

Лаборатория математического моделирования процессов в атмосфере и гидросфере

Зав. лабораторией – д.ф.-м.н. Кузин В. И.

Важнейшие достижения

Оценка баланса пресной воды в Северном Ледовитом океане в XXI в.

Гидрологические процессы в Арктике являются важной составляющей глобального гидрологического цикла Земли. На основе численных экспериментов по моделям, разработанным в ИВМиМГ СО РАН, представлены результаты распространения аномалий пресной воды от сибирских рек в XXI в. в Северном Ледовитом океане в условиях возможных изменений климата по прогнозам на основе моделей, участвующих в международной программе ИРСС. Установлено, что межгодовая изменчивость речного стока в XXI в. имеет значимый положительный тренд.

Анализ результатов моделирования распространения аномалий пресной воды в Арктике в XXI в. показывает, что наиболее важную роль играют периоды смены атмосферной циркуляции. На основе результатов расчетов установлено, что указанные изменения приводят к увеличению экспорта пресной воды в Северную Атлантику при смене антициклонической циркуляции на циклоническую, что может приводить к изменению меридиональной циркуляции океана.

Д.ф.-м.н. Кузин В. И., д.ф.-м.н. Платов Г. А., Лаптева Н. А.

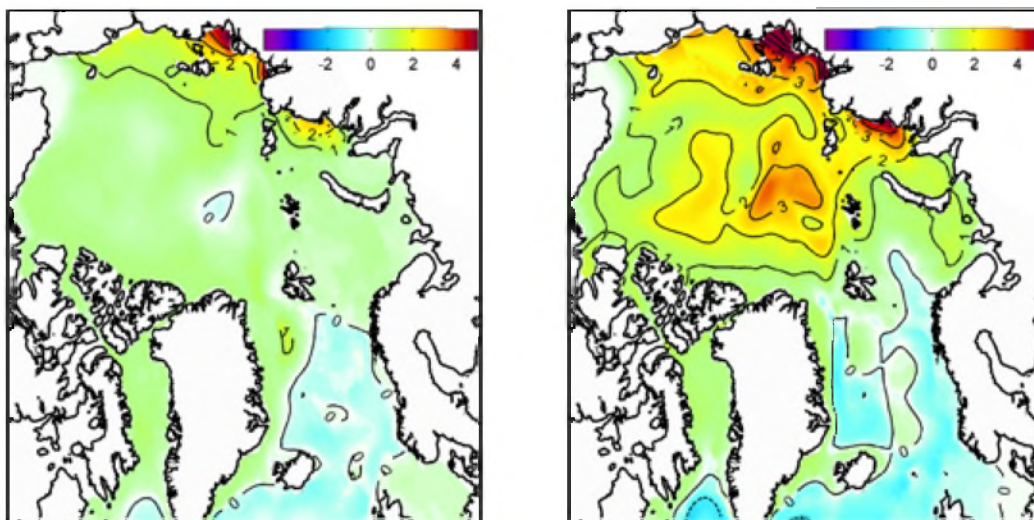


Рис. 1. Распределение аномалий пресной воды в Арктике в XXI в. по отношению к современному климату: в периоды преобладания циклонической циркуляции вод СЛО (слева), антициклонической циркуляции (справа)

Отчет по этапам научно-исследовательских работ, завершённым в 2015 г. в соответствии с планом НИР института

Проект НИР 1.3.1.2 "Решение задач физики атмосферы, гидросферы и окружающей среды методами математического моделирования".

Номер государственной регистрации НИР 01201002447.

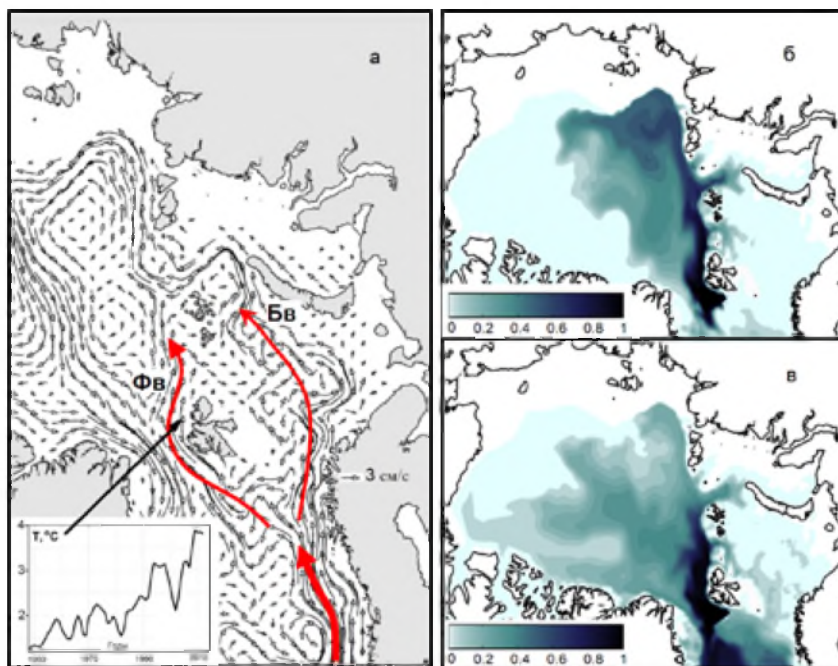


Рис. 2. *а* – результат моделирования распространения атлантических вод в Арктическом бассейне. Поле течений в слое 100–200 м, установившееся в модели к 1975 г. (стрелками показаны потоки атлантических вод: Фв – фрамовская, Бв – баренцевоморская ветви); в нижнем левом углу – временной ряд максимальной температуры в ядре атлантических вод; *б* – распространение трассера фрамовской ветви атлантических вод в слое 100–500 м в период 1989–1995 гг.; *в* – в период 2000–2009 гг.

Раздел 1. "Разработка математических моделей динамики атмосферы, океана и водных объектов суши".

Руководитель – д.ф.-м.н. Кузин В. И.

Проведено исследование изменчивости состояния вод СЛО на основе разработанной в ИВМиМГ СО РАН численной модели океана и морского льда с использованием данных реанализа атмосферы для периода с 1948 по 2013 гг. На основе анализа результатов установлено, что траектория движения теплых атлантических вод значительно меняется при смене циркуляционного режима атмосферы. Модельное поле течений атлантических вод отражает основные потоки, определяющие обмен между Северной Атлантикой и Арктическим бассейном. Среди них можно выделить две ветви атлантических вод, поступающих в СЛО и южный поток Восточно-Гренландского течения (рис. 2). В численном расчете моделируется известный из данных наблюдений процесс охлаждения в слое атлантических вод по мере продвижения их вдоль материкового склона. Основное понижение температуры воды происходит между Карским морем и морем Лаптевых. С конца 1980-х годов наблюдается повышение температуры в ядре атлантических вод, поступающих через пролив Фрама, известное из данных наблюдений.

В течение отчетного периода разрабатывался комплекс взаимодействующих численных моделей, предназначенный для исследования гидрологических и биохимических процессов, протекающих в районе Восточно-Сибирского шельфа Арктики. Комплекс включает: а) взаимодействующие региональные модели Северного Ледовитого океана (сеточное разрешение 10–25 км), шельфовой зоны моря Лаптевых (разрешение 3–4 км), окрестностей дельты р. Лены (разрешение до 400 м); б) модель речного стока на основе линейной резервуарной

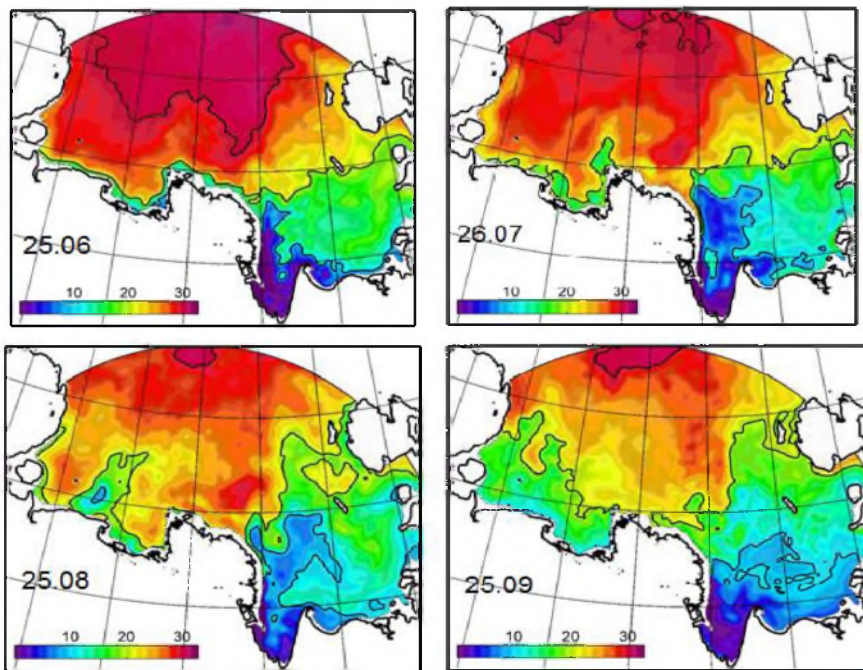


Рис. 3. Распространение пресных вод р. Лены. Распределение солености в поверхностном слое восточной части моря Лаптевых в летний период 2008 г. Модельный расчет

модели и гидродинамическая модель дельты р. Лены; в) модель осадочного слоя с многолетней мерзлотой; г) модуль усвоения данных контактных и спутниковых наблюдений,

На основе разработанного комплекса с привлечением атмосферного форсинга современного реанализа NCEP/NCAR исследуются возможные причины известного из данных наблюдений повышения температуры вод придонного слоя восточно-сибирского сектора Арктического шельфа. Среди возможных причин появления аномалий придонной температуры в области шельфа рассматриваются: а) возможность затока в шельфовую зону теплых вод атлантического слоя СЛО, траектория которых проходит по границе шельфовой зоны, б) перераспределение водных масс шельфовой зоны, вызванное сменой режимов циркуляции атмосферы; в) формирование аномалий температуры, обусловленных тепловым стоком рек. Проанализировано влияние теплового стока Арктических рек на распределение ледового покрова, термохалинных характеристик и состояние подводной мерзлоты в масштабах Северного Ледовитого океана и восточных морях сибирского шельфа. Выявлены особенности распространения пресных вод р. Лены, обусловленные изменчивостью динамики атмосферы и состоянием ледового покрова моря Лаптевых (рис. 3).

Проанализировано распространение аномалий теплой речной воды в придонном слое шельфовой зоны. По результатам расчетов эти аномалии имеют локальный характер, типичный для мелководной части шельфа, и исчезают в осенне-зимний период. Проведенные эксперименты показывают, что сезонная и межгодовая динамики температуры придонного слоя морской воды обеспечивают современное состояние подводной мерзлоты и влияют на интенсивность процессов ее деградации. Численное исследование показало, что повышение придонной температуры воды на 2°C в августе и сентябре приводит к увеличению скорости протаивания придонного мерзлого грунта в районе влияния теплых речных вод. В результате сезонного протаивания образуется талик, который начинает заглубляться за счет диффузии тепла даже при дальнейшем понижении температуры верхнего слоя грунта.

Проведено исследование влияния засоления верхнего 10-30-метрового слоя донных отложений на интенсивность разрушения мерзлых пород на шельфе морей восточной Арктики на основе модели подводной мерзлоты. Большая глубина протаивания мерзлых донных отложений обусловлена их засолением вследствие миграции солей в поровое пространство после затопления шельфа соленой морской водой. Субаквальная мерзлота в верхнем слое деградирует и при отрицательных температурах донных отложений под воздействием солей в поровых водах.

Продолжена серия экспериментов с моделью шельфовой зоны океана, являющейся частью системы вложенных океанических моделей ИВМиМГ. В результате численного исследования характера распространения береговых захваченных волн (БЗВ) выявились две важные особенности регионального моделирования взаимодействия шельфовой зоны с открытым океаном. Первая обусловлена тем, что цуг волн этого типа может формироваться в результате ветрового воздействия на значительном удалении от места, где их влияние может проявиться. Распространение вдоль береговой линии происходит без существенных потерь энергии волны при условии, что береговая линия и рельеф шельфовой зоны не содержат особенностей, сравнимых с радиусом Россби. Вторая особенность, связанная с БЗВ для регионального моделирования, заключается в том, что распространяющаяся волна способна реализовать часть своей энергии на формирование аномалий плотности на шельфе путем подъема промежуточных вод из примыкающих к шельфовой зоне районов открытого океана. Естественно, что при этом часть шельфовых вод формирует противоположные аномалии в открытом океане.

При моделировании процессов в океане в настоящее время широко используются алгоритмы усвоения данных. В целях детального изучения шельфовых районов Северного Ледовитого океана использован алгоритм усвоения, основанный на теории оптимальной фильтрации Калмана. Лидирующим направлением в этих работах является ансамблевый подход, в рамках которого матрицы ковариаций ошибок оценивания для нелинейных прогностических моделей оцениваются с помощью ансамбля прогнозов. Для решения задачи усвоения данных океанических наблюдений предложен алгоритм, основанный на этом подходе. Оценка свойств алгоритма проводилась с помощью численных экспериментов с модельными данными, кроме того, проводились численные эксперименты по усвоению данных АНИИ Росгидромета, а также архив спутниковых наблюдений Pathfinder NOAA/AVHRR для района моря Лаптевых.

На основе уравнения переноса примеси в нижней атмосфере разработана модель реконструкции полей концентрации от совокупности газоаэрозольных источников. Предложен метод оценивания параметров модели и численного построения локально оптимальных планов наблюдений. С использованием разработанной модели и данных мониторинга загрязнения снежного покрова в окрестностях ТЭЦ-2, ТЭЦ-3 Новосибирска проведено численное восстановление полей выпадения пыли, ионных компонентов. Исследовано влияние эффектов поворота ветра в слое распространения примеси на формирование полей длительных аэрозольных выпадений. Представлены оценки суммарного оседания пыли по территориям города от труб ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3.

На основе действующих нормативных документов сформулированы и показаны основные критерии релевантности, которым должны отвечать первичные данные, получаемые с городских станций контроля загрязнения атмосферного воздуха. На примере Красноярска проведено сравнение характеристик контролируемых территорий и показателей загрязнения. Приведены примеры несоответствия получаемых данных параметрам эмиссии

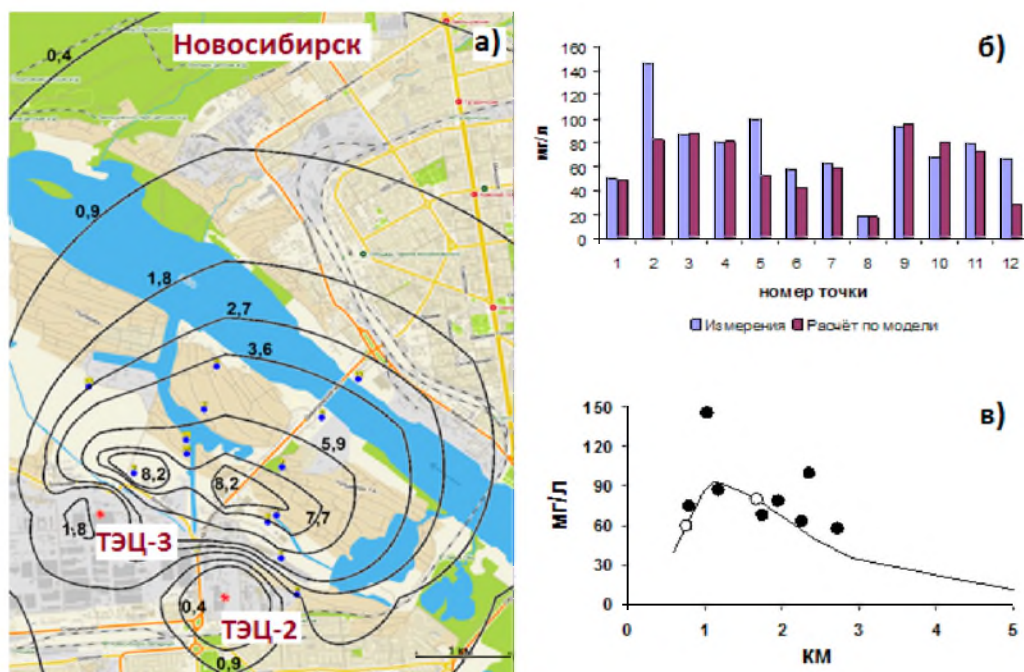
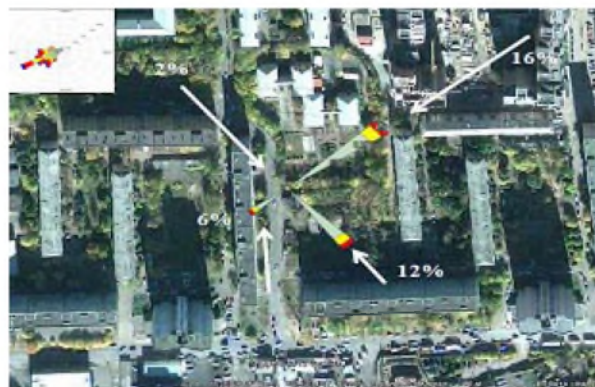


Рис. 4. Восстановленное суммарное поле выпадений пыли в снеге от ТЭЦ–2 и ТЭЦ–3 Новосибирска ($\mu\text{g}/\text{m}^2$) (а); измеренная и вычисленная концентрации пыли в точках отбора проб (б); восстановленная концентрация пыли в северо-восточном направлении от ТЭЦ (в); обозначения: \circ – опорные точки, \bullet – контрольные точки наблюдений, * – положение источников

Рис. 5. Пример розы ветров на городских станциях контроля загрязнения атмосферы в Красноярске (в левом верхнем углу – роза ветров с метеостанции Красноярск, индекс ВМО 29570)



вследствие недостаточного учета особенностей воздухообмена и переноса загрязняющих веществ внутри кварталных территорий, предложены пути и методы решения выявленных проблем при организации наблюдений за состоянием и загрязнением атмосферного воздуха в городах.

Результаты работ по проектам РФФИ

Проект РФФИ № 14-05-00730-а "Исследование формирования и баланса водных масс Северного Ледовитого океана на основе численного моделирования".

Руководитель– д.ф.-м.н. Кузин В. И.

На основе анализа результатов численного моделирования гидротермодинамики СЛО в 1948–2013 гг. установлено, что изменчивость атмосферной циркуляции Арктики отражается