

Отчет за 2014 год

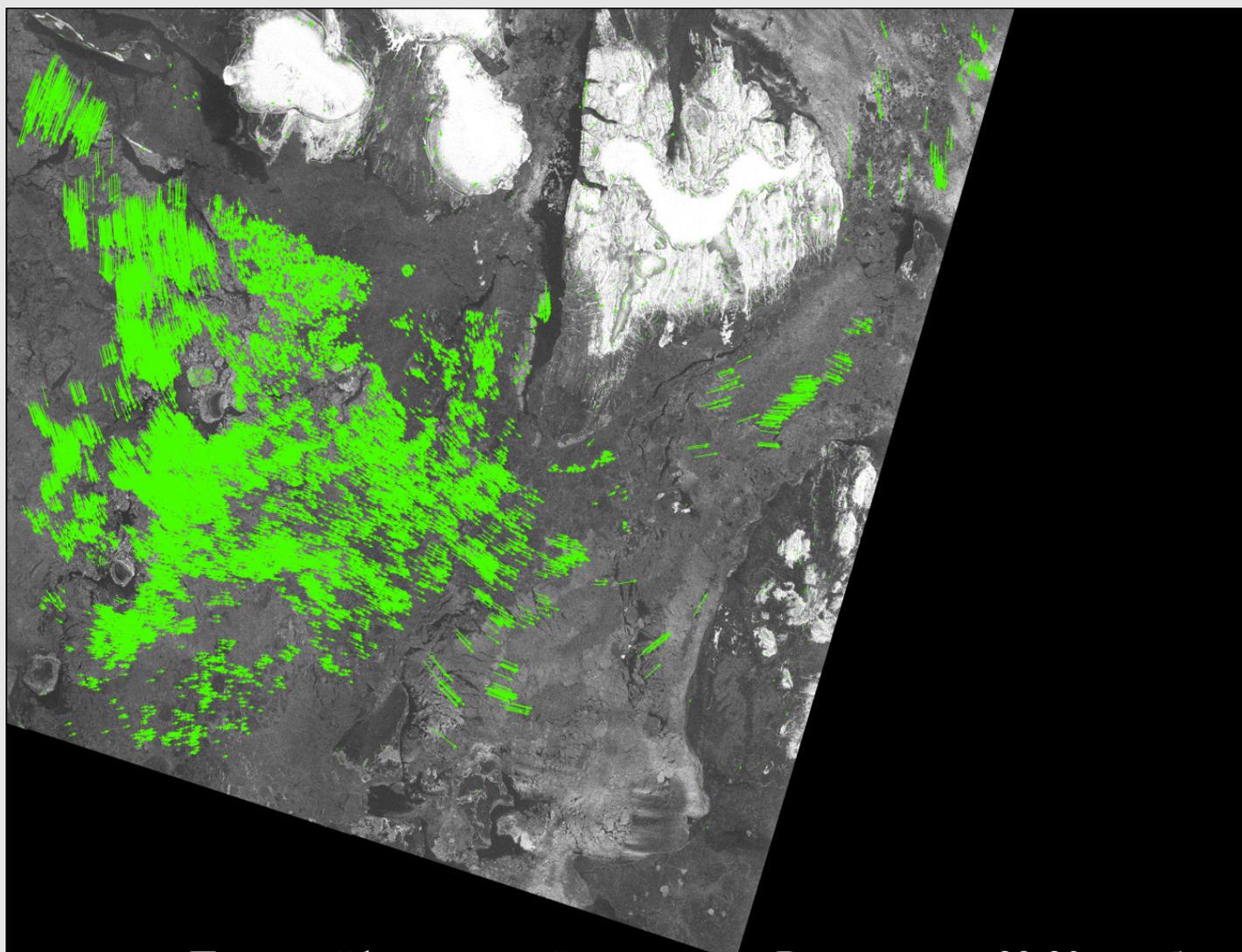
Международный центр по
окружающей среде и дистанционному
зондированию им. Нансена

(Фонд «Нансен-центр»)

Санкт-Петербург, Россия

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

Основан в 1992 году



Поле дрейфа льда в районе пролива Вилькицкого 29-30 октября
2013 года по данным спутника Radarsat-2

Учредители Фонда «Нансен-центр»

Институт водных проблем Севера РАН (ИВПС), Карельский научно-исследовательский центр, *Петрозаводск, Республика Карелия, Россия*
Исследовательский центр университета Бергена (UNIFOB), *Берген, Норвегия*

Научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН (НИЦЭБ), *Санкт-Петербург, Россия*

Общество Макса Планка (Max-Planck Society), *Мюнхен, Германия*

Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), *Санкт-Петербург, Россия*

Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена (NERSC), *Берген, Норвегия*

При начальной поддержке

Объединенного исследовательского центра Европейской Комиссии

Ассоциированные партнеры Нансен-центра

Глобальный климатический форум, *Берлин, Германия*

Лаборатория морской безопасности Немецкого Аэрокосмического Агентства, *Бремен, Германия*

Научное общество им. Нансена, *Берген, Норвегия*

Стокгольмский университет, *Стокгольм, Швеция*

Университет Хельсинки, *Хельсинки, Финляндия*

Финский метеорологический институт, *Хельсинки, Финляндия*

Президент

Проф. **Жан-Пьер Концен**, Председатель Института динамики жидкости им. фон Кармана, *Бельгия* / Член Королевской Академии Бельгии, *Брюссель, Бельгия*

Со-Президент

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

Вице-президенты

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

Проф. **Стейн Сандвен**, директор Центра по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, *Берген, Норвегия*

Попечительский совет

Председатель

Проф. **Ола М. Йоханнесен**, 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, профессор Геофизического института Бергенского университета, *Берген, Норвегия*

Члены Совета

Проф. **А.Н. Чилингаров**, чл.-корр. РАН, Специальный представитель Президента России по международному сотрудничеству в Арктике и Антарктике, *Москва, Россия*

Проф. **В.Л. Михеев**, ректор Государственной полярной академии, *Санкт-Петербург, Россия*

Др. **Н.Н. Новикова**, Научный центр оперативного мониторинга Земли, *Москва, Россия*

Проф. **И.Е. Фролов**, д.г.н, директор Арктического и Антарктического научно-исследовательского института, *Санкт-Петербург, Россия*

Др. **А. Хелаас**, Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, *Берген, Норвегия*

Директор

Др. **Л.П. Бобылев**

Ведущая группа Нансен-центра

Др. **Л.П. Бобылев**, директор, руководитель группы климатический исследований

Проф. **Д.В. Поздняков**, д.ф.-м.н., зам. директора, руководитель группы водных экосистем

Др. **В.А. Волков**, в.н.с., руководитель группы прикладных метеорологических и океанографических исследований

Др. **Д.В. Ковалевский**, с.н.с., руководитель социально-экономической группы

М.В. Самсонова, главный бухгалтер

Доцент **Ю.С. Меркулова**, юрист

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» – 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 2014 года штат Нансен-центра состоял из 23 сотрудников, включая основной научный штат, совместителей и административный персонал. Основной научный персонал включал в себя одного доктора наук и пяти кандидатов наук. В рамках Нансеновской программы поддержки аспирантов осуществлялось научное руководство и финансовая поддержка девяти аспирантов, при этом семь из них занимали по совместительству должности м.н.с. в Нансен-центре.

Публикации

В 2014 году сотрудниками Нансен-центра опубликовано 36 научных работ, включая 3 главы в книгах, 8 статей в международных и российских рецензируемых журналах, 7 ста-

тей – в других 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. Область научных исследований в рамках Программы охватывает изучение изменений климата и окружающей среды в высоких северных широтах посредством комплексного использования спутникового дистанционного зондирования, данных обычных наблюдений и численного моделирования. Программа 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 25 аспирантов. В 2014 году один аспирант – участник Программы, Игорь Козлов защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Исследование внутрен-

них волн и фронтальных разделов в море методами радиолокационного зондирования из космоса» в Российском государственном гидрометеорологическом университете.

Исследовательские проекты

Ниже приведен список научных проектов, выполнявшихся в Нансен-центре в 2014 году. Большинство из них выполнялись в тесном сотрудничестве с другими национальными и международными научными институтами.

- Monitoring Arctic Land and Sea Ice using Russian and European Satellites (MAIRES, EU FP7, 2011-2014)
- European-Russian Centre for cooperation in the Arctic and Sub-Arctic environmental and climate research (EuRuCAS, EU FP7, 2012-2015)
- CoCoNet (EU FP7/NERSC s/c, 2012-2015)
- Prototype Operational Continuity for the GMES Ocean Monitoring and Forecasting Service (MyOcean-2, MyOcean-FO, EU FP7, 2012-2015)
- Knowledge Based Climate Mitigation Systems for a Low Carbon Economy (COMPLEX, EU FP7, 2012-2016)
- Ships and Waves Reaching Polar Regions (SWARP, EU FP7, 2014-2017)
- Nordic seas climatology (NERSC, 2012-2014)
- Sea ice ECV (ESA, via NERSC s/c, 2012-2014)
- Экстремальные сценарии изменений климата и их последствия для российской и мировой экономики (РФФИ, 2013-2015)
- Great Lakes 2014-1, 2014-2 (Michigan Tech, 2014-2015)
- 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)
- Влияние пирогенной трансформации мерзлотных ландшафтов на гидрологический режим малых и средних рек Восточной Сибири (РФФИ, 2014-2015)
- Monograph “Sea Ice in the Arctic: Past, Present and Future” (ESA, via NERSC s/c, 2014-2016)

EuRuCAS Summer School

29 июня-5 июля 2014 г. в Репино, под Санкт-Петербургом, в рамках проекта EU FP7 EuRuCAS (см. список проектов выше) была проведена Международная летняя школа для аспирантов и молодых ученых на тему «Гидрология и криосфера суши Арктики и Северной Евразии в меняющемся климате». В школе приняли участие 52 человека: 27 аспирантов и молодых ученых и 25 лекторов (см. фото на задней странице обложки). Научная программа включала 21 лекцию, а также 26 устных и 17 стендовых докладов аспирантов. По итогам школы ее молодыми участниками был подготовлен научный обзор, доступный на сайте проекта: (<http://eurucas.niersc.spb.ru/>).

Санкт-Петербург, 2015 г.

Ж.-П. Концен, Президент (UNIFOB)

В.П. Мелешко, Со-президент (ГТО им. Воейкова)

Хартмут Грассл, Max-Planck Society, Вице-президент

Стейн Сандвен, NERSC, Вице-президент

В.И. Астахов, СПбГУ

В.К. Донченко, НИЦЭБ РАН

Н.Н. Филатов, ИВПС РАН

Л.П. Бобылев, директор

Климатическая изменчивость и изменения климата в высоких северных широтах

Смягчение ледовых условий на Северном морском пути в последние годы

К.с.н. Елена Шалина (Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ)/Нансен-центр, Санкт-Петербург, Россия)

Проф. Стейн Сандвен (Нансен-центр, Берген, Норвегия)

Северный морской путь (СМП), показанный на рисунке 1 врезкой, – это морская транспортная магистраль, проходящая через моря Российской Арктики и связывающая Баренцево море на западе и Берингов пролив на востоке. СМП имеет исключительное значение для обеспечения развития экономики северных регионов России, а также может служить альтернативой существующим межконтинентальным транспортным путям между странами Атлантического и Тихоокеанского бассейнов. Устойчивое функционирование СМП напрямую связано с ледовыми условиями на трассе. Наблюдающееся в последние десятилетия сокращение площади арктических льдов проявляется и в районе СМП. Здесь мы приводим результаты исследований, основанных на спутниковых данных, показывающие наблюдаемое смягчение ледовых условий на трассе СМП.

Трасса СМП пролегает через Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря. Всем участкам трассы присуща значительная межгодовая и межсезонная изменчивость характеристик ледового покрова. Трасса, использованная при расчетах в настоящем исследовании, – это одна из оптимальных трасс плавания (http://www.aari.ru/resources/a0011_12/manual_smp/content.html).

Спутниковые данные, использованные в настоящем исследовании, – это данные пассивных микроволновых радиометров SSM/I

и SSMIS, предоставляемые порталом NSIDC (<http://nsidc.org/data/nsidc-0001>), за период с июля 1987 г. по конец 2013 г. Рассмотрены четыре части СМП, соответствующие упомянутым выше морям Российской Арктики. Для каждого моря рассчитана средняя сплоченность льда. Спутниковые данные демонстрируют значительную межгодовую изменчивость ледовых условий и сокращение количества льда на трассе и даже очищение её ото льда в отдельные периоды, причём промежуток времени, когда трасса свободна ото льда, в последние годы удлиняется. На рис. 1 показана средняя сплоченность льда в сентябре, месяце, наиболее благоприятном для навигации на СМП. Видно, что выбранная трасса СМП была практически свободна ото льда в Восточно-сибирском и Чукотском морях начиная с 2002 года, в Каском море – с 2007 года (за исключением 2013 г.), и в море Лаптевых – с 2008 г.

Морской лед на Северном морском пути в прошлом и будущем по данным наблюдений и моделей (предварительные результаты)

К.ф.-м.н. Леонид Бобылев (Нансен-центры, Санкт-Петербург, Россия, и Берген, Норвегия)

Проф. Ола М. Йоханнесен (Нансен-центр/Научное общество Нансена, Берген, Норвегия)

К.ф.-м.н. Светлана Кузьмина (Нансен-центр, Санкт-Петербург, Россия)

Цели исследования заключались в: 1) анализе прошлых и нынешних летних ледовых условий в морях евразийской Арктики; и 2) оценке будущих изменений этих условий в 21-м веке.

Анализ прошлых и наблюдаемых ныне величин протяженности морского льда (ПМЛ) в морях евразийской Арктики в сентябре базировался на уникальной базе данных Захарова и результатах спутниковых пассивных микроволновых измерений. Оценка будущих летних ледовых условий в морях Севморпути была выполнена посредством расчетов с помощью подансамблей моделей климата, выбранных для каждого моря из полного ансамбля моделей СМIP5.

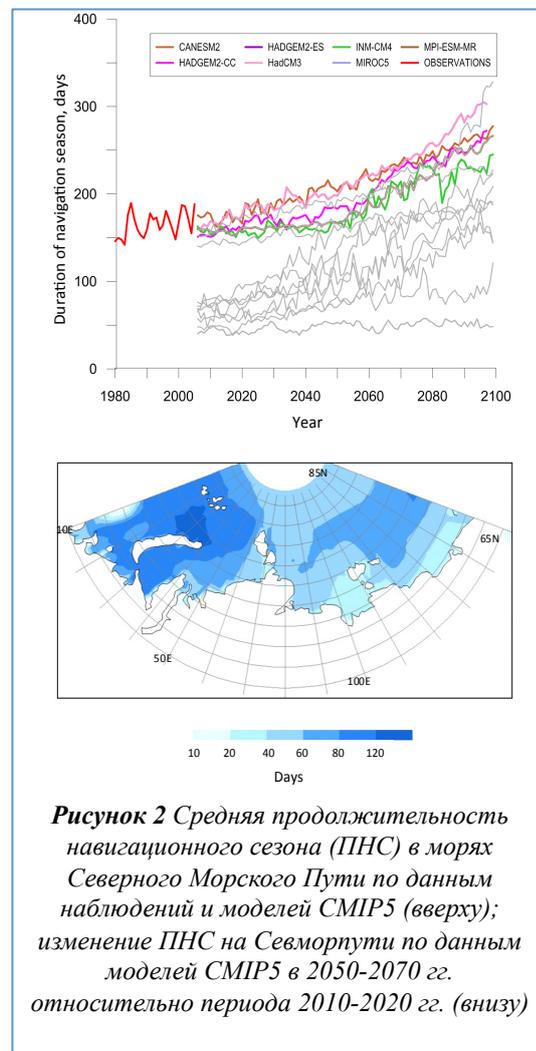


Рисунок 2 Средняя продолжительность навигационного сезона (ПНС) в морях Северного Морского Пути по данным наблюдений и моделей СМIP5 (вверху); изменение ПНС на Севморпути по данным моделей СМIP5 в 2050-2070 гг. относительно периода 2010-2020 гг. (внизу)

До начала процедуры выбора моделей была выполнена их валидация с точки зрения качества воспроизведения ими летней ПМЛ и ее трендов, реально наблюдавшихся в последние десятилетия в морях евразийской Арктики. Это было сделано посредством сравнения результатов моделирования с данными наблюдений. После этого модели из ансамбля СМIP5, наилучшим образом удовлетворяющие данным наблюдений ПМЛ и ее трендов, были выбраны с использованием соответствующих критериев.

Валидация моделей СМIP5 показала, что различие между среднемодельными и реально наблюдавшимися значениями ПМЛ существенно меньше, чем для моделей СМIP3, и не превышает 30%. Разброс значений ПМЛ между моделями из ансамбля СМIP5 также меньше, чем из ансамбля СМIP3, особенно для евразийских морей.

Проекция будущих ледовых условий для Северного морского пути показали, что драматическое сокращение морского льда продолжится, более того имеется реальная возможность наступления безледных условий в летнее время во всех морях евразийской Арктики в период 2030-2050 гг.

Согласно этим проекциям, продолжительность навигационного сезона на Северном морском пути (рис. 2) должна увеличиться в два раза к концу 21-го столетия.

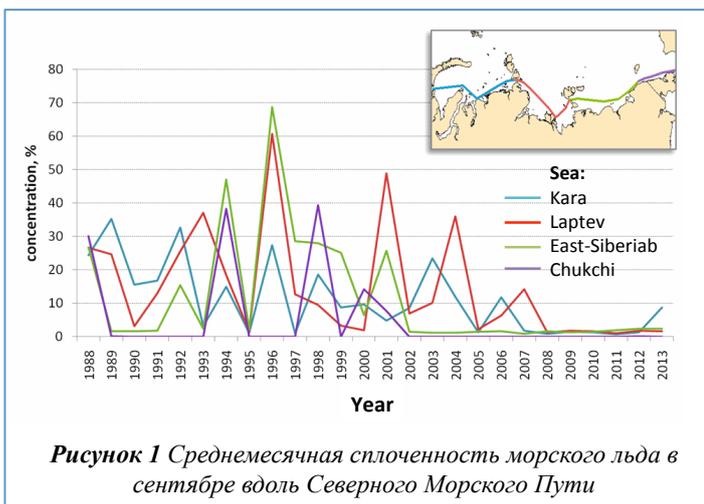


Рисунок 1 Среднемесячная сплоченность морского льда в сентябре вдоль Северного Морского Пути

Оценка потенциала выбросов метана из мерзлых отложений при глобальном потеплении

К.г.н. Алла Юрова (Нансен-центр, Санкт-Петербург, Россия)

Д.б.н. Елизавета Ривкина (Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения, Пуцзино, Россия)

К.г.н. Глеб Краев (Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения, Пуцзино, Россия)

Расчеты с помощью моделей оттаивания вечной мерзлоты в условиях глобального потепления предсказывают положительную обратную связь, когда выделения метана из мерзлоты способствуют росту этого парникового газа в атмосфере и, соответственно, дальнейшему росту глобальной температуры за счет парникового эффекта.

В нашем распоряжении были прямые измерения концентрации вмерзшего метана в мерзлоте, которые позволили сделать оценку этого потенциального источника. Потенциал

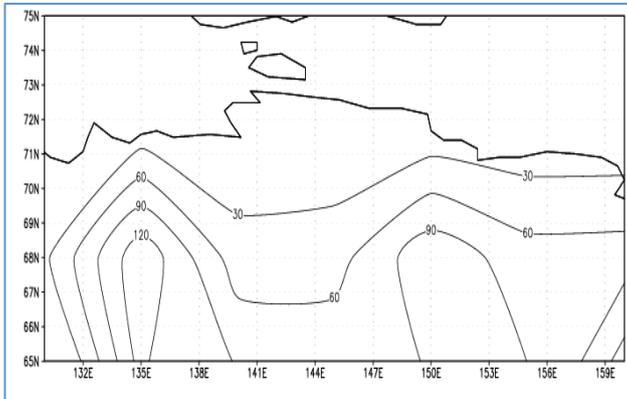


Рисунок 3 Изменения в глубине слоя сезонного оттаивания (см) за период с 1960-1970 по 2090-2100 гг. для севера Восточной Сибири, рассчитанные с помощью климатической модели ИВМ РАН

мерзлоты выбрасывать метан, ранее законсервированный в качестве замёрзших включений, был оценен для верхних 25 м отложений с учетом типа отложений и рельефа на основе многолетних измерений, проводимых Институтом физико-химических и биологических проблем почвоведения, для территории площадью 180106 км², расположенной на севере Восточной Сибири. Было показано, что наибольшее количество метана (около 60% от общего количества) содержится в голоценовых озерных отложениях, которые занимают около 20 % площади и являются самыми уязвимыми с точки зрения деградации мерзлых пород при сценариях глобального потепления.

С помощью климатической модели ИВМ РАН были предсказаны возможные изменения в глубине слоя сезонного оттаивания на 100 летний период вперед. Упрощенная модель, описывающая диффузию метана и перенос в растительных полостях, позволила оценить его возможное поступление в атмосферу. Расчеты показали, что глубина слоя

сезонного оттаивания может вырасти до 2 м по сравнению с современными значениями 0.6÷0.8 м в северной части Восточной Сибири (рис. 3), что послужит причиной высвобождения 0.3 Мт С (CH₄), замёрзшего в виде пузырьков, при условии, что весь газ попадет непосредственно в атмосферу. Истинная же эмиссия метана ограничивается скоростью диффузии газа в воде в зоне насыщения, а в случае переноса в полостях растений, возможностью диффузии метана к нижней границе корневой зоны, при условии высокого стояния надмерзлотных вод.

Также с помощью математической модели, основанной на данных лабораторного эксперимента, изучались механизмы консервации метановых пузырьков в мерзлоте. Было показано,

что в условиях медленного промерзания почвы, вода и вместе с ней растворенный метан мигрируют вверх, к фронту промерзания. При некоторых же критических значениях скорости промерзания для некоторых текстур почв (пески), вода и растворенный метан начинают отжиматься вниз, накапливаясь в незамерзшем слое, и, в период полного промерзания почвы, включаться в состав мерзлых отложений.

Океанографические исследования в Арктике

Прикромочная ледовая зона в Арктике

К.г.н. Владимир Волков (Нансен-центр, Санкт-Петербург, Россия)

Александра Мушта (Нансен-центр, Санкт-Петербург, Россия)

Анна Весман (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (АНИИ)/ Нансен-центр, Санкт-Петербург, Россия)

В 2014 году в рамках проекта SWARP (см. стр. 3 отчета) были изучены океанографические условия и пространственное распределение льда в прикромочных зонах арктических морей и подготовлено океанографическое описание прикромочных зон и стационарных полыней (как аналога прикромочных зон) в морях Гренландском, Баренцевом, Карском и Лаптевых.

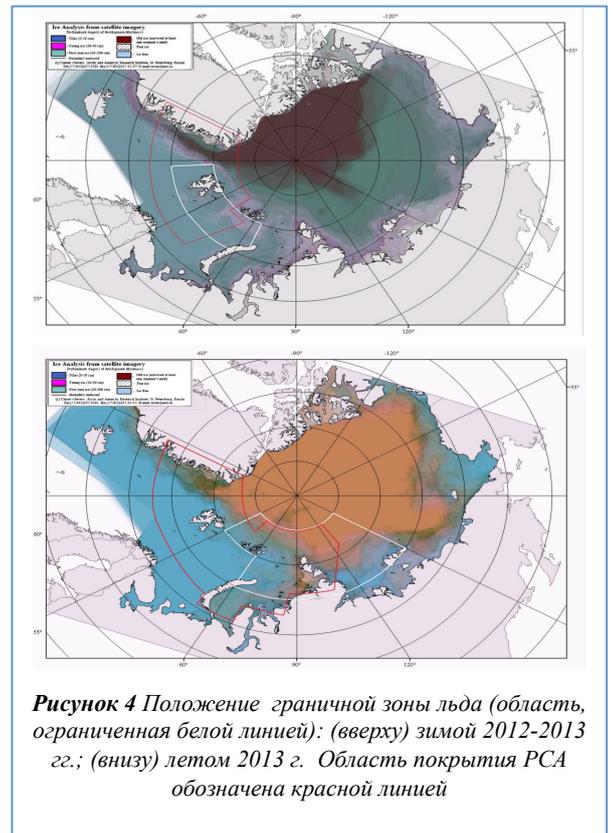


Рисунок 4 Положение граничной зоны льда (область, ограниченная белой линией): (вверху) зимой 2012-2013 гг.; (внизу) летом 2013 г. Область покрытия льда обозначена красной линией

Классическая прикромочная зона представляет собой пограничную область между ледяным покровом и открытыми районами океана или моря. Прикромочные зоны характеризуются специфическими океанографическими условиями: распресненная тонкая прослойка на поверхности, образующаяся в результате таяния льда, наличие конвекции, формирование «грибовидных» мезомасштабных неоднородностей в поле течений (дрейфа льда), затухание ветровых волн и волн зыби и пр.

Кроме прикромочных ледовых зон, в арктических морях существуют районы с аналогичными океанографическими условиями – обширные полыни, по сути это замкнутые прикромочные зоны. Значительное волнение в таких районах может развиваться только при достаточно больших размерах полыни и длительном воздействии ветра. Расчеты показывают, что высота волны в полыне больше 1 м (что важно учитывать при плавании в арктических водах) может быть достигнута лишь в стационарном состоянии, когда длительность воздействия ветра составляет более 4 часов при его скорости более 12 узлов (6 м/с). В полынях, размер которых составляет более 20 морских миль (37 км), высоты в 2 м могут быть достигнуты при значениях соответствующих параметрах 7 часов, 30 узлов (15 м/с) и 50 морских миль (92 км). Известно, что такие значительные пространства открытой воды могут наблюдаться в море Лаптевых и в северо-восточной части Баренцева моря, в основном в летнее время.

Статистические параметры прикромочных зон были получены на основании анализа

ледовых карт ААНИИ. Был создан первичный специализированный архив генеральных карт ледовых условий арктических морей и определены районы и временные границы существования прикомочных зон в 2012-2014 гг., необходимые для моделирования распространения морского волнения в ледяном покрове.

Архив состоит из 156 ледовых карт, на которых можно наблюдать изменения положения прикомочных зон для зимнего и летнего сезонов. Прикомочные зоны в Баренцевом море существуют практически круглый год. В 2012-2013 годах их граница в зимнее время была расположена между 75°-80° северной широты и 55°-75° восточной долготы. Летом граница сдвигается до 85°N (рис. 4). Зимой 2014 года прикомочная зона меандрировала в полосе 75°-80°N, в апреле-мае границы прикомочной зоны соответствовали приблизительно 75°N.

В Карском море прикомочные зоны существуют в основном в летнее время (в начале мая) и находятся между 75°-80°N и 60°-85°E (рис. 4). В период с июля по ноябрь граница зоны перемещается на север до 85°N. В 2014 году в конце июля граница перемещалась до 95°E.

Зимой периодически открываются полыньи к востоку от мыса Желания и возле полуострова Ямал.

В море Лаптевых прикомочная зона существует в период с мая по октябрь с координатами: 110°-150°E и 75°-80°N. К концу августа она перемещается к северу - до 85°N. Полынья открывается в районе около 75°N и 120°-150°E.

Полученные данные использовались для подбора спутниковых изображений, по которым оценивались параметры волнения во льдах и выполнялись расчеты дрейфа льда.

Улучшенный алгоритм классификации морского льда по радиолокационным снимкам спутника Radarsat-2

Анна Весман (ААНИИ/Нансен-центр, Санкт-Петербург, Россия)

Александра Мушта (Нансен-центр, Санкт-Петербург, Россия)

К.ф.-м.н. Наталья Захваткина (ААНИИ/Нансен-центр, Санкт-Петербург, Россия)

К.ф.-м.н. Антон Коросов (Нансен-центр, Берген, Норвегия)

В рамках проектов MyOcean и SWARP (см. стр. 3 отчета) совместная исследовательская группа петербургского и бергенского Нансен-центров продолжает работу по совершенствованию метода классификации морского льда по снимкам радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) спутника Radarsat-2.

Алгоритм классификации для разделения лед/вода был усовершенствован с помощью

метода опорных векторов (SVM) с использованием текстурных характеристик РСА снимков в качестве дополнительной информации для классификации морских льдов. Алгоритм использует РСА данные спутника Radarsat-2, который имеет возможность получения снимков с двойной поляризацией, т.е. ГГ-поляризации (сигнал передается и принимается на горизонтальной поляризации) и ГВ-поляризации (сигнал передается на горизонтальной поляризации, а принимается на вертикальной). РСА изображение состоит из нескольких узких полос (лучей) и имеет размер 500×500 км с разрешением 50 м.

Для классификации РСА изображений на предварительном этапе осуществляется коррекция обратного рассеяния на предварительно определенный угол падения, что позволяет получить достаточно однородное изображение по всей полосе обзора. Метод коррекции РСА изображения состоит из следующих шагов: 1) расчет коэффициента обратного рассеяния в соответствии с формулой калибровки, разработанной Европейским космическим агентством; 2) пересчет обратного рассеяния с фиксированным углом падения, используя заранее вычисленные коэффициенты. Для их вычисления была исследована зависимость коэффициента обратного рассеяния от угла падения на ГГ-поляризации.

Затем выполняется процедура удаления шума, состоящая из двух этапов: извлечение значений шума из файла данных, и вычитание значения шума из исходного сигнала ГВ-канала. На основе анализа различных версий результатов алгоритма и анализа текстурных особенностей, число входных параметров (текстурных характеристик) было снижено с 26 до 12 без потери качества результатов классификации и с уменьшением времени обработки.

В результате в алгоритм были внесены следующие усовершенствования:

- угловая коррекция на этапе предварительной обработки изображения (ГГ-поляризация)
- предварительная обработка изображения (на ГВ-поляризации): определение порога низких значений сигнала
- новый набор данных обучения

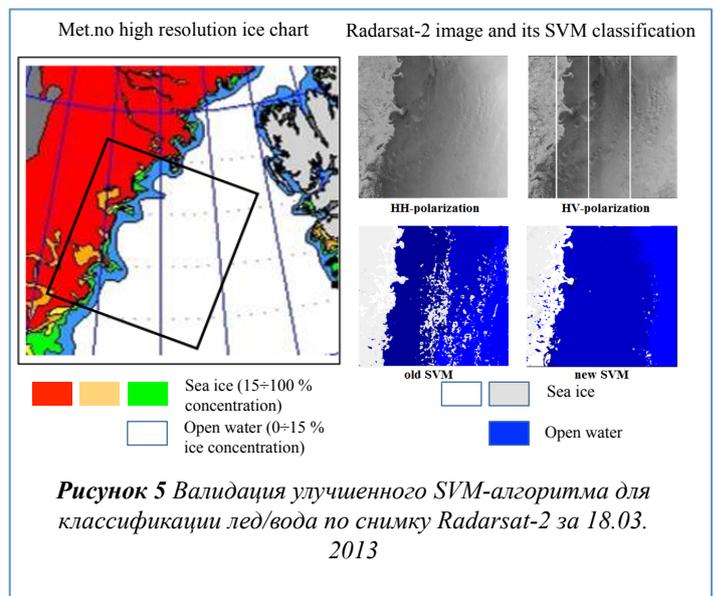


Рисунок 5 Валидация улучшенного SVM-алгоритма для классификации лед/вода по снимку Radarsat-2 за 18.03.2013

- меньшее количество текстурных характеристик, приводящее к сокращению времени обработки
- большее число уровней квантования сигнала - с 16 до 32

Валидация новой улучшенной версии автоматизированной классификации – разделения морского льда и открытой воды, – проводилась на примерах радиолокационных спутниковых изображений в районах Гренландского и Баренцева морей с использованием ледовых карт Норвежского Метеорологического института и оптических данных MODIS (рис. 5). Валидация показала увеличение точности алгоритма до 0.983-0.996.

Долговременная изменчивость термодинамических характеристик вод, окружающих Шпицберген

Анна Весман (ААНИИ/Нансен-центр, Санкт-Петербург, Россия)

К.г.н. Владимир Волков (Нансен-центр, Санкт-Петербург, Россия)

К.ф.-м.н. Борис Иванов (ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия)

Анализ океанографических условий в водах, окружающих архипелаг Шпицберген, выполнялся в рамках Нансеновской программы поддержки аспирантов. Основной целью исследования было выявление закономерностей и особенностей многолетней изменчивости вод Западно-Шпицбергенского (WSC) и прибрежного (CC) течений. WSC является основным поставщиком теплых и соленых атлантических вод в полярные и приполярные регионы. Были выбраны наиболее обеспеченные данными наблюдений пункты в области WSC и CC для интервала времени с 1950-х годов по настоящее время. Для WSC были выбраны четыре пункта: 1) у южной оконечности Шпицбергена; 2) напротив залива Белльсунн; 3) Исфьорден; и 4) у северной оконечности архипелага. Также четыре пункта были выбраны и в области CC: 1) на южной оконечности Шпицбергена; 2) напротив залива Белльсунн; 3) Исфьорден; и

4) у Земли Принца Карла. Для каждого пункта были построены диаграммы временной изменчивости температуры и солености. Для получения усредненной оценки использовался метод кригинга.

Анализируя распределение температуры воды для области WSC (рис. 6) были найдены квази-периодические повышения температуры в начале 1960-х годов, в середине 1970-х годов и в 1990-2010 гг. В 1960-х – 1970-х гг. температура поверхностного слоя (0-100 м) увеличилась на 1-2 °C по сравнению со средним за весь период исследования значением. Заглубление изотермы 3,5 °C составило в среднем 200 метров (от 200 метров до 400-450 м) в южной точке и изотермы 3 °C – от 100-250 м до 500 м для северных точек. Для современного этапа потепления (1990-2010) продолжительность и интенсивность потепления воды увеличивается. Таким образом, если температура поверхностного слоя в 1960-е годы выросла до 4-4,5 °C, то в начале 2000-х она достигла 6-6,5 °C. Аналогичные, но менее интенсивные (около 1-1,5 °C), квази-периодические изменения температуры

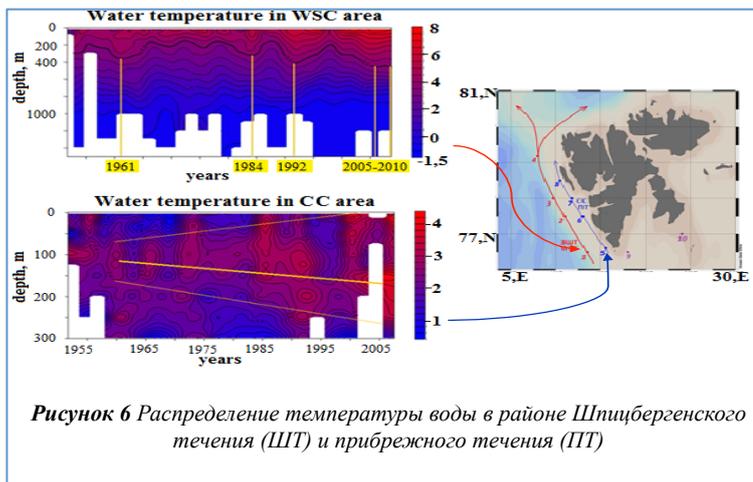


Рисунок 6 Распределение температуры воды в районе Шпицбергенского течения (ШТ) и прибрежного течения (ПТ)

зафиксированы в области СС (рис. 6). Для всех контрольных пунктов были получены позитивные тенденции, которые могут быть расценены как увеличение притока атлантических вод через пролив Фрама.

Восстановление полей дрейфа морского льда по радиолокационным изображениям высокого разрешения с использованием гистограммно-ориентированных дескрипторов

К.г.н. Владимир Волков (Нансен-центр, Санкт-Петербург, Россия)

Виктория Хмелева (Нансен-центр, Санкт-Петербург, Россия)

Денис Демчев (АНИИ/Нансен-центр, Санкт-Петербург, Россия)

Штефан Мукенхубер (Нансен-центр, Берген, Норвегия)

Стейн Сандвен (Нансен-центр, Берген, Норвегия)

Дрейф морского льда, характеризующийся значительной изменчивостью в различных пространственных и временных масштабах, определяется, в основном, по спутниковым

снимкам, в первую очередь радиолокационным. Качество информации со спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) существенно улучшилось в последние годы (например, после запуска спутника Sentinel-1), что позволяет получать данные о движении морского льда с высоким пространственным (около 1 км) и временным разрешением. Однако, данные о дрейфе льда такого разрешения пока не предоставляется поставщиками спутниковой информации, хотя они и необходимы для отслеживания дивергенции/ конвергенции в ледяном покрове, образования полыней, гряд торосов и других региональных и локальных особенностей распределения морского льда и процессов в морском ледяном покрове.

Нами реализован подход к расчету полей дрейфа морского льда, основанный на использовании последних разработок в области компьютерного зрения и адаптации современных алгоритмов отслеживания отдельных точек. Было рассмотрено несколько алгоритмов с открытым исходным кодом, которые были применены для извлечения информации о полях дрейфа льда из спутниковых изображений, получаемых от различных РСА (Envisat ASAR, Radarsat-2 и Sentinel-1).

Для данных ASAR и Radarsat-2 был разработан алгоритм, основанный на процедуре SIFT (Scale-Invariant Feature Transform), который инвариантен по отношению к масштабированию, вращению, изменению плотности снимка и пр. Было показано, что алгоритм на основе SIFT может быть использован для получения векторных полей дрейфа льда с высокой разрешающей способностью. На основе архивных данных, охватывающих период 2007-2012 гг., получен набор карт дрейфа для пролива Фрама и Карского моря, который планируется использовать для проверки и настройки динамической ледовой модели бергенского Нансен-центра.

Для возможности использования больших наборов данных и для оперативного применения был использован алгоритм ORB

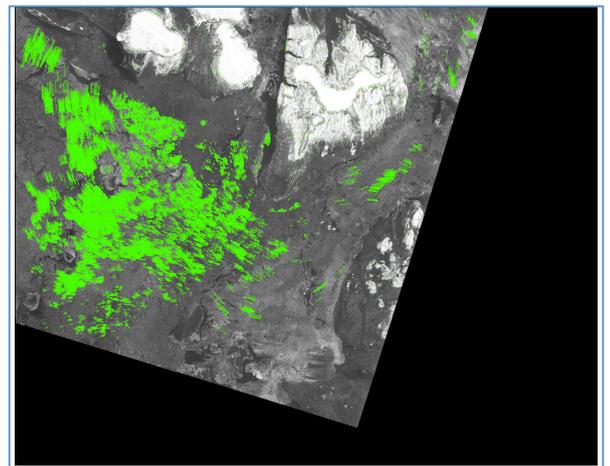


Рисунок 7 Поле дрейфа морского льда в районе пролива Вилькицкого, рассчитанное по двум последовательным изображениям Radarsat-2 на HV поляризации для 29-30 октября 2013 года

(Oriented FAST and Rotated BRIEF). Его производительность была протестирована на 4-х парах изображений Sentinel-1, покрывающих пролив Фрама, регионы вокруг Шпицбергена и Земли Франца-Иосифа, а также Карское море. Был определен лучший подходящий набор параметров, в том числе размер патча дескриптора, число уровней пирамиды и масштабный фактор.

Использование данных двойной поляризации от Radarsat-2 и Sentinel-1 показало, что канал HV обеспечивает получение в несколько раз большего числа векторов дрейфа, чем канал HH (рис 7). Однако использование HH канала в качестве дополнительного также целесообразно, так как это может обеспечить получение информации о дрейфе в областях, которые недостаточно хорошо обеспечены данными HV-канала.

Алгоритмы были валидированы с применением данных о дрейфе, полученных интерактивным (ручным) методом, и данных дрейфующих буев IAPB (Международной программы арктических полярных буев) и буев ИТР (Ice Thethered Profile).

Водные экосистемы и их реакция на глобальные изменения

Реализация процедуры обработки спутниковых данных российских датчиков, запущенных на орбиту в 2013-2014 годах, и получение параметров качества воды для информационного портала РОСКОСМОСа

К.ф.-м.н. Евгений Морозов (Нансен-центр, Санкт-Петербург, Россия)

Проф. Дмитрий Поздняков (Нансен-центры, Санкт-Петербург, Россия, и Берген, Норвегия)

Данная работа является продолжением работ, проводимых в петербургском Нансен-центре в сотрудничестве с Нансен-Центром в Бергене и Научным центром опе-

ративного мониторинга Земли (НЦОМЗ/РОСКОСМОС) в Москве. Основной целью является разработка системы обработки данных оптических датчиков, в особенности российских датчиков ШМСА-СР, ШМСА-ВР, КМСС, ОЭА. Для ШМСА-СР, ШМСА-ВР и ОЭА процедуры обработки были разработаны впервые. Система обработки для КМСС была разработана нами в 2013 г. Система написана на Python и интегрирована с пакетом программ Nansat.

Данная система обработки данных российских спутниковых датчиков на основе Nansat позволяет *a)* быстро дорабатывать систему для работы с новыми спутниковыми датчиками и *b)* конфигурировать обработку сходных данных в соответствии с требованиями конечного потребителя и техническими возможностями (вычислительные возможности сервера, допустимые объемы хранимой информации). Важно отметить, что этот подход позволяет производить дальнейшее улучшение системы без изменения её основной концепции и структуры. Она также обладает необходимыми средствами для дальнейшей передачи данных в модули обработки более высокого уровня. Включение новых алгоритмов обработки сводится к включению в систему новых модулей, отвечающих за решение конкретных задач, без необходимости производить изменения в существующих модулях системы.

Была произведена работа по настройке системы для обработки реальных данных спутниковых датчиков, планируемой в 2015 году. Эта подготовительная работа заключалась в (1) настройке алгоритмов восстановления и нейронных сетей для обработки реальных данных и (2) в оптимизации и ускорении работы алгоритмов (создание кодов, позволяющих производить параллельные вычисления, переход от алгоритма маскирования облаков на основе нейронных сетей к пороговому алгоритму). Подготовительные работы включали разработку алгоритмов восстановления концентраций хлорофилла фитопланктона, растворённого органического вещества, PAR (фотосинтетически активной радиации), маски для цветения кокколитофоров, определения Kd (коэффициента вертикального ослабления солнечного света), pLw (нормализованной яркости восходящего излучения) и Rrs (коэффициента отражения для дистанционного зондирования).

Осенью 2014 года мы активно участвовали в работе всероссийской группы по оценке качества нового российского гиперспектрального датчика ГСА, запущенного на орбиту в прошлом году, организованной РОСКОСМОСом. В рамках работы этой группы мы оценивали качество данных ГСА: были выявлены дефекты в спектральной и радиометрической калибровке, которые были описаны в специальном официальном письме от Нансен-центра.

Количественная оценка влияния глубоких циклонов на годовую первичную продуктивность в Баренцевом море за десятилетний период

К.ф.-м.н. Евгений Морозов (Нансен-центр, Санкт-Петербург, Россия)

Дмитрий Кондрик, (Нансен-центр/АНИИ, Санкт-Петербург, Россия)

Проф. Дмитрий Поздняков (Нансен-центры, Санкт-Петербург, Россия, и Берген, Норвегия)

Лассе Петтерсон (Нансен-центр, Берген, Норвегия)

Исследование влияния глубоких циклонов на первичную продукцию (ПП) в Баренцевом море (БМ), проводимое в 2013 году, было продолжено в 2014 г. Целью было, в первую очередь, выявить внутренние процессы, определяющие этот эффект и, во вторую очередь, произвести количественную оценку влияния ранее выявленных увеличений в ПП, обусловленных влиянием глубоких циклонов на годовую первичную продукцию.

Механизм влияния циклонов на ПП исследовался с точки зрения парадигмы соотношения Редфилда, в соответствии с которой стехиометрическое соотношение углерода, азота и фосфора (C:N:P), наблюдаемое в глубинных водах океана, составляет 106:16:1 (Redfield 1934). Отметим, что БМ лимитировано по азоту (данные Кольского разреза (Reigstad et al. 2002)).

При наличии данных по общему содержанию фосфора (ОФ), уравнение регрессии имеет следующий вид: $\log \text{chl} = 0.99 \log \text{ОФ} + 11$ ($r^2 = 0.74$). Чтобы применить данное соотношение мы использовали судовые данные с Кольского разреза по ОФ (Reigstad et al. 2002). Результаты наших численных оценок таковы: концентрация хлорофилла до прохождения циклона составляла около $0.6 \mu\text{g l}^{-1}$, а концентрация ОФ составляла предположительно $0.4\text{--}0.5 \mu\text{mol P l}^{-1}$ (Reigstad et al. 2002). Влияние циклона привело к повышению концентрации chl-a до $\sim 1.0 \mu\text{g l}^{-1}$. В результате вызванного циклоном вертикального перемешивания (в соответствии с нашими оценками циклоны, рассмотренные в нашем исследовании, были достаточно интенсивными, чтобы воздействовать на всю водную толщу) концентрация ОФ увеличилась до $\sim 0.7\text{--}0.8 \mu\text{mol P l}^{-1}$. Применение вышеприведённого соотношения к периодам до прохождения циклона и в момент наступления

максимума концентрации хлорофилла, показало, что рассчитанные значения составили 0.58 и $0.97 \mu\text{g l}^{-1}$, тогда как значения, полученные по спутниковым данным, составили 0.6 и $1.0 \mu\text{g l}^{-1}$, соответственно. Таким образом, нам удалось количественно определить природу изменения поверхностной концентрации хлорофилла в результате прохождения циклона и последующего вертикального перемешивания вод.

Относительно влияния циклонов на суммарную ПП за вегетационный период в БМ следует иметь в виду, что: (1) число циклонов за вегетационный сезон, приемлемых для исследования с помощью оптического спутникового зондирования, составляет в среднем 2-3; (2) увеличение концентрации хлорофилла вследствие влияния циклонов находится в широком диапазоне (в среднем, $0.2 \mu\text{g l}^{-1}$ и не превышает $\sim 0.4 \mu\text{g l}^{-1}$); и (3) средняя область, покрываемая циклоном при прохождении, составляет 14% площади БМ. Также следует учитывать, что ПП в облачных областях, где проходил циклон, значительно ниже, чем в областях без облаков, к которым

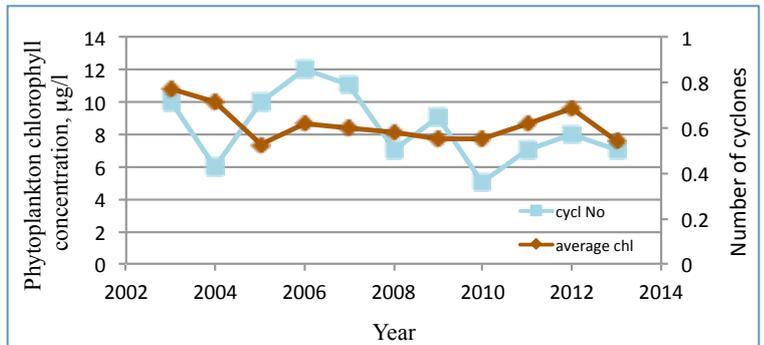


Рисунок 8 Межгодовые вариации концентрации хлорофилла фитопланктона и годовое количество циклонов над Баренцевым морем в 2002-2014 гг.

поступает прямой солнечный свет. Все вышеприведённые ограничения и неточности снижают возможность численной оценки влияния циклонов на ПП в БМ на основе всего 23 случаев. Однако, на качественном уровне, наши данные показывают, что циклоны не оказывают определяющего влияния на ПП в БМ. Подтверждение вышеприведённого утверждения относительно влияния циклонов на концентрацию хлорофилла в БМ было получено с помощью корреляционного анализа 96 случаев прохождения циклонов за вегетационный сезон за 11 лет. Прохождение 96 циклонов за весь период спутниковых наблюдений было сопоставлено со среднегодовыми значениями концентрации хлорофилла на свободной ото льда области БМ, полученных по спутниковым данным. В результате такого анализа было получено невысокое значение коэффициента корреляции, 0.35 (уровень значимости $p > 0.1$) (рис. 8).

Мы считаем, что так как данные для такого анализа включают не только случаи, доступные для оптического спутникового зондиро-

вания (23 относительно безоблачных случая), но также и облачные случаи, недоступные для оптического дистанционного зондирования, полученные результаты лучше отражают причинно-следственную связь, которую мы исследуем. Это является важным аргументом в пользу нашего предположения, что межгодовые изменения концентрации хлорофилла в БМ в незначительной степени зависят от количества проходящих интенсивных циклонов. Очевидно, другие факторы совместно определяют наблюдаемые межгодовые изменения средней концентрации хлорофилла в БМ.

Дальнейшее совершенствование компьютерного кода алгоритма восстановления параметров качества воды для оптически мелких вод и его применение для залива Сагино

Проф. Дмитрий Поздняков (Нансен-центры, Санкт-Петербург, Россия, и Берген, Норвегия)

К.ф.-м.н Антон Коросов (Нансен-центр, Берген, Норвегия)

Д-р Роберт Шукман (Мичиганский Технологический институт, Анн Арбор, США)

Озеро Гурон (ОГ) в целом – олиготрофный водоём с оптически чистыми водами. Тем не менее, один из его южных заливов, а именно залив Сагино, эвтрофицирован в результате влияния значительных антропогенных стоков и промышленных выбросов. Несмотря на это влияние, некоторые прибрежные районы залива достаточно прозрачны для солнечного света, а отражение ото дна в нем заметно сказывается на световом сигнале, выходящем из воды (рис. 9).

Таким образом, для того, чтобы исследовать качество воды в подверженных антропогенному влиянию водах таких районов, как залив Сагино, должны быть предприняты специальные меры, чтобы минимизировать эффект отражения ото дна.

В 2013 году нами был разработан био-оптический алгоритм, названный BOREALI-OSW, который позволяет восстанавливать параметры качества воды в оптически мелких водах. Этот алгоритм, основанный на модели передачи прямого солнечного излучения, гидро-оптической модели по методу

Левенберга-Марквардта и процедуре многомерной оптимизации, был разработан как инструмент для оперативного восстановления по спутниковым данным параметров качества воды в оптически мелких районах озера. Полученные на выходе данные включают в себя концентрации цветообразующих компонентов (ЦОК) (хлорофилл фитоплankтона, взвешенное вещество, окрашенное растворенное органическое вещество) и, либо глубину залегания дна, либо тип грунта (песок, ил, Харовые водоросли, Кладофора и известковая галька).

BOREALI-OSW был тщательно проверен с помощью специальных полевых экспериментов в озере Мичиган в 2012-2013 гг. Эксперименты по проверке подтвердили точность BOREALI-OSW: были получены реалистичные значения спектров подповерхностного коэффициента отражения для дистанционного зондирования и концентраций параметров качества воды (ПКВ) в пределах диапазонов глубины (<2 м-15 м, в зависимости от вектора ПКВ и типа дна), в которых оптический эффект был обнаружен.

В 2014 году мы использовали BOREALI-OSW для изучения залива Сагино. Успешность работы BOREALI-OSW сильно зависит от двух факторов: а) наличия гидро-оптической модели, включающей компоненты исследуемых вод; и б) надежной атмосферной коррекции. Первое условие в наших исследованиях было выполнено, т.к. такая модель уже была создана несколько лет назад в Мичиганском Технологическом институте. Второе условие было выполнить труднее: атмосферная коррекция НАСА, разработанная для больших акваторий, не была рассчитана для ОГ.

Тем не менее, наши исследования показали, что BOREALI-OSW позволил исключить влияние отражения ото дна. Однако, восстановленные параметры качества воды за некоторые даты оказались в противоречии со значениями, полученными в ходе полевых измерений.

Как отмечено выше, учитывая наличие соответствующей гидро-оптической модели, это несоответствие между параметрами качества воды, полученными в ходе наземных измерений и дистанционного зондирования,

зондирования (Rrs), предоставляемых MODIS и MERIS: в идеале, для одной и той же акватории и времени прохождения датчиков, спектральные значения Rrs должны быть очень близки, если не идентичны. Сравнение показало, что на те даты, когда наблюдались расхождения между параметрами качества воды, наблюдались также и различия в исходных данных (Rrs) MODIS и MERIS.

Таким образом, в целом исследование, проведенное в 2014 году в заливе Сагино, показало, что био-оптический инструмент BOREALI-OSW работает хорошо при условии, что гидро-оптическая модель компонентов воды и примененная атмосферная коррекция являются адекватными.

Разработка сводной базы данных природных и спутниковых измерений за период 1998-2013 гг. для изучения возникновения и распространения цветений *E. huxleyi* в Северном, Норвежском, Баренцевом, Гренландском и Беринговом морях

Дмитрий Кондрик, (Нансен-центр/АНИИ, Санкт-Петербург, Россия)

Проф. Дмитрий Поздняков (Нансен-центры, Санкт-Петербург, Россия, и Берген, Норвегия)

Лассе Петтерсон (Нансен-центр, Берген, Норвегия)

В 2014 году были получены спутниковые данные, содержащие значения Rrs за интересующий период, после чего был начат последующий сбор всех имеющихся данных о полевых измерениях, относящихся к цветениям *E. huxleyi* в акваториях, указанных выше. Эта подготовительная работа была необходима для осуществления запланированной в будущем верификации наших методов получения концентраций хлорофилла кокколитофоров. Помимо прочих источников, мы воспользовались базой данных PANGAEA (созданной Институтом Альфреда Вегенера (AWI) и Центром морских экологических наук (Marum) Университета Бремена, оба - Германия).

База данных PANGAEA охватывает огромное количество данных по очень широкому диапазону биологических видов. В эту обширную и универсальную базу включены результаты экспедиций и рейсов за прошедшие годы. Каждый набор данных может быть идентифицирован, выложен в открытый доступ, опубликован и процитирован с использованием цифрового идентификатора объекта. Из этой базы мы загрузили несколько наборов данных, содержащих параметры, которые относятся непосредственно к нашим целям исследования, например, количество *E. huxleyi* клеток на литр, количество живых клеток с кокколитами, количество отделившихся кокколитов, температура поверхности моря и т.д.

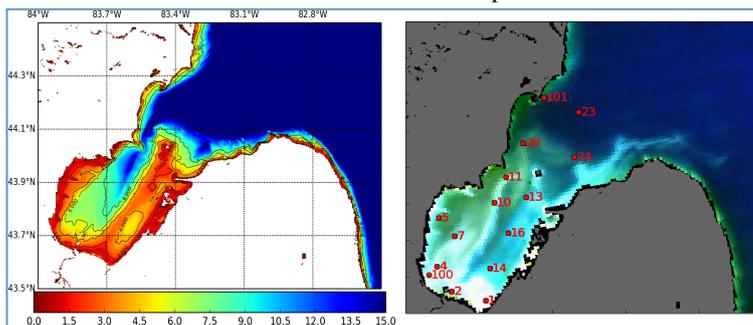


Рисунок 9 Топография (слева) и положение измерительных станций (справа) в Заливе Сагино, озеро Гурон

Общее количество наборов данных, полученных для интересующих нас акваторий и периода времени, составило 10. Каждый набор данных состоит из различного количества результатов измерений желаемых параметров, в пределах от 6 до 5244.

Эти данные были объединены и соответствующим образом отформатированы для предстоящей в 2015 году валидации и калибровки: (1) наших гидрооптических алгоритмов, в том числе BOREALI (результаты которого включают в себя концентрацию кокколитоидов *E. Huxleyi*, внутриклеточного хлорофилла данного вида, а также концентрацию внутриклеточного хлорофилла в диатомовых); и (2) разграничения областей цветения *E. huxleyi* на основе как RGB изображений, так и спектрометрических характеристик коэффициента отражения для дистанционного зондирования, заполнения областей отсутствия данных, и некоторых других автоматизированных процедур анализа спутниковых изображений цвета океана.

Экономико-климатическое моделирование

К.ф.-м.н. Дмитрий Ковалевский (Нансен-центр, Санкт-Петербург, Россия)

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

В 2014 году разработка новых экономико-климатических моделей (моделей совокупной оценки, англ. Integrated Assessment models, IAMs) осуществлялась в рамках проектов (см. стр. 3 отчета) EU FP7 COMPLEX, EU FP7 EuRuCAS и двух исследовательских проектов, поддержанных РФФИ (проект № 12-06-00381 и № 13-06-00368).

Моделирование глобальных последствий сокращения протяженности арктических морских льдов

Хорошо известно, что наблюдаемые изменения глобального климата особенно интенсивно развиваются в Арктике («арктическое усиление»). При этом региональные изменения климата Арктики, как ожидается, могут иметь далеко идущие последствия за пределами северных высоких широт, способные существенно воздействовать на мировую экономику. Ввиду расширения доступа к богатым углеводородным ресурсам в условиях прогнозируемого сокращения протяженности арктических морских льдов, Арктика может существенно влиять на глобальные энергетические рынки будущего.

Динамика объединенной экономико-климатической системы и возможные сценарии ее долгосрочного развития могут исследоваться при помощи моделей совокупной оценки. С целью оценки потенциальных последствий сокращения протяженности арктических морских льдов на глобальные энер-

гетические рынки была разработана актор-ориентированная системно-динамическая модель совокупной оценки, описывающая эффекты истощаемости углеводородных источников энергии (в Арктике и в глобальном масштабе). Модель включает в себя нелинейную положительную обратную связь, согласно которой глобальное потепление и обусловленное им сокращение протяженности арктических морских льдов может привести к более интенсивной добыче углеводородов на шельфе и, как следствие, к дальнейшему усилению глобального потепления. Одной из задач моделирования была оценка степени значимости данной положительной обратной связи, а также исследование процессов усиления указанной обратной связью различных неопределенностей, присутствующих в изучаемой системе. Выполненное модельное исследование позволяет предположить, что рассматриваемая положительная обратная связь значима для моделирования объединенной экономико-климатической динамики, и что ее включение в модель существенно корректирует динамику глобальных климатических переменных.

Результаты исследования изложены в работе: *Kovalevsky D.V., Hasselmann K. (2014): Integrated Assessment modelling of global impacts of shrinking Arctic sea ice. Сборник тезисов Всероссийской конференции с международным участием «Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата», 18-19 сентября 2014 года, Архангельск, Россия, с. 79-80.*

Сильно нелинейная динамика в модели SDEM-2

Национальное экономическое развитие существенно зависит от уровня физического капитала. Вместе с тем, хорошо известно, что одно лишь накопление физического капитала не способно дать удовлетворительное количественное объяснение экономического роста на глобальном и национальном уровне. Следовательно, для улучшения моделей экономического роста и моделей совокупной оценки необходимо включение в модельную схему эндогенного технологического прогресса.

Предложены и исследованы аналитически и численно две нелинейные версии актор-ориентированной системно-динамической модели SDEM-2 (Structural Dynamic Economic Model – Структурно-динамическая экономическая модель; ранее разрабатывалась преимущественно в линейной постановке). В первой версии модели предполагается нелинейность производственной функции, что приводит к возрастающей отдаче от масштаба. Вторая версия модели описывает эндогенный технологический прогресс путем рассмотрения технологического параметра производственной функции как дополнительной фазовой переменной. В зависимости от численных значений параметров модели и от начальных условий,

каждая из разработанных модификаций модели SDEM-2 способна демонстрировать как режим «взрывного» роста, так и режим коллапса экономики.

Результаты исследования изложены в работе: *Kovalevsky D.V. (2016): Introducing increasing returns to scale and endogenous technological progress in the Structural Dynamic Economic Model SDEM-2. Discontinuity, Nonlinearity, and Complexity, 5(1), 1-9 (в печати).*

Стохастическое экономико-климатическое моделирование

Общепризнанным является тот факт, что расчеты по моделям совокупной оценки неизбежно сопряжены со значительными неопределенностями. Один из традиционных способов учета подобных неопределенностей – это применение к моделям совокупной оценки метода Монте-Карло. Идея стохастического моделирования в данном случае заключается в том, что вместо одного прогона модели проводится большая серия прогонов, при этом параметры модели, предположительно, ответственные за ключевые неопределенности моделирования, предполагаются случайными величинами, и их реализации меняются от прогона к прогону. По результатам моделирования оцениваются плотности распределения вероятностей интересующих выходных переменных модели.

Поскольку большинство современных моделей совокупной оценки представляет собой чрезвычайно большие и сложные математические комплексы, часто требующие существенных вычислительных ресурсов, интересующие плотности распределения вероятностей, как правило, могут быть оценены лишь численно. Однако в случае упрощенных моделей, допускающих точные аналитические решения, иногда возможно выполнить «имитацию» численного метода Монте-Карло и аналитически вычислить соответствующие плотности распределения вероятностей и моменты интересующих выходных переменных модели.

Приведен конструктивный пример подобной «имитации» для простой экономико-климатической модели, основанной на АК-модели экономического роста с эндогенной (зависящей от температуры) нормой износа капитала. При этом климатический (температурный) сценарий предполагается экзогенным. Получено аналитическое решение модели. В модель введена неопределенность температурных проекций, после чего выполнена «имитация» метода Монте-Карло. Аналитически рассчитаны моменты фазовой переменной модели.

Результаты исследования изложены в работе: *Kovalevsky D.V. (2014): A climate-economic model with endogenous capital depreciation rate under uncertainty of temperature projections. Научный журнал КубГАУ, № 10(104). IDA: 1041410089. <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/89.pdf>*

Главы в книгах

- Zabolotskikh E.V., L.M. Mitnik, L.P. Bobylev, B. Chapron, (2014). Satellite passive and active microwave methods for Arctic cyclone studies. In: *Typhoon Impacts and Crisis Management* (Editors Danling Tang and GuangJun Sui). Springer, 81-92
- Pozdnyakov D., D. Tang, L. Bobylev, P. Golubkin, E. Zabolotskikh, D. Petrenko, E. Morozov, (2014). A pilot satellite-based investigation of the impact of a deep polar cyclone propagation on the phytoplankton chlorophyll spatial and temporal dynamics in the Arctic Ocean. In: *Typhoon Impacts and Crisis Management* (Editors Danling Tang and GuangJun Sui). Springer, 241-252
- SuFen Wang, DanLing Tang, Yi Sui, Gang Pan, D. Pozdnyakov, (2014). Typhoon impacts on the surface phytoplankton and primary production in the oceans. In: *Typhoon Impacts and Crisis Management* (Editors Danling Tang and GuangJun Sui). Springer, 205-218

Статьи в рецензируемых журналах

- Lebedeva L., Semenova O., Vinogradova T., (2014). Simulation of active layer dynamics, Upper Kolyma, Russia, using the Hydrograph hydrological model. *Permafrost and Periglac. Process*, 25 (4), 270–280, DOI: 10.1002/ppp.1821
- Semenova O., Vinogradov Y., Vinogradova T., Lebedeva L. (2014). Simulation of Soil Profile Heat Dynamics and their Integration into Hydrologic Modelling in a Permafrost Zone. *Permafrost and Periglac. Process*. 25 (4), 257–269, DOI: 10.1002/ppp.1820
- Lebedeva L., Semenova O., Volkova N., (2014). Assessment of wildfire impact on hydrological extremes in eastern Siberia. In: *Hydrology in a Changing World: Environmental and Human Dimensions*. IAHS Publ. 363, IAHS Press Ltd., Wallingford, UK, 90-95
- Lebedeva L., Semenova O., Folton N., (2014). Estimation of hydrological response of a small Mediterranean watershed to fire by data analysis and modelling approach. In: *Evolving Water Resources Systems: Understanding, Predicting and Managing Water-Society Interactions*. IAHS Publ., 364, IAHS Press Ltd., Wallingford, UK, 64-69
- Semenova O., Lebedeva L., Volkova N., Korenev I., Forkel M., Eberle J. & Urban M. (2014). Detecting immediate wildfire impact on runoff in a poorly-gauged mountainous permafrost basin. *Hydrological Sciences Journal*, DOI:10.1080/02626667.2014.959960 (published online)
- Yurova A., Tolstykh M., Nilsson M. and A. Sirin, (2014). Parameterization of mires in a numerical weather prediction model. *Water Resources Research*, 50(11). DOI: 10.1002/2013WR014624
- Kovalevsky D.V., Hasselmann K. (2014). A hierarchy of out-of-equilibrium actor-based system-dynamic nonlinear economic models. *Discontinuity, Nonlinearity, and Complexity*, Vol. 3, Issue 3, 303-318
- Kovalevsky D.V. (2014). Balanced growth in the Structural Dynamic Economic Model SDEM-2. *Discontinuity, Nonlinearity, and Complexity*, Vol. 3, Issue 3, 237-253

Статьи в других журналах

- Бычкова И.А., Захваткина Н.Ю. (2014). Современные спутниковые методы обнаружения и классификации ледяного покрова арктических морей. *Российские полярные исследования: информационно-аналитический сборник*, № 1 (15), 27-31
- Фёдорова А. Д., Попов А. В., Рубчюна А. В. (2014). Анализ долгопериодной изменчивости термоха-

линных характеристик водных масс в районе Гренландского циклонического круговорота. *Вестник СПбГУ*, Серия 7: Геология и География, вып.4, 144-158

- Kovalevsky D.V., Kuzmina S.I., Bobylev L.P. (2014). Projecting the global macroeconomic dynamics under high-end temperature scenarios and strongly nonlinear climate damage functions. *Russian Journal of Earth Sciences*, 14(3), ES3001, doi:10.2205/2014ES000545, http://elpub.wdcb.ru/journals/rjes/v14/2014ES000545/2014ES000545.pdf
- Ковалевский Д.В., Ковалевская Л.Д. (2014). Сингулярный рост в модели совокупной оценки, основанной на модификации модели Солоу. *Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]*. № 09(103). IDA: 1031409008, http://ej.kubagro.ru/2014/09/pdf/08.pdf
- Kovalevsky D.V. (2014). The Structural Dynamic Economic Model SDEM-2: from system dynamic solutions to linear and logarithmic utility maximization. *Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]*. № 10(104). IDA: 1041410011, http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/11.pdf
- Kovalevsky D.V. (2014). A climate-economic model with endogenous capital depreciation rate under uncertainty of temperature projections. *Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]*. № 10(104). IDA: 1041410089, http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/89.pdf
- Ковалевский Д.В., Ковалевская Л.Д. (2014). Сингулярный рост в экономико-климатической модели с эндогенным технологическим параметром. *Вестник СПбГУ*. № 8(75). 3-6. http://unecon.ru/sites/default/files/str_1_-69_0.pdf

Conference proceedings

- Lebedeva L., Semenova O., Sazonova D., Tananaev N. Modelling the vulnerability of the active layer features and water fluxes of Russian boreal zone catchments to the climate change. THAW 2014 THermokarst Aquatic ecosystems Workshop, 12-15 March 2014, Quebec City, Canada
- Lebedeva L., Semenova O., Volkova N., Forkel M., Eberle J. and Urban M. Dynamic modelling of post-fire transient hydrological behavior of the permafrost basin. EGU General Assembly 2014, Geophysical Research Abstracts Vol. 16, EGU2014-616
- Semenova O., Lebedeva L., Volkova N., Kruchin M. Assessment of historical and future extreme flood characteristics for Novorossiysk city on the Black Sea coast of the North Caucasus. EGU General Assembly 2014, Geophysical Research Abstracts Vol. 16, EGU2014-10566
- Semenova O., Lebedeva L., Zhirkevich A. Assessment of design flood characteristics for ungauged permafrost basin. Book of Abstracts – 6th IAHS-EGU International Symposium – Bologna 4-6 June 2014, p.2
- Semenova O., Lebedeva L., Folton N. Estimation of hydrological response of a small Mediterranean watershed to fire by data analysis and modelling approach. Book of Abstracts – 6th IAHS-EGU International Symposium – Bologna 4-6 June 2014, p 5
- Lebedeva L., Semenova O. Modelling of near-surface permafrost and hydrological processes across different scales and landscapes. Book of Abstracts of EU-COP4 – 4th European Conference on Permafrost, 18-21 June 2014, Évora, Portugal, p. 453
- Gnatiuk N., Krakovska S., Palamarchuk L., Shpytal T., Bilozero A. Projections of climate change in the South region of Ukraine. Proceedings of the International Conference for Young Scientists on 'Modern Hydrometeorology: Topical Issues And The Solutions', 7-9 October 2014, Odessa, Ukraine, 162-163 pp
- Fedorova A., Morozov E., Kondrik D., Rubchenia A., Pozdnyakov D. Impacts of cyclones on the phytoplankton chlorophyll and sea surface temperature spatial and temporal dynamics in the Barents Sea as re-

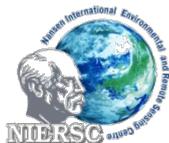
vealed from space. EGU General Assembly 2014, Geophysical Research Abstracts, Vol. 16, EGU2014-5501

- Pozdnyakov, D., Petrenko, D., and Pettersson, L. Spaceborne quantitative assessment of primary production variations in the Arctic ocean over the previous decade, ISRS-36 (Berlin, 2015). Extended peer-reviewed proceedings (submitted)
- Захваткина Н.Ю., Бычкова И.А., Волков В.А. (2014). Методы автоматизированной классификации морского льда в Арктике по спутниковым радиолокационным данным. Материалы международной научной конференции “Региональные Проблемы Дистанционного Зондирования Земли”, 26 сентября 2014 г., Красноярск, Россия, 150-154
- Весман А., Явловская В., Почтовалова А. (2014). Распределение гидрохимических показателей на разрезах Белого, Баренцева и Гренландского морей по итогам экспедиции «Плавучий университет» в июне 2014 года. Тезисы международной конференции «Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата», 18-19 сентября 2014 г., Архангельск, Россия
- Весман А., Иванов Б. (2014). Многолетняя изменчивость термического режима вод, омывающих архипелаг Шпицберген. Тезисы международной конференции «Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата», 18-19 сентября 2014 г., Архангельск, Россия
- Весман А., Иванов Б. (2014). Долгопериодная изменчивость термического режима вод, омывающих архипелаг Шпицберген. Материалы XII международной научной конференции «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа», 6-8 ноября 2014г., Мурманск, Россия, вып. 12, 31-32
- Kovalevsky D.V., Hasselmann K. (2014). Assessing the transition to a low-carbon economy using actor-based system-dynamic models. *Proceedings of the 7th International Congress on Environmental Modelling and Software (iEMSs), San Diego, California, USA, 15-19 June 2014*, Vol. 4, 1865-1872
- Kovalevsky D.V., Hasselmann K. (2014). Modelling the impacts of a national carbon tax in a country with inhomogeneous regional development: an actor-based system-dynamic approach. *ERSA 54th Congress “Regional Development & Globalisation: Best Practices”*, St. Petersburg, Russia, 26-29 August 2014 (on a memory stick)
- Kovalevsky D.V., Hasselmann K. (2014). Integrated Assessment modelling of global impacts of shrinking Arctic sea ice. Сборник тезисов Всероссийской конференции с международным участием «Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата», 18-19 сентября 2014 года, Архангельск, Россия, 79-80
- Ковалевский Д.В. (2014). Макроэкономическая динамика в моделях совокупной оценки со стохастическим климатическим модулем. Экономический рост, ресурсозависимость и социально-экономическое неравенство. Материалы IV Всероссийской конференции. Санкт-Петербург, 27-29 октября 2014 года, 127-128.
- Ковалевский Д.В., Кузьмина С.И., Бобылев Л.П. (2014). Долгосрочные проекции глобальной экономико-климатической динамики в моделях с линейными и нелинейными функциями климатического ущерба. Экономический рост, ресурсозависимость и социально-экономическое неравенство. Материалы IV Всероссийской конференции. Санкт-Петербург, 27-29 октября 2014 года, 128-129.



Участники Летней школы 2014 года в рамках проекта EuRuCAS

«Гидрология и криосфера суши Арктики и Северной Евразии в меняющемся климате»



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

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

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

