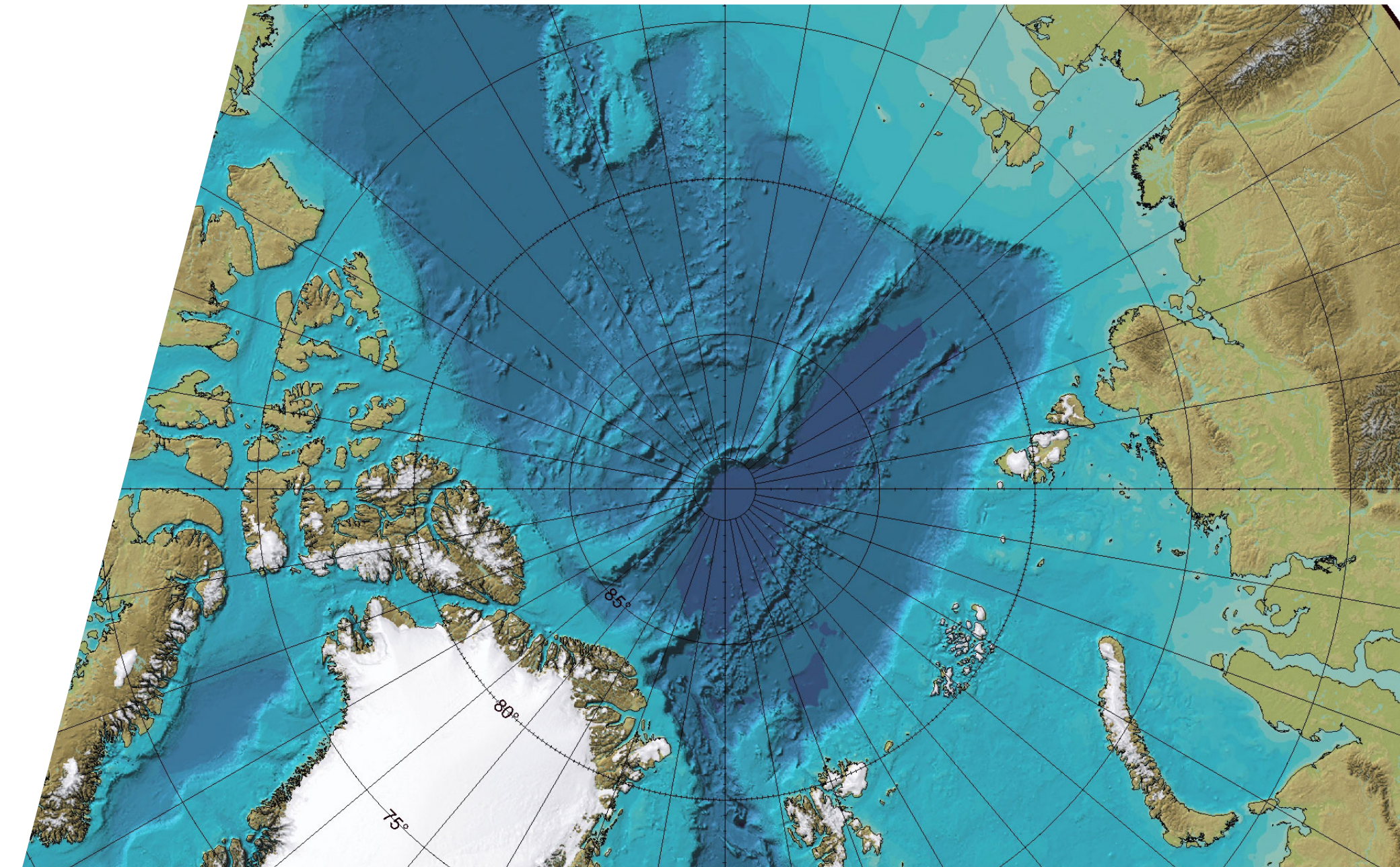




# Комплексная система климато-экологического мониторинга, разработка и организация производства новой техники для мониторинга и мультимасштабное моделирование состояния криосистемы Российской Арктики



Стратегическая академическая единица

Школа естественных наук и математики

Инженерная школа информационных технологий, телекоммуникаций и систем управления

Научное направление

Мониторинг и моделирование климата и экосистем, вычислительные методы и алгоритмы решения экологических задач

Разработка когнитивных радиоэлектронных, телекоммуникационных и навигационных систем, сегментов систем связи нового поколения, а также интегрированные со спутниковыми каналами системы и робототехнические системы



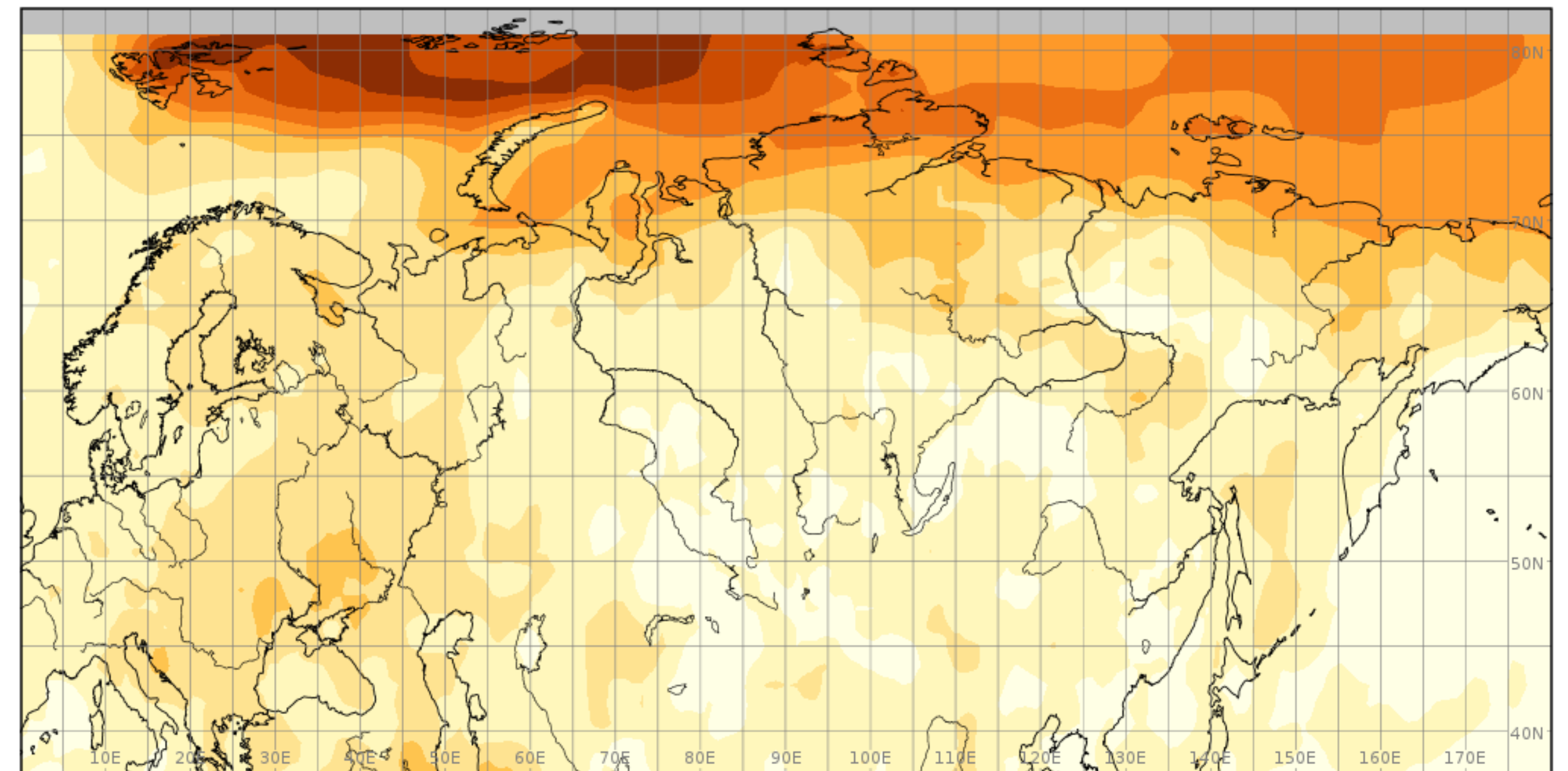
## **Мониторинг, моделирование климата и вечной мерзлоты — научный базис для принятия стратегических решений при освоении Арктики**

**Глобальная решаемая задача:** создание технологии мониторинга, мультимасштабного прогнозирования климата и динамики криосистемы Арктики.

Достоверная информация об изменении климата и таянии вечной мерзлоты необходима для планирования социально-экономической деятельности в Арктике.

В результате выполнения проекта будут получены актуальные данные (изотопические трассеры водного цикла, вертикальные температурные профили вечной мерзлоты на ключевых участках) для верификации современных глобальных климатических суперкомпьютерных моделей. С использованием верифицированных климатических моделей будет сделан прогноз климата, таяния арктических льдов и динамики вечной мерзлоты в Арктике на ближайшие десятилетия.

Потепление последнего десятилетия по отношению к 80-м годам





## **Научный руководитель проекта**

**Жён Жузель (Jean Jouzel), Франция**

Жён Жузель всемирно известный климатолог, со-лауреат Нобелевской премии мира 2007 г., лауреат премии Ветлесена (Vetlesen Prize) 2012 г., являющейся эквивалентом Нобелевской премии в Науках о Земле, создатель метода «изотопического палеотермометра», благодаря которому удалось надежно изучить климат прошлого Земли за последние 800 тысяч лет по ледяным кернам из Антарктиды и Гренландии.

Организатор и первый директор лаборатории наук о климате и окружающей среде Института Пьера Симона Лапласа (Франция), экс-директор Института Пьера Симона Лапласа.

Индекс Хирша — 78, индекс цитирования в Web of Science – более 30 тысяч. Жён Жузель автор более 500 научных статей, из которых более 50 опубликованы в престижнейших мировых научных журналах Nature и Science.

С начала восьмидесятых годов активно участвовал в грантах ЕС. В девяностых годах был генеральным руководителем первых двух грантов европейской программы по изучению ледяных кернов Антарктиды (EPICA) на 8 и 3 млн евро, при общей стоимости проекта EPICA за весь период около 30 млн евро, а затем участвовал в последующих EPICA 3 и EPICA-MIS в качестве лидера рабочих программ. С 2009 г. руководил французской частью проекта европейского консорциума по созданию «Сообщества знаний и инноваций в области смягчения последствий изменения и адаптации к климатическим изменениям» (общая стоимость проекта 100 млн евро).

Член правления европейского консорциума.

С 2011 по 2013 гг. руководитель проекта УрФУ «Влияние изменения климата на водный и углеродный циклы в зоне таяния вечной мерзлоты» (мегагрант Минобрнауки РФ по постановлению № 220 правительства РФ), в рамках которого была организована лаборатория физики климата и окружающей среды в САЕ ИЕНиМ УрФУ. В настоящее время научный руководитель данной лаборатории и Председатель международного Академического совета УрФУ.





## Соруководитель проекта

**Захаров Вячеслав Иосифович**, д. ф.-м. н., зав. лабораторией физики климата и окружающей среды, профессор кафедры астрономии, геодезии и мониторинга окружающей среды САЕ ИЕИМ УрФУ.

### Основные научные результаты

Автор модели взрывного парникового эффекта (Zakharov V.I. (2008): Regarding Greenhouse Explosion, Chapter 6. pp. 107-132, in book: Global climatology and ecodynamics — Anthropogenic changes to Planet Earth. Eds: Cracknell A., Krapivin V., Varotsos C. // Springer/PRAXIS, Chichester, UK; докторская диссертация «Исследование устойчивости теплового режима поверхности Земли и расчет параметров атмосферы по ИК спектрам высокого разрешения», УрГУ 2009 г.).

Соавтор пионерского метода для спутникового зондирования относительного содержания тяжелой воды в атмосфере, который в настоящее время является новым активно развивающимся направлением в области глобального мониторинга трассеров атмосферного водного цикла. Zakharov V. I., K. G. Gribanov, G. Hoffmann, and J. Jouzel (2004): Latitudinal distribution of the deuterium to hydrogen ratio in the atmospheric water vapor retrieved from IMG/ADEOS data // Geophys. Res. Lett., 31, L12104.

Соавтор пионерского метода решения обратной задачи дистанционного зондирования атмосферы для определения относительного содержания изотопологов H<sub>2</sub>(180) и H<sub>2</sub>(160) в водяном паре, при использовании спектров пропускания безоблачной атмосферой солнечного излучения в ближней инфракрасной области, измеряемые ИК-Фурье-спектрометрами высокого разрешения наземного базирования. N. V. Rokotyap, V. I. Zakharov, K. G. Gribanov, M. Schneider, F.-M. Bréon, J. Jouzel, R. Imasu, M.

Werner, M. Butzin, C. Petri, T. Warneke, and J. Notholt (2014): “A posteriori calculation of  $\delta^{18}O$  and  $\delta D$  in atmospheric water vapour from ground-based near-infrared FTIR retrievals of H<sub>2</sub>160, H<sub>2</sub>180, and HD160” // Atmos. Meas. Tech., 7, 2567-2580, 2014.

### Опыт руководства научными проектами

Руководитель/Со-руководитель международных проектов:

IMG/ADEOS Interferometric Monitor for Greenhouse Gases on Advanced Earth Observing Satellite, NASDA, Japan (project №1117 (1994-1998 гг. — руководитель);

INTAS CASUS project №03-51-6294 «The effect of climate change on the pristine peatland ecosystem and (sub)actual carbon balance of the permafrost boundary zone in Subarctic Western Siberia” (2004-2007 гг. — со-руководитель от УрГУ);

Руководитель проектов РФФИ: № 03-07-96836 (2003-2004); № 09-01-00474-а (2009-2011); № 12-01-00801-а (2012-2014); № 15-01-05984-а (2016-2017 гг.).

Со-руководитель: мегагрант Правительства РФ по проекту: «Влияние изменения климата на водный и углеродный циклы в зоне таяния вечной мерзлоты» договор № 11.G34.31.0064, 2011-2013 гг.

Суммарный бюджет выполненных проектов более 200 млн руб.





## Наши достижения



В УрФУ разработаны базовые методы и программное обеспечение для прямых и обратных задач переноса ИК-излучения в безоблачной слабо-аэрозольной атмосфере для целей определения вертикальных профилей температуры и концентраций парниковых газов в атмосфере из данных гиперспектрального зондирования атмосферы Земли ИК-Фурье-спектрометрами высокого разрешения спутникового и наземного базирования. Методы и алгоритмы реализованы в оригинальном ПО FIRE-ARMS для ОС Linux, отвечающем лучшим мировым стандартам. ПО FIRE-ARMS используется в таких организациях как НИИ атмосферы и океана Университета Токио (Япония), Институт космических исследований РАН и других.

У коллектива имеется успешный опыт применения разработанных методов и алгоритмов в рамках международных проектов для решения задач мониторинга метана, углекислого газа и изотопического состава водяного пара в атмосфере ИК-спектрометрами спутникового базирования (IMG, AIRS, TANSO-FTS, IASI). Атмосферная Фурье-станция УрФУ в Коуровке является единственной из трех российских станций, которая расположена в зоне с фоновой атмосферой в лесной экосистеме, выполняющая эксперименты по зондированию парниковых и загрязняющих атмосферу газов для верификации/валидации данных японского спутника GOSAT.

Два члена коллектива авторов проекта из УрФУ совместно с руководителем проекта Ж.Жузелем в 2004 г. предложили пионерский метод для спутникового зондирования относительного содержания тяжелой воды в атмосфере, который в настоящее время является новым активно развивающимся направлением в области глобального мониторинга трассеров атмосферного водного цикла.

Коллективом авторов проекта развиты оригинальные методы многомасштабного математического моделирования, например, метод функции стохастической чувствительности. Разработаны методы математического описания новых стохастически индуцированных режимов, переходов и состояний климата (в том числе катастрофических сценариев) с учётом воздействия аддитивных и параметрических шумов, моделирующих флуктуации различных геофизических параметров, случайные природные процессы и деятельность человека. Новый проект является развитием успешно реализованного в 2011–2013 под руководством Жёна Жузеля проекта «Влияние изменения климата на водный и углеродный циклы в зоне таяния вечной мерзлоты» (мегагрант Минобрнауки РФ по постановлению № 220 правительства РФ).

Коллектив авторов проекта из УрФУ имеет большой опыт практической реализации НИР и НИОКР, связанных с тематикой проекта. Например, договора с ФГУП «ЦЭНКИ»: № Н764.210.017/13 на выполнение СЧ ОКР «Создание обеспечивающих объектов, средств и систем наземной космической инфраструктуры космодрома Восточный, в части создания системы аэрологического зондирования атмосферы» (стоимость 99 млн руб.), № Н764.210.015/14 на выполнение составной части ОКР: «Сборка средств измерения метеопараметров, модернизация системы обмена, обработки и представления данных аэрологического зондирования. Поставка на космодром Байконур. Участие в испытаниях».

Коллектив авторов проекта из УрФУ за последние пять лет имеет более 200 научных статей, индексируемых в базах Scopus и Web of Science, выполнил 46 научных проектов и договоров, зарегистрировал 17 программ для ЭВМ, имеет более двух десятков патентов. Два члена коллектива являются наиболее цитируемыми российскими учеными 2014 г.



## **Ключевые НИОКР, выполненные за 6 лет**



«Создание и производство технических средств радиозондирования атмосферы на основе спутниковых навигационных систем GPS/ГЛОНАСС с целью модернизации технологической базы аэрологической сети Росгидромета» (конкурс Минобрнауки России по постановлению № 218, 2010-2012 гг., 50 млн руб.)

Разработка системы аэрологического зондирования атмосферы КЦ «Восточный» (заказчик ФГУП «ЦЭНКИ», 2013-2016 гг., ~90 млн. руб.)

«Сборка средств измерения метеопараметров, модернизация системы обмена, обработки и представления данных аэрологического зондирования. Поставка на космодром Байконур. Участие в испытаниях» (заказчик ФГУП «ЦЭНКИ», 2014 г., ~1,5 млн руб.)

Метеорологическое обеспечение подготовки и первого (на КЦ «Восточный») запуска РН «Союз-2-1а» и БВ «Волга», проведение пусковых работ, (заказчик ФГУП «ЦЭНКИ», 2016 г. ~1 млн руб.)

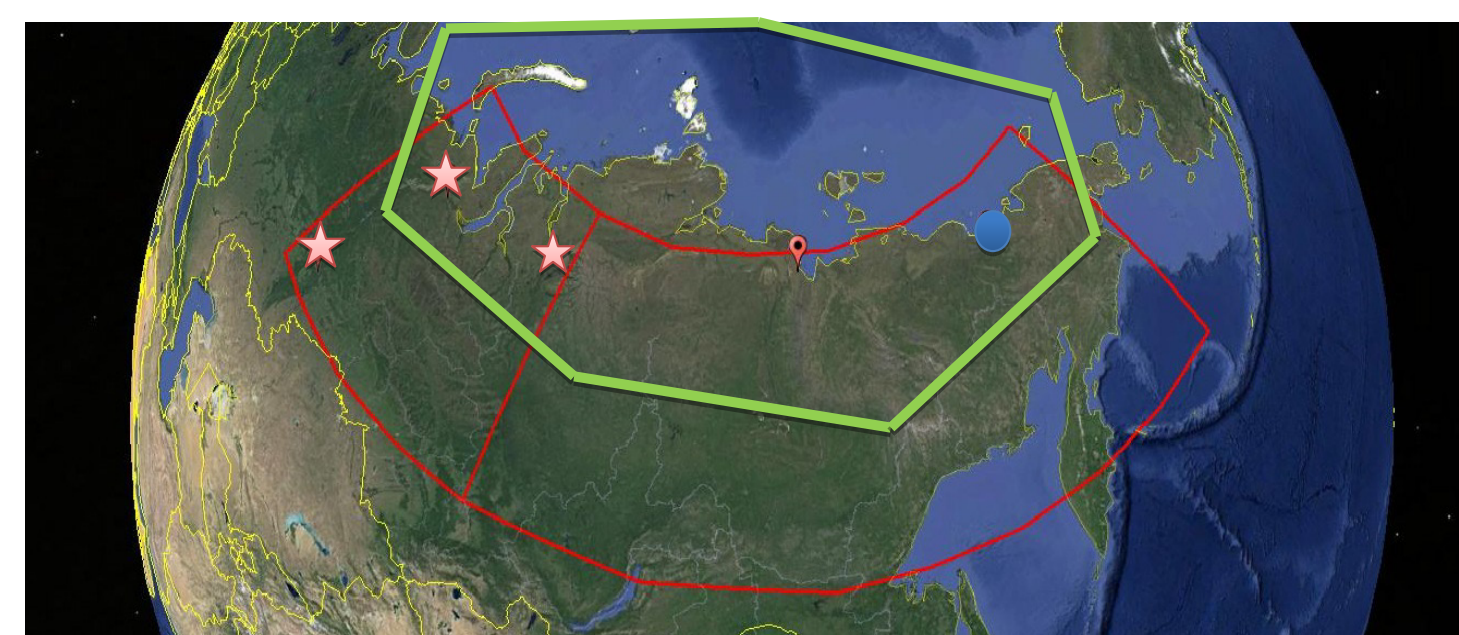
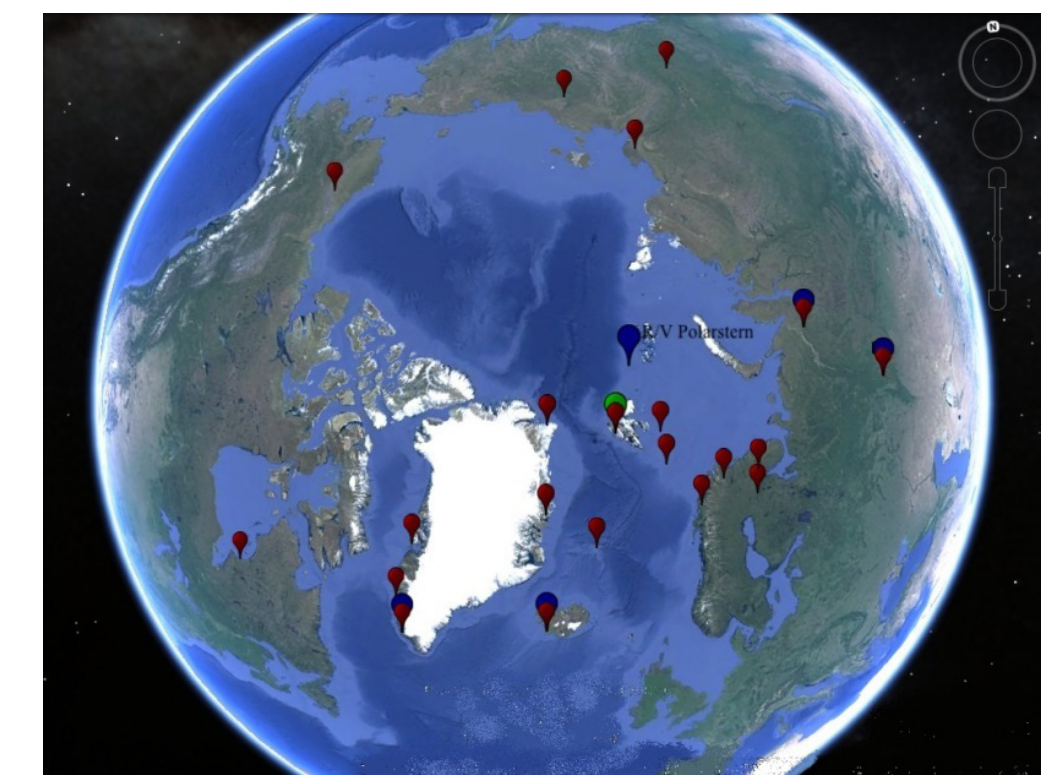
Разработанная коллективом авторов проекта навигационная СР «Полюс» - единственная в мире система зондирования, использующая для измерения координат и скорости зонда сигналы ГНСС ГЛОНАСС (отдельно или совместно с GPS), что обеспечивает преимущества в точности и надежности измерений, особенно в Арктике.





## Научная новизна

- Создание российского сегмента международной Пан-Арктической сети мониторинга изотопических трассеров атмосферного водного цикла;
- Создание инновационных мобильных технологий получения прецизионных атмосферных данных (температура, влажность, концентрации парниковых газов и их изотопологов) на основе беспилотных летательных аппаратов и радиозондов, организация промышленного производства;
- Верификация и настройка современных глобальных климатических суперкомпьютерных моделей для мультимасштабного прогнозирования климата в Арктических регионах планеты;
- Прогноз динамики климата и вечной мерзлоты Арктики.





## **Академические партнеры**

Международные:

- Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, Japan - ARWU, World Rank: 9 (Natural Sciences and Mathematics);
- Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Germany;
- Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement/ Institut Pierre Simon Laplace, France
- Friedrich-Schiller-Universität-Jena, Germany;
- DLR – German Aerospace Center, Germany;
- Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (École Polytechnique Fédérale de Lausanne), Switzerland - ARWU, World Rank: 49 (Physics), ARWU, World Rank: 35 (Computer), ARWU, World Rank: 23 (Chemistry);
- Autonomous University of Barcelona, Spain - QS Rank: 51-100 (Physics and Astronomy).

Российские:

- Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень;
- Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, Якутск;
- Институт общей физики РАН им. А. М. Прохорова, Москва;
- Институт математики и механики УрО РАН, Екатеринбург;
- Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург;
- Национальный исследовательский Томский государственный университет (участник проекта «5-100»).







## ***Практическая значимость***

Проект отвечает стратегии научно-технологического развития РФ (Указ Президента от 01.12.2016 № 642), в части:

- п. II.15.ж) необходимость эффективного освоения и использования пространства, в том числе путем преодоления диспропорций в социально-экономическом развитии территории страны, а также укрепление позиций России в области экономического, научного и военного освоения космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики;
- п. II.20.е) связанность территории 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.

Результаты проекта (данные об изменении климата и таянии вечной мерзлоты) необходимы государственным и международным институтам, хозяйствующим субъектам РФ для минимизации социально-экономических издержек при освоении арктических регионов.

## ***Технологическая новизна***

- Технология прецизионного зондирования следовых газов и их изотопологов в атмосфере, температуры, влажности и давления воздуха с использованием беспилотных аппаратов и радиозондовых шаропилотных измерений параметров атмосферы в условиях Арктики;
- Экспедиционный арктический переносной навигационный комплекс радиозондирования атмосферы;
- Разработка технических средств, технологий оперативного измерения и контроля температуры вечной мерзлоты с регулярной трехмерной сеткой датчиков.





## ***Индустриальные партнеры***

АО «РАДИЙ», организует и обеспечивает производство:

- Новых облегченных версий радиозондов;
- Бортового комплекса БПЛА прецизионных измерений параметров атмосферы;
- Экспедиционного арктического переносного навигационного комплекса радиозондирования атмосферы;
- Аппаратуры наземной измерительной сети автоматизированного сбора и обработки температурных профилей вечной мерзлоты с регулярной трехмерной сеткой датчиков.

АО «Уральское производственное предприятие «Вектор», организует и обеспечивает производство:

- Модернизированный автоматизированный радиолокационный вычислительный комплекс «Вектор-М»;
- Водоактивируемая батарея питания радиозондов;
- Компактный генератор водорода для наполнения шаров-зондов в условиях севера.

ФГУП «Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры», обеспечивает:

внедрение аппаратно-программного комплекса сбора, хранения, обработки и анализа многолетних метеорологических данных для получения прогнозов и обеспечения пусков ракет.



## ***Софинансирование проекта***

Софинансирование проекта от УрФУ (за все время проекта) — 60 млн руб.

Софинансирование проекта партнерами (за все время проекта) — 200 млн руб.

Партнеры проекта подтвердившие участие в проекте и планирующие софинансирование:

- АО «Каслинский радиозавод» (АО «Радий», г. Касли, Челябинская область);
- АО «Уральское производственное предприятие «Вектор», (г.Екатеринбург);
- Центр эксплуатации наземной космической инфраструктуры (ЦЕНКИ, г. Москва).