

### **План работ научного исследования**

по теме «Роль градационных потоков и облачности в долгопериодной климатической изменчивости Атлантики»

1. Приоритетное направление научно-технологического развития Российской Федерации: 20е - Связанность территории Российской Федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики.
2. Цель проекта: исследование роли облаков и радиационных потоков в изменчивости климата над Атлантикой и прилегающими континентами на основании высокоточных временных рядов характеристик облачности и потоков радиации за последние 150 лет и моделирования роли радиационных процессов в климатических изменениях.
3. Задачи проекта:
  - 3.1. Создание долговременных однородных сеточных массивов скорректированных характеристик облачности, включающих общую и нижнюю облачность, типы облаков, высоту нижней границы облаков, видимость и погодный код по данным судовых наблюдений за период с 1880 по 2021 гг.
  - 3.2. Разработка новых параметризаций потоков коротковолновой и длинноволновой радиации на поверхности океана на основе данных высокоточных измерений, многоканальных спутниковых наблюдений и достижений в области физики переноса излучения для облаков, а также тестирование параметризаций и их адаптация для расчетов с использованием данных судовых наблюдений.
  - 3.3. Расчет потоков коротковолновой и длинноволновой радиации на поверхности Атлантического океана на основе судовых наблюдений и новых адаптированных параметризаций за период с 1880 по 2021 гг. (включая формирование сеточных массивов с различным разрешением), валидация потоков радиации и проведение сопоставления с рядами спутниковых и инструментальных наблюдений за период последних десятилетий.
  - 3.4. Анализ долгопериодных трендов, а также декадной и мультидекадной изменчивости в потоках радиации на поверхности океана и характеристиках облачности, оценка роли радиационных потоков в формировании суммарного теплового баланса Атлантического океана на различных временных масштабах.
  - 3.5. Оценка реалистичности потоков коротковолновой и длинноволновой радиации в исторических экспериментах с климатическими моделями (проект CMIP6) и в столетних реанализах (20CR, ERA-CLIM) с целью оценки неопределенностей радиационного обмена в моделях и реанализах, связанных с параметризациями радиационного обмена и облаков.
  - 3.6. Анализ и интерпретация вынужденных и собственных мод изменчивости климата Атлантики, связанного с радиационными потоками и облачности и их влияния на климатическую изменчивость Европейского континента.

#### 4. Требования к выполняемым работам

##### 4.1. Требования к работам, выполняемым Получателем гранта:

- 4.1.1. Долговременные однородные сеточные массивы характеристик облачности должны включать общую и нижнюю облачность, типы облаков, высоту нижней границы облаков, видимость и погодный код по данным судовых наблюдений и реконструкцию потоков коротковолновой и длинноволновой радиации на поверхности Атлантического океана на основе судовых наблюдений и новых адаптированных параметризаций за период с 1880 по 2021 гг.
- 4.1.2. Для создания долговременного массива облачности и сеточных массивов характеристик облаков над океаном должна быть использована база данных морских гидрометеорологических наблюдений, основанная на архиве ICOADS и массиве наблюдений DWD.
- 4.1.3. В качестве спутниковых продуктов для валидации должны использоваться массивы ERBE, HOAPS4, J-OFURO, MODIS (<https://modis.gsfc.nasa.gov/data/>), а также данные об облачности и радиации высокого разрешения спутников SARAH и CMSAF (<https://www.cmsaf.eu/EN/Overview/OurProducts/>).
- 4.1.4. Для контроля качества исходной информации об облачности и дальности видимости и расчета погрешностей должны быть разработаны новые и адаптированы уже имеющиеся методы и алгоритмы.
- 4.1.5. Для расчета коротковолновой радиации должны использоваться параметризации, основанные на учете типа облачности и характеристик пропускания различными типами облаков, высоты нижней границы облаков и зависимости радиации от высоты солнца.
- 4.1.6. Расчет потоков длинноволновой радиации должен основываться на учете длинноволнового излучения поверхности океана, зависящего от температуры воды и противоизлучения атмосферы, определяемого характеристиками облачности и термодинамическими параметрами атмосферы.
- 4.1.7. Анализ долгопериодных трендов в характеристиках радиации должен осуществляться на основе регрессионных зависимостей с оценкой статистической значимости на основе критериев Стьюдента и Манн-Кендала.
- 4.1.8. Параметры декадной и мультидекадной изменчивости должны оцениваться на основе реконструированных рядов коротковолновой и длинноволновой радиации и применения метода спектрального анализа и сингулярных разложений.
- 4.1.9. Анализ потоков радиации в исторических модельных экспериментах должен включать в себя анализ долгопериодных трендов, а также декадной и мультидекадной изменчивости в потоках радиации на поверхности океана и характеристиках облачности.
- 4.1.10. Исследование долговременных климатических тенденций должно быть сделано с учетом оценки роли радиационных потоков в формировании суммарного теплового баланса Атлантического океана на различных временных масштабах.
- 4.1.11. Оценка роли радиационных потоков в формировании теплового баланса океана должна осуществляться с учетом турбулентных потоков явного и скрытого тепла, рассчитанных по интегральным аэродинамическим параметризациям.
- 4.1.12. Анализ собственных мод изменчивости коротковолновой радиации должен быть выполнен на основе выделения колебательных компонент на фоне долгопериодных линейных трендов.

##### 4.2. Требования к работам, выполняемым Иностраным партнером:

- 4.2.1. Разработанные параметризации потоков коротковолновой и длинноволновой радиации по данным прямых измерений должны быть протестированы в ходе исследовательских рейсов НИС ИО РАН и НИС «Polarstern» в Атлантическом океане в течение 2-го и 3-го года выполнения проекта (2023-2024), одновременно с проведением прямых измерений радиационных потоков.

- 4.2.2. Разработка параметризаций коротковолновой радиации должна включать учет зависимости радиационных потоков от характеристик пропускания атмосферы при различной оптической плотности облаков.
- 4.2.3. При разработке параметризаций коротковолновой и длинноволновой радиации должны использоваться полноразмерные снимки облачного покрова в различных диапазонах.
- 4.2.4. Валидация характеристик облачности и радиационных потоков должна быть осуществлена с использованием спутниковой информации в различных спектральных диапазонах и комбинированных продуктов, включающий спутниковые и модельные данные об облаках и радиации.
- 4.2.5. Оценка климатических тенденций в характеристиках облачности и радиации и атрибутирование сигналов с использованием DAMIP и RFMIP и исследование воздействия радиации и облачности на климатическую изменчивость должно быть выполнено с учетом ансамблевых расчетов, доступных из массивов DAMIP и RFMIP.
- 4.2.6. Анализ влияния динамики радиационных потоков и теплового баланса Атлантики на климатическую изменчивость Европейского континента должен быть выполнен для различных временных масштабов на основе взаимного корреляционного анализа и применения методов канонических корреляций.

№ этапа, сроки выполнения	Состав выполняемых работ	Ожидаемые научные и научно-технические результаты	Характеристика результата	Перечень разрабатываемых документов	Оборудование, планируемое к использованию
1	2	3	4	5	6
Этап I с 01.01.2022 по 31.12.2022	<b>Работы Получателя за счет средств гранта</b>				
	1.1 Контроль и предварительная обработка объединенной базы данных (ICOADS и DWD) об облаках и видимости над Атлантикой за 1880-2021 гг. и создание сеточных массивов характеристик облачности с разным разрешением (1880-2021 гг.) с оценками всех видов неопределенностей.	База данных скорректированных характеристик облачности за период 1880-2021 гг.  Методы и алгоритмы контроля качества исходной информации об облачности и дальности видимости и расчета погрешностей.  Сеточные массивы характеристик облачности над акваторией Атлантического океана за период 1880-2021 гг. с оценками неопределенностей.	Промежуточный	Раздел промежуточного отчета об исследованиях, включающий: - описание базы данных скорректированных характеристик облачности за период 1880-2021 гг.; - описание методов и алгоритмов для обработки исходной информации об облачности; - описание сеточных массивов характеристик облачности над акваторией Атлантического океана за период 1880-2021 гг. с оценками неопределенностей.	УНУ суперкомпьютер ЛОМОНОСОВ-II (НИВЦ МГУ им. М.В. Ломоносова)  Исследовательская Облачная башня-лаборатория (Cloud Tower Laboratory) (инфраструктура Иностранного партнера 1)

1.2 Подготовка по результатам реализации проекта материалов не менее 2 статей для их публикации в научных журналах, индексируемых в базах данных "Scopus" и (или) Web of Science Core Collection	Результаты проекта, опубликованные или принятые в печать в научных журналах, индексируемых в базах данных "Scopus" и (или) Web of Science Core Collection	Промежуточный	Раздел промежуточного отчета об исследованиях и приложение к нему, включающее не менее 2 копий опубликованных статей или материалы 2 статей и документальное подтверждение принятия их в печать в научных журналах, индексируемых в базах данных "Scopus" и (или) Web of Science Core Collection	
<b>Работы Получателя, выполняемые за счет средств из внебюджетных источников</b>				
1.3 Разработка методов расчета погрешностей индивидуальных наблюдений и количественной оценки неопределенностей осредненных параметров, включаемых в сеточные массивы	Методы расчета погрешностей индивидуальных наблюдений и количественной оценки неопределенностей осредненных параметров, включаемых в сеточные массивы.	Промежуточный	Раздел промежуточного отчета об исследованиях, включающий описание погрешностей индивидуальных наблюдений и количественной оценки неопределенностей осредненных параметров, включаемых в сеточные массивы	Суперкомпьютер Fujitsu PrimeQuest 3800B2 (инфраструктура Иностранного партнера 1)
<b>Работы Иностранного партнера 1 (Институт тропосферных исследований им. Лейбница, Германия), выполняемые за счет средств из внебюджетных источников</b>				
1.4 Инвентаризация наблюдательного компонента разработки усовершенствованных параметризаций.	Анализ массивов данных измерений облаков и радиации с использованием прецизионной аппаратуры на НИС.	Промежуточный	Аннотационный отчет Иностранного партнера 1	Суперкомпьютер Fujitsu PrimeQuest 3800B2 (инфраструктура Иностранного партнера 1)
<b>Работы Иностранного партнера 2 (Институт метеорологии Лейпцигского университета, Германия), выполняемые за счет средств из внебюджетных источников</b>				
1.5 Исследование механизмов, контролирующих коротковолновую и длиноволновую радиацию при различных оптических плотностях облачности	Результаты физического анализа зависимостей коротковолновой и длиноволновой радиации от оптической плотности облачности различных ярусов	Промежуточный	Аннотационный отчет Иностранного партнера 2	
<b>Прогнозируемый процент готовности основного/основных результатов проекта по итогам завершения отчетного этапа</b>				32

<b>Финансовое обеспечение проекта в 2022 г., млн. руб.</b>	<b>Средства гранта:</b>					14,0
	<b>Внебюджетные средства:</b>					18,0
	<b>в том числе:</b>					
	<b>Собственные средства Получателя гранта:</b>					2,0
	<b>Средства Иностранного партнера:</b>					16,0
Этап II с 01.01.2023 по 31.12.2023	<b>Работы Получателя за счет средств гранта</b>					
	2.1 Адаптация параметризаций коротковолновой и длинноволновой радиации и создание сеточных массивов радиационных потоков за период 1800-2020 гг. с оценками неопределенностей.	Адаптированные расчетные методы и программные продукты для расчета радиационных потоков. Сеточные массивы радиационных потоков в Атлантике за период 1800-2020 гг. с оценками неопределенностей.	Промежуточный	Раздел промежуточного отчета об исследованиях, включающий: - описание адаптированных расчетных методов и программных продуктов для расчета радиационных потоков, включая описание программных кодов; - описание сеточных массивов радиационных потоков в Атлантике за период 1800-2020 гг. с оценками неопределенностей.	УНУ суперкомпьютер ЛОМОНОСОВ-II (НИВЦ МГУ им. М.В. Ломоносова). Исследовательская станция «Melpitz» PollyNet (инфраструктура Иностранного партнера 1)	
	2.2 Подготовка по результатам реализации проекта материалов не менее 3 статей для их публикации в научных журналах, индексируемых в базах данных "Scopus" и (или) Web of Science Core Collection	Результаты проекта, опубликованные или принятые в печать в научных журналах, индексируемых в базах данных "Scopus" и (или) Web of Science Core Collection	Промежуточный	Раздел промежуточного отчета об исследованиях и приложение к нему, включающее не менее 3 копий опубликованных статей или материалы 3 статей и документальное подтверждение принятия их в печать в научных журналах, индексируемых в базах данных "Scopus" и (или) Web of Science Core Collection		
	<b>Работы Получателя, выполняемые за счет средств из внебюджетных источников</b>					
2.3 Тестирование параметризаций на основе данных независимых судовых наблюдений.	Результаты тестирования и оценки точности параметризаций.	Промежуточный	Раздел промежуточного отчета об исследованиях и приложение к нему, включающее протокол и акт сравнения параметризаций.	НИС «Академик Сергей Вавилов» Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Мобильная океанская система LACROS (инфраструктура Иностранного партнера		

					1)
	<b>Работы Иностранного партнера 1 (Институт тропосферных исследований им. Лейбница, Германия), выполняемые за счет средств из внебюджетных источников</b>				
	2.4 Разработка параметризаций потоков коротковолновой и длинноволновой радиации по данным прямых измерений и анализ характеристик облачности и радиационных потоков на поверхности в климатических моделях	Программные коды параметризаций	Промежуточный	Аннотационный отчет Иностранного партнера 1	Суперкомпьютер Fujitsu PrimeQuest 3800B2 (инфраструктура Иностранного партнера 1)
	<b>Работы Иностранного партнера 2 (Институт метеорологии Лейпцигского университета, Германия), выполняемые за счет средств из внебюджетных источников</b>				
	2.5 Валидация наблюдений за облаками и радиационными потоками с использованием спутниковой информации и комбинированных продуктов	Результаты валидации наблюдений за облаками и радиационными потоками с использованием спутниковой информации и комбинированных продуктов	Промежуточный	Аннотационный отчет Иностранного партнера 2	
	<b>Прогнозируемый процент готовности основного/основных результатов проекта по итогам завершения отчетного этапа</b>				66
<b>Финансовое обеспечение проекта в 2023 г., млн. руб.</b>	<b>Средства гранта:</b>				14,0
	<b>Внебюджетные средства:</b>				18,0
	<b>в том числе:</b>				
	<b>Собственные средства Получателя гранта:</b>				2,0
	<b>Средства Иностранного партнера:</b>				16,0
Этап III с 01.01.2024 по 31.12.2024	<b>Работы Получателя за счет средств гранта</b>				
	3.1. Исследование долговременных климатических тенденций и поверхностных радиационных потоков и анализ потоков радиации в исторических модельных экспериментах.	Оценка роли радиационных потоков в долгопериодной и межгодовой изменчивости теплового баланса. Оценка реалистичности воспроизведения облачности и радиации в исторических модельных экспериментах CMIP6 и в многолетних реанализах.	Конечный	Раздел заключительного отчета об исследованиях, включающий: - оценку роли радиационных потоков в долгопериодной и межгодовой изменчивости теплового баланса; - оценку адекватности воспроизведения облачности и радиации в исторических модельных экспериментах CMIP6 и в многолетних реанализах;	УНУ суперкомпьютер ЛОМОНОСОВ-II (НИВЦ МГУ им. М.В. Ломоносова) Суперкомпьютер Fujitsu PrimeQuest 3800B2 (инфраструктура Иностранного партнера 1)

				- карты характеристик трендов и интенсивности собственной изменчивости.	
3.2. Подготовка по результатам реализации проекта материалов не менее 3 статей для их публикации в научных журналах, индексируемых в базах данных "Scopus" и (или) Web of Science Core Collection	Результаты проекта, опубликованные или принятые в печать в научных журналах, индексируемых в базах данных "Scopus" и (или) Web of Science Core Collection	Конечный		Раздел заключительного отчета об исследованиях и приложение к нему, включающее не менее 3 копий опубликованных статей или материалы 3 статей и документальное подтверждение принятия их в печать в научных журналах, индексируемых в базах данных "Scopus" и (или) Web of Science Core Collection	
3.3. Подготовка по результатам реализации проекта материалов заявки на получение патента на изобретение и регистрация ее в Федеральном институте промышленной собственности (ФИПС)	Материалы заявки на получение патента на изобретение	Конечный		Раздел заключительного отчета об исследованиях и приложение к нему, включающее: - материалы заявки на получение патента на изобретение; - копию уведомления ФИПС о регистрации заявки на получение патента на изобретение	
<b>Работы Получателя, выполняемые за счет средств из внебюджетных источников</b>					
3.4. Исследование связи радиационных потоков с температурой поверхности океана и изменениями теплосодержания.	Оценка тенденций в океанских характеристиках, связанных с радиационным форсингом	Конечный		Раздел заключительного отчета об исследованиях, включающий оценку тенденций в океанских характеристиках, связанных с радиационным форсингом	Мобильная океанская система LACROS (инфраструктура Иностранного партнера 1)
3.5. Продолжение тестирования параметризаций в условиях независимых судовых наблюдений.	Результаты тестирования и оценки точности параметризаций	Конечный		Раздел заключительного отчета об исследованиях включающий: - результаты тестирования и оценки точности параметризаций; - протокол и акт сравнения параметризаций	Суперкомпьютер Fujitsu PrimeQuest 3800B2 (инфраструктура Иностранного партнера 1)
<b>Работы Иностранного партнера 1 (Институт тропосферных исследований им. Лейбница, Германия), выполняемые за счет средств из внебюджетных источников</b>					
3.6. Исследование влияния	Результаты исследования влияния	Конечный		Аннотационный отчет	Суперкомпьютер Fujitsu

	аэрозолей, облаков и радиации и обратных связей между ними в климатических моделях и наблюдениях	аэрозолей, облаков и радиации и обратных связей между ними в климатических моделях и наблюдениях		Иностранного партнера 1	PrimeQuest 3800B2 (инфраструктура Иностранного партнера 1)
<b>Работы Иностранного партнера 2 (Институт метеорологии Лейпцигского университета, Германия), выполняемые за счет средств из внебюджетных источников</b>					
	3.7. Оценка климатических тенденций в характеристиках облачности и радиации и атрибутирование сигналов с использованием DAMIP и RFMIP и исследование воздействия радиации и облачности на климатическую изменчивость.	Оценки воздействия радиации и облачности на климатическую изменчивость и дискриминация моделей.	Конечный	Аннотационный отчет Иностранного партнера 2	
<b>Прогнозируемый процент готовности основного/основных результатов проекта по итогам завершения отчетного этапа</b>					100
<b>Финансовое обеспечение проекта в 2024 г., млн. руб.</b>	<b>Средства гранта:</b>				14,0
	<b>Внебюджетные средства:</b>				18,0
	<b>в том числе:</b>				
	<b>Собственные средства Получателя гранта:</b>				2,0
	<b>Средства Иностранного партнера:</b>				16,0