

# Отчет за 2013 год

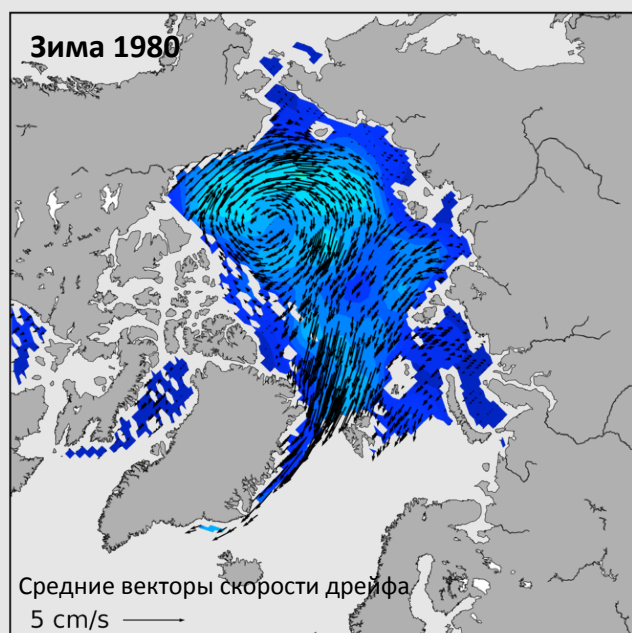
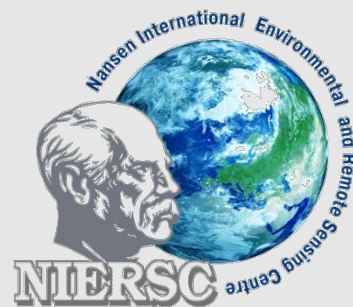
Международный центр по  
окружающей среде и дистанционному  
зондированию им. Нансена

(Фонд «Нансен-центр»)

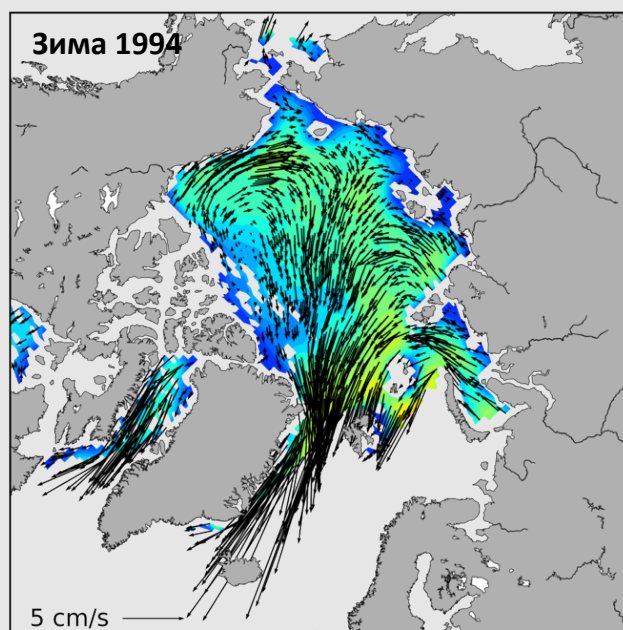
Санкт-Петербург, Россия

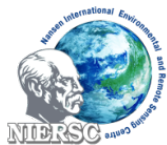
*Некоммерческий международный научно-исследовательский  
центр окружающей среды и климата*

*Основан в 1992 году*



*Два различных типа дрейфа  
морского льда в Северном  
Ледовитом океане по  
наблюдениям из космоса*





## Учредители Фонда «Нансен-центр»

Институт водных проблем Севера РАН, Карельский научно-исследовательский центр, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия

Исследовательский центр университета Бергена, Берген, Норвегия

Научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН  
Санкт-Петербург, Россия

Общество Макса Планка, Мюнхен, Германия

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Берген, Норвегия

При начальной поддержке

Объединенного исследовательского центра Европейской Комиссии

## Ассоциированные партнеры Нансен-центра

Лаборатория морской безопасности Немецкого Аэрокосмического Агентства, Бремен, Германия

Научное общество им. Нансена, Берген, Норвегия

Университет Хельсинки, Хельсинки, Финляндия

## Директор

К.ф.-м.н. Л.П. Бобылев

## Ведущая группа Нансен-центра

К.ф.-м.н. Л.П. Бобылев, директор, руководитель группы климатических исследований

Д.ф.-м.н., проф. Д.В. Поздняков, зам. директора, руководитель группы водных экосистем

К.г.н. В.А. Волков, в.н.с., руководитель группы прикладных метеорологических и океанографических исследований

К.ф.-м.н. Д.В. Ковалевский, с.н.с., руководитель социально-экономической группы

М.В. Самсонова, главный бухгалтер

К.ю.н. Ю.С. Меркулова, юрист

## Президент

Проф. Жан-Пьер Концен, Председатель Института динамики жидкости им. фон Кармана, Бельгия / Зарубежный член-корреспондент Академии Наук Португалии

## Со-Президент

Д.ф.-м.н., проф. В.П. Мелешко, г.н.с., Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург, Россия

## Вице-президенты

Проф. Хартмут Грассл, Институт метеорологии им. Макса Планка и Гамбургский университет, Гамбург, Германия

Лассе Х. Петтерссон, директор по международным связям Центра по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Берген, Норвегия

## Попечительский совет

### Председатель

Проф. Ола М. Йоханнессен, Президент научного общества им. Нансена, Берген, Норвегия; Президент-основатель Фонда «Нансен-центр», Санкт-Петербург, Россия; Директор-основатель Центра по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Берген, Норвегия; профессор Геофизического института Бергенского университета, Берген, Норвегия

### Члены Совета

Д.ф.-м.н., проф. Л.Н. Карлин, Ректор Российского государственного гидрометеорологического университета, Санкт-Петербург, Россия

К.ф.-м.н. Н.Н. Новикова, Научный центр оперативного мониторинга Земли, Роскосмос, Москва, Россия

Кааре Ромметвейт, директор Общества К. Г. Йебсена, Бергенского исследовательского общества и Бергенского медицинского общества, Берген, Норвегия

Д.г.н., проф. И.Е. Фролов, директор Арктического и Антарктического научно-исследовательского института, Санкт-Петербург, Россия

# ОТЧЕТ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ

## УЧРЕДИТЕЛЕЙ

### Стратегия

Предназначение Научного фонда «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена» (Фонд «Нансен-центр», NIERSC) – наблюдение, изучение и предсказание изменений климата и окружающей среды в высоких северных широтах в интересах общества.

### Основные научные направления

- Климатическая изменчивость и изменения климата в высоких северных широтах
- Водные экосистемы и их реакция на глобальные изменения
- Прикладные метеорологические и океанографические исследования
- Социально-экономические последствия изменений климата

### Организация

Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена» (Фонд «Нансен-центр», NIERSC) – независимый некоммерческий международный научный центр, основанный российскими, норвежскими и немецкими научными организациями. Нансен-центр проводит фундаментальные и прикладные исследования окружающей среды и климата, финансируемые национальными и международными правительственными учреждениями, научно-исследовательскими советами, космическими агентствами и промышленностью. Дополнительно Фонд «Нансен-центр» в Санкт-Петербурге получает базовое финансирование от одного из своих учредителей – Центра по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена (Берген, Норвегия).

Нансен-центр основан в 1992 году, а 2 июля 2001 года зарегистрирован Регистрационной Палатой Администрации Санкт-Петербурга как некоммерческий научный фонд. Нансен-центр получил аккредитацию Министерства промышленности, науки и технологий Российской Федерации как научный институт в 2002 году и был перерегистрирован в 2006 году в соответствии с новым законодательством РФ о некоммерческих организациях.

В 2006 году Нансен-центр получил лицензию Росгидромета на проведение метеорологических и океанографических наблюдений. В 2008 году Нансен-центр также получил лицензию Роскосмоса на работу с космическими данными.

### Персонал

На конец 2013 года штат Нансен-центра состоит из 22 сотрудников, включая основной научный штат, совместителей и административный персонал. Основной научный персонал включает в себя одного доктора наук и четырех кандидатов наук. В рамках Нансеновской программы поддержки аспирантов осуществляется научное со-руководство и финансовая поддержка девяти аспирантов, при этом семь из них занимают по совместительству должности м.н.с. в Нансен-центре.

### Публикации

В 2013 году сотрудниками Нансен-центра опубликовано 32 научные работы, включая 10 статей в международных и российских рецензируемых журналах, 4 статьи – в других

*На первой странице обложки: Распределение двух главных инвариантных характеристик полей дрейфа льда в Арктике в зимний период 1980 и 1994 гг., рассчитанных с помощью векторно-алгебраического метода на основе данных IFREMER. Цветом и стрелками показаны общая изменчивость и средняя скорость дрейфа соответственно.*

журналах, и 18 – в трудах конференций (полный список публикаций приведен в конце отчета).

## Национальная и международная деятельность

На протяжении долгого времени Нансен-центр сотрудничает с российскими организациями, такими как Санкт-Петербургский государственный университет, институты Российской Академии наук, Федерального космического агентства, Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, включая Институт водных проблем Севера, Научно-исследовательский центр экологической безопасности, Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Российский государственный гидрометеорологический университет, Главную геофизическую обсерваторию им. А.И. Воейкова, Мурманский морской биологический институт, Научный центр оперативного мониторинга Земли и др., всего около сорока российских научно-исследовательских институтов.

Плодотворное сотрудничество установилось также с рядом зарубежных и международных организаций, университетов и институтов, включая Европейское Космическое Агентство, Глобальный Климатический Форум, Институт метеорологии им. Макса Планка и Университет Фридриха Шиллера, Германия, Финский метеорологический институт, Университет Шеффилда, Великобритания, Стокгольмский университет, Швеция, Johanneum Research, Австрия, и в особенности с учредителями Нансен-Центра. Тесное сотрудничество установлено с Нансен-центром в Бергене. Большинство научных результатов, представленных в данном Отчете, получены в результате совместных исследований обоих Нансен-центров, в Бергене и Санкт-Петербурге, и их партнеров.

## Нансеновская программа поддержки аспирантов

Основная цель Программы – поддержка Нансен-центром исследований аспирантов в российских образовательных и научных организациях, включая Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербургский государственный университет, Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт и др. Области научных исследований в рамках Программы – изменения климата и окружающей среды, а также спутниковое дистанционное зондирование. Нансеновская программа поддержки обеспечивает аспирантов научным руководством со стороны российских и зарубежных ученых, дополнительной стипендией, необходимыми условиями для успешной работы в Нансен-центре, возможностью стажировок и научных поездок в международные научно-исследовательские институты, в т.ч. входящие в состав Нансен-группы, участием в международных научных проектах. Программа финансируется бергенскими Нансен-центром и Научным обществом им. Нансена.

Работой каждого аспиранта руководит как минимум один российский и один зарубежный ученый. Все аспиранты должны публиковать результаты научных исследований в международных рецензируемых журналах и представлять их на международных симпозиумах и конференциях.

Начиная с 1994 года в рамках Программы защитили кандидатские диссертации 24 аспиранта. В 2013 году один аспирант – участник Программы, **Морозов Е.А.**, защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Алгоритмы определения концентрации хлорофилла-а и общей взвеси и идентификации микроводорослей *Lepidodinium chlorophorum* и *Emiliania huxleyi* по спутниковым данным на примере Бискайского залива» в Российском государственном гидрометеорологическом университете (научные руководители: доктор физико-математических наук, проф. Поздняков Д.В., кандидат физико-математических наук, проф. Сычёв В. И., проф. Грассл Х. и Петтерссон Л.)

## Исследовательские проекты

Ниже приведен список научных проектов, выполняемых в Нансен-центре в 2013 году. Большинство из них были выполнены в тесном сотрудничестве с другими национальными и международными научными институтами.

- Monitoring and Assessing Regional Climate Change in High Latitudes and the Arctic (MONARCH-A, EU FP7, 2010-2013)
- Разработка программного пакета для обработки спектральных радиометрических данных с российских спутниковых датчиков и интегрирование его в систему «Архив-НЦОМЗ» (НЦОМЗ/Роскосмос, 2010-2013)
- Sea Ice Downstream Services for Arctic and Antarctic Users and Stakeholders (SIDARUS, EU FP7, 2011-2013)
- Сравнительное исследование основных факторов динамики полей фитопланктона при прохождении циклонов в тропических и полярных широтах (РФФИ/Китай, 2012-2013)
- CPA Algorithm (Michigan Tech, 2012-2013)
- CryoSat validation (NERSC s/c, 2013)
- Great Lakes (Michigan Tech, 2013)
- Monitoring Arctic Land and Sea Ice using Russian and European Satellites (MAIRES, EU FP7, 2011-2014)
- COCONET (EU-FP7/NERSC s/c, 2012-2015)
- Prototype Operational Continuity for the GMES Ocean Monitoring and Forecasting Service (MyOcean-2, EU FP7, 2012-2014)
- Nordic seas climatology (NERSC, 2012-2014)
- Sea ice ECV (ESA, with additional NERSC s/c, 2012-2014)
- Экстремальные сценарии изменений климата и их последствия для российской и мировой экономики (РФФИ, 2013-2015)
- Knowledge Based Climate Mitigation Systems for a Low Carbon Economy (COMPLEX, EU-FP7, 2012-2016)
- Изменчивость и изменение климата Евразийской Арктики в XXI веке (РФФИ/Норвегия, 2012-2014)
- Оптимизационный и системно-динамический подходы в моделях экономики изменений климата (РФФИ, 2012-2014)

## Проект EuRuCAS (Седьмая Рамочная программа ЕС, 2012-2015)

**Проект EuRuCAS (Европейско-российский центр сотрудничества в области исследований окружающей среды и климата Арктики и Субарктики)** – это один из проектов, поддержанных в рамках конкурса INCO-LAB 2010 года («Усиление европейской исследовательской базы в третьих странах») Седьмой Рамочной программы ЕС. Нансен-центр выступает в данном проекте как совместная российско-европейская организация для расширения и укрепления научного сотрудничества между учеными России и Евросоюза в области исследования изменений климата и окружающей среды Арктики и Субарктики и их социально-экономических последствий (информация на задней странице обложки).

Санкт-Петербург, 1 апреля 2014 г.

*Жан-Пьер Концен, Исследовательский центр университета Бергена, Президент*

*Валентин Мелешко, ГГО им. Воейкова, Со-президент*

*Хартмут Грассл, Общество Макса Планка, Вице-президент*

*Лассе Петтерссон, NERSC, Вице-президент*

*Валерий Астахов, СПбГУ*

*Владимир Донченко, НИЦЭБ РАН*

*Николай Филатов, ИВПС РАН*

*Леонид П. Бобылев, директор*

## Климатическая изменчивость и изменения климата в высоких северных широтах

### Статистические характеристики полярных циклонов в морях Северо-Европейского бассейна за период 1995-2008 гг. по данным спутниковых микроволновых радиометров

Аспирант Ю. Смирнова (Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ)/Нансен-центр)

К.ф.-м.н. Е. Заболотских (РГГМУ/Нансен-центр)

К.ф.-м.н. Л. Бобылев (Нансен-центр, СПб/Нансен-центр (NERSC), Берген, Норвегия)

Проф. Б. Шапрон (IFREMER, Брест, Франция/РГГМУ)

Полярные циклоны – это глубокие мезомасштабные барические

образования, формирующиеся над акваториями морей и характеризующиеся короткими временами жизни (от нескольких часов до суток), небольшими размерами (< 1000 км) и приповерхностным ветром со скоростью  $\geq 15$  м/с. Эти циклоны развиваются в зимних условиях над акваториями морей в высоких широтах в обоих полушариях, но в Арктике они наиболее интенсивны и опасны. Полярные циклоны обладают большой разрушительной силой и, следовательно, представляют угрозу для кораблей, нефтяных и газовых платформ и прибрежной инфраструктуры в Арктике и Субарктике. В то же время полярные циклоны гораздо менее изучены, чем тропические циклоны. Следовательно, климатические данные о полярных циклонах исключительно важны.

Существует несколько климатологий полярных циклонов, но большинство из них базируется на результатах моделирования и данных реанализа, картах погоды и инфракрасных спутниковых изображениях. Однако полярные циклоны часто не обнаруживаются на картах погоды и недоучтены в данных реанализа. Следовательно, наиболее полные и информативные исследования полярных циклонов должны опираться на совместный анализ спутниковых данных, полученных с помощью различных инструментов. Среди всех инструментов, установленных на спутниках,

микроволновые радиометры имеют существенные преимущества для обнаружения и отслеживания мезомасштабных циклонов. Это независимость от времени суток и облачности, регулярность получения информации и высокое временное разрешение в полярных областях, характерное для прежних и современных радиометров на борту спутников.

Таким образом мы создали новую 14-летнюю климатологию полярных циклонов (1995-2008; сентябрь-апрель) для морей Северо-Европейского бассейна (Норвежское, Гренландское, Исландское и Баренцево моря), основанную на новом подходе для обнаружения и отслеживания полярных циклонов по пассивным микроволновым данным (см. *Vobylev et al.*, IEEE, 2011). Всего было обнаружено 637 полярных циклонов со средней частотой 45.5 циклона в год. Хотя 14-летний период недостаточен для оценок трендов, тем не менее мы можем отметить некоторую

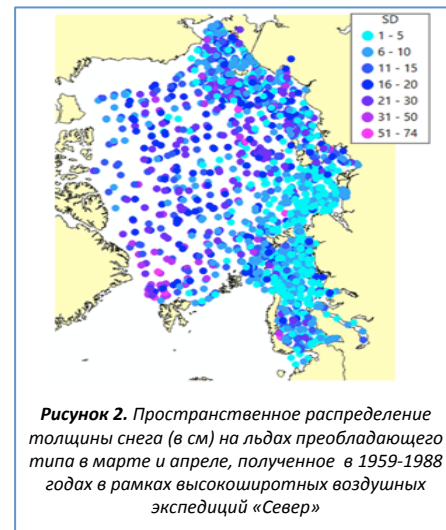


Рисунок 2. Пространственное распределение толщины снега (в см) на льдах преобладающего типа в марте и апреле, полученное в 1959-1988 годах в рамках высокоширотных воздушных экспедиций «Север»

толщине арктических льдов, а также предложить наиболее адекватный алгоритм получения длинных рядов этих данных, группа учёных из Нансен-центров в С.-Петербурге и Бергене работала над задачей описания характеристик снега,

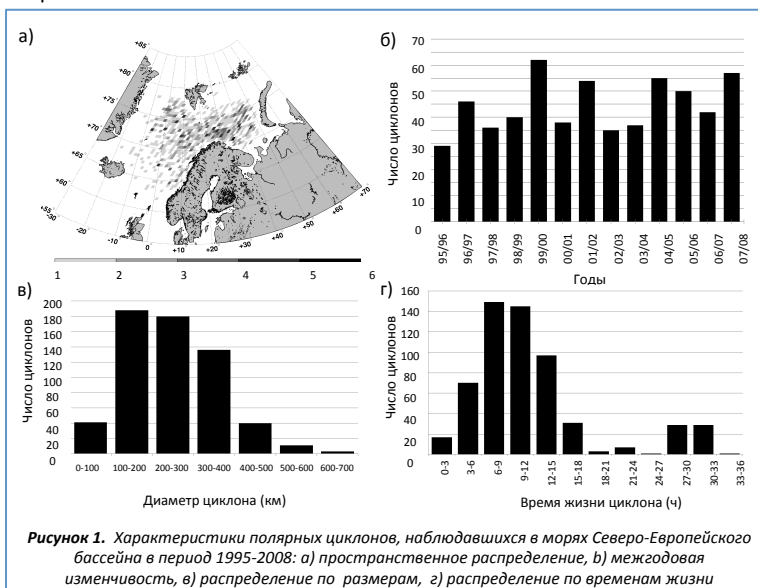


Рисунок 1. Характеристики полярных циклонов, наблюдавшихся в морях Северо-Европейского бассейна в период 1995-2008: а) пространственное распределение, б) межгодовая изменчивость, в) распределение по размерам, г) распределение по временам жизни

тенденцию к увеличению частоты циклонов за этот период (Рис. 1б). Подавляющее большинство полярных циклонов имеют диаметр от 100 до 400 км (Рис. 1в) и время жизни от 3 до 18 часов (Рис. 1г). Пространственное распределение полярных циклонов (Рис. 1а) имеет максимум в юго-западной части Баренцева моря, северо-восточной части Норвежского моря и в Гренландском море к юго-западу от Шпицбергена.

### Снежный покров Северного ледовитого океана по данным высокоширотных экспедиций прошлых лет

К.ф.-м.н. Е. Шалина (С.-Петербургский государственный университет (СПбГУ)/Нансен-центр)

Проф. С. Сандвен (NERSC, Берген, Норвегия)

В рамках Европейского проекта ESA-CCI Sea-Ice-ECV, целью которого является численно оценить неопределённости в существующих данных по сплочённости и

покрывающего арктический лёд. Толщина снежного покрова является чрезвычайно важным параметром в задачах восстановления толщины льда по данным спутниковых наблюдений.

Данное исследование базировалось на анализе материалов, собранных в рамках высокоширотных воздушных экспедиций «Север», проводившихся в 1937, 1941, 1948-1952 и 1954-1993 годах. Посадки на дрейфующий лёд выполнялись обычно в период с середины марта по начало мая, когда в Арктике уже достаточно

светло и при этом ещё не наступил период таяния. Посадки осуществлялись в разных районах, на разные типы льда, но наибольшее количество данных собрано по характеристикам льда и снега в морях Российской Арктики.

Во время посадок проводились измерения следующих морфологических характеристик снежного покрова: толщина снежного покрова на посадочной полосе и на льду преобладающего типа, высота снежных дюн, толщина снега на торосах на подветренной и наветренной стороне, а также высота заструг. Основной целью описываемого исследования было получение характерных толщин снега в арктических морях в конце зимнего сезона, которые могли бы быть использованы при обработке данных спутниковых альтиметров в алгоритмах расчёта толщин льда. Таким образом, основное внимание было уделено обработке данных по толщине снега, полученных на льду преобладающего

типа. Однако прочие морфологические характеристики снежного покрова также были проанализированы.

Данные по толщине снега, полученные на льду преобладающего типа, показаны на Рис. 2. В центральной Арктике измерений толщины снежного покрова было немного, а измеренные значения оказались неожиданно низкими (в большинстве случаев ниже значений, предложенных в широко используемой Warren-климатологии). В окраинных морях измерений было много, что составляет хорошую базу для анализа толщины

снега в этой части Арктики. В нашем исследовании получена карта средней толщины снежного покрова в окраинных морях. Исследование показало, что наибольшая толщина снега наблюдалась в Восточно-Сибирском море, а наименьшая – в Карском и Баренцева морях. Среди причин, почему в разных морях Российской Арктики толщина снежного покрова может отличаться в несколько раз, можно выделить две главные: разный возраст ледяного покрова, на котором лежит снег, что определяет разное время накопления снега, а также разные метеоусловия в разных районах Арктики, в основном - интенсивность осадков и сила ветра. В рамках нашего исследования получены следующие средние толщины снежного покрова в арктических морях, где проводились наблюдения в рамках высокоширотных воздушных экспедиций «Север» (Табл. 1).

**Таблица 1.** Средняя толщина снежного покрова в различных морях по данным экспедиций «Север»

Море	Толщина снега (см)
Баренцево море	8.4±2.2
Карское море	8.6±2.1
Море Лаптевых	9.4±3.2
Восточно-Сибирское море	14.7±3.0
Чукотское море	13.7±3.4

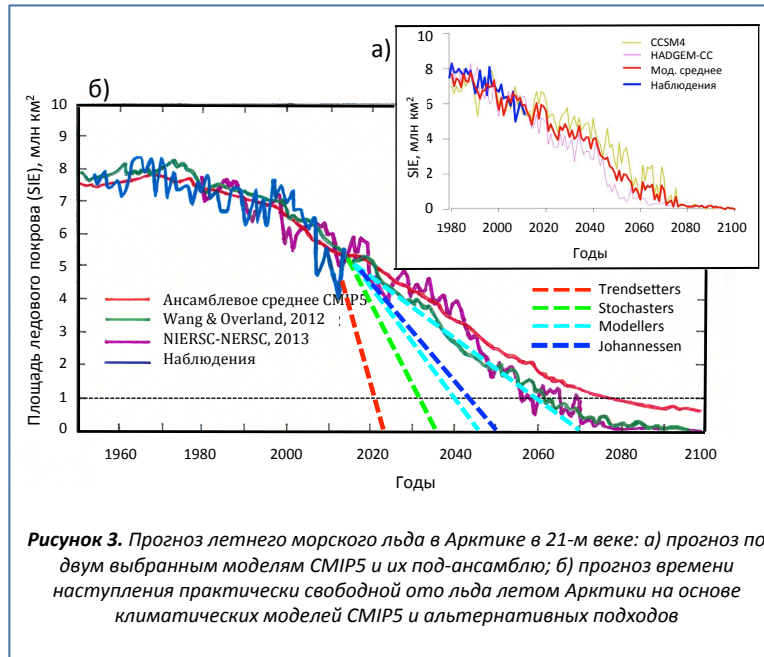
**Проекция ледового покрова в Арктике в летний период на 21-й век по результатам моделей CMIP5**

*К.ф.-м.н. С. Кузьмина (Нансен-центр)*

*К.ф.-м.н. Л. Бобылева(Нансен-центр/NERSC)*

*Проф. О.М. Йоханнессен (NERSC)*

Одним из наиболее драматичных последствий наблюдаемого потепления климата является сокращение морского льда в Арктике, особенно летнего льда, скорость уменьшения протяженности



**Рисунок 3.** Прогноз летнего морского льда в Арктике в 21-м веке: а) прогноз по двум выбранным моделям CMIP5 и их под-ансамблю; б) прогноз времени наступления практически свободной ото льда летом Арктики на основе климатических моделей CMIP5 и альтернативных подходов

которого составляет 13.7 % за десятилетие, что может привести к его почти полному исчезновению уже в 21-м веке. Судьба ледового покрова в Арктике в летний период крайне интересна и важна с научной, экономической и геополитической точек зрения. Конечно, едва ли реалистично, что Арктика даже в летний период может быть абсолютно свободной ото льда, поэтому учеными используется термин «почти свободная ото льда летняя Арктика». Пороговое значение, используемое в этом определении, это минимальная протяженность морского льда в один миллион квадратных километров.

Чтобы оценить время наступления «почти свободной ото льда летней Арктики» используются прогнозы климата, полученные с помощью глобальных климатических моделей CMIP5. Однако, как было показано рядом исследователей, ансамблевые прогнозы протяженности ледового покрова летом по данным CMIP5 все еще не достаточно достоверны. Поэтому наиболее широкое распространение получил метод, когда для составления прогноза выбираются модели, которые адекватно воспроизводят современную и прошлую динамику морского льда. Такие выборки были сделаны рядом исследователей с использованием различной методологии. Нами также были выбраны лучшие для описания летнего морского льда в Арктике модели из ансамбля CMIP5. Для этого были использованы критерии качества воспроизведения моделями морского льда и температуры воздуха в Арктике, такие как сезонный ход протяженности морского льда и приповерхностной температуры воздуха, а также средние значения и тренды этих параметров за предыдущий период. В результате для оценки времени наступления практически свободной ото льда Арктики летом были выбраны две модели: CCSM4 и HADGEM-

CC. На рисунке 3а показаны расчеты протяженности морского льда летом в 21-м веке каждой из этих моделей и их под-ансамблем. Видно, что эти модели предсказывают время наступления практически лишенной летом льда Арктики около 2060-го года.

На рисунке 3б обобщены полученные из различных источников оценки времени наступления практически свободной ото льда летней Арктики. По Overland & Wang подходы, применяемые для таких оценок, можно поделить на следующие категории: 1) экстраполяция исторических данных о

протяженности и объеме морского льда; 2) предположение о возможности в будущем еще нескольких резких сокращений летнего льда, таких, как наблюдались в 2007 и 2012 годах; и 3) проекции на основе глобальных климатических моделей. Исследователи, придерживающиеся этих подходов, называются соответственно «трендистами», «стохастиками» и «модельерами». Мы дополнили список четвертым подходом, который был предложен О.М. Йоханнессеном, основанном на связи между концентрацией углекислого газа в атмосфере и площадью морского льда. На рис 3б приведены оценки по 7 моделям CMIP5, отобранным Wang & Overland, и по отобранным нами моделям. Обе оценки дают наступление почти безледных условий около 2060-го года. Оценки, сделанные на основе первого, второго и четвертого подходов, дают соответственно 2020, 2030 и 2045 годы. Голубые пунктирные линии показывают разброс в модельных оценках: от 2040 до 2060 гг. Таким образом, условия практически свободной ото льда Арктики смогут сформироваться в интервале 2020-2060 гг., но наиболее вероятно между 2030-м и 2060-м годами.

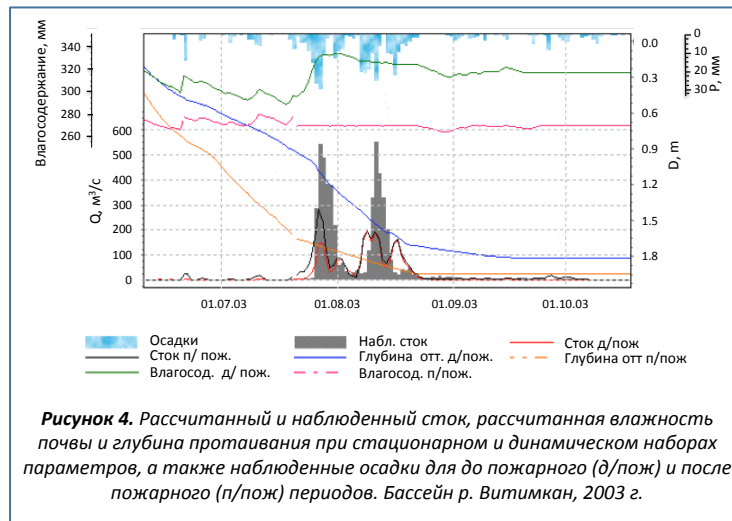
**Гидрологический режим рек в зоне многолетней мерзлоты в Восточной Сибири**

*Аспирант Л. Лебедева (Государственный гидрологический институт/Нансен-Центр)*

Анализа данных гидрометеорологических наблюдений и методы математического моделирования процессов формирования стока были использованы для изучения гидрологических последствий лесных пожаров в зоне мерзлоты Восточной Сибири. Объектами исследования были выбраны бассейны рек Витим (площадь 18 200 км<sup>2</sup>) и Витимкан (площадь 969 км<sup>2</sup>).

В 2003 г. лесной пожар охватил 49 и 78 % площади этих бассейнов соответственно. Оценка изменений гидрологического режима бассейна р. Витимкан выявила значительное (на 41% или 133 мм) увеличение стока во время ливневых паводков, прошедших после пожара. В большем по площади бассейне р. Витим не было выявлено существенного влияния пожара на сток воды.

Гидрологическая модель «Гидрограф» была использована для расчета процессов формирования стока на сгоревших водосборах. Период расчета охватил временной отрезок до пожара 1966-2002 гг. и 1970-2002 гг. и после пожара 2003-2004 гг. для бассейнов Витимкан и Витим соответственно с суточным расчетным интервалом времени. Результаты расчета признаны удовлетворительными. Расхождение между рассчитанными и наблюдаемыми гидрографами в период высоких паводков объясняется неадекватностью имеющихся данных по осадкам для горного водосбора Витимкан. Пики расходов, превышающие  $300-350 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$ , систематически недооцениваются по результатам моделирования. Анализ и моделирование двух экстремально высоких паводков после пожара в 2003 г. осложняется трудностью расчленения влияния пожара на сток и недооценки выпадающих осадков в горных условиях. На основе литературных данных и спутниковой информации был разработан набор динамических (меняющихся по времени) значений параметров для нестационарных условий после пожара. Он был использован в моделировании для исследования гидрологических процессов в почве после пожара и их влияния на формирование стока. Динамическое моделирование показало, что влияние пожара отражается в увеличении глубины протаивания грунта, уменьшении инфильтрации и испарения и увеличении подповерхностной доли грунтового стока. По результатам расчетов глубина протаивания после пожара увеличилась на 0.4-0.7 м (Рис. 4). Общее испарение уменьшилось на 40 % в теплый период года, поверхностный сток в периоды паводков увеличился почти в 2.5 раза, с 64 мм (25 % объема паводка) до 148 мм (40 % объема паводка). Сразу после пожара до прохождения пиковых расходов влажность почвы была высокой, а после прохождения паводков снизилась. В случае без пожара влажность почвы имела противоположные изменения – была понижена до паводков и повышенной после них. Использование динамического подхода позволило улучшить точность



моделирования двух экстремальных паводков в июле и августе 2003 г. (Рис. 4). Представленные результаты моделирования процессов формирования стока в нестационарных условиях удовлетворительно согласуются с данными наземных наблюдений. На основе полученных результатов можно сделать вывод о перспективности разработанной методики моделирования для изучения процессов формирования стока в нестационарных природных условиях недостаточного изученных бассейнов зоны мерзлоты. Полученные результаты рассматриваются как первые предварительные выводы о влиянии пожаров на гидрологический режим мерзлотных бассейнов в России.

### Океанографические исследования в Арктике

К.г.н. В. Волков (Нансен-центр)

Аспирант Д. Демчев, (ААНИИ/Нансен-центр)

К.ф.-м.н. Н. Захваткина (ААНИИ/Нансен-центр)

Проф. С. Сандвен (NERSC, Берген, Норвегия)

К.ф.-м.н. А. Коросов (NERSC)

### Классификация льда на основе данных спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой

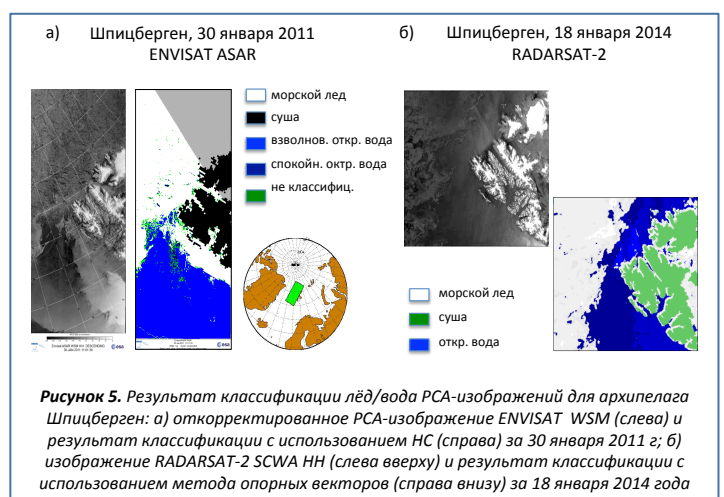
**Классификация льда.** В 2013 в рамках проектов SIDARUS и MAIRES были разработаны методы быстрой автоматической классификации типов льда на снимках радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) спутника ENVISAT с использованием нейронных сетей (НС) и Байесовского подхода. НС-метод основан на использовании

удельного эффективного поперечника рассеяния (УЭПР) и текстурных характеристик РСА-изображений. Оптимальная топология НС для этого метода была найдена в результате обучения сети с обратным распространением ошибки. Байесовский метод автоматизированной классификации морских льдов основан на априорных вероятностях появления деформированного однолетнего и многолетнего льда в Центральной Арктике. Условные вероятности

появления этих типов льда были получены на основе анализа калиброванных РСА-изображений ENVISAT. Хотя Байесовский подход использует только УЭПР, он позволяет корректно классифицировать основные типы морского льда и различать их априорные вероятности. Разработанные алгоритмы были верифицированы путем сравнения результатов классификации с экспертной оценкой изображений и ледовых карт для центральной части Северного Ледовитого океана в зимние месяцы. Эти исследования изложены в статье: Zakhvatkina et al. Classification of sea ice types in ENVISAT Synthetic Aperture Radar images. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2013.

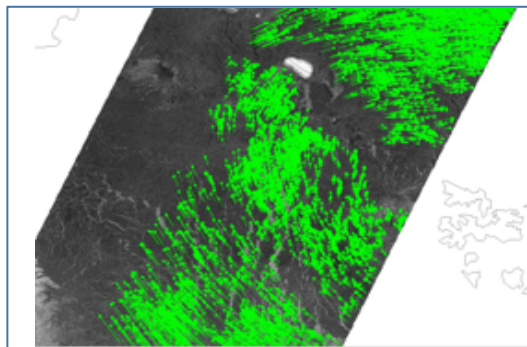
**Распознавание открытой воды и льда в проливе Фрама.** Метод НС для распознавания морского льда и открытой воды в проливе Фрама в зимнее время основан на применении РСА-изображений ENVISAT вкупе с подготовленными Бременским университетом данными о концентрации льда, полученными с помощью микроволновых радиометров SSM/I и AMSR-E. Число нейронов во входном слое НС соответствует числу текстурных характеристик, УЭПР и данных AMSR-E или SSM/I о концентрации льда.

На рис. 5а представлен результат автоматизированной классификации лёд/вода, полученный с помощью этого



алгоритма. Отладка метода осуществлена с использованием ледовых карт Норвежского метеорологического института.

В связи с окончанием миссии ENVISAT в 2012 году возникла необходимость разработать методы автоматизированной идентификации льдов для других доступных спутниковых радиолокаторов. Поэтому в 2013 году была начата разработка подобного метода для РСА-изображений спутника RADARSAT-2. Однако использование НС-подхода не привело к удовлетворительным результатам. Для решения этой проблемы был использован другой метод - метод опорных векторов для распознавания границы лёд/вода. На основе него был подготовлен полностью автоматизированный алгоритм дешифрирования открытой воды и льда с использованием кросс-поляризованных РСА-изображений RADARSAR-2. В этом алгоритме текстурные характеристики РСА-изображений используются в качестве дополнительной информации к



**Рисунок 6.** Пример расчета дрейфа морского льда с использованием нового алгоритма, примененного к данным ENVISAT ASAR (2-5 февраля 2011, Баренцево море)

классификации изображений морского льда на основе метода опорных векторов. Валидация подготовленного алгоритма была проведена с применением ледовых карт Met.no и оптических данных MODIS. На рис. 5б проиллюстрировано применение этого метода.

### Дрейф льда в Северном Ледовитом океане

Исследование дрейфа морского льда в Северном Ледовитом океане осуществлялось в рамках проектов MAIRES и MyOcean по трем основным направлениям:

1. Анализ изменчивости полей дрейфа льда в течение последних двух десятилетий на рубеже 20-го и 21-го веков.
2. Валидация результатов модельных расчетов полей дрейфа льда.
3. Совершенствование методов расчета дрейфа льда по данным спутникового дистанционного зондирования.

Анализ изменчивости полей дрейфа льда в Северном Ледовитом океане в течение последних двух десятилетий был основан на данных из двух баз, представленных на узлах регулярной сетки с шагом около 30 км. Первая база данных о дрейфе льда была разработана в институте IFREMER (Франция) для зимнего периода с 2002 г. по настоящее время; вторая - набор данных для зимних и летних сезонов с 1998 г. по настоящее время, была создана в Национальном центре данных о снеге и льде (США).

Для анализа сезонной и межгодовой изменчивости полей дрейфа льда в качестве основного был выбран вектор-алгебраический метод, разработанный профессором В.А. Рожковым (СанктПетербургский государственный университет). Этот метод позволяет значительно сжать исходную информацию и наиболее адекватно и детально описать векторные временные ряды и данные моделирования набором статистических характеристик в инвариантной форме. Такой статистический анализ позволяет подробно описывать изменчивость полей дрейфа и обнаруживать зоны с различными формами движения и, таким образом, оценивать интенсивность водо- и ледообмена и временную изменчивость циркуляции (см. рисунок на обложке отчета).

Совместный анализ данных дрейфа и крупномасштабных метеорологических процессов в течение текущего периода потепления демонстрирует определяющую роль глобальной циркуляции атмосферы в формировании ледовых условий. Принимая это во внимание, было проанализировано соответствие

между изменениями полей дрейфа морского льда и различных типов элементарных синоптических процессов (ЭСП) в Арктике. Для этого была использована классификация крупномасштабных метеорологических процессов, разработанная в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (ААНИИ) в Санкт-Петербурге. Эта классификация является в ААНИИ основой при разработке долгосрочных прогнозов погоды. Классификация включает в себя 26 типовых ЭСП, разделенных на шесть групп: А, В, V, G, D и К. Анализ показал, что ЭСП, относящиеся к группе В, обладают самой высокой степенью влияния на процессы образования льда в Арктике. Процессы этой группы характеризуются развитием антициклонического поля по большей части Арктического бассейна, отсутствием сильной адвекции теплых воздушных масс из средних широт и преобладанием восточных воздушных потоков и минимальной облачности. В этом случае

образуются наиболее благоприятные условия для увеличения толщины морского ледяного покрова в Арктическом бассейне. Анализ синоптических процессов для группы В с 1939 по 2011 годы показал, что годы с максимальным распространением льда согласуются с положительными аномалиями частоты антициклонов над всей акваторией Арктического бассейна. В то же время, уменьшение ледяного покрова наблюдается, как правило, на фоне отрицательных аномалий частоты процессов группы В.

В то же время, синоптические процессы других групп преобладали в периоды интенсивного сокращения морского льда. Например, в октябре-апреле 1997-2006 гг. преобладали синоптические процессы группы V. Эти процессы характеризуются развитием циклонической области в западной Арктике и антициклонической - в восточной. Так как циклоническая деятельность способствует значительным изменениям в полях дрейфа морских льдов, то с преобладанием процессов группы V максимальные вариации векторов дрейфа должны наблюдаться в Западной Арктике. Результаты нашего анализа подтверждают этот вывод.

Методология векторно-алгебраического анализа впервые была использована для проверки результатов моделирования дрейфа льда в рамках проекта MyOcean. Используя векторно-алгебраический подход, в 2013 году были протестированы результаты расчета дрейфа льда по новой версии прогностической модели TOPAZ и сформулированы рекомендации по ее улучшению.

Новый алгоритм для восстановления векторных полей дрейфа морского льда был разработан на основе современных достижений в области компьютерной обработки изображений. Этот алгоритм основан на идентификации и отслеживании особых точек на последовательных спутниковых снимках. Производительность алгоритма была протестирована при анализе РСА-изображений, полученных со спутников ENVISAT и RADARSAT-2, для Карского и Баренцева морей. Пример расчета дрейфа морского льда с помощью нового алгоритма представлена на рис. 6.

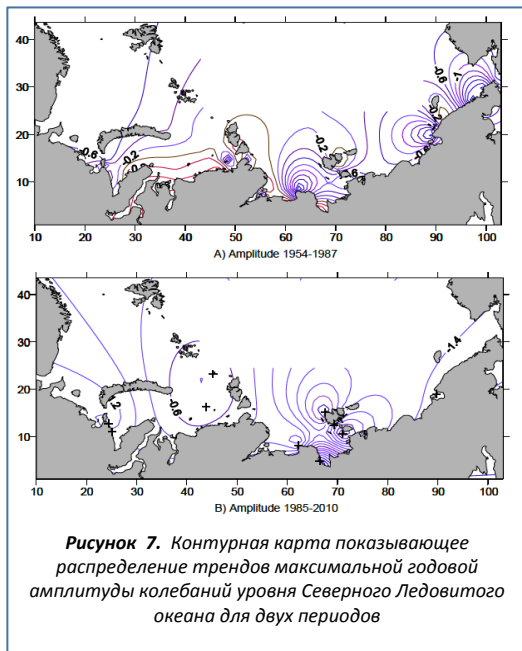
### Экстремальные колебания уровня арктических морей России

**Аспирант И. Рыжов (ААНИИ/Нансен-центр)**

**Проф. О.М. Йоханнесен (NERSC)**

**К.г.н. И. Ашик (ААНИИ)**

Было проведено исследование взаимосвязи штормовых нагонов в арктических морях с траекториями циклонов и ледовым режимом. Были изучены данные об изменении уровня моря за последние 60 лет с 64 станций мониторинга, расположенных в



**Рисунок 7.** Контурная карта показывающее распределение трендов максимальной годовой амплитуды колебаний уровня Северного Ледовитого океана для двух периодов

Северном Ледовитом океане, и исследованы условия и причины возникновения экстремальных колебаний уровня моря в связи с колебаниями приземного давления и ледового покрова. Было выявлено, что за последние 20 лет наряду с увеличением среднего уровня арктических морей ежегодные максимальные амплитуды колебаний этих уровней статистически достоверно уменьшались со скоростью около 1 см в год (рис. 7). Показано также, что за это же время положение кромки льда и траектории движения циклонов в среднем смещались на север во всех морях Восточной Арктики со скоростью около 0.1 градуса в год.

Такое поведение рассматриваемых процессов можно объяснить, во-первых, связью между уменьшением максимальной годовой амплитуды колебаний уровня морей в Северном Ледовитом океане и глобальным потеплением, и, во-вторых, предположением, что траектории движения циклонов следуют кромки льда, смещавшейся на север в последние десятилетия. Но, так как траектории движения циклонов смещаются на север, то интенсивность циклонической активности у береговой линии в среднем уменьшается. Это и приводит к уменьшению максимальной амплитуды колебаний уровней морей.

## Влияние изменения климата на водные экосистемы

### Разработка программного пакета для восстановления биогеохимических свойств океанов по спутниковым данным и его интеграция в систему портала РОСКОСМОСА

*К.ф.-м.н. Е. Морозов (Нансен-центр)*

*Проф. Д. Поздняков (Нансен-центр/NERSC)*

*К.ф.-м.н. А. Коросов (NERSC)*

Главная задача данной работы, выполняемой по контракту с Научным центром оперативного мониторинга Земли РОСКОСМОСА, заключается в реализации системы потоковой обработки спутниковых данных (ПОСД), обеспечивающей, во-первых, возможность расширения (имеется ввиду получение данных с будущих спутниковых датчиков) и, во-вторых, совместимость с аналогичными центрами ПОСД в Европе и других странах в региональном и международном масштабах.

Пакет программ имеет модульную структуру и основывается на системе NANSAT, разработанный в Нансен-центре в Бергене. Это позволяет оперативно обновлять данный пакет для включения новых спутниковых систем, таких как "Санорус-В", Resource-P", Sentinel-3 и др., и настраивать процесс обработки входных данных в соответствии с заданными параметрами конечного пользователя и технических средств (вычислительной мощности сервера, допустимых размеров хранимых данных). Важно отметить, что этот подход обеспечивает дальнейшее улучшение/совершенствование системы без изменения ее основной концепции и структуры. Этот подход также способен осуществлять дальнейшую передачу данных в стандартный модуль обработки данных на более высоком уровне. Включение новых алгоритмов также сводится практически к простому добавлению модулей, выполняющих конкретные задачи без необходимости модификации уже существующих элементов, составляющих систему.

Наряду с этой работой, в сотрудничестве с Мурманским морским биологическим Институтом и Мурманским филиалом Северо-Западной службы Росгидромета была выполнена проверка работоспособности модуля, содержащего алгоритм оценки качества воды. Оба учреждения успешно применили модуль и получили значения концентраций хлорофилла фитопланктона с правильной географической привязкой, температуру поверхности моря и некоторые другие параметры, которые также хорошо соответствовали имеющимся натурным данным. Таким образом, было подтверждено, что модуль находится в рабочем состоянии и готов для практического использования в системе ПОСД.

### Исследование факторов, определяющих динамику полей фитопланктона при прохождении циклонов в тропических и полярных широтах

*Аспирант А. Федорова (СПбГУ/Нансен-центр)*

*К.ф.-м.н. Е. Морозов (Нансен-центр)*

*М.н.с. Д. Кондрюк (Нансен-центр)*

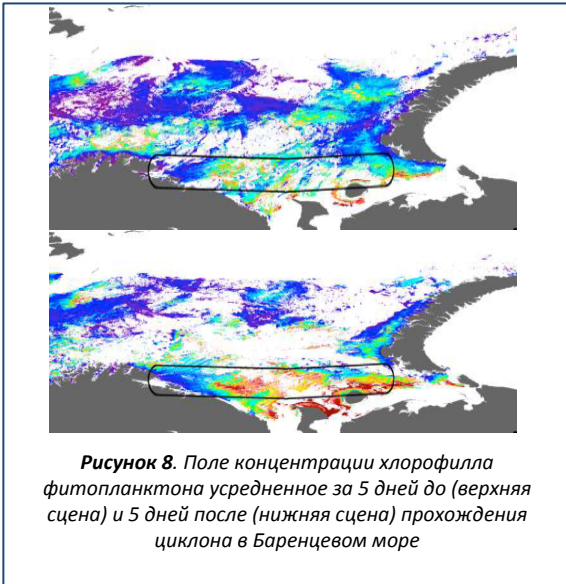
*Проф. Д. Поздняков (Нансен-центр/NERSC)*

Данное исследование, выполненное в рамках российско-китайского проекта по гранту РФФИ № 12-05-91170, направлено на изучение модуляций полей фитопланктона в перемешанном слое, вызванных глубокими циклонами в Южно-Китайском и Баренцевом морях. При этом в полярных регионах Северного полушария, в частности, в Северном Ледовитом океане, такое исследование выполнено впервые. На первом этапе на основе данных реанализа NCEP/NCAR были выявлены полярные циклоны за летний период (апрель-август) 2003-2012 гг. и прослежено их дальнейшее продвижение по акватории Баренцева моря. Сила ветра в приводном слое атмосферы была получена по данным QuickSCAT. На следующем этапе для районов и времени прохождения выбранных циклонов собирались данные по температуре поверхностного слоя воды и цвету океана, полученные со спутников SeaWiFS и MODIS, предназначенные для изучения пространственно-временной динамики распределения поверхностной концентрации хлорофилла фитопланктона (chl) вдоль траектории циклонов. температуры поверхностного слоя воды В дополнение к этому, параметры циклона, батиметрические особенности и условия облачности были использованы для дальнейшего понимания реальных процессов, происходящих в районах, расположенных вдоль траектории циклонов.

За указанный промежуток времени около 70 циклонов пересекло Баренцево море в процессе вегетационного периода (апрель-август). Лишь циклоны (чуть более 22), пересекавшие море менее чем за 3 дня и обеспечивающие достаточно безоблачную погоду вдоль траектории, рассматривались в дальнейшем для определения пространственно-временных модуляций полей температуры поверхности моря (SST) и концентрации chl, вызванных циклоном. Средне-площадные значения chl и SST были восстановлены в периоды за 5 дней до прибытия циклона в Баренцево море, а также в течение 5 дней после момента рассеивания облачного покрова над траекторией циклона.

Из полученных таким образом данных было выявлено несколько типичных случаев влияния прохождения циклона: 1) значения SST и chl повысились сразу после прохождения циклона (на второй день); 2) значения SST и chl понизились сразу после прохождения циклона, после чего сменили тенденцию к повышению на четвертый-восьмой день после его





**Рисунок 8.** Поле концентрации хлорофилла фитопланктона усредненное за 5 дней до (верхняя сцена) и 5 дней после (нижняя сцена) прохождения циклона в Баренцевом море

прохождения (Рис.8); 3) изменения в значениях SST и chl не обнаруживались.

Важно отметить, что увеличение концентрации chl наблюдалось не только в периоды высокой биологической активности фитопланктона в Баренцевом море (середина мая-июня и середина августа), но даже в периоды низкой продуктивности (апрель-начало мая и июль-конец августа).

Наш анализ временных и пространственных модуляций полей chl и SST показывает, что они зависят от большого количества факторов, в первую очередь, параметров циклона (барическая глубина, скорость ветра над поверхностью воды, скорость перемещения), пути циркуляции Атлантических вод по акватории моря, рельефа дна и условий облачности. Таким образом, для каждого конкретного случая были определены механизмы, вызывающие модуляции значений SST и chl, наряду с этим были установлены основные закономерности данного явления.

В целом, наши результаты позволяют предположить, что, в условиях усиления потепления климата в высоких северных широтах, повышение концентрации хлорофилла, упомянутое выше, потенциально способно повысить первичную продуктивность в Северном Ледовитом океане.

### Разработка программного обеспечения для реализации алгоритма восстановления параметров качества вод в оптически мелких зонах Озера Мичиган

**Проф. Д. Поздняков (Нансен-центр)**

**К.ф.-м.н. А. Коросов (NERSC)**

Данная работа выполнялась в рамках контракта с Мичиганским техническим институтом, США. На основе теоретических исследований, проведенных в Нансен-центре в предыдущем году, был разработан программный код для расчета коэффициента поверхностного отражения

$R_{rsw}(\lambda)$  по спектральным радиометрическим данным. Алгоритм реализован в виде программного пакета, написанного в программных кодах Python и C++, и называется Bio-Optical Retrieval Algorithm for Optically Shallow Waters (BOREALI-OSW). Часть, написанная на языке Python, состоит из одного класса под названием Boreal, содержащего методы открытия входных файлов, загрузки спектральных значений коэффициентов удельного поглощения и обратного рассеяния из текстовых файлов и запуска обработки в несколько параллельных потоков. Часть,

написанная на языке C++, представляет собой иерархию классов под названием Hydrooptics и HydroopticsShallow, а также несколько функций интерфейса, которые взаимодействуют с библиотеками Python и CMINPACK. Класс Hydrooptics предназначен для выполнения всех гидро-оптических расчетов в оптически глубоких водах и состоит из отдельных методик, применяющих уравнения, связывающие коэффициент поверхностного отражения для дистанционного зондирования со свойствами водной толщи, такими, как спектральный коэффициент поглощения водной среды  $a$  и обратного рассеяния  $bb$ , где  $a(\lambda)$  и  $bb(\lambda)$  - сумма произведений конкретных (т.е. нормированных к концентрации) значений поглощения и рассеяния назад, соответственно, и концентраций цветообразующих агентов (CPAs)/параметров качества воды. Класс HydroopticsShallow наследуется из класса Hydrooptics и переопределяет методы, реализующие параметризацию зависимости  $R_{rsw}(\lambda)$  от оптических свойств цвет-образующих компонент и их концентраций. Аналитические формулы для расчета элементов матриц Якоби имеют большую длину и требуют больше вычислений, чем использование дискретных конечно-разностных производных. Поэтому последний способ был использован в библиотеке CMINPACK для выполнения процедуры оптимизации Левенберга-Марквардта. Алгоритм позволяет одновременно восстанавливать по радиометрическим данным значения концентраций хлорофилла фитопланктона, взвешенного вещества и окрашенного растворенного органического вещества, а также глубину водной толщи.

### Валидация и практическое применение алгоритма для восстановления параметров качества вод в Великих Северо-Американских Озерах

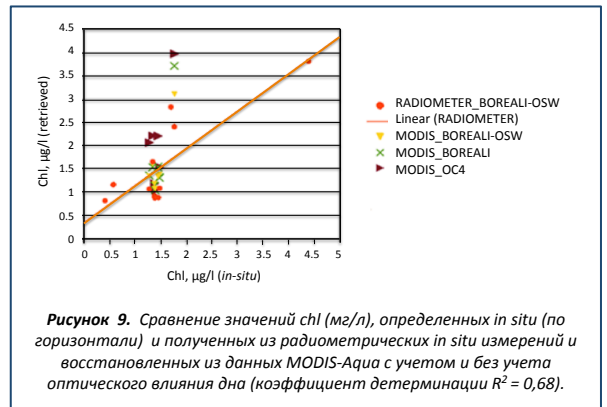
**Проф. Д. Поздняков (Нансен-центр)**

**К.ф.-м.н. А. Коросов (NERSC)**

**Д-р Р. Шухман (MTU, США)**

Озеро Мичиган (ОМ) в целом является олиготрофным прозрачным водоемом. В его прибрежных районах экологические процессы оказываются под влиянием, в основном, разнообразных природных и антропогенных воздействий, берущих свое начало на водоразделе. При этом, однако, в силу того, что оптическое влияние дна в таких прозрачных водах оказывается достаточно сильным, сигнал, регистрируемый спутниковым датчиком зашумлен, что существенно затрудняет корректное дистанционное зондирование параметров качества воды в пределах прибрежной зоны ОМ.

Новый алгоритм BOREALI-OSW, основанный на решении прямой задачи переноса излучения, использовании



**Рисунок 9.** Сравнение значений chl (мг/л), определенных in situ (по горизонтали) и полученных из радиометрических in situ измерений и восстановленных из данных MODIS-Aqua с учетом и без учета оптического влияния дна (коэффициент детерминации  $R^2 = 0,68$ ).

гидро-оптической модели МО и метода многомерной оптимизации Левенберга-Марквардта, был разработан, как инструмент для оперативного извлечения из спутниковых данных параметров качества воды в оптически мелководных районах озера. Алгоритм восстанавливает одновременно концентрации таких цветообразующих агентов как хлорофилла фитопланктона, общего взвешенного вещества, желтого вещества, а также глубину залегания дна или тип его покрытия (песок, ил, заросли харовой водоросли, Cladophora и известняковая галька).

Чувствительность прямой и обратной модулей была протестирована в гидрооптических условиях ОМ. Спутниковые данные, по которым производилось восстановление концентрации цвет-образующих компонент (ЦОК) синхронизировались как с натурными радиометрическими измерениями, так и с определениям типа и глубины залегания дна. Полученные данные представляли собой реальные спектральные сигнатуры поверхностного

отражения для дистанционного зондирования и концентрации ЦОК в диапазоне глубин <2м-15м, в зависимости от вектора концентраций ЦОК и типа дна, на которых было заметно оптическое воздействие дна.

Применение разработанного рабочего инструмента в обработке данных MODIS-Aqua (при сопоставлении с местом и сроками натуральных измерений концентраций ЦОК и радиометрических измерений) убедительно продемонстрировало свое преимущество перед использованием алгоритма OC4 в оптически мелких водах на всех станциях измерения (рис. 9).

## Исследования в области экономики изменений климата

*К.ф.-м.н. Д. Ковалевский (Нансен-центр)*

*Аспирант О. Романова (СПбГУ/Нансен-центр)*

*Проф. Клаус Хассельманн (Институт Макса-Планка по метеорологии, Германия)*

В 2013 году в рамках исследовательского проекта EU FP7 COMPLEX и двух исследовательских проектов, поддержанных РФФИ (№ 12-06-00381 и № 13-06-00368) разработано и исследовано семейство экономико-климатических моделей совокупной оценки.

### Актор-ориентированное системно-динамическое моделирование

В рамках системы моделей MADIAMS (Multi-Actor Dynamic Integrated Assessment Model System – Система мульти-акторных динамических моделей совокупной оценки) разработана иерархия неравновесных экономических моделей-прототипов с целью исследования эффектов, обусловленных выходом за рамки традиционного приближения очищения рынков (т.е. равенства спроса и предложения). Показано, что иерархия моделей-прототипов может демонстрировать весьма богатое динамическое макроэкономическое поведение, включая устойчивый экономический рост, деловые циклы, циклы «бум с последующей рецессией» и выраженные рецессии. Описание иерархии неравновесных моделей-прототипов можно найти в работе: [Kovalevsky D.V., Hasselmann K. A hierarchy of out-of-equilibrium actor-based system-dynamic nonlinear economic models. Discontinuity, Nonlinearity, and Complexity, 2014, 3\(3\) \(в печати\).](#)

Структурно-динамическая экономическая модель (Structural Dynamic Economic Model, SDEM) – модель совокупной оценки, являющаяся прототипом MADIAMS, – получила свое дальнейшее развитие путем включения в систему уравнений модели сильно нелинейных функций климатического ущерба (Weitzman, 2012) и возможных катастрофических изменений климата за

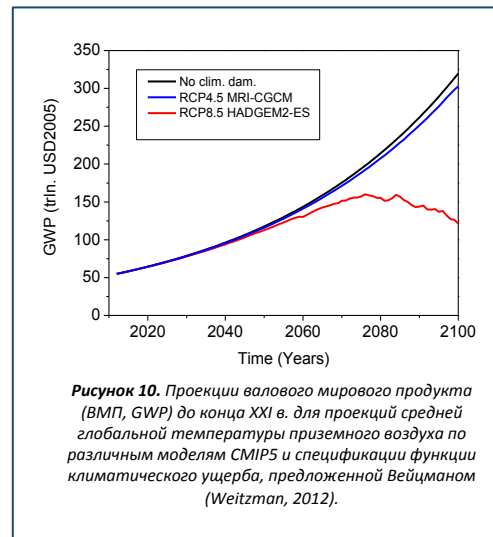
счет остановки атлантической термохалинной циркуляции (ТХЦ). С целью включения последнего эффекта в климатический модуль SDEM встроена четырех-боксовая модель атлантической ТХЦ (Zickfeld et al., 2004). Проекция рассчитана как для базового сценария («business-as-usual», BaU), так и для нескольких сценариев смягчения изменений климата с различными ставками глобального налога на выбросы парниковых газов (далее – налог на выбросы).

Результаты расчетов для XXI-XXII веков, выполненных на модели SDEM с «отключенным» модулем атлантической ТХЦ и с сильно нелинейной функцией климатического ущерба Вейцмана, свидетельствуют о том, что глобальный налог на выбросы как экономический инструмент смягчения изменений климата может отличаться высокой эффективностью: долгосрочный рост температуры оказывается существенно менее сильным для более высоких ставок налога на выбросы. Более того, сценарии с активными действиями по смягчению изменений климата приводят к устойчивому экономическому развитию в долгосрочной перспективе. Хотя сценарий BaU отвечает наиболее быстрому экономическому росту в XXI в., он же приводит в глобальному экономическому коллапсу в XXII в. Напротив, сценарии с более активными действиями по смягчению изменений климата соответствуют более низким темпам экономического роста в XXI в., но приводят к устойчивой экономической динамике в XXII в.

Расчеты, выполненные до конца XXIII в. по модели SDEM с климатическим модулем, дополненным боксовой моделью атлантической ТХЦ, показывают, что сценарий BaU и сценарий с наименьшей из рассмотренных ставок налога на выбросы приводит к остановке ТХЦ в долгосрочной перспективе, в то время как для сценариев с более активными действиями по смягчению изменений климата начальное ослабление ТХЦ оказывается обратимым, и ТХЦ восстанавливается в долгосрочной перспективе.

### Учет экстремальных климатических сценариев моделей CMIP5 в долгосрочных проекциях ВМП

Проекция валового мирового продукта (ВМП) до конца XXI в. рассчитана на простой экономико-климатической модели (основанной на стандартной АК-модели экономического роста) для различных проекций средней глобальной температуры приземного воздуха, полученных по моделям CMIP5, в качестве входных данных. Базовые расчеты CMIP5,



**Рисунок 10.** Проекция валового мирового продукта (ВМП, GWP) до конца XXI в. для проекций средней глобальной температуры приземного воздуха по различным моделям CMIP5 и спецификации функции климатического ущерба, предложенной Вейцманом (Weitzman, 2012).

использованные при моделировании роста мировой экономики, включают два репрезентативных сценария для XXI в.: сценарий средней стабилизации RCP4.5 и сценарий более интенсивных выбросов RCP8.5. Рассмотрены две альтернативные спецификации глобальной функции климатического ущерба, предложенные Нордхаузом (Nordhaus, 2008) и Вейцманом (Weitzman, 2012).

Выявлена сильная неопределенность долгосрочной глобальной макроэкономической динамики при различном выборе климатических сценариев и функций климатического ущерба. Сильная нелинейность функции Вейцмана в сочетании с «наихудшим» температурным сценарием обуславливает чрезвычайно драматичный сценарий глобального экономического развития. Если в базовом сценарии (предполагающем нулевой климатический ущерб) ВМП достигает 320 трлн долл. в 2100 г. (в долл. США 2005 г.), т.е. в 5,8 раз превышает уровень 2012 г., то в случае использования функции Вейцмана ситуация будет существенно хуже: эффективный ВМП будет равен 121 трлн долл. в 2100 г., т.е. будет лишь в 2,2 раза выше уровня 2012 г. Более того, динамика эффективного ВМП в последнем случае будет немонотонной: эффективный ВМП достигнет максимума, равного 160 трлн долл. в 2076 г. (т.е. будет в 2,9 раза выше уровня 2012 г.), а затем начнет быстро снижаться. Следовательно, при «наихудшем» сценарии достаточно медленный экономический рост (в сравнении с другими рассмотренными модельными сценариями) остановится около 2075 г., после чего начнется драматичный глобальный спад мировой экономики (рис. 10).

Высокая степень неопределенности, отличающая существующие оценки экономико-климатических проекций, свидетельствует о необходимости более детальных и обоснованных оценок климатического ущерба, ожидаемого при сильном росте температуры относительно доиндустриального уровня.

## Статьи в международных рецензируемых журналах и рецензируемых журналах РАН

Semenova O., Lebedeva L., Vinogradov Yu., (2013). Simulation of subsurface heat and water dynamics, and runoff generation in mountainous permafrost conditions, in the Upper Kolyma River basin, Russia. *Hydrogeology Journal*, DOI 10.1007/s10040-012-0936-1

Lebedeva L., Semenova O., (2013). Coupled modelling of soil thaw/freeze dynamics and runoff generation in permafrost landscapes, Upper Kolyma, Russia. In: *Cold and Mountain Region Hydrological Systems Under Climate Change: Towards Improved Projections*. IAHS Publ. 360, IAHS Press, pp. 118-124

Lebedeva L., Semenova O., (2013). Use of soil thaw/freeze depth data to verify hydrological modelling at poor gauged basins in permafrost regions. *Die Bodenkultur*, 64, 3-4, 53-59

Petrenko D., D. Pozdnyakov, J. Johannessen, F. Counillon, V. Sychov, (2013). Satellite derived multi-year trend in primary production in the Arctic Ocean. *International Journal of Remote Sensing*, 34, 11, 3903-3937

Petrenko D., E. Zabolotskikh, D. Pozdnyakov, F. Counillon, L. Karlin, (2013). Interannual variations and trend in the production of inorganic carbon by coccolithophores in the Arctic during 2002-2010 as observed from space. *Earth Observation from Space*, No.2, 19-27 (in Russian)

Shuchman, R.A., Leshkevich, G., Sayers, M.J., Hogengen, T.H. Brooks, C.N., Pozdnyakov, D.V., (2013). An algorithm to retrieve chlorophyll, dissolved organic carbon, and suspended minerals from Great Lakes satellite data. *Journal of Great Lakes Research*, 39, 14-33

Pozdnyakov, D.V., Korosov, A.A., Perova, A.A., Grassl, H., (2013). Multi-year observations of Lake Ladoga's biogeochemical dynamics in relation to the lakes trophic status. *Journal of Great Lakes Research*, 39, 34-45

Zakhvatkina N., V.Y. Alexandrov, O.M. Johannessen, S. Sandven, I. Frolov, (2013). Classification of sea ice types in ENVISAT synthetic aperture radar images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51, issue 5, pp. 2587-2600

Alexandrov V.Y., O.M. Johannessen, (2012). Changes of ice thickness in the Arctic since the end of 19th Century. *Problems of the Arctic and the Antarctic*, 4(94), 63-73 (in Russian)

Wolf S., J.-Ph. Bouchaud, F. Cecconi, S. Cincotti, H. Dawid, H. Gintis, S. van der Hoog, C.C. Jaeger, D.V. Kovalevsky, A. Mandel, L. Paroussos, (2013). Describing economic agent-based models. – Dahlem ABM documentation guidelines. *Complexity Economics*, 2, 63-74

## Статьи в других журналах

Zabolotskikh E.V., Mitnik L.M., Chapron B., Aniskina O.G., Smirnova Y.E., Dikinis A.D., (2013). Improved models of the atmospheric absorption and ocean emission in the range of 5-100 GHz for the simulation of the brightness temperatures over the

open ocean. *Transactions of the Russian State Hydrometeorological University*, Vol.29, pp. 169-182 (in Russian)

Zabolotskikh E.V., Mitnik L.M., Chapron B., Aniskina O.G., Smirnova Y.E., Dikinis A.D., (2013). Validation of the radiative transfer model for the frequencies of microwave radiometers SSMIS and AMSR-E and its application for the analysis of marine weather systems using advanced algorithms. *Transactions of the Russian State Hydrometeorological University*, Vol. 29, pp. 146-160 (in Russian)

Shalina E.V., (2013). Arctic sea ice retreat observed by satellites, *Contemporary problems of Earth remote sensing*, V. 10, N 1. p. 328–336 (in Russian)

Ashiki I., Ryzhov I., (2013). Extreme sea level oscillations in the Arctic seas and their long-term changes. *Problems of Arctic and Antarctic*, No.2 (96), 30-35 (in Russian)

## Труды конференций

Smirnova J., E. Zabolotskikh, L. Bobylev, D. Ivanov. Methodology for Polar Low study in the Arctic region based on satellite passive microwave data. *The Arctic Frontiers 2013 conference «Geopolitics and Marine Production in a Changing Arctic»*, January 20-25 2013, University of Tromso, Norway, p. 178

Semenova O., Vinogradov Yu., Lebedeva L. Improved algorithm for modelling of heat dynamics in frozen soils. *Book of abstracts of the third International Symposium on the Arctic Research Arctic System in a Changing Earth*. Tokyo, Japan, January 14-17, 2013, 154

Lebedeva L., Semenova, O., Boyarintsev Ye. L. Kolyma Water Balance station – unique research station in the zone of continuous permafrost: half century history and future perspectives. *Book of abstracts of the third International Symposium on the Arctic Research Arctic System in a Changing Earth*. Tokyo, Japan, January 14-17, 2013, 233

Lebedeva L., Semenova, O., Vinogradova T.A., Boyarintsev Ye. L. Modelling of active layer depth dynamics and runoff formation at small watershed entirely covered by bare rocks. *Book of abstracts of the third International Symposium on the Arctic Research Arctic System in a Changing Earth*. Tokyo, Japan, January 14-17, 2013, 155

Zabolotskikh E., L. Mitnik, B. Chapron, L. Bobylev. Extreme Winds in Winter Extratropical Cyclones: Comparison of MetOp ASCAT and GCOM-W1 retrievals. *Abstracts of the ESA LPS 2013*. UK, Edinburgh, September 8-13, 2013

Lebedeva L., Semenova O., Volkova N. Detection and modelling of wildfire-induced changes in thermal and hydrological regime of middle scale watersheds in the upper Vitim River basin. *Conference materials "Earth Cryology: XXI century"*, Pushchino, Russia 29 September – 3 October 3, 2013, 39-40

Smirnova J., E. Zabolotskikh, L. Bobylev, D. Ivanov, B. Chapron. Climatology of Polar lows using optical and microwave remote sensing data. *International conference «Fluxes and structures in fluids: physics of geospheres»*, Saint-Petersburg, June 25-28, RSHU 2013 (in Russian)

Smirnova J., E. Zabolotskikh, L. Bobylev, B. Chapron, D. Ivanov. Methodology for Polar Low studying for the Arctic region using retrieved water vapour from satellite passive microwave data. *Abstracts of 19th Satellite Meteorology,*

*Oceanography, and Climatology Conference*, September 16–20, Vienna, Austria, 2013

Smirnova J., E. Zabolotskikh, L. Bobylev, D. Ivanov, B. Chapron. Identification of polar lows, based on active and passive microwave remote sensing data. *Conference of Young Specialists on Hydrometeorology and Monitoring of Environment*, 04-06 June, Research and Production Association «Typhoon», Obninsk, Russia, 2013 (in Russian)

Goris, N., Heinze, C., Lauvset, S., Petrenko, D., Pozdnyakov, D., Schwinger, J. Simulated and Observed Trend in Key Variables of the Arctic Marine Carbon Cycle. *Geophysical Research Abstracts EGU2013-106822013*

Zakhvatkina N., Korosov A.; Babiker M.; Sandven S. Ice/Water Classification of RADARSAT-2 Images. *Abstracts of the ESA Living Planet Symposium 2013*. UK, Edinburgh, September 8-13, 2013

Bychkova I., Zakhvatkina N. Satellite methods of dangerous ice forms detection. *Abstracts of the conference: Space technologies application for Arctic Regions development (KTAR-2013)*. Russia, Arkhangelsk, September 17-19, 2013 (in Russian)

Volkov V., Sandven S., Bobylev L., Demchev D., Korzhikov A. and Zakhvatkina N. Monitoring of the Arctic sea ice and icebergs using satellite data technologies of the satellite data processing and analysis of the climate change in the cryosphere. *ESA Living Planet Symposium*, 9-13 September 2013, Edinburgh UK

Kovalevsky D. A model of endogenous regional growth with singular solutions. *The 10<sup>th</sup> International Scientific and Practical Conference "Contemporary Problems of Regional Economy Management"*. St. Petersburg, Russia, May 23-24, 2013, pp. 181-183 (in Russian)

Kovalevsky D. The Structural Dynamic Economic Model with endogenous technology parameter. *All-Russian Conference in Memory of Prof. B.L. Ovsievich "Research in Mathematical Economics: Mathematical Models and Information Technologies"*, St. Petersburg, Russia, October 21-23, 2013, pp. 96-97 (in Russian)

Kovalevsky D., Bobylev L. Projected dynamics of climate-socioeconomic system under extreme scenarios of global warming. *All-Russian Conference in Memory of Prof. B.L. Ovsievich "Research in Mathematical Economics: Mathematical Models and Information Technologies"*, St. Petersburg, Russia, October 21-23, 2013, pp. 97-99 (in Russian)

Kovalevsky D., Hasselmann K. Out-of-equilibrium actor-based system-dynamic modeling of the economics of climate change. *GSS Preparatory Workshop for the 3<sup>rd</sup> Open Global Systems Science Conference (2014)*, Beijing, China, October 29-30, 2013; <http://blog.global-systems-science.eu/?p=2063>

Romanova O.Yu. Endogenously controlled climate-economic model. *Proceedings of the 44th International Scientific Conference of Graduate and Post-Graduate Students "Control Processes and Stability"*, St. Petersburg, Russia, 1-4 April 2013, pp. 649-654 (in Russian)

Romanova O.Yu. Endogenously controlled climate-economic model. *Proceedings of the 44th International Scientific Conference of Graduate and Post-Graduate Students "Control Processes and Stability"*, St. Petersburg, Russia, 1-4 April 2013, pp. 649-654 (in Russian)



# European-Russian Centre for cooperation in the Arctic and Sub-Arctic environmental and climate research (EuRuCAS)



2012 - 2015

Project Coordinator  
**Dr. Leonid Bobylev**

Project Deputy Coordinator  
**Prof. Stein Sandven**

Steering Committee Chairman  
**Prof. Ola M. Johannessen**

EuRuCAS project is aimed on the use of Nansen Centre established in St. Petersburg, Russia, as the joint research facility to extend, consolidate and strengthen scientific cooperation between researchers from EU Member States and Associated Countries with those from Russia on the climate and environmental changes in the Arctic and Sub-Arctic in the 21st century and their socio-economic impact

Project number: 295068  
Programme: EU-FP7  
Theme: INCO.2011-7.5 [Russia]  
Funding scheme: Coordination  
and Support action



© EC-Arctic.ru 2001 - 2013

## PARTNERS



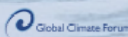
**NIERSC** Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre (Saint-Petersburg, Russian Federation)  
[www.niersc.spb.ru](http://www.niersc.spb.ru)



**NERSC** Nansen Environmental and Remote Sensing Center (Bergen, Norway)  
[www.niersc.no](http://www.niersc.no)



**MPI-M** Max Planck Institute for Meteorology (Hamburg, Germany)  
[www.mpimet.mpg.de](http://www.mpimet.mpg.de)



**GCF** Global Climate Forum (Berlin, Germany)  
[www.globalclimateforum.org](http://www.globalclimateforum.org)



**SU** Stockholm University (Stockholm, Sweden)  
[www.su.se](http://www.su.se)



**FSU** Friedrich-Schiller University (Jena, Germany)  
[www.uni-jena.de](http://www.uni-jena.de)



**IFREMER** Institut Francais De Recherche Pour L'exploitation De La Mer (Brest, France)  
[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)



**CLS** Collecte localisation satellites (Toulouse, France)  
[www.cls.fr/welcome\\_en.html](http://www.cls.fr/welcome_en.html)



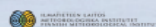
**JR JOANNEUM RESEARCH** Forschungsgesellschaft mbH (Graz, Austria)  
[www.joanneum.at](http://www.joanneum.at)



**USFD** The University of Sheffield (Sheffield, UK)  
[www.shef.ac.uk](http://www.shef.ac.uk)



**UH** University of Helsinki (Helsinki, Finland)  
[www.helsinki.fi/university](http://www.helsinki.fi/university)



**FMI** Finnish Meteorological Institute (Helsinki, Finland)  
<http://en.ilmatieteenlaitos.fi>

## АДРЕС/КОНТАКТЫ:

Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена»  
(Фонд «Нансен-центр», NIERSC)

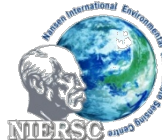
14-я линия, дом 7, офис 49, Васильевский остров, 199034 Санкт-Петербург, РОССИЯ

Тел.: +7 (812) 324 51 03

Факс: +7 (812) 324 51 02

E-mail: [adm@niersc.spb.ru](mailto:adm@niersc.spb.ru)

<http://www.niersc.spb.ru>



Фонд «Нансен-центр» – участник **Нансен-группы** исследовательских институтов, возглавляемой проф. Олой М. Йоханнесеном и включающей в себя также:

