделирование климата и его изменений // Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования, т. 2, Математическое моделирование. - М., Наука, 2005, с. 36-173.
- Дымников В.П., Грицун А.С. Современные проблемы математической теории климата // Известия РАН. ФАО, 2005, т. 41, № 3, с. 266-284.
- Дымников В.П., Лыкосов В.Н., Володин Е.М. Проблемы моделирования климата и его изменений // Известия РАН. ФАО, 2006, т. 42, № 5, с. 618-636.
- Володин Е.М., Дианский Н.А. Моделирование изменений климата в XX-XXII столетиях с помощью совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана // Известия РАН. ФАО, 2006, т. 42, № 3, с. 291-306.
- Мелешко В.П., Голицын Г.С., Говоркова В.А., Демченко П.Ф., Елисеев А.В., Катцов В.М., Малевский-Малевич С.П., Мохов И.И., Надежина Е.Д., Семенов В.А., Спорышев П.В., Хон В.Ч. Возможные антропогенные изменения климата России в XXI веке: оценки по ансамблю климатических моделей // Метеорология и гидрология, 2004, № 4, с. 38-49.
- Мелешко В.П., Катцов В.М., Говоркова В.А., Малевский-Малевич С.П., Надежина Е.Д., Спорышев П.В. Антропогенные изменения климата в XXI веке в Северной Евразии // Метеорология и гидрология, 2004, № 7, с. 5-26.
- Крупчатников В.Н., Кузин В.И., Голубева Е.Н., Мартынова Ю.В., Платов Г.А., Крылова А.И. Исследование гидрологии и динамики растительности климатической системы Северной Евразии и Арктического бассейна // Известия РАН. ФАО, 2009, т. 45, № 1, с. 123-144.
- Кузин В.И., Крупчатников В.Н., Фоменко А.А., Голубева Е.Н., Мартынова Ю.В., Платов Г.А. Исследование динамики климатической системы Северной Евразии и Арктического бассейна // Сибирский журнал вычислительной математики, 2009, т. 12, № 3, с. 289-295.
- Мартынова Ю.В. Оценка влияния вариации растительности Северного полушария на динамику температуры и влажности в XXI веке // Вычислительные технологии, 2008, т. 13, вып. 3, с. 124-129.
- Мартынова Ю.В., Крупчатников В.Н. Исследование чувствительности приземной температуры Евразии в зимний период к аномалиям снежного покрова. Роль стратосферы // Известия РАН. ФАО, 2010, т. 46, № 6, с. 1-13.
- Боровко И.В., Крупчатников В.Н. Влияние динамики стратосферного полярного вихря на циркуляцию в нижней тропосфере // Сибирский журнал вычислительной математики, 2009, т. 12, № 2, с. 145-160.
- Borovko I.V., Krupchatnikov V.N. The influence of the stratosphere polar vortex dynamics upon a low troposphere thermal stratification // Bull. Nov. Comp. Center, Series: Numerical Modeling in Atmosphere etc., iss. 12 (2010), pp. 1-7.

Kurbatkin G.P., V.N. Krupchatnikov (1979): Low order spectral atmosphere model with annual cycle of the climate. //Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics 15 (8): 451-460

Kurbatkin G.P., V.N. Krupchatnikov, N.I. Lenskinov (1979): Modelling of the annual cycle of the atmosphere using low order model. //Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics 16 (8): 451-460 (Russian, Nauka, Moscow, USSR).

Крупчатников В.Н., Курбаткин Г.П. Моделирование крупномасштабной динамики атмосферы. Численные методы // Новосибирск, Изд. ВЦ СО АН СССР, 1991, 169 с.

Крупчатников В.Н., Курбаткин Г.П. Моделирование крупномасштабной динамики атмосферы. Методы диагноза общей циркуляции // Новосибирск, Изд. ВЦ СО АН СССР, 1991, 114 с.

Sigmond, M. and J. F. Scinocca, The influence of basic state on the Northern Hemisphere circulation response to climate change. J. Clim., 2010, 23, 1434 - 1446.

Hoskins, B. J. and Valdes, P. J. On the existence of storm-tracks. Journal of the Atmospheric Sciences, 1990, 47, 1854–1864.

Chang, E. K. M. and I. Orlanski, On the dynamics of a storm track. 1993, J. Atmos. Sci., 50, 999 – 1015

Frisius, T., Lunkeit, F., Fraedrich, K., and James, I. N. Storm-track organization and variability in a simplified atmospheric global circulation model. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1998, 124, 1019–1043.

Chang, E. K. M., S. Lee, and K. L. Swanson. Storm track dynamics. , 2002, J.Climate, 15, 2163 - 2183.

Weaver, C. P., Efficiency of storm tracks an important climate parameter? The role of cloud radiative forcing in poleward heat transport. J. Geophys.Res., 2003, 108, 4018.

Yin, J. H., A consistent poleward shift of the storm tracks in simulations of 21st century climate. Geophys. Res. Lett., 2005, 32, L18701.

Chang, E. K. M., Diabatic and orographic forcing of northern winter stationary waves and storm tracks. 2009, //J. Climate, 22, 670 - 688.

Wu, Y., M. Ting, R. Seager, H.-P. Huang, and M. Cane, Changes in storm tracks and energy transports in a warmer climate simulated by the GFDL CM2.1 model. //Climate Dyn., 2010, 1–20.

Hwang, Y.-T., and D. M. W. Frierson, Increasing atmospheric poleward energy transport with global warming. //Geophys. Res. Lett., 2010, 37, L24807.

Hazeleger, W. Can global warming affect tropical ocean heat transport? //Geophys. Res. Lett., 2005, 32, L22701.

Hu, A., G. A. Meehl, W. M. Washington, and A. Dai, Response of the atlantic thermohaline circulation to increased atmospheric CO₂ in a coupled model. // J. Climate, 2004, 17, 4267–4279.

Brayshaw, D. J., B. Hoskins, and M. Blackburn. The storm - track response to idealized SST perturbations in an aquaplanet GCM. // J. Atmos. Sci., 2008, 65, 2842–2860.

Ring, M. J., and R. A. Plumb The response of a simplified GCM to axisymmetric forcings: Applicability of the fluctuation-dissipation theorem.// J. Atmos. Sci., 2008, 65, 3880–3898.

Ambaum M.H.P., Hoskins B.J. The NAO troposphere -stratosphere connection // J. Climate, 2002, v. 15, № 14, P. 1969-1978.

Barnston A.G., and Livezey R.E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // Mon. Wea. Rev., 1987, 115, 1083-1126.

Deser C., Phillips A.S., and Hurrell J.W. Pacific interdecadal climate variability: linkages between the tropics and the North Pacific during Boreal winter since 1900 // J Climate, 2004, 17, 3109–3124.

Dima I.M., and Wallace J.M. (2003), On the seasonality of the Hadley cell // J. Atmos. Sci., 60, 1522-1527.

- Gritsun, A., and G. Branstator, 2007: Climate response using a three-dimensional operator based on the fluctuation–dissipation theorem. *J. Atmos. Sci.*, 64, 2558–2575
- Leith, C. E., 1975: Climate response and fluctuation dissipation. *J. Atmos. Sci.*, 32, 2022–2026.
- Edmon H.J., Hoskins B.J., and McIntyre M.E. Eliassen-Palm cross sections for the troposphere // *J. Atmos. Sci.*, 1980, vol. 37, 2600–2616.
- Fraedrich K., Jansen H., Kirk E., Luksch U., and Lunkeit F., 2005, The Planet Simulator: Towards a user friendly model // *Meteorol. Zeitschrift*, 14, 299–304.
- Gall R. The Effects of Released Latent Heat in Growing Baroclinic Waves // *J. Atmos. Sci.*, 33, 1686–1701 (1976).
- Held I.M., and Hou A.Y. (1980), Nonlinear axially symmetric circulations in a nearly inviscid atmosphere // *J. Atmos. Sci.*, 37, 515–533.
- Held I.M., and Soden B.J. (2006), Robust responses of the hydrological cycle to global warming // *J. Climate*, 19, 5686–5699.
- Hurrell J. Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation // *Science*, 1995, v. 269, № 5224, pp. 676–679.
- Hurrell J., Kushnir Y., Ottersen G., et al. The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact // *Geophys. Monograph*, Washington, DC, American Geophysical Union, 2003, v. 134, pp. 1–35.
- Johanson C.M., and Fu Q. Hadley cell widening: Model simulations versus observations // *J. Climate*, 2001, vol. 22, 2713–2725.
- Kistler R., Kalnay E., Collins W., Saha S., White G., Woollen J., Chelliah M., Ebisuzaki W., Kanamitsu M., Kousky V., van den Dool H., Jenne R., and Fiorino M. The NCEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation // *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2001, v. 82, № 2, pp. 247–268.
- Lu J., Deser C., Reichler T. // *Geophys. Res. Lett.*, 36, (2009).
- Mak M. On Moist Quasi-Geostrophic Baroclinic Instability // *J. Atmos. Sci.*, 39, 2028 (1982).
- Mitas C.M., and Clement A. (2005), Has the Hadley cell been strengthening in recent decades? // *Geophys. Res. Lett.*, 32, L03809.
- Mitas C.M., and Clement A. (2006), Recent behavior of the Hadley cell and tropical thermodynamics in climate models and reanalyses // *Geophys. Res. Lett.*, 33, L01810.
- O’Gorman P.A., and Schneider T. (2008), Energy of Midlatitude transient eddies in idealized simulations of changed climates // *J. Climate*, 21, 5797–5806.
- Orlanski I. // *J. Atmos. Sci.*, 62, (2005), 1367.
- Pierrehumbert R.T. Principles of Planetary Climate. Cambridge University Press USA, 2010, pp. 1–652
- Robinson W.A. On the midlatitude thermal response to tropical warmth // *Geophys. Res. Lett.*, 29, (2002), 10.1029/2001GL014158.
- Robinson W.A., (2007), Eddy-Mediated Interactions Between Low Latitudes and the Extratropics // *The Global Circulation of the Atmosphere*. // Edited by Schneider T. and Sobel A.H., pp. 104–142, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Schneider T., (2007), The Thermal Stratification of the Extratropical Troposphere // *The Global Circulation of the Atmosphere*, edited by Schneider T., and Sobel A.H., pp. 47–77, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Schneider T., and O’Gorman P. A (2008), Moist convection and the thermal stratification of the extratropical troposphere // *J. Atmos. Sci.*, 65, 3571–3583.
- Seager R., Harnik N., Kushnir Y., Robinson W., Miller J. // *J. Climate*, 16, (2003), 2960.
- Seidel D.J., Ross R.J., Angell J.K., and Reid G.C. (2001), Climatological characteristics of the tropical tropopause as revealed by radiosondes // *J. Geophys. Res.*, 106, 7857–7878.
- Simmons A.J., and Hoskins B.J. (1978), The life cycles of some nonlinear baroclinic waves // *J. Atmos. Sci.*, 35, 414–432.
- Soden B.J., Held I. An assessment of climate feedbacks in coupled ocean – atmosphere models // *J. Climate*, 2005, vol. 19, p. 3354–3360.
- Takaya K., Nakamura H. Mechanisms of Intraseasonal Amplification of the Cold Siberian High // *J. Atmos. Sci.* 2005, v. 62, № 12, pp. 4423–4440.
- Tanaka H.L., Matsueda Mio. Analysis of Recent Extreme Events Measured by the Barotropic Component of the Atmosphere // *J. Meteor. Soc. Japan*, 2004, v. 82, № 5, pp. 1281–1299.
- Tippett M. Transient Moist Baroclinic Instability // *Tellus A*, 51, 273–288 (1999).
- Thompson D.W., Wallace J.M. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-Month variability // *J. Climate*, 2000, 13, 1000–1016.
- Trenberth K.E., and Caron J.M. (2001), Estimates of meridional atmosphere and ocean heat transports // *J. Climate*, 14, 3433–3443.
- Trenberth K.E., Fasullo J.T., and Kiehl J. (2009), Earth’s global energy budget // *Bull. Amer. Meteor.*

Soc., 90, 311-323.

Trenberth K.E., and Stepaniak D.P. Seamless poleward atmospheric energy transports and implications for the Hadley circulation // J. Climate, 2003, 16, 3705–3721.

Vecchi G.A., Soden B.J., Wittenberg A.T., Held I.M., Leetmaa A., and Harrison M.J. (2006), Weakening of tropical Pacific atmospheric circulation due to anthropogenic forcing // Nature, 441, 73-76.

Vecchi G.A., and Soden B.J. (2007). Global warming and the weakening of the tropical circulation // J. Climate, 20, 4316-4340.

Walker C.C., and Schneider T. (2005), Response of idealized Hadley circulations to seasonally varying heating // Geophys. Res. Lett., 32, L06, 813.

Wallace J.M., and Gutzler D.S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere Winter // Mon. Wea. Rev., 1981, 109, 784-812.

Wallace J.M. North Atlantic Oscillation/annular mode: Two paradigms - one phenomenon // Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 2000, 126, 791-806.

Yulaeva E., Wallace J.M. // J. Climate, 7, (1994), 1719.

Zhang M., and Song H. (2006), Evidence of deceleration of atmospheric vertical overturning circulation over the tropical Pacific // Geophys. Res. Lett., 33, L12, 701.

Zhang Y., Wallace J.M., Battisti D.S. // J. Climate, 10, (1997), 1004.

4.6. **Имеющийся у коллектива научный задел по предлагаемому проекту: полученные ранее результаты (с оценкой степени оригинальности), разработанные методы (с оценкой степени новизны)**

Ранее коллективом были получены результаты сценарного моделирования с помощью моделей разного уровня сложности, которые, в частности, показали увеличение среднегодовой температуры поверхности, осредненной по Северному полушарию к 2100 г. по сценарию A2 МГЭИК (IPCC, <http://www.ipcc.ch/>). Оказалось, что основной вклад в увеличение средней температуры поверхности вносят зимние месяцы; для летних месяцев положительный тренд незначителен, а в некоторых областях Северного полушария, например в Западной Сибири, имеется небольшой отрицательный тренд.

Было показано, что динамика растительности на территории Сибири согласуется с динамикой гидрологии поверхности и с источниками тепла на поверхности. В конце периода интегрирования по сценарию A2 на территории Сибири происходит существенное изменение в структуре растительности: доля поверхности, занимаемой растительностью падает с ~ 48% до 35%, доля леса уменьшается с 20% до 10% , а доля травы при этом растет и достигает 26%. В контрольном эксперименте доля леса и травы в конце периода интегрирования составляет 22% и 24% соответственно. При этом выросло альбедо с 0.3 до 0.4, и, более чем в два раза, уменьшилась эвапотранспирация, как следствие сокращения доли леса.

Смещение границы леса к югу вместе с резким увеличением глубины снежного покрова в осенний сезон в течение последней декады 21 века привело к увеличению альбедо поверхности в Сибири (особенно в зимний сезон) и выхолаживанию поверхности в данном регионе. Этим можно объяснить величину потепления (~1°K) Северного полушария в конце 21 века для сценария A2, которая оказалась меньше получаемой величины потепления в совместных моделях общей циркуляции атмосфера-океан и с моделями промежуточной сложности. При сравнении полученных результатов моделирования динамики растительности с более сложной моделью (Sitch, S., B. Smith, I.C. Prentice, A. Arneth, A. Bondeau, W. Cramer, J. Kaplan, S. Levis, W. Lucht, M. Sykes, K. Thonicke, and S. Venevski. 2003. Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ Dynamic Vegetation Model. Global Change Biology 9:161-185.) были получены аналогичные результаты эволюции основных типов растительности по сценарию A2.

Тенденция осадков в целом имеет отрицательный знак за исключением слабой положительной тенденции крупномасштабных осадков в летние месяцы. Для распределения крупномасштабных осадков оказалось, что имеется небольшое увеличение осадков в западной части Сибири и усиление локальных структур в поле осадков в летний период для сценария A2. В зимний период имеется слабое увеличение крупномасштабных осадков в Западной Сибири для сценария A2. Анализ кривых данных сценарного моделирования суммарного речного стока в устьях рек Обь и Енисей, в период с апреля до середины мая, показал, что суммарный расход воды для сценария A2 превышает расход по контрольному сценарию C, что согласуется с анализом осадков на водосборах этих рек. Это увеличивает вероятность паводков в весенний период для сценария A2 по сравнению с контрольным сценарием. В то же время, в летний период расход воды для сценария A2 меньше. Следовательно, в случае реализации сценария A2 можно предположить, что летний период будет характеризоваться большим дефицитом влаги в почве, чем в случае контрольного сценария.

Коэффициенты обратных связей между альбедо и приземной температурой имеют малые значения и вариации по широте в осенний и зимний сезон для сценария A2 по сравнению с контрольным сценарием. В весенний и летний сезон в среднем по области значения коэффициентов для двух

сценариев имеют разные знаки: отрицательный для сценария А2 и положительный для контрольного сценария. Из этого можно сделать вывод о низкой чувствительности альбедо к приземной температуре и слабую отрицательную обратную связь в случае сценария А2. В поведении коэффициентов обратных связей между влажностью верхнего слоя почвы и альбедо обнаружено, что в зимний и летний сезон они имеют разные знаки для контрольного сценария и сценария А2 в северных широтах. В летний сезон коэффициент обратной связи для сценария А2 имеет достаточно большие положительные значения (2.0-3.0) в северных широтах (альбедо растет с увеличением влажности почвы). Результаты сценарного моделирования показали, что из анализа ?-статистики для двух сценариев, можно сделать вывод, что для конвективных осадков происходит ослабление степени влияния влажности в почве в сценарии А2 по сравнению с контрольным экспериментом. В то же время для крупномасштабных осадков наблюдается усиление степени влияния влажности в почве - положительный тренд в сценарии А2. Это, в некоторой степени, согласуется с распределением CAPE в нижней тропосфере и структурой пограничного слоя в летний сезон.

На основе численного моделирования ранее была показана особая роль полярных районов Северного полушария в функционировании глобального обмена вод Мирового океана: распреснение вод субполярного круговорота приводит к сокращению интенсивности образования Североатлантической глубинной воды, что сопровождается замедлением меж океанского обмена вод.

Аномалии температуры и солености, способствующие повышению конвективной активности Северной Атлантики, усиливают глобальный обмен вод Мирового океана и способствуют интенсификации основных звеньев глобальной термохалинной циркуляции океана в поверхностном, промежуточном и глубинном слоях океана. С использованием модели морского льда CICE-4.11 (The Los Alamos Sea Ice Model, <http://oceans11.lanl.gov/trac/CICE>) разработана региональная модель океан-лед для исследования климатических процессов в Северной Атлантике и Арктике, принимающая участие в международном проекте сравнения моделей АОМIP (Arctic Ocean Model Intercomparison Project).

С помощью численного моделирования общей циркуляции атмосферы (ОЦА) и по данным реанализа исследованы межгодовые аномалии сезонной циркуляции, связанные с нарушением нормального годового хода - ослаблением или усилением циркуляции в течение зимы или лета и замедлением или ускорением сезонных переходов. Описаны физические механизмы эволюции в течение года сезонных аномалий Т850. Исследованы динамические условия, при которых в отдельные периоды (годы) существует связанность крупных зимних отрицательных аномалий Т850 над Евразией с положительными аномалиями в последующий летний сезон. Показана также роль крупных зимних отрицательных аномалий (усиленных динамическими эффектами) в стабилизации годового хода климата, - в усилении амплитуды годового хода аномалий Т850 континентального масштаба.

Члены этого коллектива являются специалистами в области моделирования и диагноза климата, динамики атмосферы и океана. Они активно участвуют в международных, российских и региональных проектах по изучению климата. Ими получен ряд новых результатов, которые докладывались на международных конференциях и опубликованы в рецензируемых изданиях, в том числе, и зарубежных.

К реализации проекта планируется также привлечь студентов старших курсов Новосибирского государственного университета.

4.7.1 **Список основных публикаций коллектива, наиболее близко относящихся к предлагаемому проекту (каждая с новой строки)**

Мартынова Ю.В. Оценка влияния вариации растительности Северного полушария на динамику температуры и влажности в 21 веке Вычислительные технологии. - Новосибирск: Институт вычислительных технологий СО РАН, 2008. - стр. 124 – 129.

Мартынова Ю.В., Кузин Виктор Иванович, Крупчатников Владимир Николаевич, Фоменко Александр Алексеевич, Голубева Елена Николаевна, Платов Геннадий Алексеевич. Исследование динамики климатической системы северной Евразии и Арктического бассейна Сибирский журнал вычислительной математики. - Новосибирск: Издательство ИВМиМГ СО РАН, 2009. - стр. 289 – 295. ISSN 1560-7526.

Мартынова Ю.В., Крупчатников Владимир Николаевич, Кузин Виктор Иванович, Голубева Елена Николаевна, Платов Геннадий Алексеевич, Крылова Алла Ивановна. Исследование гидрологии и динамики растительности климатической системы северной Евразии и Арктического бассейна Известия РАН. Физика атмосферы и океана. - Москва: МАИК-НАУКА, 2009. - стр. 123 – 144.

Крупчатников В.Н., Бровко И.В. Влияние динамики стратосферного полярного вихря на циркуляцию в тропосфере. // СибЖВМ, 2009, т. 12, № 2, с. Сибирский журнал вычислительной математики. - Новосибирск: Издательство ИВМиМГ СО РАН, 2009. - 2: - стр. 145-160. ISSN 1560-7526.

Мартынова Ю.В., Крупчатников Владимир Николаевич. Исследование чувствительности

температуры поверхности в Евразии в зимний период к аномалиям снежного покрова. Роль стратосферы Известия РАН. Физика атмосферы и океана.. - Москва: МАИК-НАУКА, 2010. - стр. 1 – 13.

Юсупова Д.Ф. Advantage of using QUICKEST scheme for the approximation of the transport operator in the equations of motion in the ocean circulation model // Numerical Modeling in Atmosphere, Ocean, and Environmental Studies. Bulletin of Novosibirsk Computer Center. - Novosibirsk: NCC Publisher, 2010.

О. А. Анисимов, С. В. Борщ, В. Ю. Георгиевский, Г. Э. Инсаров, Н. В. Кобышева, А. Г. Костяной, А. Н. Кренке, С. М. Семенов, О. Д. Сиротенко, И. Е. Фролов, Е. И. Хлебникова, Б. Г. Шерстюков

М. Д. Ананичева, Ю. А. Анохин, А. Е. Асарин, В. В. Асмус, М. В. Болгов, О. К. Борисова, А. А. Величко, А. В. Григорьев, З. М. Гудкович, П. Ф. Демченко, В. П. Карклин, А. В. Кислов, С. В. Клячкин, М. Д. Корзухин, В. А. Кровотынцев, В. Н. Крупчатников, В. Н. Кудеяров, С. А. Лавров, С. А. Лебедев, Г. В. Малкова, А. А. Минин, Л. Т. Мяч, Р. Е. Никоннова, Г. А. Носенко, А. В. Ольчев, А. В. Павлов, В. Н. Павлова, Т. В. Павлова, А. Я. Полунин, В. В. Попова, Е. Н. Попова, В. В. Поповнин, В. А. Романовский, А. А. Сирин, В. М. Смоляницкий, Н. А. Сперанская, Д. А. Стрелецкий, Ф. С. Терзиев, Ю. Г. Филиппов, С. В. Фролов, В. И. Харук, А. Л. Холодов, Т. Е. Хромова, А. Л. Шалыгин, Н. И. Шикломанов, А. Б. Шмакин

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА
ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ. Москва — 2012, с.512

Proshutinsky, A., Y. Aksenov, J. Clement Kinney, R. Gerdes, E. Golubeva, D. Holland, G. Holloway, A. Jahn, M. Johnson, E. Popova, M. Steele, and E. Watanabe. 2011. Recent advances in Arctic ocean studies employing models from the Arctic Ocean Model Intercomparison Project. Oceanography 24(3):102–113, <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2011.61>.

В. И. Кузин, Г. А. Платов, Е. Н. Голубева, В. В. Малахова, О некоторых результатах численного моделирования процессов в Северном Ледовитом океане / Известия РАН. Физика атмосферы и океана. - 2012. - С. 117-136 : - ISSN 0002-3515

4.7.2

Список основных (не более 5) публикаций руководителя проекта в рецензируемых журналах за последние 3 года (независимо от их тематики; каждая с новой строки)
Исследование гидрологии и динамики растительности климатической системы северной Евразии и Арктического бассейна // Физика атмосферы и океана. Известия РАН. Физика атмосферы и океана.. - Москва: МАИК-НАУКА, 2009. - стр. 123 – 144.

Влияние динамики стратосферного полярного вихря на циркуляцию в тропосфере. // СибЖВМ, 2009, т. 12, № 2, с.. Сибирский журнал вычислительной математики. - Новосибирск: Издательство ИВМиМГ СО РАН, 2009. - 2: - стр. 145-160. ISSN 1560-7526.

Исследование чувствительности температуры поверхности в Евразии в зимний период к аномалиям снежного покрова. Роль стратосферы // Физика атмосферы и океана. Известия РАН. Физика атмосферы и океана.. - Москва: МАИК-НАУКА, 2010. - стр. 1 – 13.

Some Directions in the Development of Dynamic Meteorology in Russia in 2007–2010 //Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, 2012, Vol. 48, No. 3, pp. 255–271.

4.8.

Перечень оборудования и материалов, имеющихся у коллектива для выполнения проекта
Гибридный кластер (НКС-30Т + GPU):

Кластер НКС-30Т (платформа hp BL2x220c):

576 (2688 ядер) процессоров Intel Xeon E5450/E5540/X5670,
пиковая производительность – 30 Тфлопс.

+

40 серверов SL390s G7 с тремя GPU M2090 каждый:

80 (480 ядер) процессоров CPU (X5670) и 120 (61440 ядер) процессоров GPU (Tesla M 2090),
пиковая производительность – 85 Тфлопс.

Общая пиковая производительность - 115 Тфлопс

Система хранения данных (СХД)

для НКС-30Т:

- сервер HP DL360 G6;
- полки расширения MSA2312sa и MSA2000;
- 36 Тбайт (max – 120 Тбайт).

Система резервного копирования на базе ленточной библиотеки HP MSL 4048.

4.9.1. Перечень оборудования и материалов, которые необходимо дополнительно приобрести, изготовить или отремонтировать для успешного выполнения проекта; обосновать необходимость его приобретения

два персональных компьютера (с мониторами, клавиатурой и мышью) с системными блоками приблизительно со следующими (не хуже) основными характеристиками у каждого: процессор Intel Core i7-860 2.80 GHz/материнская плата Asus P7P55D-E LX s1156 Intel P55 SATA-III USB 3.0/оперативная память 4 Гб: 2x2GB DDR3(10600)/жесткий диск 2 ТБ 3.5" Western Digital SATA-III/видеокарта Gigabyte PCI-E Radeon HD5770 900MHz 1024MB GDDR5 DVIx2+HDMI *GV-R577SO -1GD*/; с двумя операционными системами Windows 7 Professional 32-bit; и с двумя программами-антивирусами Kaspersky Internet Security 2012 Russian Edition.

Оборудование необходимо участникам проекта для подготовки и отладки программных кодов моделей перед запуском на супервычислителе, подготовки баз данных и визуализации результатов численных экспериментов.

4.9.2. Перечень командировок (в том числе зарубежных), необходимых для выполнения проекта. Обосновать их необходимость и указать приблизительную стоимость.

2 командировки в Москву: ИВМ РАН, ИФА РАН и МГУ. Для обсуждения результатов работы по проекту и выступления на семинарах (45000 руб).

1 командировка в Петрозаводск для участия в международной конференции CITES-2013 (25000 руб)

4.10.1. Сроки проведения экспедиции по тематике проекта, если это необходимо (месяц начала, год – месяц окончания, год)

Незаполнено - Незаполнено

4.10.2. Запрашиваемая стоимость экспедиции (в руб.)

4.10.3. Регион проведения экспедиции

4.10.4. Название района проведения экспедиции в составе региона