

## Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

### «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

по этапу № 3

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: 14.616.21.0035

Тема: «Долгопериодное прогнозирование экстремальных погодных и климатических условий в Европе на основе моделирования изменений климата в высоком разрешении.»

Приоритетное направление: Рациональное природопользование (РП)

Критическая технология: Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения

Период выполнения: 21.08.2015 - 15.09.2017

Плановое финансирование проекта: 25.20 млн. руб.

Бюджетные средства 12.60 млн. руб.,

Внебюджетные средства 12.60 млн. руб.

Получатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им.П.П.Ширшова Российской академии наук

Иностранный партнер: Das Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung

Иностранный партнер: Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement

Ключевые слова: Взаимодействие океана и атмосферы, динамика климата, Северная Атлантика, экстремальные события, предсказуемость.

## 1. Цель проекта

1) Данный проект направлен на оценку чувствительности климатической модели к разрешению океанского блока и характеристики климатических изменений в Атлантико-Европейском секторе под влиянием океанского климатического сигнала. В рамках проекта впервые будет выполнен анализ результатов модельных экспериментов, включающий изменения динамики океана, характеристик взаимодействия океана и атмосферы, циклонической активности и влагопереноса и динамики экстремальных осадков на Европейском континенте.

2) Целью данного проекта является построение системы для долгопериодного прогнозирования экстремальных погодных и климатических условий в Европе на основе моделирования изменений климата в высоком разрешении. Эта цель предполагает использование высокоразрешающей модели FESOM-ECHAM6 (Институт Альфреда Вегенера) для выполнения экспериментов по моделированию климата с регионально очень высоким разрешением в Мировом океане, в первую очередь в Северной Атлантике. Результаты численных экспериментов будут валидироваться на основе использования данных о потоках тепла на границе океан-атмосфера, и высокоточных гидрологических наблюдений что позволит оценить эффект использования данной модельной конфигурации. Затем результаты модельных экспериментов при различных сценариях климатических изменений будет проанализированы с точки зрения динамики циклонов в Атлантико-Европейском секторе, их роли в переносе тепла и влаги и формирования экстремальных режимов тепла и увлажнения на Европейском континенте.

## 2. Основные результаты проекта

На третьем этапе были выполнены долгопериодные расчеты потоков энергии на границе океан-атмосфера по данным модельных экспериментов для современного климата и различных сценариев его изменений в будущем и по данным наблюдений и проведена валидация модельных экспериментов. Также были построены композиционные картины циклонической активности при различных интенсивностях теплообмена океана и атмосферы. Нами построены и протестированы алгоритмы расчетов турбулентного теплообмена с включением блоков параметризаций учета штилевых и штормовых условий и оптимизацией итерационных процедур и разработан комплекс программ, позволяющий выполнять массовые расчеты, как с использованием судовых наблюдений, так и по данным о параметрах приводного слоя атмосферы из реанализов и оперативных анализов, а также спутниковых данных. Комплекс программ включает блоки параметризации в рамках алгоритма COARE-4.0, дополненный блоками расчета в условиях штилевых и штормовых условий. Комплекс был

протестирован с применением данных буев и высокоточных инструментальных наблюдений. Подготовлен расчётный массив турбулентных потоков явного и скрытого тепла, а также коротковолновой и длинноволновой радиации за период 1950-2012 гг. Кроме того, был создан отдельный пилотный массив климатологий всех компонентов потоков тепла и массы на поверхности за период 2000-2012 годов, который был передан партнерам для международного сравнения в программе ОНС-А. Во-первых, потоки, рассчитанные по разным реанализам, существенно различаются характеристиками распределения. Об этом свидетельствуют в частности, существенные различия в пространственном распределении параметра локализации. Как следствие, между различными реанализами обнаружены различия в величинах экстремальных потоков, которые могут достигать  $200 \text{ Вт/м}^2$ . Выполнены глобальные расчеты всех компонентов потоков энергии их статистических характеристик на поверхности Мирового океана. Для этого были использованы метеорологические наблюдения ICOADS, подготовленные на первом этапе выполнения проекта, метеорологические параметры приводного слоя атмосферы из современных реанализов (NCEP-DOE, MERRA, ERA-Interim, JRA-55, NCEP-CFSR) за период 1979-2014 гг., а также данные спутниковых наблюдений (в основном основанные на микроволновых наблюдениях миссии SSM/I) из архивов HOAPS, SEAFUX, IFREMER, JOFURO.

Выполнено также детальное исследование долговременных климатологий атмосферных осадков над океанами и обоснован выбор базового массива осадков для использования в балансовых расчетах. Для этого были исследованы массивы осадков над акваторией Мирового океана по данным различных реанализов, а также спутниковых архивов TRMM и GPCP. Как и для потоков тепла, обнаруживая качественную согласованность, климатические характеристики осадков могут существенно различаться количественно, особенно в тропических широтах, где различия могут составлять до  $4 \text{ мм/день}$  даже для зонального осреднения и достигать  $10\text{-}20 \text{ мм/день}$  в отдельных районах.

На основании рассчитанных потоков тепла и импульса, а также параметров приводного слоя атмосферы нами был подготовлен массив граничных условий для использования в численных экспериментах с моделями циркуляции океана. В ходе выполнения проекта на основе данных реанализов Европейского Центра Среднесрочных прогнозов и Национального Центра Прогнозов Окружающей Среды США нами были разработаны поля граничных условий для проведения численных экспериментов с моделями общей циркуляции океана. Полученные оценки позволили выполнить интегрирование потоков по различным акваториям Мирового океана и получить устойчивые интегральные оценки теплового баланса.

В части построения композиционных картин циклонов при различных характеристиках энергообмена океана и атмосферы нами, рассчитаны эмпирические перцентили распределения  $LSHF$  в диапазоне от 5-го до 99-го перцентилей и оценили долю потери тепла за счет потоков выше этих перцентилей. Самые высокие значения среднеянварского суммарного  $LSHF$  около  $500 \text{ Вт/м}^2$  в Гольфстриме и находятся между  $250$  и  $300 \text{ Вт/м}^2$  в море Лабрадор. Пространственная структура  $LSHF$  хорошо согласуется как с климатологией турбулентных потоков тепла в других реанализах и в смешанных продуктах, таких как OAFLUX. Была проанализирована доля интегрированного в течение месяца суммарного потока тепла, ушедшего из океана в атмосферу из-за событий выше 90-го перцентилей (экстремальных событий): эту меру можно назвать относительной экстремальностью турбулентного потока тепла. Пространственная структура относительной экстремальности  $LSHF$  довольно сильно отличается от таковой для среднего  $LSHF$ . Наибольший вклад в суммарную океанскую теплоотдачу за счет экстремальных турбулентных потоков тепла (выше 90-го перцентилей) наблюдается к востоку от Ньюфаундленда, в центральных частях Северной Атлантики, а также в Исландском и Гренландском морях, где 10% случаев (выше 90-го перцентилей) обеспечивают от 40% до более чем 60% общей январской потери тепла в регионе.

Для описания атмосферных синоптических условий, приводящих к возникновению потоков тепла различной интенсивности, в том числе экстремально высоких значений  $LSHF$ , проанализированы несколько случаев возникновения экстремально высоких и относительно низких аномалий  $LSHF$  в Северной Атлантике. Показано, что интенсивная циклоническая деятельность в средних широтах Северной Атлантики может вызвать и сильный, и слабый турбулентный теплообмен между океаном и атмосферой. В случае, когда в тылу циклона присутствует антициклон, образуя тем самым зону взаимодействия циклон-антициклон с сильными градиентами давления и адвекцию очень холодного и сухого воздуха с севера, поверхностные потоки тепла будут высокими и могут достигать экстремальных значений.

Для анализа атмосферных условий, приводящих к формированию  $LSHF$  различной интенсивности, разработана методология построения композитных картин характеристик атмосферной циркуляции в области возникновения потоков тепла различной интенсивности. Создана новая ортогональная сетка, позволяющая приближение виртуального полюса, когда координаты ячеек сетки пересчитываются с учетом нового положения полюса. Построены композитные картины атмосферных параметров и  $LSHF$  для 5 регионов Северной Атлантики. Композитные картины для высоких и экстремально высоких потоков тепла характеризуются локализованным в центре максимумом суммарного потока тепла от  $250 \text{ Вт/м}^2$  до  $500 \text{ Вт/м}^2$ . Для всех районов отличительной чертой является совпадение положения сильно градиентной зоны  $SLP$  и максимума  $LSHF$ . В море ГИН происходит интенсификация области низкого давления – циклона, за счет формирования сильно градиентной зоны с областью высокого давления на северо-западе. Во всех регионах сильно градиентная зона была вызвана областью взаимодействия циклона и антициклона, которые образовали атмосферный диполь.

Показано, что самые сильные поверхностные вариации турбулентного теплообмена между океаном и атмосферой, классифицируемые как экстремальные, наблюдаются при прохождении атмосферного диполя (циклона с замыкающим антициклоном) в зоне их взаимодействия, где адвекция холодного и сухого воздуха с севера при высоких скоростях ветра усиливает вертикальные градиенты температуры и влажности. Однако, это не относится к циклонам, сгруппированным в серии: их тыловые части вероятно не вызывают значительных вариаций в потоках явного и скрытого тепла, подразумевая, что не все циклоны в средних широтах Северной Атлантики связаны с экстремальными значениями  $LSHF$ .

Наши результаты являются пионерскими в сопоставлении с мировым уровнем как в исследовании крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы, так и в практике численного моделирования долгопериодных изменений океанской циркуляции. Существующие подходы в части определения изменчивости в характеристиках потоков тепла на поверхности океана, хотя и основаны на достаточно точных параметризациях процессов обмена, практически не учитывают влияние ошибок репрезентативности на климатическую изменчивость. Наш подход гарантирует гораздо более точные оценки средних за счет применения осреднения по функциям распределения. Во-вторых, он не предполагает изначально применения процедур апостериорной статистической обработки для подавления пространственных шумов, связанных с неоднородностью данных наблюдений. Предлагаемый нами подход к построению глобальных климатологий включает четкие количественные критерии для определения достоверности полученных полей. Эти критерии основаны на выполнении требований замыкания глобальных энергетических балансов и адекватного воспроизведения региональных балансов. Это позволило получить долгопериодные ряды потоков энергии на поверхности Мирового океана, что было невозможно в рамках ни одного из

существующих подходов, использующих прямое осреднение характеристик взаимодействия и потоков с последующим апостериорным статистическим анализом. В этом смысле наша работа учитывает все основные достижения в области методов расчетов тепловых потоков на поверхности океана и объективного анализа полей. С другой стороны, она существенно превосходит существующие исследования в области физической обоснованности применяемых методов и достоверности получаемых результатов.

### **3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки**

На данном этапе РИД не разрабатывались

### **4. Назначение и область применения результатов проекта**

1) На основе результатов проекта будут выполнены прогнозы климатических изменений интенсивности и повторяемости экстремальных погодных явлений на территории Европы с достоверностью, превышающей достоверность существующих прогнозов, выполненных на основе моделей, включающих океанский блок в грубом разрешении. Эти результаты войдут в следующий отчет Межправительственной Группы Экспертов по Климатическим Изменениям (МГЭИК) и в национальный Российский Доклада об изменениях климата.;

2) Полученные результаты позволят разработать рекомендации для государственных органов по долгосрочному стратегическому планированию экономики, организации энергетики, планированию структурных преобразований сельского хозяйства с учетом влияния процессов взаимодействия океана и атмосферы на климат России;

3) На международном уровне результаты проекта будут использоваться страховыми компаниями, в первую очередь осуществляющими вторичное страхование от ущерба от природных рисков (Munich Re, Swiss Re). У нас уже имеется опыт эффективного сотрудничества с этими компаниями в рамках проекта IMILAST. Кроме того, результаты проекта станут важны для оптимизации работ по предупреждению чрезвычайных ситуаций, связанный с катастрофическими наводнениями, например в Германии и Франции, а также для оценки запасов и оптимизации использования пресной питьевой воды как речного, так и грунтового происхождения. В условиях аномальных осадков и экстремальных засух эти ресурсы подвергаются стрессам, преодолеваемым годами. Это особенно важно для Германии, где цена питьевой воды одна из самых высоких в мире.

### **5. Эффекты от внедрения результатов проекта**

Результаты проекта станут важны также для Министерства по чрезвычайным ситуациям в части оптимизации деятельности по предупреждению последствий природных катастроф и планированию соответствующих мероприятий. Результаты проекта будут также переданы для использования компаниям, ведущим разведку и добычу полезных ископаемых, включая эту деятельность в Арктике (Роснефть, ЛУКОЙЛ) и осуществляющих строительные операции в различных регионах европейской России.

### **6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта**

- 1) Создание новых моделей прогноза климата и оценки влияния его изменений на хозяйственную деятельность
- 2) Новые базы данных о характеристиках климатических изменений.

### **7. Наличие соисполнителей**

Институт географии РАН, 3 этап - 01.07.2016-31.12.2016

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт океанологии им.П.П.Ширшова Российской академии  
наук

ВРИО директора

*(должность)*

*(подпись)*

Соков А.В.

*(фамилия, имя, отчество)*

**Руководитель работ по проекту**

заведующий лабораторией

*(должность)*

*(подпись)*

Гулев С.К.

*(фамилия, имя, отчество)*

**М.П.**