

НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО ПРОБЛЕМАМ КЛИМАТА ЗЕМЛИ
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ РАН
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ им. А. М. ОБУХОВА РАН

Международная конференция

**ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА:
ПРИЧИНЫ, РИСКИ, ПОСЛЕДСТВИЯ, ПРОБЛЕМЫ
АДАПТАЦИИ И РЕГУЛИРОВАНИЯ.
КЛИМАТ–2023**

9–13 октября 2023 года, Москва, Россия

International conference

**CLIMATE CHANGE:
CAUSES, RISKS, CONSEQUENCES, PROBLEMS OF
ADAPTATION AND MANAGEMENT.
CLIMATE–2023**

October 9–13 2023, Moscow, Russia

Тезисы докладов
Abstracts

МОСКВА
ФИЗМАТКНИГА
2023

УДК 551.5
М43

Редколлегия: *И. И. Мохов, В. А. Семенов, А. В. Чернокульский, А. И. Нарижная, М. Р. Парфенова, В. А. Фалалеева*

Международная конференция «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования. Климат-2023». 9–13 октября 2023 года. Сборник тезисов докладов. — М.: Физматкнига, 2023. — 246 с. ISBN 978-5-89155-397-2.

В сборнике приведены тезисы докладов международной конференции «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования. Климат-2023», проводимой в рамках мероприятий, посвященных 300-летию Российской академии наук, а также постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 220 и Соглашения № 075-15-2021-577 от 03.06.2021 о выделении гранта Минобрнаукой.

ISBN: 978-5-89155-397-2



9 785891 553972

© Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН

НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО ПРОБЛЕМАМ КЛИМАТА ЗЕМЛИ
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ РАН
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ им. А. М. ОБУХОВА РАН

Международная конференция
ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА:
ПРИЧИНЫ, РИСКИ, ПОСЛЕДСТВИЯ, ПРОБЛЕМЫ
АДАПТАЦИИ И РЕГУЛИРОВАНИЯ
КЛИМАТ-2023

Тезисы докладов



ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Мохов И.И. – академик РАН, сопредседатель Научного Совета РАН по проблемам климата Земли, научный руководитель Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, председатель

Бондур В.Г. – академик РАН, сопредседатель Научного Совета РАН по проблемам климата Земли, научный руководитель Научно-исследовательского института аэрокосмического мониторинга, сопредседатель

Бортников Н.С. – академик РАН, академик-секретарь Отделения наук о Земле РАН, сопредседатель

Макоско А.А. – член-корреспондент РАН, заместитель президента РАН, заместитель председателя

Семенов В.А. – академик РАН, заместитель академика-секретаря Отделения наук о Земле РАН, заместитель директора Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, заместитель председателя

Чернокульский А.В. – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, ученый секретарь

Алексеев Г.В. – доктор географических наук, заведующий отделом Арктического и Антарктического научно-исследовательского института

Вильфанд Р.М. – доктор технических наук, научный руководитель Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации

Володин Е.М. – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН

Гельфан А.Н. – член-корреспондент РАН, заведующий отделом Института водных проблем РАН

Голицын Г.С. – академик РАН, Советник РАН Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Гулев С.К. – член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Еланский Н.Ф. – член-корреспондент РАН, заведующий отделом Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Елисеев А.В. – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

Катцов В.М. – доктор физико-математических наук, директор Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова

Кислов А.В. – доктор географических наук, заведующий кафедрой Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

Куличков С.Н. – доктор физико-математических наук, директор Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Мареев Е.А. – академик РАН, заместитель директора Института прикладной физики РАН

Панченко М.В. – доктор физико-математических наук, заведующий отделением Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН

Порфирьев Б.Н. – академик РАН, научный руководитель Института народнохозяйственного прогнозирования РАН

Ревич Б.А. – доктор медицинских наук, заведующий лабораторией Института народнохозяйственного прогнозирования РАН

Романовская А.А. – член-корреспондент РАН, директор Института глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля

Семенов С.М. – член-корреспондент РАН, научный руководитель Института глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Мохов И.И. – академик РАН, сопредседатель Научного Совета РАН по проблемам климата Земли, научный руководитель Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, председатель

Семенов В.А. – академик РАН, заместитель академика-секретаря Отделения наук о Земле РАН, заместитель директора Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, заместитель председателя

Чернокульский А.В. – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН,

заместитель председателя

Сократова И.Н. – кандидат географических наук, начальник Отдела наук о Земле РАН – заместитель академика-секретаря Отделения наук о Земле РАН по научно-организационной работе

Акперов М.Г. – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Артамонов А.Ю. – научный сотрудник Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Денисов С.Н. – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Зайцева Н.А. – доктор географических наук, главный специалист отдела наук о Земле РАН

Казанцев В.С. – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Кириллова Е.Э. – кандидат географических наук, главный специалист отдела наук о Земле РАН

Нарижная А.И. – младший научный сотрудник Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Парфенова М.Р. – младший научный сотрудник Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Репина И.А. – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Романова О.С. – кандидат географических наук, главный специалист отдела наук о Земле РАН

Фалалеева В.А. – младший научный сотрудник Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Федорова Е.И. – младший научный сотрудник Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Чхетиани О.Г. – доктор физико-математических наук, заместитель директора Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Филошкин Ю.Б. – кандидат физико-математических наук, заместитель начальника отдела наук о Земле РАН

Россия на траекториях движения к углеродной нейтральности

Башмаков И.А.

Центр энергоэффективности - XXI век, Москва, Россия

cenef@co.ru

Ключевые слова: *углеродная нейтральность, низкоуглеродное развитие, низкоуглеродные технологии, парниковые газы, экономический рост*

В октябре 2021 г. Россия поставила цель выйти на углеродную нейтральность.

К 2060 г. дороги, по которой Россия может двигаться к этой цели, еще не нанесены на карту. Для формирования политики декарбонизации нужны прогнозы, которые позволяют оценивать возможные долгосрочные и системные эффекты мер политики и принимать грамотные решения.

В докладе изложены результаты прогнозов по трем сценариям (4S - Stagnation, Sanctions, Self-Sufficiency, 4D - Development Driven by Decarbonization and Democratization и 4F - Fossil Fuels for Feedstock) с использованием разработанной в ЦЭНЭФ-XXI системы долгосрочных моделей, включающей модели для основных секторов экономики, на фоне полученных оценок развития экономики России до 2060 г. Показано, что декарбонизация экономики России – это сложная партия. Ее нельзя выиграть, зная только ход 2F (Forest First). Выигрыш обеспечивают ходы 4D и 4F, которые позволяют за счет стимулирования масштабного применения низкоуглеродных технологий и практик во всех секторах выйти на траектории выбросов ПГ, обеспечивающие достижение заявленной цели углеродной нейтральности.

В работе отражено влияние санкций и глобального энергоперехода на долгосрочный экономический рост в России, а также влияние мер политики по сокращению технологического разрыва, разрыва предложения низкоуглеродных технологий и разрыва в локализации их производства в России на перспективы достижения углеродной нейтральности. В работе показано, что достижение углеродной нейтральности к 2060 г. возможно без увеличения нетто-стоков в секторе ЗИЗЛХ.

Показано также, что политика полного технологического суверенитета – это тупиковый путь, чреватый непомерными издержками при отсутствии гарантии успеха, а устойчивая и эффективная стратегия для России – это разносторонняя и географически сбалансированная международная кооперация в сфере производства и использования низкоуглеродных технологий.

Климатические прогнозы: актуальные вопросы и перспективы развития в Гидрометцентре России

Вильфанд Р.М.¹, Хан В.М.^{1,2,3}, Куликова И.А.¹, Макарова М.Е.¹

¹*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия*

²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

³*Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия*
romanvlfand@mail.ru

Ключевые слова: климатические прогнозы, полулагранжева модель, ансамблевые прогностические системы, вероятностные подходы, неопределенность, априорная оценка качества, полезность прогноза

Рассматриваются основные виды климатических прогнозов, разрабатываемых в Гидрометцентре России/Северо-Евразийском климатическом центре (СЕАКЦ), различных пространственно-временных масштабов. Проведено сравнение некоторых структурных особенностей прогностической системы Гидрометцентра России и других мировых метеорологических центров. Отмечено, что в отличие от других центров, прогностическая система Гидрометцентра России/СЕАКЦ базируется на комплексном использовании синоптических, статистических и гидродинамических методов. С использованием ретроспективных прогнозов, полученных на базе новой версии глобальной полулагранжевой модели атмосферы Гидрометцентра России и ИВМ РАН, рассмотрены основные преимущества ансамблевых прогностических систем и вероятностных подходов, на базе которых в последние годы решаются вопросы уменьшения неопределенности прогнозов будущего состояния атмосферы. Отмечается, что вероятностный подход позволяет получить информацию не только о будущем состоянии атмосферы, но и об объективно существующей неопределенности прогноза. Использование вероятностных оценок позволяет расширить временной интервал «полезности» прогнозов по сравнению с детерминистическим подходом от одной недели до месяца, а также получить априорные оценки качества прогноза и его потенциальной экономической эффективности. Полученные выводы, основанные на количественных оценках, будут использованы при составлении рекомендаций относительно усовершенствования оперативных методов и практик климатического прогнозирования в Гидрометцентре России/СЕАКЦ, а также для определения вектора будущих исследований, направленных на развитие российской системы климатического прогноза.

Воспроизведение современных изменений климата в климатической модели ИВМ РАН

Володин Е.М.^{1,2,3}, Грицун А.С.¹, Воробьева В.В.^{1,2}, Тарасевич М.А.^{1,4}, Черненко А.Ю.^{1,4}

¹Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия

²Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

³Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Нижний Новгород, Россия

⁴Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),
Долгопрудный, Россия
volodinev@gmail.com

Ключевые слова: Модель, климат, изменение, температура, осадки, параметризация

Рассматривается воспроизведение изменений климата, наблюдавшихся в последние десятилетия, с помощью модели климата ИВМ РАН, а также воспроизведение вероятных будущих изменений климата в следующие несколько десятилетий. Показано, что в версии модели с маленькой и большой чувствительностью воспроизведение исторического роста температуры и его особенностей примерно одинаково, а существенные изменения начинают проявляться примерно с 2025-2030г. Рассматривается поглощение антропогенного CO₂ океаном и наземными экосистемами, изменение компонент баланса тепла на поверхности, параметров глобальной электрической цепи.

Регулирование антропогенного воздействия на климат: проблемы мониторинга достижения углеродной нейтральности регионов России

Гинзбург В.А.^{1,2}

¹*Институт глобального климата и экологии им. акад. Ю.А. Израэля, Москва, Россия*

²*Институт географии РАН, Москва, Россия*

veronika.ginzburg@gmail.com

Ключевые слова: *Регулирование воздействия на климат, инвентаризация парниковых газов, региональный кадастр*

Доклад посвящен проблеме подготовке региональных кадастров выбросов парниковых газов и оценке углеродного баланса регионов России. Показано, что качество разработки региональных кадастров оказывается основополагающим для формирования политики и мер углеродного регулирования в регионах России. Эффективность мер по регулированию выбросов парниковых газов на региональном уровне обусловлено тем, что региональные власти имеют потенциал воздействия не только на крупные отраслевые предприятия, но и на такие источники и пулы поглощения углерода, которые не попадают под ответственность отраслевых министерств и ведомств. Это частный транспорт, население, лесное хозяйство и другое. В последнем докладе МГЭИК по изменению климата подчеркивается важность сокращения выбросов в межсекторных видах деятельности, регулирование которых как раз находится в ведении региональных властей. В докладе обсуждаются вопросы сложившейся в России практики подготовки региональных кадастров парниковых газов, сопутствующие сложности и перспективы.

Климатическая стратегия ПАО «Газпром»

Ишков А.Г.

ПАО "Газпром", Санкт-Петербург, Россия

a.ishkov@adm.gazprom.ru

Ключевые слова: климат, низкоуглеродное развитие, метан

Климатическая стратегия ПАО «Газпром» до 2050 года направлена на обеспечение устойчивого развития Общества в условиях низкоуглеродного тренда мировой энергетики. Основные положения Стратегии определены на основе сценариев устойчивого развития до 2050 года с учётом цели Российской Федерации достичь баланса между антропогенными выбросами парниковых газов и их поглощением не позднее 2060 года.

С учётом растущих энергетических потребностей мировой и российской экономики ПАО «Газпром» обеспечивает снабжение потребителей надежной, доступной и чистой энергией, снижая углеродоемкость операционной деятельности и способствуя снижению углеродного следа продукции, наращивая технологический потенциал для развития новых рыночных ниш низкоуглеродной энергетики. ПАО «Газпром» является компанией-лидером развития в России высокотехнологичного направления «Водородная энергетика». Общество проводит научные исследования по различным направлениям климатической повестки, в том числе о роли метана и водорода, мерах по адаптации, разработке инновационных технологий и энергоэффективности, популяризации современных методов объективного расчета углеродного следа, в том числе на основе Потенциала изменения глобальной температуры и других факторов.

ПАО «Газпром» реализует планы по расширению использования природного газа в качестве приоритетного низкоуглеродного энергетического ресурса. Газификация регионов – одно из наиболее масштабных и значимых направлений работы Общества, которое обеспечивает значительное сокращение выбросов парниковых газов. Развивая рынок газомоторного топлива, ПАО «Газпром» предлагает рациональные решения для сокращения выбросов парниковых газов в быстро растущем транспортном секторе. Сбалансированное низкоуглеродное развитие Общества в долгосрочной перспективе обеспечено соответствующей научной и ресурсной базой, развитой инфраструктурой и имеющимися компетенциями.

Климатическая наука для принятия решений

Катцов В.М.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург, Россия
kattsov@mail.ru

Ключевые слова: мониторинг, моделирование, климатическая политика

Данные наблюдений, моделирования и прогнозирования состояния и изменений земной системы, а также влияющих на нее факторов служат ключевой информационной основой для выработки, практической реализации и последующей оценки результативности национальной климатической политики – как внутренней, так и внешней – в отношении целей и путей, пределов и механизмов адаптации к изменениям климата и смягчения антропогенного воздействия на климат.

Решению этих задач в значительной мере призвана содействовать Федеральная научно-техническая программа в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021 – 2030 годы (ФНТП). Этой программе синергичен Важнейший инновационный проект государственного значения, направленный на создание единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ (ВИПГЗ). Миссия ВИПГЗ-ФНТП – разработка и совершенствование инфраструктуры и технологий мониторинга и моделирования для получения международно признаваемых отечественных данных в области экологии и климата, включая созданные на их основе продукты.

С конца 2022 г. ВИПГЗ-ФНТП реализуется силами шести консорциумов, объединяющих усилия, примерно, полусотни научно-исследовательских и образовательных организаций по направлениям: (1) Земная система: моделирование и прогноз; (2) Океан: мониторинг и адаптация; (3) Суша: мониторинг и адаптация; (4) Углерод в экосистемах: мониторинг; (5) Экономика климата; (6) Антропогенные выбросы: кадастр.

Безуглеродная Россия: есть ли шанс достичь углеродной нейтральности к 2060 году?

Клименко В.В.^{1,2,3}, Клименко А.В.², Терешин А.Г.^{1,2,3}

¹Национальный исследовательский университет “МЭИ”, Москва, Россия

²Национальный исследовательский технологический университет “МИСИС”, Москва, Россия

³Институт энергетических исследований РАН, Россия, Москва

TereshinAG@mpei.ru

Ключевые слова: экономика, энергетика, лесное хозяйство, эмиссия и поглощение парниковых газов, климатическая нейтральность, историко-экстраполяционный подход, сценарии

Рассмотрены перспективы снижения углеродоемкости экономики России и возможности достижения климатической нейтральности народного хозяйства страны к 2060 г. На основе историко-экстраполяционного подхода к исследованию развития различных социотехнических систем и путем сравнения динамики углеродных показателей экономик России и ведущих стран мира показано, что полная компенсация антропогенных выбросов парниковых газов при поглощении их биосферой (в первую очередь, лесами) сегодня возможна скорее лишь теоретически. Условием этого является выполнение чрезвычайно амбициозных масштабных программ реформирования всех отраслей экономики страны – от энергетики до лесного хозяйства. Так, в оптимистическом сценарии темпы снижения удельных показателей эмиссии парниковых газов на душу населения должны составлять максимальные, достигнутые в мире за последние 50 лет значения, 1%/год. В управление состоянием лесов необходимо включать полную компенсацию растущих вырубок и 50%-ное сокращение потерь лесов от пожаров, в настоящее время являющихся вторым (после энергетики) источником выбросов парниковых газов в атмосферу. Наиболее вероятным представляется сценарий, в котором скорость снижения удельных выбросов парниковых газов на душу населения составляет 0.5%/год и обеспечивается умеренное возрастание поглощающей способности лесов главным образом благодаря реализации лесоклиматических проектов и снижению пожарной эмиссии. При реализации последнего сценария нетто-эмиссия парниковых газов может составить примерно 700 Мт CO₂экв к 2060 г., что потребует для достижения климатической нейтральности создания национальной индустрии улавливания и захоронения углерода в беспрецедентных масштабах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России в НИУ МЭИ в части энергетических исследований (проект № FSWF-2023-0017) и Российского научного фонда в НИТУ МИСИС в части исследований лесных ресурсов (проект № 22-29-00680).

Электрические явления в климатической системе и их моделирование

Мареев Е.А.

*Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Нижний Новгород, Россия
mareev@ipfran.ru*

Ключевые слова: *атмосферное электричество, молния, глобальная электрическая цепь, мониторинг и моделирование, параметризация*

В докладе будут рассмотрены последние достижения и проблемы изучения атмосферного электричества. Основное внимание будет уделено моделированию глобальной электрической цепи и молнии, в частности проблеме параметризации ионосферного потенциала и частоты молниевых вспышек в современных моделях погоды и климата. Будут затронуты также некоторые важные для приложений эффекты, связанные с влиянием молниевых разрядов на состав и динамику атмосферы и нижней ионосферы.

Региональные климатические аномалии и тренды на фоне глобальных изменений, естественные и антропогенные причины, предсказуемость, последствия

Мохов И.И.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

mokhov@ifaran.ru

Ключевые слова: *глобальные климатические изменения, региональные аномалии и тренды, причины, предсказуемость, последствия*

Анализируются региональные климатические аномалии и тренды, в частности в российских регионах, на фоне глобальных изменений с оценкой причин, предсказуемости, последствий. Особенности современных глобальных и региональных климатических аномалий и трендов по данным наблюдений (включая спутниковые данные) и реанализа сопоставляются с палеоклиматическими реконструкциями. Характеризуется роль естественных и антропогенных факторов в разных регионах. Оцениваются тенденции возможных в будущем глобальных и региональных климатических изменений и их последствий с использованием модельных расчетов.

Пилотный проект карбоновых полигонов РФ: результаты первых 2 лет реализации

Ольчев А.В.¹, Гулев С.К.²

¹*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

²*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия*

aoltche@yandex.ru

Ключевые слова: *парниковые газы, карбоновые полигоны, углеродная нейтральность*

Карбоновый полигон – это один или несколько участков земной поверхности с репрезентативными для данной территории рельефом, растительным и почвенным покровом, созданные для реализации мероприятий по определению потоков парниковых газов, а также по развитию технологий их контроля в природных экосистемах. Пилотный проект инициирован Министерством Образования и науки Российской Федерации по декарбонизации российской экономики, адаптации экономики к глобальному энергопереходу, сокращению выбросов парниковых газов и достижению углеродной нейтральности России к 2060 году.

Основными задачами карбоновых полигонов являются: мониторинговые наблюдения за эмиссией и поглощением парниковых газов в природных экосистемах и отработка технологических решений контроля эмиссии и поглощения парниковых газов природными экосистемами, направленных на уменьшение их эмиссии и увеличения их поглощения из атмосферы.

Для достижения поставленных задач в пилотном проекте используется комплексный подход, включающий разветвленную систему станций наземного мониторинга составляющих углеродного баланса и потоков парниковых газов, данные дистанционного зондирования (спутниковое и самолетное зондирование, зондирование с использованием беспилотных летательных аппаратов), и методы математического моделирования процессов переноса парниковых газов между земной (водной) поверхностью и атмосферой в различных пространственных и временных масштабах.

Для проведения мониторинговых наблюдений за потоками парниковых газов привлекается широкий спектр экспериментальных подходов для прямого и косвенного определения потоков парниковых газов и составляющих углеродного баланса. Среди прямых методов измерения потоков в полевых условиях используются методы турбулентных пульсаций (eddy covariance) и экспозиционных камер.

Стратегии адаптации населения и экономики России к изменениям климата

Порфирьев Б.Н.

Институт Народногохозяйственного Прогнозирования РАН, Москва, Россия

b_porfiriev@mail.ru

Ключевые слова: стратегия, адаптация, ущерб, затраты

Обосновывается стратегическая значимость адаптации. Рассматриваются проблемы взаимосвязи стратегий адаптации и снижения нетто-выбросов парниковых газов (митигации), включая ключевые отличия и соотношение между адаптацией и митигацией при принятии управленческих решений. Анализируются основные характеристики (политики) адаптации: объекты, факторы, субъекты адаптации, ключевые типы и группы адаптационных мер. Рассматриваются вопросы определения и оценки ущерба и затрат (инвестиций) в адаптацию, приоритетов и эффективности инвестиций в адаптацию, интеграции мер адаптации в социально-экономическую политику.

Ключевые направления защиты здоровья в условиях климатических изменений

Ревич Б.А.

*Институт Народногохозяйственного Прогнозирования РАН, Москва, Россия
brevich@yandex.ru*

Ключевые слова: *здоровье, смертность, заболеваемость, волны жары, клещевой энцефалит, малярия, профилактическая медицина, эпидемиология*

Представлены основные направления защиты здоровья населения в различных климатических зонах. Для мегаполисов и других крупных городов наиболее актуальны меры по созданию систем ранней метеорологической информации о наступлении волн жары, по разработке рекомендаций об изменениях образа жизни во время аномальных явлений; по внедрению оптимальных режимов труда и отдыха для разных возрастных и профессиональных групп населения; для медицинских работников – по корректировке схем лечения при экстремально высоких температурах; для работников социального сектора – по созданию комфортного микроклимата в домах престарелых и инвалидов.

По климатозависимым инфекционным заболеваниям следует усиление эпидемиологического надзора, создание запаса необходимых вакцин, обучение медицинских работников диагностике и лечению новых инфекционных заболеваний и другие профилактические меры.

В городах должны быть подготовлены предложения по улучшению доступности открытых зеленых и синих пространств, помещений с комфортным микроклиматом, разработаны уличные легкие конструкции для временной защиты от воздействия аномально высоких температур.

Для Арктического макрорегиона и засушливых территорий необходимо принятие специфических мер по защите здоровья населения с учетом особенностей воздействия аномально высоких и низких температур на пришлое и коренное население.

**Межправительственная группа экспертов по изменению климата
(МГЭИК): некоторые итоги текущей работы, проблемы и
перспективы их разрешения**

Семенов С.М.

¹*Институт глобального климата и экологии им. акад. Ю.А. Израэля, Москва, Россия*

²*Институт географии РАН, Москва, Россия*

sergeysemenov1@yandex.ru

Ключевые слова: климат, мгэик

Представлены основные итоги шестого цикла (2015-2023) работы Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Сформулированы главные выводы, приведенные в Резюме для политиков Синтезирующего доклада этого цикла. Указаны некоторые приоритеты в развитии подходов, используемых МГЭИК при оценках изменений климата, из последствий и возможностей смягчения антропогенного воздействия на климатическую систему Земли.

Двухвековая цикличность мощности солнечного излучения определяет изменение климата

Абдусаматов Х.И.

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия
abduss@gaoran.ru*

Ключевые слова: *Солнце, квазидвухвековой цикл, фаза спада, энергетическая мощность, снижение температуры, альbedo Бонда, эффекты обратной связи, похолодание*

Солнце вступило в фазу спада квазидвухвекового цикла, когда энергетическая мощность каждого последующего 11-летнего цикла как солнечной постоянной (СП), так и солнечной активности (СА) становится меньше предыдущего, а продолжительность циклов увеличивается. Разработан и введен новый физически обоснованный индекс 11-летних циклов СА: относительная интегральная энергетическая мощность цикла. Начало глубокого солнечного минимума маундеровского типа ожидается в 27 ± 1 цикле в 2042 ± 11 г. Длительно накопленный в Океане дефицит солнечной энергии с 1990-х годов благодаря термической инерции и отрицательному энергетическому дисбалансу между Землей и космосом (ЭДЗ) обеспечит небольшое (≈ 0.2 К) снижение температуры. Оно служит спусковым механизмом последующих многократных причинно-следственных эффектов обратной связи, вызывающих увеличение альbedo Бонда Земли, уменьшение содержания парниковых газов в соответствии с соотношением Клапейрона-Клаузиуса и законом Генри, расширение окна прозрачности атмосферы, а также уменьшения площади «темной» поверхности Океана, усиливающие наступившее похолодание в несколько раз. Это ведет к началу фазы глубокого похолодания Малого ледникового периода в 2070 ± 11 г. Цикличность выхода солнечной энергии объясняет практически одновременные изменения климата на всех планетах Солнечной системы. Выводы о том, что наблюдаемое потепление практически связано с антропогенными выбросами основаны исключительно на компьютерном моделировании, предполагающим, что Солнце незначительно влияет на климатическую систему только посредством прямого воздействия СП. Однако изменение климата вызвано не только прямым незначительным воздействием СП, но и более важными и значительными последующими причинно-следственными эффектами обратной связи, многократно самоусиливающими наступившее похолодание. Двухвековая цикличность СП и ЭДЗ наряду с последовательными многократными воздействиями эффектов обратной связи являются главными факторами, управляющими климатической системой.

Литература:

1. Абдусаматов Х.И. О некорректности правила Гневышева-Оля в объединении четно-нечетных циклов 11-летней солнечной активности в физические пары и высоте максимума XXV и XXVI циклов // Астрон. журнал. 2022. Т. 99, № 8, С. 684-693.

Увеличение концентрации водяного пара при потеплении снижает чувствительность климата к росту содержания углекислого газа

Абдусаматов Х.И.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия
abduss@gaoran.ru

Ключевые слова: чувствительность климата, перекрытия полос поглощения, моделирование изменения спектров поглощения, водяной пар приповерхностных слоев, углекислый газ

Естественные концентрации водяного пара и углекислого газа в атмосфере в соответствии с соотношением Клапейрона-Клаузиуса и законом Генри значительно варьируются в зависимости от изменений климата, что приводит к соответствующему изменению пропускания атмосферы излучения земной поверхности в космос и влияния парникового эффекта. Доля поглощенной водяным паром мощности теплового излучения поверхности – $\approx 68\%$, а углекислым газом – всего $\approx 12\%$ вследствие частичного перекрытия их спектральных полос поглощения и различия распределения их концентраций с высотой. При незначительном потеплении в фазе роста квазидвухвекового цикла солнечной постоянной поглощение теплового излучения поверхности происходит не пропорционально увеличению их абсолютных концентраций вследствие частичного перекрытия их спектральных полос поглощения и резкого роста концентрации водяного пара непосредственно в приповерхностном слое в отличие от равномерного распределения роста концентрации углекислого газа до высот 60 км. Изменения в спектрах поглощения, соответствующие увеличениям концентраций водяного пара в атмосфере на 7% и углекислого газа с 350 до 420 ppmV во время потепления, были смоделированы с фиксированной облачностью в проведенных расчетах. В результате чувствительность климата к содержанию равномерно растущего по высоте углекислого газа уменьшается со значительным увеличением концентрации водяного пара в приповерхностном слое. При этом доля поверхностного теплового излучения, поглощаемого относительно слабыми полосами поглощения углекислого газа в перекрывающихся участках спектральных полос поглощения в пределах окна прозрачности атмосферы, практически не увеличивается из-за возросшего поглощения резко увеличенными молекулами водяного пара в приповерхностных слоях. При потеплении изменение климата с резким ростом в приповерхностном слое отношения плотностей концентраций водяного пара к углекислому газу станет менее чувствительным к увеличению содержания углекислого газа в атмосфере.

Изменение климатологических границ вечной мерзлоты в Большеземельской тундре

Александров Г.А.¹, Гинзбург А.С.¹, Гитарский М.Л.², Чернокульский А.В.¹

¹*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

²*Российское энергетическое агентство Минэнерго России, Москва, Россия*

g.alexandrov@ifaran.ru

Ключевые слова: *изменение климата, вечная мерзлота, Большеземельская тундра*

Арктические и субарктические тундры, расположенные в зоне вечной мерзлоты, на протяжении нескольких тысячелетий обеспечивали сток и депонирование углерода, благодаря крайне медленному разложению органического вещества в многолетнемерзлых почвенных горизонтах. При отступлении вечной мерзлоты территория, занимаемая арктическими и субарктическими тундрами, со временем превратится в источник углерода [1]. Оценки динамики среднегодовой температуры воздуха при разных сценариях изменения климата, полученные с помощью метода, примененного в статье Александрова и др. [2], позволяют с высокой вероятностью предположить, что из-за смещения климатологической границы и соответствующего растепления вечной мерзлоты часть территории Большеземельской тундры может стать источником углерода в следующие 15-30 лет. Инициирование долгосрочных наблюдений за потоками углекислого газа и метана на территории Большеземельской тундры, аналогичные тем, которые в настоящее время проводятся на Аляске [3], представляются крайне важным для количественной оценки вклада этого региона в углеродный баланс РФ и для уточнения моделей климатической системы.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег.№ 123030300031-6)

Литература:

1. Burke E.J. et al. CO₂ loss by permafrost thawing implies additional emissions reductions to limit warming to 1.5 or 2 °C // *Environ. Res. Lett.* 2018. Vol. 13, № 2. P. 024024. DOI: 10.1088/1748-9326/aaa138
2. Alexandrov G.A. et al. CMIP6 model projections leave no room for permafrost to persist in Western Siberia under the SSP5-8.5 scenario // *Climatic Change.* 2021. Vol. 169, № 3–4. P. 42. DOI: 10.1007/s10584-021-03292-w
3. Rodenhizer H. et al. DOI: 10.1080/15230430.2022.2118639

Изменчивость радиационных потоков над Мировым океаном в XX веке на основе скорректированных визуальных наблюдений за облачностью

Александрова М.П., Гулев С.К.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
marina@sail.msk.ru

Ключевые слова: облачность, радиационные потоки, коротковолновая радиация, длинноволновая радиация, тепловой баланс океана, долгопериодная изменчивость

Работа посвящена восстановлению потоков коротковолновой и длинноволновой радиации над Мировым океаном за период с начала XX века на основе данных визуальных судовых наблюдений за общим баллом облачности из архива данных ICOADS. Данные, содержащиеся в архиве ICOADS, характеризуются значительной пространственной и временной неоднородностью. Что касается облачности, дополнительную систематическую ошибку внесло изменение наблюдательной практики, введенное Всемирной Метеорологической Организацией в конце 1940-х гг., которое привело к сильному скачку во временных рядах общего балла облачности на рубеже 40-х и 50-х гг. Причины неоднородности связаны во многом (но не только) с особенностями перевода облачности, измеренной в «десятиях» (так проводились наблюдения в начале XX века), в окты: категории 2 и 6 окт включают в себя значения 2 и 3 и 7 и 8 «десятиях» соответственно, что приводит к неестественным пиками повторяемости 2 и 6 окт в первой половине XX века. Для корректировки этой систематической ошибки, а также фильтрации «недоверенных» рейсов, которые были выявлены в первой половине XX века, нами был разработан метод, основанный на аналитической функции вероятности для облачности, который позволяет получить однородные ряды облачности на масштабе столетия.

На основе полученных однородных рядов облачности с использованием эмпирических параметризаций были рассчитаны потоки коротковолновой и длинноволновой радиации на поверхности Мирового океана. Учитывая рассчитанные ранее аномалии турбулентных потоков [1] были получены оценки среднегодовых аномалий теплового баланса в Северной Атлантике с 1900 года. Показано, что долгопериодная междекадная изменчивость турбулентных потоков на порядок превосходит изменчивость радиационных потоков (10-20 Вт/м² против 0,5-2 Вт/м²), что свидетельствует о доминирующей роли турбулентных потоков в формировании многолетних изменений теплового баланса океана.

Литература:

1. Gulev S. K. et al. North Atlantic Ocean control on surface heat flux on multidecadal timescales //Nature. – 2013. – Т. 499. – №. 7459. – С. 464-467.

Изменение характеристик режима осадков в XX-XXI вв. по данным наблюдений и моделей климата СМIP6 на территории России

Алешина М.А.^{1,2}, Семенов В.А.^{1,2}

¹*Институт географии РАН, Москва, Россия*

²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

aleshina_maria@mail.ru

Ключевые слова: *изменения климата, экстремальные осадки, модели СМIP6*

Проведено исследование изменений характеристик режима осадков, в том числе их экстремальных показателей на территории России в XX и XXI столетиях с использованием моделей проекта СМIP6. В современный период данные моделей сопоставляются с данными метеостанций, реанализа ERA5 и архива CRU. Для современного периода по эмпирическим данным зимой на территории России получено значительное увеличение сезонных сумм осадков и повторяемости дней с экстремальными осадками на побережье Дальнего Востока и в центральной части Европейской территории России (ЕТР). Также отмечено уменьшение повторяемости дней с осадками на большинстве метеорологических станций России на 4-6 дней /10 лет. Летом увеличение сумм осадков и повторяемости дней с осадками обнаружено в Западной Сибири и на побережье Охотского моря и Тихого океана. Уменьшение сумм и повторяемости осадков получены для юга Европейской территории России и юга Восточной Сибири.

Модели климата в среднем для ансамбля показывают рост относительных сумм осадков и повторяемости экстремальных осадков на большей части территории России в зимний период, причем данные тенденции могут усилиться в ближайшие десятилетия. Летом, напротив, для юга ЕТР в целом отмечается слабое уменьшение сезонных сумм осадков и количества дней с осадками. Однако, сильные межмодельные различия, особенно в летний сезон, не позволяют сделать однозначных выводов по поводу изменений характеристик осадков на территории России в ближайшие 30 лет. К концу XXI столетия изменения становятся более выраженными. Например, к концу XXI в. зимой по моделям отмечается увеличение относительных сумм осадков более чем на 60% на севере Сибири, которое может сопровождаться увеличением повторяемости дней с экстремальными осадками. На юге ЕТР зимой не отмечается изменений сезонных сумм осадков, но при этом может увеличиться повторяемость дней с экстремальными осадками на 1-2 дня/сезон. Летом на ЕТР к концу XXI столетия вероятно уменьшение сумм осадков и количества дней с осадками.

Атмосферные циркуляционные паттерны, связанные с экстремальными осадками в Восточной Сибири и Монголии

Антохина О.Ю.¹, Антохин П.Н.^{1,2}, Гочаков А.В.^{1,3}, Збираник А.А.^{1,4}, Газимов Т.Ф.^{3,4}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия

²Иркутский государственный университет, географический факультет, Иркутск, Россия

³Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Новосибирск, Россия

⁴Томский государственный университет, геолого-географический факультет, Томск, Россия
antokhina@iao.ru

Ключевые слова: атмосферные осадки, потенциальная завихренность, экстремальные режимы, изменения климата, летний муссон, влагосодержание, вертикальная скорость

Социальные и экономические последствия, вызванные наводнениями на юге Восточной Сибири (ВС), и ожидаемое увеличение экстремальных осадков на севере Евразии подчеркнули необходимость поиска атмосферных циркуляционных паттернов, вызывающих экстремальные осадки в ВС, а также изменений в этих паттернах. Мы исследуем циркуляционные паттерны, вызывающие экстремальные осадки в ВС и Монголии, изучая неустойчивость и перенос влаги, связанные с динамикой потенциальной завихренности (PV) в течение двух временных периодов: 1982–1998 и 1999–2019 гг. Экстремальные осадки характеризуются увеличением неустойчивости вертикальной структуры атмосферы в районе выпадения осадков, которая компенсируется стабильностью вокруг этой зоны, с усилением переноса влаги в области летнего муссона Восточной Азии. Поле PV в субтропических регионах и средних широтах показывает усиление положительных и отрицательных аномалий PV на юго-востоке и северо-западе от озера Байкал соответственно. Контуры PV для экстремальных осадков имеют форму циклонического разрушения волн и замкнутых отсеченных областей с высокими значениями завихренности. Экстремальные осадки, сопровождающиеся разрушением волн, характеризуются областями сильной перераспределения стабильности и влаги. Это может привести к совместному возникновению наводнений и засух, и в определенной степени является причиной ранее выявленного дипольного режима осадков над Монголией и ВС. Мы предполагаем, что произошло смещение экстремальных осадков на северо-запад, которое, вероятно, вызвано изменением распространения волн. Результаты подробно описаны в работах [1,2].

«Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00167, <https://rscf.ru/project/23-27-00167/>»

Литература:

1. Antokhina O. et al. Atmospheric Circulation Patterns Associated with Extreme Precipitation Events in Eastern Siberia and Mongolia // Atmosphere. 2023. Vol. 14, № 3. P. 480.
2. Antokhina O. et al. Effects of Rossby Waves Breaking and Atmospheric Blocking Formation on the Extreme Forest Fire and Floods in Eastern Siberia 2019 // Fire. 2023. Vol. 6, № 3. P. 122.

Специализированный массив данных гололедно-изморозевых отложений для климатических исследований

Аржанова Н.М.

*Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации –
Мировой центр данных, Обнинск, Россия
arzhanova.n@inbox.ru*

Ключевые слова: гололедно-изморозевые отложения, климатические исследования, специализированный массив данных

Исследования изменений климата по имеющимся метеорологическим данным проводятся на протяжении многих лет. В Росгидромете в настоящее время активно ведутся работы по созданию баз данных, которые являются основой для климатических исследований в соответствии с Климатической доктриной России. К создаваемым массивам имеется ряд требований: регулярное обновление, наличие метаданных, контроль качества и доступность данных. Для обеспечения дальнейших исследований климата создан специализированный массив данных «Характеристики гололедно-изморозевых отложений на территории России».

Гололедно-изморозевые отложения при достижении определенных размеров относятся к опасным явлениям погоды, которые наносят значительный ущерб различным отраслям экономики. Первопричиной недостаточной изученности этих явлений являлось отсутствие доступных архивов характеристик гололедно-изморозевых явлений. Создание массива неотъемлемо связано с решением ряда научно-прикладных задач, анализ которых позволит в полной мере провести комплексные исследования состояния климата на территории страны.

Массив состоит из 401 станции РФ, на которых наблюдения производят с помощью гололедного станка. Перечень станций составлен на основании списка станций Росгидромета, которые включены в Глобальную сеть наблюдений за климатом и списка реперных метеорологических станций. Массив содержит характеристики гололедно-изморозевых явлений с 1984 года по настоящее время. Каждый файл хранит информацию одной станции. Запись содержит индекс ВМО станции, год, месяц, счетчик случая обледенения, порядковый номер случая обледенения за месяц и за год, вид обледенения, дату начала, время начала, продолжительность стадии нарастания, продолжительность случая обледенения, диаметр, толщину и вес отложения.

Созданный специализированный массив характеристик гололедно-изморозевых отложений позволит не только комплексно исследовать состояние и изменение климата на территории России, но и решать актуальные прикладные задачи.

Разработка алгоритма и анализ воспроизведения траекторий полярных мезоциклонов в климатологических модельных архивах COSMO-CLM RAh и RAS-NAAD

Ахтамянов Р.А.¹, Платонов В.С.², Вережемская П.С.³

¹Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия

²Кафедра метеорологии и климатологии, Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

platonovvs@my.msu.ru

Ключевые слова: полярные мезоциклоны, алгоритмы трекинга, COSMO-CLM, RAS-NAAD, изменения климата Арктики

Идентификация полярных мезоциклонов (ПМЦ) в модельных данных высокого разрешения – важная задача для исследования физических механизмов их формирования и климатологических оценок. В данной работе для реализации алгоритма трекинга ПМЦ на основе динамических характеристик и климатологической оценки воспроизведения их траекторий были использованы два модельных архива – COSMO-CLM RAh и RAS-NAAD.

Модельный архив COSMO-CLM Russian Arctic hindcast 1980-2016 (RAh) охватывает большую часть Российской Арктики и прилегающих акваторий с шагом сетки по горизонтали ~12 км и по времени 1 час, создан на основе модели COSMO-CLM 5.06 [1]. RAS-NAAD (1979-2018) – модельный атмосферный архив, охватывающий акваторию Северной Атлантики с шагом сетки по горизонтали 14 км и по времени 3 часа, создан на основе модели WRF-ARW 3.8.1 [2]. Модельные архивы использовали данные реанализа ERA-Interim в качестве боковых граничных условий. Для верификации модельных архивов использовались данные 4-х календарей ПМЦ, основанных на спутниковых данных и охватывающих регионы Северной Атлантики и атлантического сектора Арктики за период 1996-2017 гг.

Составлен сводный календарь ПМЦ, попадающих внутрь модельных областей архивов COSMO-CLM RAh и RAS-NAAD, послуживший основой для проверки разработанного алгоритма трекинга. Алгоритм подбора кандидатов для трекинга ПМЦ позволяет определять положение центров ПМЦ на основе модельных данных о локальных минимумах давления и максимумах относительной завихренности с различной степенью фильтрации. Реализовано интерактивное Web-GIS приложение, позволяющее визуализировать положение кандидатов и результаты трекинга.

Распределение давления в RAS-NAAD сдвинуто в сторону более низких значений, а завихренности в COSMO-CLM RAh – в сторону больших значений. Расстояния модельных центров ПМЦ от спутниковых оказались больше в COSMO-CLM RAh. Результаты показали применимость алгоритма в качестве релевантного инструмента для визуального определения центров ПМЦ в модельных данных.

Литература:

1. Platonov V., Varentsov M. Introducing a new detailed long-term COSMO-CLM hindcast for the Russian Arctic and the first results of its evaluation //Atm., 2021, 12(3), 350.

2. Gavrikov A. et al. RAS-NAAD: 40-yr High-Resolution North Atlantic atmospheric hindcast for multipurpose applications (new dataset for the regional mesoscale studies in the atmosphere and the ocean) //АМС, 2020, 59(5), 793-817.

Внутривековые колебания ряда океанских характеристик и LOD

Безверхний В.А.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

yabezv@mail.ru

Ключевые слова: *длительность суток (lod), океан, температура поверхности, уровень моря*

В многолетних среднегодовых данных о вариациях длительности земных суток (LOD), глобально осредненных вариаций уровня Мирового океана (GMSL), данных о температуре поверхности океана (SST), осредненных глобально (GMSST), в тропиков (TMSST) и региональных (SST в экваториальном поясе Тихого океана – в регионе Niño 3.4 и в северной Атлантике) выделены внутривековые (междекадные) компоненты. На 130-летнем интервале форма колебаний LOD имеет явное сходство с формой внутривековых вариаций SST в регионе Niño 3.4 (с учетом соответствующего запаздывания SST на 19-20 лет). На этом интервале внутривековые вариации LOD и SST в регионе Эль-Ниньо имеют кросс-корреляцию 0.8. Более слабые кросс-корреляции с LOD получены для региональной (TMSST) и глобальных (GMSST и GMSL) океанских характеристик. Предлагается простая аналитическая модель внутривековых вариаций океанских характеристик и LOD в виде суммы трех гармонических колебаний с периодами 22, 33 и 66 лет.

Распределение струйных течений при основных формах атмосферной циркуляции в Атлантико-Европейском секторе

Безотеческая Е.А.^{1,2}

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия
eebezotcheskaya@aari.ru

Ключевые слова: атмосферная циркуляция, высотные струйные течения, данные наблюдений и реанализа, Атлантико-Европейский регион

Предлагается новый автоматизированный метод выделения ядра струйных течений (СТ) с целью выявления зон максимальной повторяемости СТ при основных формах атмосферной циркуляции в Атлантико-Европейском секторе. С использованием данных полей реанализа и каталога макросиноптических процессов по классификации Г. Я. Вангенгейма за период 2020-2022 гг. получено географическое распределение СТ при западной (W), меридиональной (C) и восточной (E) формах циркуляции в рассматриваемом регионе. Для каждой формы выделены общие районы распространения СТ во все сезоны года. Оценена повторяемость СТ при минимальной скорости ветра (V_m) в области СТ более 30 м/с и 60 м/с. В летний сезон при $V_m \geq 60$ м/с в Атлантико-Европейском секторе не отмечено зон с повторяемостью выше 5 %, что свидетельствует о единичных СТ со скоростью ветра, достигающей 60 м/с и более в рассматриваемый период. Тренды скорости ветра за период 1979-2022 гг. указывают на ослабление скорости в летний период над Северной Атлантикой с усилением в районе побережья Баренцева моря. В зимний период – на ослабление скорости над обширным районом – Гренландским и Баренцевым морями, а также севером ЕТР. Настоящее исследование поддержано Российским Научным Фондом (проект № 23-17-00273)

Переломные моменты климатических изменений. Статистика раннего предупреждения

Бекряев Р.В.

*Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург, Россия
bekryaev@mail.ru*

Ключевые слова: *Климатические изменения, tipping points, early warning signals*

Переломные моменты климатических изменений (tipping points – TP) не только подкупают красотой физико-математических построений, но и могут оказать определяющее влияние на состояние климатической системы и общества. К настоящему времени выявлен ряд климатических элементов, способных под влиянием антропогенного форсинга в течение относительно коротких временных интервалов переходить из одного статистически устойчивого состояния в другое. В ряде теоретических и модельных исследований было показано, что быстрые переходы в новое состояние могут испытывать столь важные элементы климатической системы как Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC), ледниковые щиты Гренландии и Антарктиды, дрейфующий морской ледяной покров Северного Ледовитого океана, северные таёжные леса и т.д. Физические механизмы таких резких изменений связаны с нелинейностью климатической системы, а именно с наличием нескольких статистически стационарных состояний, переход между которыми осуществляется одним из трех способов, i) в результате бифуркаций (B – bifurcation), ii) под воздействием шума (N - noise), iii) вследствие ненулевой скорости изменения внешних параметров (R - rate). Актуальной задачей является заблаговременное обнаружение признаков наступления переломного момента (Early Warning Signals - EWS). К таковым признакам относят, в первую очередь, увеличение дисперсии и автокорреляции параметров по мере приближения системы к TP.

В нашей работе исследуются бифуркации и статистические свойства TP в модифицированной системе Лоренца. Показано, что критические переходы в зависимости от параметров могут осуществляться вследствие как седлоузловых бифуркаций, так и бифуркаций Хопфа. Продемонстрировано, что зависимость статистик EWS от “закритичности”, то есть от расстояния между текущим значением параметра и его критическим значением в условиях стохастического внешнего форсинга носит степенной характер, причем показатель степени определяется типом бифуркации.

Испарение и дробление электризованных капель полярных стратосферных облаков в весеннее время – спусковой механизм разрушения озона

Беликов Ю.Е., Дышлевский С.В., Николайшвили С.Ш., Репин А.Ю.
Институт прикладной геофизики им. акад. Е.К. Федорова, Москва, Россия
yury_belikov@mail.ru

Ключевые слова: полярные стратосферные облака, испарение электризованных капель, ионные кластеры, озоновая депрессия

Согласно гипотезе авторов, разрушение молекул озона и ряда молекулярных соединений возникает при их столкновении с ионными кластерами и мелкими заряженными частицами. В полярной стратосфере в зимне-весеннее время происходит накопление униполярного заряда на частицах полярных стратосферных облаков (ПСО) в основном в их верхней и нижней частях в результате работы глобальной электрической цепи. При этом концентрация ионов и мелких заряженных частиц внутри облака понижена из-за прилипания их к более крупным частицам, а также их роста в результате конденсации. В весеннее время происходит испарение и дробление электризованных капель, сопровождаемое на определенном этапе образованием ионов, что практически переводит заряд исчезающих крупных капель в ионные кластеры. Из-за особенностей изменения температуры в этот период указанные процессы начинаются в основном в верхней части ПСО и постепенно распространяются в нижние. В результате резкого роста концентрации ионов образуется озоновая депрессия во всей области ранее существовавших ПСО. Этот сценарий образования озоновой депрессии подтверждается анализом целого ряда данных, включая спутниковые, самолетные и аэростатные измерения в полярной атмосфере, а также теоретическими расчетами и оценками. При этом хлорные соединения, по всей вероятности, не имеют отношения к образованию озоновой депрессии. Одной из возможных причин климатических изменений в последние десятилетия, по мнению авторов, является изменение концентрации заряженных частиц в верхней тропосфере и нижней стратосфере Арктики и прилежащих территорий. Учитывая, что образование озоновой депрессии во многом зависит от концентрации заряженных частиц в полярной атмосфере, климатические изменения должны влиять на образование озоновой депрессии, возможно, существует и обратная связь. Изучение этих вопросов особо актуально, учитывая риски, связанные с возможным воздействием биологически активного УФ излучения на биосферу в результате уменьшения слоя озона.

Литература:

1. Беликов Ю.Е., Николайшвили С.Ш. Озоновые дыры: новый взгляд // Земля и Вселенная, 2015, 2, с. 27-39.
2. Беликов Ю.Е., Николайшвили С.Ш. Озоновые дыры — результат разрушения озона на заряженных частицах. Гелиогеофизические исследования выпуск 16, 20-30, 2017.
3. Belikov Yu.E., Nikolayshvili S.Sh. The Role of the Dipole Interaction of Molecules with Charged Particles in the Polar Stratosphere // Journal of Earth Science and Engineering, 2016, 6, 115-149.

Влияние движения магнитного полюса и уменьшение солнечной активности в последние десятилетия на изменение облачности и как результат климат арктической зоны и северных территорий России

Беликов Ю.Е., Дышлевский С.В., Репин А.Ю.

Институт прикладной геофизики им. акад. Е.К. Федорова, Москва, Россия
yury_belikov@mail.ru

Ключевые слова: Арктика, изменение климата, таяние ледового покрытия, движение магнитного полюса, заряженные частицы, влияние верхней облачности на нижнюю

Согласно нашему анализу, ускоренное движение Северного магнитного полюса от берегов Канады в сторону северных российских территорий, а также понижение в среднем солнечной активности в последние десятилетия, привели к возрастанию над этими территориями и прилегающей арктической зоной концентрации заряженных частиц, источником которых являются галактические космические лучи. Заряженные частицы способствуют образованию тонкой облачности в верхней тропосфере и нижней стратосфере (ВТНС). Одним из возможных механизмов увеличения этой облачности является образование вторичного льда в ВТНС во время событий, связанных с восходящими влажными потоками из нижней тропосферы более низких широт. При этих событиях в ВТНС образуются не только твердые ледяные частицы, но также обусловленные наличием ионов мелкие капли, в состав которых входят кислоты, что позволяет существовать этим каплям в жидком состоянии при достаточно низких температурах. Прилипание жидких капель к ледяным кристаллам способствует росту ледяных отростков на этих кристаллах, которые разрушаются в результате дальнейшего роста, воздействия ветра и столкновения ледяных частиц. Из-за различной скорости оседания крупных и мелких частиц после указанных событий в ВТНС возникают долгоживущие слои мелких частиц, которые играют ключевую роль в увеличении переноса излучения через нижнюю облачность к поверхностям Арктики и северных территорий России, а также влияют на разрушение этой облачности, и, как следствие, вызывают ускоренное таяние ледового покрытия Арктики. Эффект усиления поступления к земной поверхности рассеянной солнечной радиации при появлении тонких облаков в ВТНС над плотной низкой облачностью при больших зенитных углах Солнца был подтвержден детальными расчетами на основе численной модели переноса излучения. При этом увеличение поглощения солнечной энергии нижними тропосферными облаками может привести к частичному или полному испарению нижних облаков и нагреванию земной поверхности.

Литература:

1. Беликов Ю.Е. и др. Возможная связь движения магнитного полюса и изменения солнечной активности с климатом Арктики, 2020. Часть 4. Гелиогеофизические исследования, выпуск 28, 40-54.
2. Беликов Ю.Е., Дышлевский С.В., Репин А.Ю. Возможное влияние тонких высоких облаков и аэрозольных слоев на нагревание и разрушение нижней облачности в Арктике. Метеорология и гидрология, № 4, с. 53- 68, 2021.
3. Беликов Ю.Е., Дышлевский С.В., Репин А.Ю. // Оптика атмосферы и океана, т.32, № 10, 844-847, 2019.

Конвективная фильтрация как механизм теплообмена деятельного слоя грунта с приземным слоем атмосферы на побережье о. Большевик (Северная Земля)

Богородский П.В., Лоскутова М.А., Макштас А.П.

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия
bogorodski@aari.ru

Ключевые слова: *моховый покров, талый грунт, Северная Земля, теплообмен, конвективная неустойчивость, измерения, моделирование*

Рассмотрена не изучавшаяся ранее устойчивость стационарной конвективной фильтрации в бесконечном горизонтальном слое мха на поверхности плоского слоя талого грунта. С использованием метода Галёркина построено аналитическое решение линеаризованной задачи Рэлея-Дарси и проведено её параметрическое исследование. Как и ожидалось, наибольшее влияние на величину критерия устойчивости (фильтрационного аналога числа Рэлея) оказывает взаимодействие с атмосферой при существенно меньших эффектах вариаций геометрических и теплофизических свойств обеих сред. С привлечением результатов геофизиологических и метеорологических наблюдений летом 2021 г. на НИС ААНИИ Мыс Баранова (Северная Земля) и расчётов протаивания мерзлоты по термодинамической модели, оценены значения градиентов температуры в моховом покрове побережья о. Большевик. Установлено превышение наблюдаемых и модельных величин над их критическими значениями, найденными из решения задачи устойчивости для пористого слоя. На основании измерений концентрации углекислого газа камерным методом в качестве индикатора теплообменных процессов сделан вывод о необходимости учёта вклада конвекции в слое мха в тепловой, массовый и газовый обмен приземного слоя атмосферы с деятельным слоем грунта.

Текущие изменения климата в Арктике и сейсмическая активность на хребте Гаккеля

Буянова М.О.¹, Люшвин П.В.²

¹Высшая Школа Экономики, Москва, Россия

²Независимый эксперт

mobuianova@mail.ru

Ключевые слова: метан, пористый лед, землетрясения, разломы земной коры, хребет Гаккеля, альbedo, детрит, разводья, полыньи

В фазу похолодания до $\approx 30\%$ арктических вод занимают 3-5м многолетние льды («толстое одеяло»), что зимой изолируют тепло воды ($> -1,8^{\circ}\text{C}$) от холодного воздуха ($\approx -10^{\circ}\text{C}$). Остальной лед однолетний, до 2м. При сокращении в разы площади многолетнего льда его замещает однолетний, через который («тонкое одеяло») тепло воды поступает в атмосферу, обуславливая потепление не только в Арктике, но и в умеренных и даже субтропических широтах.

С позиций океанологии таяние многолетнего льда севернее 80° С.Ш. абсурдно – при потеплении летний прогрев воздуха выше, чем в холодные фазы $< 3^{\circ}\text{C}$, причем лишь месяц-два температура $> 0^{\circ}\text{C}$. Климатические изменения следует изучать с позиций сейсмогенной дегазации метана. В Арктике сейсмически активен хребет Гаккеля, в зоне которого формируется многолетний лед. Поступающий через разломы земной коры в водно-ледовую среду метан окисляется микроорганизмами, структурно и функционально специализирующимися на использовании метана в качестве источника углерода и энергии. Часть тепла, выделяющаяся при бактериальном окислении, превращает условно монолитный лед в пористый, что легче поддается торошению. При торошении на поверхности льда оказываются тёмные продукты метанотрофии (микроорганизмы), что, уменьшая альbedo, способствует таянию льда, образованию разводий и полыней, где продукты метанотрофии и сейсмогенно взмученный детрит, до месяца гравитационно осаждаясь из холодного фотического слоя, утончая его, способствуют инсоляционному прогреву на $2-3^{\circ}\text{C}$. Такие полыньи сохраняются до таяния льда, в Арктике – до полярной ночи. Из-за преобладания в Южном океане однолетнего льда там нет аналогичных арктическим по амплитуде климатических вариаций [1].

Для проводки судов через тяжелые льды следует на маршруте за неделю взрывать донные мины-бомбы. Высвободившийся из донных осадков метан превратит условно монолитный лед в пористый. Гидробионтов в Арктике зимой мало, ущерб от их точечной гибели превысит негативные последствия от сгорающего топлива, шумов и пр. [2].

Литература:

1. Lyushvin P.V., Buyanova M.O. Development of Ice Cover in Water Areas during Methane // International Journal of Geosciences, 2021, vol.12, №9, p.927-940. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=112301>.
2. Люшвин П.В., Буянова М.О. Учет дегазации метана и микробиологической метанотрофии в ледовом судоходстве. Материалы IV Международной научной конф. Ростов-на-Дону, 2022 // Изд-во ЮНЦ РАН, 2022. С.254-260. <http://www.pogodaiklimat.ru/msummary.php?m=all&y=2020&id=27605>.

Об изменчивости концентрации растворенного кислорода в Черном море

Валле А.А.

Институт природно-технических систем РАН, Севастополь, Россия
ogorodovaa.a@mail.ru

Ключевые слова: *концентрация растворенного кислорода, соленость, западный и восточный циклонические круговороты, свал глубин, глубоководная часть, северо-западный шельф, эвтрофикация, междесятилетняя изменчивость температуры*

Черное море — это внутреннее море, окруженное сушей, за исключением узкого пролива Босфор, соединяющего его со Средиземным морем. Первые широкомасштабные исследования гидролого-гидрохимического состояния Черного моря началось середины 20-го века и до сих пор регулярно проводятся. В последние 13 лет осуществляется мониторинг вертикальной структуры гидролого-гидрохимических характеристик с помощью буев-профилографов ARGO. Благодаря этим исследованиям и проводится анализ пространственно-временной изменчивости солености и концентрации растворенного кислорода в Черном море на горизонтах 50, 75 и 100 м. Показано, что долговременная тенденция снижения концентрации растворенного кислорода и одновременное увеличение солености в области холодного промежуточного слоя в центральных частях западного и восточного циклонических круговоротов сопровождается увеличением насыщения кислородом вод на свале глубин в районе северо-западной части моря и уменьшением солености (вблизи горизонта 75 м). Это свидетельствует о важной роли интенсификации вертикальных движений в формировании пространственно-временной изменчивости растворенного кислорода в водах Черного моря на междесятилетних масштабах.

Анализ антропогенных и метеорологических факторов интенсификации городского острова тепла Москвы на основе машинного обучения

Варенцов М.И.^{1,2,3}, Криницкий М.А.^{4,1}, Степаненко В.М.^{1,3}

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский
вычислительный центр, Москва, Россия

²Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия

³Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

⁴Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, Россия

mikhail.varentsov@srcc.msu.ru

Ключевые слова: потепление климата, урбанизация, регрессионный анализ, машинное обучение, статистическое моделирование

«Горячими точками» глобального потепления являются города, где на крупномасштабные тренды накладываются местные особенности климата, такие как эффект острова тепла (ОТ) [1]. Темпы потепления в городах часто превосходят фоновые, то есть за счет интенсификации ОТ происходит «городское усиление глобального потепления» [2]. Интенсификацию ОТ часто связывают исключительно с урбанизацией, т.е. с ростом и развитием городов. В то же время известно, что ОТ зависит от метеорологических условий. Однако их нестационарность редко принимается во внимание при анализе многолетней динамики ОТ.

Данная работа посвящена оценке вклада антропогенных (связанных с урбанизацией) и метеорологических факторов интенсификации ОТ на примере г. Москва, где с 1977 г. по н.в. среднегодовая интенсивность ОТ (разность температуры центр города - фон) выросла с 1.5 до 2 К. Это привело к усилению тренда потепления на 23% в среднем за год и на 47% для летнего сезона [3]. Инструментом исследования являются основанные на методах машинного обучения (МО) модели регрессии. Различные модели МО, в т.ч. модели случайных лесов, градиентного бустинга и нейронные сети, использованы для аппроксимации интенсивности ОТ Москвы на основе предикторов, характеризующих крупномасштабные метеорологические процессы и заданных по данным реанализа ERA5 и/или наблюдениям загородных метеостанций. Модели МО, обученные по данным за 20 лет, успешно воспроизвели наблюдаемую динамику интенсивности ОТ на суточном, синоптическом и сезонном масштабах. Однако они лишь частично воспроизвели тренд интенсивности ОТ с 1977 г. по н.в., занизив его более чем в 2 раза. Это может говорить о том, что наблюдаемый тренд обусловлен в основном (на 60-70%) ростом и развитием города, что никак не учитывается в моделях. Вклад изменений метеорологического режима, который становится более благоприятными для развития ОТ [3], также важен и составляет 30-40%. Работа выполнена при поддержке некоммерческого фонда развития науки и образования «Интеллект».

Литература:

1. IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis / Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2021.
2. Климат Москвы в условиях глобального потепления / под ред. А.В. Кислов. Москва: Издательство Московского университета, 2017. 288 с.
3. Varentsova S.A., Varentsov M.I. A new approach to study the long-term urban heat island evolution using time-dependent spectroscopy // Urban Clim. 2021. V. 40. P. 101026.

Многолетние изменения гидротермических условий в субъектах СФО

Воропай Н.Н.^{1,2}, Рязанова А.А.¹

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

²Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

voropay_nn@mail.ru

Ключевые слова: температура воздуха, атмосферные осадки, ГТК, тенденции, СФО

Соотношением тепла и влаги определяются зональные типы ландшафтов и, следовательно, главные черты природы географических зон. К настоящему моменту достаточно хорошо изучены условия увлажнения и засушливости ЕТР. На АТР после 60-х годов XX века такие работы проводились лишь в отдельных регионах. Территория данного исследования – СФО. Информационная основа работы – метеопараметры высокого пространственного разрешения (реанализ ERA5). На первом этапе работы с использованием разработанных ранее программных модулей рассчитаны даты перехода температуры воздуха через определенные пределы, ГТК Селянинова в пределах периода 1950-2020 гг., построены цифровые карты распределения основных климатических показателей, к которым относятся средняя годовая температура, годовая сумма атмосферных осадков, ГТК, продолжительность вегетационного периода, безморозного периода, выявлены тенденции их изменения. Средняя многолетняя годовая температура воздуха имеет почти широтное распределение, а зональность в картину вносят горные массивы. Тенденции изменения температуры воздуха в СФО согласуются с изменениями, происходящими на АТР и Северного полушария в целом. Потепление в северных районах на порядок интенсивнее, чем в южных. Тенденции рядов дат перехода температуры через 0°C свидетельствуют об увеличении периода с положительными температурами воздуха в основном за счет сдвига дат перехода весной на более ранние сроки. Распределение годовых сумм атмосферных осадков повторяет по очертанию формы рельефа. Максимум (более 1500 мм) наблюдается в горах Южной Сибири, минимум (до 300 мм) в остепненных районах. Тенденции изменения годовых сумм атмосферных осадков в большинстве случаев статистически не значимы. Полученные результаты дают достоверное представление об особенностях распределения многолетних тенденций изменения гидротермических характеристик, а, следовательно, описывают условия засушливости/переувлажнения в СФО на фоне глобальных климатических изменений.

Крупномасштабные задымления Северной Америки: аномальное селективное поглощение дымового аэрозоля

Горчаков Г.И., Карпов А.В., Семутникова Е.Г., Гушин Р.А., Даценко О.И.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия
gengor@ifaran.ru

Ключевые слова: крупномасштабное задымление, оптические и микрофизические характеристики дымового аэрозоля, мнимая часть коэффициента преломления, аномальное селективное поглощение

Неожиданные последствия потепления климата наблюдались на Аляске летом 2019 г. после длительного повышения средней суточной температуры воздуха: во время массовых лесных пожаров были зарегистрированы аномально большие значения (до 0.3) при значительном росте с увеличением длины волны мнимой части коэффициента преломления вещества дымового аэрозоля [1]. В целом ряде случаев аномальное селективное поглощение было зарегистрировано также при массовых лесных пожарах в июне 2023 г., когда задымление Канады распространилось на северно-восточную часть территории США. Предложены параметризации спектральных зависимостей мнимой части коэффициента преломления. Проанализированы вариации аэрозольных оптических толщин ослабления и поглощения при аномальном селективном поглощении. Приведены оценки диапазонов изменчивости соответствующих показателей Ангстрема. Охарактеризована изменчивость альбеда однократного рассеяния. Обсуждаются результаты восстановления микроструктуры дымового аэрозоля. Показано, что в распределение частиц дымового аэрозоля по размерам доминирует тонкодисперсная фракция. Выполнено сопоставление характеристик дымового аэрозоля при аномальном селективном поглощении с известными характеристиками фракции частиц дымового аэрозоля tar balls. Обсуждается вопрос о происхождении фракции аномально поглощающих частиц дымового аэрозоля.

Литература:

1. Г.И. Горчаков, Р.А. Гушин, В.М. Копейкин и др. Аномальное поглощение дымового аэрозоля в видимой и ближней инфракрасной области спектра // Доклады РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 510, №1. С. 92-98.

Климатические тенденции изменения водородного показателя в водах Черного моря

Гребнева Е.А., Полонский А.Б.

Институт природно-технических систем РАН, Севастополь, Россия
lenagrebneva12@gmail.com

Ключевые слова: величина рН, тренд, циклоническая циркуляция, поверхностные воды, Черное море

Тенденция изменения величины рН в поверхностных водах Мирового океана (включая Черное море) – один из основных индикаторов изменения климата антропогенного происхождения. В связи с ограниченностью региональных данных о величине рН первые оценки долговременных негативных тенденций рН в Черном море получены лишь для второй половины XX века. Начиная с 2019 г., массив региональных данных о величине рН регулярно пополняется в Институте природно-технических данными экспедиционных исследований. Это позволило уточнить скорость подкисления поверхностного слоя вод Черного моря. В результате применения учета закономерностей пространственного распределения и внутригодового хода рН в условиях ограниченности данных полевых исследований получено, что значения рН снижались за период с 1977 по 2022 гг. со средней скоростью около 0,11 ед. рН / 45 лет. Этот результат подтверждает оценки тенденции увеличения кислотности поверхностных вод других регионов Мирового океана в эпоху наблюдаемой антропогенной нагрузки. Наряду с отрицательной тенденцией рН в поверхностном слое выделено статистически значимое понижение величины рН в области промежуточных вод открытой части Черного моря. В частности, отрицательный тренд рН на горизонте 75 м превышает (по абсолютной величине) тренд в поверхностном слое более чем в 5 раз. Вероятной причиной быстрого уменьшения рН здесь служит долговременное усиление подъема более кислых вод со скоростью порядка 1 м/год, обусловленное в основном интенсификацией циклонической циркуляции. Таким образом, изменение климата в Черноморском регионе проявляется не только в виде закисления поверхностных вод из-за поглощения избыточного CO₂ морской водой, но и значительно более быстрого падения величины рН в промежуточных водах из-за изменения циркуляционных характеристик бассейна.

Термодинамический отклик внетропической атмосферы Северного полушария на явления Эль-Ниньо и Ла-Нинья

Гущина Д.Ю., Гвоздева А.В.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
dasha155@mail.ru*

Ключевые слова: Эль-Ниньо, циркуляция атмосферы, дальние связи, аномалии температуры

Эль-Ниньо – Южное Колебание (ЭНЮК) – наиболее яркий феномен межгодовой климатической изменчивости, являющийся результатом взаимодействия тропического Тихого океана и атмосферы. Климатический отклик на ЭНЮК проявляется не только в пределах тропической зоны, но и посредством атмосферной циркуляции передается как в тропосферу, так и стратосферу умеренных и полярных широт [1]. Отклик внетропической циркуляции существенно различается в зависимости от типа Эль-Ниньо, имеет ярко выраженную межполушарную асимметрию и существенно меняется от тропосферы к стратосфере [2, 3].

В исследовании на основании данных реанализа рассмотрено пространственно-временное распределение отклика циркуляции внетропической тропосферы и стратосферы Северного полушария на два типа Эль-Ниньо и Ла-Нинья, а также сопутствующие ему аномалии температуры. Показано, что при Эль-Ниньо наблюдается ослабление циркумполярного вихря (ЦПВ) и соответствующее потепление стратосферы, а при Ла-Нинья – усиление ЦПВ и похолодание. Временная динамика отклика различна для двух типов Эль-Ниньо и Ла-Нинья: в условиях Ла-Нинья аномалии циркуляции и температуры возникают осенью раньше при Ла-Нинья и центрально-тихоокеанском (ЦТ) Эль-Ниньо, в весенние месяцы перестройка на летнюю циркуляцию при Ла-Нинья и восточно-тихоокеанском Эль-Ниньо начинается в марте, существенно раньше, чем при ЦТ событиях. Циркуляционный отклик на Ла-Нинья относительно однороден по вертикали в тропосфере и стратосфере, тогда как отклик на Эль-Ниньо чаще всего имеет двухслойную и даже трехслойную структуру. Отклик в полярных широтах на Ла-Нинья отличается большой устойчивостью во времени и в пространстве, в условиях Эль-Ниньо прослеживается значительная временная и пространственная изменчивость. Интенсивность циркуляционного отклика убывает от полярных к субтропическим широтам. Анализ отклика в различных секторах Северного полушария показал, что он может быть разделен на два типа: Атлантико-Европейский и Азиатско-Тихоокеанско-Американский.

Литература:

1. El Niño Southern Oscillation in a Changing Climate // Geophysical Monograph Series / ed. McPhaden M.J., Santoso A., Cai W. Wiley, 2020. 506 p.
2. Kolennikova M., Gushchina D. Revisiting the Contrasting Response of Polar Stratosphere to the Eastern and Central Pacific El Niños // Atmosphere. 2022. Vol. 13, № 5.
3. Gushchina D. et al. On the relationship between ENSO diversity and the ENSO atmospheric teleconnection to high-latitudes // Int. J. Climatol. 2022. Vol. 42, № 2. P. 1303–1325.

Типы годового хода среднемесячной температуры приземного воздуха в 1981-2010 годах, выделенные по данным реанализа NOAA-CIRES-DOE 20th Century Reanalysis V3

Добролюбов Н.Ю.¹, Семенов С.М.^{1,2}

¹Институт глобального климата и экологии им. акад. Ю.А. Изraelя, Москва, Россия

²Институт географии РАН, Москва, Россия

dobronik@yandex.ru

Ключевые слова: годовой ход температуры, унимодальность, классификация, реанализ

Для умеренных широт типичная форма годового хода среднемесячной температуры воздуха в приповерхностном слое – унимодальная, близкая к синусоидальной. При этом наблюдаются и фазовые сдвиги. Однако в тропических широтах на значительных частях пространства наблюдаются и иные типы годового хода. Так, иногда наблюдается существенная асимметрия восходящей и нисходящей ветвей годового хода, а также нарушение унимодальности. В последнем случае типично возникают две несвязные составляющие теплого периода года, т.е. периода, в котором среднемесячные значения температуры превышают среднегодовые. В экваториальной зоне локально встречаются и более сложные типы годового хода. Этот анализ выполнен с использованием климатических значений среднемесячной температуры за 1981-2010 годы, оцененных по данным реанализа NOAA-CIRES-DOE 20th Century Reanalysis V3 <https://psl.noaa.gov>. Их пространственное разрешение – 1°C x 1°C. При классификации типов годового хода использовался следующий подход: для каждого узла пространственной сетки месяцам, для которых климатическое среднемесячное значение температуры больше или равно климатическому среднегодовому, ставилось в соответствие 1, а иначе – 0. Две точки пространства считались принадлежащими одному классу, если их последовательности нулей и единиц можно было совместить циклической перестановкой месяцев. Всего при такой классификации получилось 55 классов. Из них 9 самых крупных картированы. Карта-схема будет представлена в докладе.

Пространственная и временная изменчивость потоков углекислого газа, тепла и влаги в болотных экосистемах Западной Сибири

Дюкарев Е.А.^{1,2,3}, Дмитриченко А.А.², Заров Е.А.², Кулик А.А.², Суворов Г.Г.^{2,4}, Лапшина Е.Д.²

¹*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия*

²*Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия*

³*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

⁴*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия*

dekot@mail.ru

Ключевые слова: *углекислый газ, болотные экосистемы, испарение, потоки тепла*

Болота Западной Сибири содержат огромные запасы углерода и в естественном состоянии являются эффективным стоком для углекислого газа и значительным источником метана. Наблюдающиеся изменения климата влекут за собой изменение бюджетов тепла и влаги болот, которые в свою очередь определяют углеродный цикл болот, величину и направление потоков углекислого газа и метана.

В докладе представлены результаты наблюдений за потоками парниковых газов, тепла и влаги на научно-полевой станции Мухрино в 2022-2023 гг. Исследована суточная и годовая динамика характеристик микроклимата, составляющих теплового и радиационного баланса, уровней болотных вод и температуры почвы грядово-мочажинного болотного комплекса Мухрино.

Радиационный баланс имеет максимальные значения 307-388 Вт/м² в 12 ч местного времени в мае - августе. Минимальные значения радиационного баланса приходятся на 20 -22 ч, когда радиационный баланс составляет минус 32-42 Вт/м². С ноября по март радиационный баланс отрицательный, средние месячные значения варьируют от -3 до -13 Вт/м². На испарение расходуется значительная часть приходящей энергии. С мая по сентябрь поток скрытого тепла в полдень составляет от 61 до 229 Вт/м², при средних суточных значениях 23- 87 Вт/м². Турбулентный перенос явного тепла и изменение запасов тепла в почве вносят приблизительно равный вклад в формирование теплового баланса поверхности в теплое время года.

Чистый экосистемный обмен (NEE) с 1 октября 2021 г. по 30 сентября 2022 г. оценен в - 82.8 гС/м², при максимальном суммарном месячном NEE в -54.6 гС/м² в июле. Значимое поглощение углерода в болотной экосистеме зарегистрировано с мая по август. Всего за теплый период кумулятивный NEE составил -114.8 гС/м². В октябре при снижении интенсивности фотосинтеза, но еще больших значениях экосистемного дыхания, суммарный экосистемный обмен становится положительным. С октября по апрель болото является источником углерода с интенсивностью от 3.5 до 5.9 гС/м² в месяц.

Роль крупномасштабных и региональных климатических мод в формировании условий засухливости на территории Казахстана

Железнова И.В.¹, Гущина Д.Ю.¹, Мейрамов Ж.М.²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Казахстанский филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,

Астана, Казахстан

ijeleznova@gmail.com

Ключевые слова: засуха, климатические моды, корреляционный анализ, Казахстан

Одним из наиболее опасных явлений погоды, связанных с глобальным ростом температуры, являются засухи [1]. Сильные засухи несут в себе как экологические риски, связанные с разрушением экосистем, сокращением ареалов обитания видов и нарушением в циклах газообмена, так и риски, связанные с экономическим ущербом: сокращением или гибелью сельскохозяйственных посевов, пожарами, пересыханием водотоков и снижением уровня воды в озерах и водохранилищах.

Помимо общего тренда роста глобальной температуры и связанного с ней перераспределения осадков, значительную роль в возникновении засух играет внутренняя динамика климатической системы. Элементами этой системы являются крупномасштабные моды изменчивости, оказывающие существенное влияние на климат обширных территорий через механизмы дальних связей.

В настоящей работе проведена оценка степени влияния различных мод климатической изменчивости на условия засухливости на территории Республики Казахстан на различных временных масштабах. Для оценки степени засухливости был выбран индекс SPEI с временным осреднением от 1 до 48 месяцев [2]. Рассмотрены как крупномасштабные климатические моды (Эль-Ниньо – Южное Колебание, Тихоокеанское декадное колебание, Северо-Атлантическое колебание, Атлантическое Мультидекадное колебание, Арктическое колебание, Индийский диполь), так и региональные климатические индексы (SCAND, индекс Сибирского антициклона и Восточно-Атлантическое колебание).

На основе корреляционного анализа показано, что наиболее сильное влияние на засухливость на территории РК оказывают Северо-Атлантическое колебание и индекс Сибирского антициклона. Менее выраженное, но значимое воздействие было выявлено для Восточно-Атлантического колебания, Индийского диполя, Скандинавского колебания, Индийского диполя, Междесятилетнего тихоокеанского колебания. Отмечена высокая изменчивость характера воздействия климатических мод при различных временных осреднениях.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ (22-17-00073).

Литература:

1. Patrick E. Drought characteristics and management in Central Asia and Turkey / E. Patrick, editors E. Mansur, D. Burgeon, Rome., 2017. 114 с.
2. Yang R., Xing B. Teleconnections of Large-Scale Climate Patterns to Regional Drought in Mid-Latitudes: A Case Study in Xinjiang, China // Atmosphere. 2022. № 2 (13). С. 1–32.

Пространственно-временная изменчивость условий засухливости на территории Республики Казахстан в 1979-2021 гг. по данным реанализа ERA5

Железнова И.В.¹, Гущина Д.Ю.¹, Мейрамов Ж.М.², Ольчев А.В.¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Казахстанский филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,
Астана, Казахстан
ijeleznova@gmail.com

Ключевые слова: засуха, Казахстан, индексы засухливости, данные реанализа, температура, осадки, изменение климата

Современные изменения климата сопровождаются повышением глобальной температуры, изменением характера осадков, ростом частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений. На территории Республики Казахстан скорость роста температуры воздуха в последние десятилетия была выше, чем в других регионах на тех же широтах [1], при этом значимой тенденции изменения количества осадков не наблюдалось.

Наиболее распространенным экстремальным явлением по частоте и воздействию на окружающую среду, население и экономику региона на территории Казахстана являются атмосферные засухи [2]. В работе исследована пространственно-временная изменчивость условий засухливости на территории Республики Казахстан в период 1979-2021 гг. с использованием различных индексов засухливости (PDSI, SPI, SPEI, KBDI) [3]. Показано, что конец XX века (1979-2000 гг.) и начало XXI века (2000-2021 гг.) характеризуются значительными различиями в температурном режиме воздуха и количестве осадков. Согласно индексу PDSI, на большей части территории Казахстана существенно усилилась засухливость. Увеличение индекса KBDI, свидетельствующее о повышении риска возникновения лесных пожаров, отмечается в юго-западном и северо-западном регионах. Рост степени засухливости проявляется также по данным индексов SPI и SPEI.

Оценка влияния температуры и осадков на условия засухливости также показала, что наиболее жаркие и сухие районы расположены в регионах, на которые одновременно влияют и повышение температуры, и уменьшение количества осадков как весной, так и летом. Наиболее сильное увеличение засухливости и пожароопасности на западе и северо-западе связано в основном с уменьшением количества осадков в летний период. Минимальные риски засухи отмечаются в северных и центральных регионах, где условия в XXI веке становятся еще более благоприятными по сравнению с XX веком (увеличение количества осадков как весной, так и летом и снижение летних температур).

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ (22-17-00073).

Литература:

1. Karatayev M. et al. Monitoring climate change, drought conditions and wheat production in Eurasia: the case study of Kazakhstan // *Heliyon*. 2022. № 1 (8).
2. Patrick E. Drought characteristics and management in Central Asia and Turkey / E. Patrick, editors E. Mansur, D. Burgeon, Rome:, 2017. 114 с.
3. Zheleznova I. et al. Temporal and Spatial Variability of Dryness Conditions in Kazakhstan during 1979–2021 Based on Reanalysis Data // *Climate*. 2022. № 10 (10).

Отклик тропосферной динамики на внезапные стратосферные потепления в различные фазы ЭНЮК и ТДК в идеализированных модельных экспериментах

Зюляева Ю.А.^{1,2}, Собаева Д.^{1,3}

¹Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, Россия

²Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия

³Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Долгопрудный, Россия
yulia@sail.msk.ru

Ключевые слова: шторм-трек, тропосферно-стратосферное взаимодействие, ЭНЮК, ТДК, стратосферный полярный вихрь, численное моделирование

Среднее положение основных траекторий распространения циклонов в Северном полушарии соответствуют крупномасштабному планетарному потоку (квазистационарным планетарным волнам), который формируется в том числе и под воздействием крупномасштабных аномалий температуры поверхности океана таких как Эль-Ниньо Южного колебания (ЭНЮК) и Тихоокеанского десятилетнего колебания (ТДК). Известно, что на фоне событий Эль-Ниньо Североатлантический шторм-трек расположен южнее своего среднеклиматического положения. С другой стороны, экстремальные состояния стратосферного полярного вихря (СПВ) могут влиять на положение шторм-треков на временном периоде от 2 недель до 2 месяцев.

Для определения различий в отклике тропосферной динамики на экстремальные состояния СПВ на фоне событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья и различных фаз ТДК были проведены идеализированные модельные эксперименты на платформе ISCA.

Было показано, что нельзя однозначно сказать о смещении Атлантического шторм-трека к югу при событиях Эль-Ниньо без учета интенсивности СПВ. Смещение шторм-трека в Атлантико-Европейском регионе при событиях Эль-Ниньо происходит в западной части района, а во время Ла-Нинья в восточной. При событиях Эль-Ниньо по типу Модоки отклик в синоптической активности на внезапные стратосферные потепления наблюдается во всем Атлантико-Европейском регионе. Максимальным прогностическим потенциалом интенсивность СПВ, выраженная как зональная компонента скорости ветра, осредненная вдоль 60 с.ш. на уровне 10 гПа, обладает в условиях Ла-Нинья на фоне отрицательной фазы ТДК.

Повторяемость штормовых ветров в районе арх. Шпицберген в условиях современного изменения климат

Ильющенкова И.А.¹, Коржицов А.Я.¹, Иванов Б.В.^{1,2}

¹*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия*

²*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

ilyushenkova@aari.ru

Ключевые слова: *Западная Арктика, Шпицберген, синоптические процессы, опасные погодные явления, изменение климата, штормовой ветер*

Изменения в глобальной атмосферной циркуляции и меридиональном переносе тепла может привести к усилению циклонической деятельности в районе Шпицбергена и увеличению повторяемости опасных погодных явлений. Нами получены оценки повторяемости экстремальных усилений скорости ветра до 25 м/с и более за период регулярных инструментальных наблюдений с 1977 г. по 2022 г. на метеорологической станции Баренцбург. При анализе повторяемости экстремальных значений скорости ветра были выделены 4 основных синоптических ситуации, при которых происходит значительное усиление барического градиента и, как следствие, возникновение экстремальных значений скорости приземного ветра. При наиболее повторяющемся первом типе (44 % случаев с экстремальными значениями скорости) наблюдается обширная антициклональная область над Скандинавией, которая блокирует движение циклонов в направлении акватории Баренцева моря, и они проходят севернее Шпицбергена. При втором типе (20 % случаев) антициклональная область над Канадским сектором Арктики блокирует выход циклонов в приполюсный район, а траектории циклонов проходят южнее Шпицбергена. При третьем типе (27 % случаев) атмосферной циркуляции траектории циклонов проходят непосредственно через арх. Шпицберген. Наконец четвертый, наименее повторяющийся тип (9 % случаев), характеризуется усилением ветра в тыловой части циклонов, расположенных над северо-восточной частью Карского моря и морем Лаптевых. Анализ повторяемости экстремальных значений скорости ветра показал, что наибольшее количество усилений скорости ветра до очень сильных и ураганных значений происходит в большинстве случаев при нарушении западно-восточного переноса.

Работа выполнена в рамках проекта «Мониторинг состояния и загрязнения природной среды в Арктическом бассейне и районах научно-исследовательского стационара “Ледовая база Мыс Баранова”, Гидрометеорологической обсерватории Тикси и Российского научного центра на архипелаге Шпицберген» (проект 5.1 НИТР Росгидромета, 2020-2024 гг.).

О влиянии неоднородностей силы тяжести на теплообмен атмосферы с подстилающей поверхностью

Ингель Л.Х.^{1,3}, Макоско А.А.^{2,3}

¹Научно-производственное объединение "Тайфун", Обнинск, Россия

²Российская академия наук, Москва, Россия

³Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия
lev.ingel@gmail.com

Ключевые слова: неоднородности поля силы тяжести, пограничный слой атмосферы, турбулентный обмен, линейные возмущения, аналитическая модель, теплообмен, климат

В недавних теоретических работах авторов получены некоторые оценки атмосферных возмущений, связанных с неоднородностями поля силы тяжести (НПСТ). При этом основное внимание уделялось динамическим эффектам – возмущениям поля ветра под влиянием НПСТ. В настоящем докладе обращается внимание на то, что в приземном слое атмосферы могут существовать и заметные термические эффекты НПСТ. Эти неоднородности, деформируя поля давления, плотности и температуры воздуха, влияют на температурный режим пограничного слоя атмосферы, на теплообмен воздуха с подстилающей поверхностью. В докладе рассмотрена линейная стационарная аналитическая модель, призванная оценить амплитуды этих эффектов. Существенные определяющие параметры – аналоги чисел Релея и Тейлора, в которых в качестве пространственного масштаба фигурировал заданный горизонтальный масштаб НПСТ. Получены аналитические выражения для профилей температурных возмущений и амплитуд отклонений вертикальных потоков тепла на поверхности. Последние, помимо амплитуд неоднородностей поля силы тяжести, наиболее сильно зависят от фоновой стратификации среды. В высокоаномальных регионах амплитуды отклонений потоков тепла, согласно полученным оценкам, могут достигать и превышать 1 Вт/м^2 , что дает основания к учету неоднородностей поля силы тяжести в климатических расчетах и численных моделях атмосферы.

Литература:

1. Ingel L. Kh., Makosko A. A. Theoretical studies of atmospheric perturbations caused by the gravity field inhomogeneities. . IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences, 2020. DOI:10.1088/1755-1315/606/1/012020.
2. Ингель Л.Х., Макоско А.А. О влиянии неоднородностей силы тяжести на теплообмен атмосферы с подстилающей поверхностью // Геофизические исследования. 2022. Т. 23. № 3. С. 5-13.

Причины и механизмы потепления климата Земли: ФФО-ХФО Теория Образования и Трансформации Солнечной Системы (PFO-CFO Theory)

Кадышев Е.А.¹, Островский В.Е.²

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

²Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова, Обнинск, Россия

kadyshevich@mail.ru

Ключевые слова: климат в прошлом, настоящем и будущем, климата изменения причины, CO₂ антропогенной эмиссии влияние на климат, солнечной активности влияние на климат, Солнечной Системы трансформации теория, протуберанцев влияние на климат, изотопов происхождения теория

Решение вопроса о том, чем вызвано потепление Земли, особенностями активности Солнца или эмиссией антропогенного CO₂ в атмосферу, важно и актуально, т.к. от него зависит выбор направления развития энергетической базы, обеспечивающей жизнь населения Земли, и понимание перспектив и возможных последствий изменения климата. В докладе представлена и обсуждена ФФО-ХФО Теория Образования и Трансформации Солнечной Системы (PFO-CFO Theory), развиваемая нами с 2009-го года. Теория приводит к выводам о причинах и механизмах потепления и предсказывает его дальнейшее усиление, перемежающееся с кратковременными похолоданиями. По мере развития, теория была представлена в 15-и докладах на международных конференциях в 10-и странах, но малоизвестна в России. В современном виде она изложена наиболее полно в пленарных лекциях в Ереване (2017) [1] и Амстердаме (2019) [2].

Доминирует мнение, что потепление вызвано увеличением содержания в атмосфере CO₂ и др. парниковых газов вследствие промышленной революции и роста использования углеводородного сырья.

Однако некоторые исследователи приходят к выводу, что не парниковые газы, а вариации активности Солнца ответственны за это явление. Установлено (Robinson A. et al., 2007), что таяние ледников, вызванное потеплением климата, началось в 1820-ых годах, т.е. до резкого роста содержания CO₂ в атмосфере, и ускоряется непрерывно с постоянной скоростью. Промышленная революция, начавшаяся в конце 19-го века, не привела к дополнительному ускорению этого процесса. Экспериментально установлено (Шам П., 2003), что парниковый эффект эмитированного антропогенного CO₂ чрезвычайно мал и не может вызвать потепление климата. Мнение о том, что потепление инициировано вариациями активности Солнца, поддерживается, например, в статьях Коваленко В. и Жеребцова Г. (2014), Абдусаматова Х. (2009), Сорохтина О. (2001) и Монины А. и Шишкова Ю. (2000).

Результаты ФФО-ХФО Теории будут обсуждены в контексте различных публикаций, имеющих в литературе.

Литература:

1. Островский В., Кадышев Е. Массовые вымирания видов: причины...// Биологическое разнообразие и охрана фауны-3. Ереван, ООО «ТАСК», 2017. С. 233; https://www.researchgate.net/publication/320187190_Massovye_vymirania_vidov
2. Ostrovskii V., Kadyshevich E. Solar Protuberances: Their nature, function, and potential threat to the Earth... (Invited lecture) // SCON Intern. Conf. on Astro Physics... Amsterdam, 2019; https://www.researchgate.net/publication/333754868_Solar_protuberances

Факторы формирования колец Ирмингера и их влияние на глубокую конвекцию в море Лабрадор

Калинин М.А., Вережемская П.С., Гавриков А.В., Криницкий М.А., Гулев С.К.
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
ninilaks.jr@gmail.com

Ключевые слова: *Кольца Ирмингера, море Лабрадор, глубокая конвекция, бароклинная и баротропная неустойчивость, автоматическая идентификация и трекинг*

Глубокая конвекция в море Лабрадор играет значительную роль в формировании нижней ветви Атлантической меридиональной ячейки циркуляции. Известно, что вихревая мезомасштабная активность в море Лабрадор, представленная кольцами Ирмингера (КИ), оказывает влияние на процесс конвекции.

Кольца Ирмингера — это мезомасштабные антициклонические вихри, отрывающиеся от глубокого западно-пограничного течения (ГЗПТ). Их свойством, влияющим на процесс конвекции, является сильная устойчивая стратификация, затрудняющая вентиляцию с поверхности, однако количественной оценки этого влияния до сих пор нет. Данная работа посвящена исследованию механизмов образования колец Ирмингера и количественной оценке их влияния на глубину и интенсивность конвекции.

В основу исследования легли данные региональной модели Субполярной Северной Атлантики NNATL12 (NEMO 4.0.6).

Расчет слагаемых уравнения завихренности используется для оценки вклада баротропного и бароклинного механизмов в генерацию колец Ирмингера.

В работе реализована схема автоматической идентификации колец Ирмингера в данных численного моделирования, построенная на принципе поиска локальных экстремумов. За период с 1993 по 1995 год в данных с дискретностью 1 час было найдено 51193 центров КИ. Найдена устойчивая связь между количеством наблюдаемых КИ и величиной переноса тепла ГЗПТ (корреляция 0.71). Установлено, что перенос тепла ГЗПТ в центральную часть моря Лабрадор в основном реализуется вихрями, а вертикальная термохалинная структура КИ повторяет структуру ГЗПТ. КИ ярко прослеживаются в поле глубины перемешанного слоя зимой — в области вихря глубина конвекции значительно меньше (XXX метров), чем в областях, где вихрей не наблюдается. Установлено, что в отсутствие КИ в центральной части моря Лабрадор, глубина конвекции на 3,5% больше, хотя площадь, занимаемая КИ, примерно в 82 раза меньше площади рассматриваемого бассейна. Также продемонстрировано влияние КИ на процесс заглублинения и восстановления перемешанного слоя.

Опыт детализированного прогнозирования климатических изменений (в том числе нестационарных экстремумов) и инициируемых ими экзогенных процессов в Арктике

Кислов А.В., Аляутдинов А.Р., Архипкин В.С., Баранская А.В., Белова Н.Г., Богатова Д.М.,

Викулина М.А., Железнова И.В., Суркова Г.В.

Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

Москва, Россия

avkislov@mail.ru

Ключевые слова: *прогноз климата, прогноз экзогенных процессов в Арктике, СМIP6, прогноз нестационарных экстремумов*

Происходящие в Арктике потепление климата выражается нарастанием экстремальных значений, а также проявляется в широком спектре процессов деградации многолетних мерзлых пород, состояние которых, чутко реагирующее на изменения климата, вызывает активизацию быстро протекающих экзогенных процессов. В качестве примера рассмотрена территория Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО). Для прогноза на середину 21 века использованы данные 42 моделей проекта СМIP6 в рамках сценария SSP5-8.5. Средние температуры января повысятся примерно на 3.5°C (на побережье Карского моря даже на 4.5°C), а в июле на ~2.5°C повсеместно. Месячные суммы осадков увеличатся в среднем на 10% в январе и останутся неизменными в июле. Расчет меняющихся с изменением климата экстремумов осуществлен путем синтеза данных СМIP6 и методов статистического оценивания экстремумов. В итоге оказалось, что квантильные 5% и 95% значения температуры вырастут на 3 и 4.5°C в январе и на 2 и 3°C в июле. Квантильные 95% значения аномалий осадков увеличатся на 30% и 10% в январе и июле, соответственно.

Климатические данные послужили основой для расчетов различных прикладных климатических параметров и характеристик экзогенных процессов. В каждом случае использованы специальные предметно-ориентированные алгоритмы. Получено, что сократится количество дней с заморозками, а число оттепелей не претерпит существенных изменений. Климатически обусловленные изменения уровня моря создадут риски затопления в южной части Тазовской губы. Потепление в сочетании с ростом осадков приведет к росту опасности лавин, водоснежных потоков и селей на входящих в ЯНАО восточных склонах Урала. Отклик на изменения климата характеристик криогенных оползней и озерности, процессов абразии, суффозии, эрозии, термокарста, солифлюкции оказывается сложным, определяясь прихотливой конфигурацией береговой зоны и мозаичностью распространения многолетнемерзлых пород.

Литература:

1. А. В. Кислов, и др. Прогноз изменений климата и интенсивности экзогенных процессов на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Доклады Российской Академии Наук. Науки о Земле, 2023, том 510, № 2, с. 111–118.
2. Kislov, A. et al. Spatially Detailed Projection of Environmental Conditions in the Arctic Initiated by Climate Change. Atmosphere 2023, 14, 1003. <https://doi.org/10.3390/atmos14061003>

Региональные особенности изменения норм основных климатических параметров на территории России

Коршунова Н.Н., Швец Н.В.

*Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации –
Мировой центр данных, Обнинск, Россия*

nnk@meteo.ru

Ключевые слова: *климат, климатическая норма, температура воздуха, атмосферные осадки, атмосферное давление, парциальное давление водяного пара*

Под климатической нормой понимается та или иная характеристика климата, статистически полученная из многолетнего ряда, чаще всего средняя многолетняя величина. Согласно регламенту ВМО период осреднения для получения норм должен составлять 30 лет, хотя допускаются объективные пропуски данных до 20%.

Рассчитаны разности норм по основным метеорологическим параметрам – температуре воздуха, атмосферным осадкам, упругости водяного пара, атмосферному давлению на уровне моря, облачности за три 30-летних периода: 1961-1990, 1981-2000 и 1991-2020 гг. Выявлены сезонные изменения в режиме основных климатических параметров в отдельных регионах России за последние десятилетия. В последнее тридцатилетие на территории России выявлено замедление потепления во все сезоны. Нормы 1991-2020 гг. по осадкам летом уменьшились на большей части страны, однако значительное увеличение осадков получено на юге Дальневосточного ФО. В режиме атмосферного давления на уровне моря наибольшие изменения выявлены зимой: на ЕТР отмечалось значительное уменьшение атмосферного давления, обусловленное увеличением циклоничности, а на АТР – рост атмосферного давления, обусловленный ослаблением Алеутской депрессии и смещением на Чукотку вторичного ядра Сибирского антициклона. На большей части страны нормы повторяемости облачности 0-2 балла нижнего яруса за последние десятилетия уменьшились, особенно заметное уменьшение наблюдается в Западной Сибири.

Разности климатических норм, полученные в данной работе, могут рассматриваться как один из показателей изменений климата, которые проявляются неодинаково в различных регионах такой огромной страны как Россия.

Динамика гидротермического режима в условиях горноклиматического города-курорта Кисловодск (по данным многолетних метеорологических исследований за 1993-2023 гг.)

Корягина Ю.В., Донец Е.В., Тычинина А.П.

*Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического
агентства России, Ессентуки, Россия*

a.cozinowa@yandex.ru

Ключевые слова: климатическая изменчивость, температура воздуха, атмосферные осадки, коэффициент увлажнения

В последние несколько десятилетий процессы глобальных изменений климата Земли становятся все заметнее и рассматриваются как реальный фактор воздействия на перспективы устойчивого развития всех сфер жизни человека. Отмечается положительная тенденция роста среднегодовых температур, а также увеличение масштабов и темпов изменения других климатических характеристик.

Территория Кавказских Минеральных вод характеризуется разнообразием климатических условий, благоприятных для развития городов как курортов и успешного использования в климатотерапии.

В условиях наблюдаемых изменений климата важно изучить закономерности формирования погодно-климатических аномалий и их соответствующих проявлений по показателям температуры воздуха и атмосферных осадков г. Кисловодск.

Информационной базой в нашей работе послужили многолетние данные метеорологической станции отдела курортной биоклиматологии, расположенной на высоте 843,5 м над уровнем моря, на территории нижней части ФГБУ Национальный парк Кисловодский.

Результаты исследований были обработаны стандартными методами вариационной статистики, корреляционного, регрессионного и дисперсионного однофакторного анализов с использованием пакета Statistica.

Анализ полученных данных позволил выявить следующие особенности гидротермического режима: изменение климата региона характеризуется сочетанием значительного увеличения средней годовой и сезонных температур приземного воздуха, повторяемости экстремально высоких суточных температур, продолжительности волн тепла и отсутствием существенных изменений в режиме осадков. Прослеживаются тренды увеличения максимумов и минимумов, однако рост минимальных температур более выражен. За последние 30 лет наблюдается увеличение количества положительных аномалий среднемесячной температуры воздуха, а также их абсолютных значений. В целом можно отметить устойчивую тенденцию к потеплению, особенно хорошо выраженную в последнее десятилетие.

Вращение Земли формирует структуру общей циркуляции атмосферы

Кочин А.В.

Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный, Московская область, Россия
amarl@mail.ru

Ключевые слова: *общая циркуляция атмосферы, тропопауза, вращение Земли, центростремительная сила, приземное давление*

Причиной общей циркуляции атмосферы (ОЦА) является уменьшение температуры на полюсах. Однако уменьшение температуры должно вызывать увеличение приземного давления на полюсах, чтобы воздушные массы смещались вдоль поверхности Земли от полюсов к экватору. Наблюдаемое приземное давление практически постоянно, поэтому за счет гидростатического градиента давления воздух способен смещаться только в сторону полюса. Для существования циркуляции требуется дополнительный негидростатический градиент давления. Центростремительная сила, возникающая вследствие вращения Земли, выравнивает приземное давление, так как ее величина много больше разницы давления за счет разницы температур. Это формирует негидростатический вертикальный градиент давления, который заставляет воздух опускаться от полярной тропопаузы до уровня планетарного пограничного слоя на широтах более 30°, а в низких широтах подниматься, что обеспечивает замкнутую циркуляцию неравномерно нагретого воздуха в меридиональном направлении. Адиабатическое сжатие/разрежение за счет вертикальных движений вызывает уменьшение температуры от поверхности до полярной тропопаузы. Действие силы Кориолиса на меридиональные потоки приводит к развороту ветра на уровне тропопаузы, которая является границей между меридиональными потоками. Экспериментальные данные подтверждают результаты модели, включая вертикальный профиль температуры и разворот ветра. В экспериментальных данных разворот ветра обнаружен также в тропической тропопаузе. Формирование тропической тропопаузы происходит за счет изменения знака градиента температуры при опускании воздуха вдоль полярной тропопаузы. Таким образом полная циркуляция состоит из трех противоположно направленных потоков, разделенных полярной и тропической тропопаузой, при этом температура в атмосфере падает от поверхности до полярной тропопаузы и остается постоянной выше нее.

Литература:

1. Гаврилова Л. А. 1982. Агроклиматология. ЛГМИ. Гидрометиздат
2. Кочин А. 2020. Формирование тропопаузы за счет общей циркуляции воздуха. Всероссийская конференция ТУРБУЛЕНТНОСТЬ, ДИНАМИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТА. Москва.
3. Holton J. 2004. An Introduction to Dynamic Meteorology. Elsevier.

Идентификация и построение траекторий мезомасштабных конвективных систем над сушей по данным дистанционного зондирования Земли с применением методов глубокого обучения

Криницкий М.А.^{1,4,5}, Спрыгин А.А.², Нарижная А.И.³, Чернокульский А.В.³

¹*Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, Россия*

²*Научно-производственное объединение "Тайфун", Обнинск, Россия*

³*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

⁴*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),
Долгопрудный, Россия*

⁵*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский
вычислительный центр, Москва, Россия*

krinitsky@sail.msk.ru

Ключевые слова: мезомасштабные конвективные системы, *Meteosat*, *Himawari*, дистанционное зондирование Земли, машинное обучение, глубокое обучение, искусственные нейронные сети, свёрточные нейронные сети

Мезомасштабные конвективные системы (МКС) могут причинять экономический ущерб и приводить к гибели людей. При этом механизмы их формирования и характеристики жизненного цикла изучены недостаточно. Современные климатологические исследования МКС опираются на данные дистанционного зондирования, включая инфракрасные спутниковые изображения и данные метеорадаров. Однако и в этих условиях статистических данных по Европейской и восточной частям Евразии недостаточно. Для повышения обеспеченности исследований данными мониторинга МКС, мы разработали и апробировали набор инструментов и методов, позволяющих реализовать автоматическую идентификацию и построение траекторий МКС над сушей по данным дистанционного зондирования Земли. Мы разработали клиент-серверную программу для разметки спутниковых снимков спутниковых миссий серии *Meteosat* в отношении расположения, размеров и ориентации осесимметричных МКС. С использованием этой программы мы провели экспертную идентификацию и построение траекторий МКС над Европейской территорией России (ЕТР) и объединили эту разметку в единый набор данных *DaMesCoS* (*Dataset of Mesoscale Convective Systems*). Мы разработали и обучили на данных *DaMesCoS* искусственные нейронные сети для идентификации и построения траекторий МКС по данным спутниковых снимков. Обученная нейросеть идентификации МКС показала высокое качество идентификации. С применением разработанной и обученной нейросети мы получили климатологию МКС над ЕТР в летние сезоны. Мы также применили обученную нейросеть к данным спутниковых инструментов, установленных на аппарате *HIMAWARI* японского космического агентства, которые покрывают восточные территории России, и над восточными территориями России. В настоящем исследовании мы получили оценки частоты возникновения МКС с использованием глубоких искусственных нейронных сетей, а также изменения частоты возникновения и характеристик жизненного цикла за весь период наличия данных миссии *Meteosat*.

Аппроксимация высоты тропопаузы для использования в моделях промежуточной сложности

Кузьмин А.М.¹, Мохов И.И.^{1,2}, Елисеев А.В.^{1,2}

¹*Физический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия*

²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия
Aleksey.kuz.min@yandex.ru*

Ключевые слова: *аппроксимация, высота тропопаузы, реанализ*

Данная работа посвящена сравнению качества аппроксимаций высоты тропопаузы, полученных на основе реанализа ERA5. Полученные результаты могут быть использованы в моделях промежуточной сложности.

О форме оси среднеклиматического циркумполярного вихря в стратосфере северного полушария (по данным метеорологического ракетного зондирования в 1969-1995 гг.)

Куминов А.А.

*Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный, Московская область, Россия
airship@mail.mipt.ru*

Ключевые слова: *Ось циркумполярного вихря, среднеклиматический ветер в стратосфере, ракетное метеорологическое зондирование*

По результатам измерений на двух станциях ракетного зондирования атмосферы ЦАО – среднеширотной «Волгоград» (48.68° с.ш., 44.35° в.д.) и полярной «о. Хейса» (80.62° с.ш., 58.05° в.д.) – за указанный период были построены среднеклиматические высотные профили горизонтальных компонент скорости ветра. Как оказалось, векторы скорости имеют заметно различающиеся азимуты. Что, очевидно, свидетельствует о смещенности центра среднеклиматического северного циркумполярного циклона относительно географического полюса. Если рассматривать среднеклиматическую циркуляцию в стратосфере как геострофическую, то можно сделать вывод, что центр вихря должен быть расположен на пересечении двух больших кругов, проведенных через местоположения станций ортогонально векторам скоростей. Процедура вычисления координат точек пересечения была проделана с использованием уравнений сферической геометрии для каждой высоты с шагом 1 км. Оказалось, что ось циркумполярного вихря не просто смещена относительно оси вращения Земли, но имеет на высотах стратосферы винтообразную форму. Если смотреть сверху, винтообразное движение вдоль линии оси с увеличением высоты происходит по часовой стрелке довольно равномерно со средней скоростью 12°/км («шаг винта» примерно 30 км). Проекция оси на поверхность Земли имеет форму замкнутой линии с поперечником 350 – 400 км («диаметр винта») и координатами центра около 81° с.ш. и 40° в.д. («ось винта»).

Исследование климатических трендов приземной температуры и осадков на территории Российской Федерации методом квантильной регрессии

Лавров А.С., Стерин А.М.

*Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации –
Мировой центр данных, Обнинск, Россия*

fliorcid@yandex.ru

Ключевые слова: климат, климатический тренд, квантильная регрессия, температура, сумма осадков, кластеризация, региональные особенности

Метод квантильной регрессии позволяет оценивать параметры регрессии для каждого квантиля от нуля до единицы, давая более детальное, по сравнению с методом наименьших квадратов, представление об изменении метеорологических характеристик с течением времени. В частности, он дает оценки трендов значений метеовеличин близких к экстремальным.

В ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» с помощью метода квантильной регрессии проводится исследование климатических трендов как температуры в свободной атмосфере по радиозондовым данным, так и приземной температуры.

В предыдущих работах [1, 2] проводилось исследование климатических трендов приземной температуры на более чем 1400 станциях на территории России. Для пространственного обобщения полученных квантильных оценок трендов была выполнена кластеризация в многомерном пространстве, учитывающем сезонные характеристики процесс-диаграмм трендов аномалий минимальной, максимальной и средней суточной температур. Было установлено, что, несмотря на отсутствие среди переменных многомерного пространства характеристик географического положения станций наблюдений, полученные кластеры не только располагаются географически компактно, но и хорошо соответствуют известному разделению территории России на квази-однородные климатические регионы.

В данной работе климатические тренды приземной температуры исследуются совместно с данными о суточных суммах осадков. Проводится кластеризация станций наблюдений с учетом квантильных оценок трендов приземной температуры и осадков, а также проводится анализ полученных кластеров.

Литература:

1. Стерин А.М., Лавров А.С., 2022: Использование квантильной регрессии для оценки пространственных особенностей характеристик трендов приземной температуры на территории России. Фундаментальная и прикладная климатология, т. 8 №2, стр. 92-111.
2. Лавров А.С., Стерин А.М., 2023: Сравнение результатов кластеризации квантильных трендов приземной температуры на территории Российской Федерации с квази-однородными климатическими регионами России. CITES-2023. стр. 78-79.

Необходимо ли в России изучать и самостоятельно диагностировать черноморские квазитропические циклоны?

Левина Г.В.

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

levina@cosmos.ru

Ключевые слова: черноморские квазитропические циклоны (КТЦ), вращающиеся облачные башни, идентификация формирования КТЦ

На конференции 2019 г. доклад автора о возможном появлении квазитропических циклонов (КТЦ) в Черном море был встречен скептически. Широко известный случай с появлением такого вихря в сентябре 2005 г. многими, в том числе и коллегами из Севастополя, опубликовавшими несколько работ о нем, воспринимался в качестве экзотического явления. Однако, как выяснилось позже, в качестве экзотики это воспринимается только в нашей стране, где такие вихри попросту не диагностируются в реальном времени. Ввиду отсутствия интереса к ним у отечественных метеорологов КТЦ также не отслеживаются и по имеющимся данным в зарубежных источниках. Информация о черноморских КТЦ легко доступна и при целенаправленном поиске может быть получена. Так, автором были найдены первые спутниковые снимки двух черноморских КТЦ 2002 г. в архивах Метеобюро Великобритании, см. №№ 3,4 в списке литературы [1]. Необходимо отметить, что акватория Черного моря прекрасно отслеживается зарубежными метеослужбами в реальном времени, и появление КТЦ регистрировалось после 2002 г. неоднократно.

В мае-октябре 2021 г. вблизи побережья нашей страны образовалось три КТЦ, ни один из которых не диагностировался в качестве такового в России. Формирование КТЦ сопровождается образованием вращающихся облачных башен, каждая из которых опасна сама по себе. Особенно интенсивным был вихрь 11–20 августа 2021 г. [2], на фоне зарождения которого произошла авария на нефтяном терминале около Новороссийска [3]. Участие автора в международном интернет-форуме по тропическим циклонам tstorms.org позволило отслеживать эволюцию этого КТЦ по материалам зарубежных метеорологов в реальном времени. В докладе предполагается сопоставить и обсудить результаты из указанных выше источников [2, 3] и дискуссий на tstorms.org.

С учетом геополитического и экономического значения черноморского региона для национальных интересов России необходимо, наконец, не только задуматься над вопросом, поставленном в названии доклада, но и принимать соответствующие меры.

Литература:

1. Левина Г.В. Применение теории турбулентного вихревого динамо для ранней диагностики зарождения тропических циклонов // Фунд. и прикл. гидрофизика. 2022. Т.15, №2. С.47.
2. M.B. Farr, J.V. Gasch, E.J. Travis et al // The Black Sea cyclone Falchion. Meteorology, 2022. V.1. P.495.
3. Костяной А.Г., Лаврова О.Ю., Лупян Е.А. Нефтяной разлив на морском терминале Каспийского трубопроводного консорциума под Новороссийском 7 августа 2021г // Современные проблемы ДЗЗ из космоса. 2021. Т.18. №5. С.28.

Критерии выделения мезомасштабных циклонов

Левковская Ю.А.¹, Вереземская П.С.², Ахтамянов Р.А.³, Гавриков А.В.²

¹Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия

²Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, Москва, Россия

³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
yualevkovskaya@edu.hse.ru

Ключевые слова: *полярные мезомасштабные циклоны, северная Атлантика, идентификация и построение траекторий*

Полярные мезомасштабные циклоны (ПМЦ) – это небольшие, но интенсивные вихри, формирующиеся к северу от основной бароклинной зоны. Изучение географии мезомасштабных циклонов важно, так как мезомасштабные циклоны являются опасным метеорологическим явлением, которое оказывает влияние как на конвекцию в верхних слоях океана, так и на промышленную деятельность в море.

В настоящий момент существует несколько способов идентификации мезомасштабных циклонов, в том числе идентификация ПМЦ в данных численного моделирования климата с использованием критериев. Критерии мезомасштабных циклонов – пороговые значения характеристик атмосферы. Однако разные авторы в своих работах предлагают разные критерии для идентификации мезомасштабных циклонов. В работе был проведен анализ эффективности критериев из литературы с помощью сравнения распределений значений характеристик в ПМЦ и в Северной Атлантике в 2000-2004 годах. Данные о характеристиках атмосферы взяты из ретроспективного анализа RAS NAAD, а данные о мезомасштабных циклонах – из баз данных о мезомасштабных циклонах Rojo, Golubkin и Noer.

В результате было установлено, что самыми эффективными критериями для идентификации ПМЦ являются: скорость ветра на 10 м выше 14.1 м/с , разница потенциальных температур поверхности моря и на высоте 500 гПа больше -9.4° и разница температур поверхности моря и на высоте 500 гПа больше 41.4° . Также был предложен авторский метод идентификации ПМЦ, основанный на соотношении пересечения области мезомасштабных циклонов и области, где выполняется заданное условие значения характеристики атмосферы к их объединению. В предложенном подходе самыми эффективными критериями оказались разница между средним максимальным потоком скрытого тепла в мезоциклонах и в каждой точке атмосферы больше 180 Вт, разница между средней максимальной скоростью ветра на 10 м в мезоциклонах и в каждой точке атмосферы выше 11.5 м/с и разница между средним давлением и давлением в каждой точке больше 13.5 гПа.

Тенденции синоптических негауссовских экстремальных метеорологических аномалий в Северном полушарии в конце XX - начале XXI вв.

Логинов С.В.¹, Харюткина Е.В.^{1,2}, Морару Е.И.¹

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

²Центр научных исследований и разработок, Великий Новгород, Россия

logSV13@gmail.com

Ключевые слова: метеорологические величины, негауссовские аномалии, экстремальные явления, синоптическая изменчивость, функция распределения вероятностей, параметр Херста

Проведен анализ пространственно-временной изменчивости количества негауссовых экстремальных аномалий климатических параметров в Северном полушарии за 1979–2018 гг. для исходных временных рядов и для рядов синоптической изменчивости. Проведена классификация эмпирических плотностей вероятности (PDFe). В ~80% случаев у аномалий синоптического масштаба значения PDFe превышают распределение Гаусса как в отрицательной, так и в положительной областях экстремальных значений. Определены интервальные пороговые значения областей негауссовских экстремальных аномалий. Установлено, что в начале XXI века в зимний сезон увеличилось количество аномалий скорости ветра и влажности в целом по Северному полушарию. Количество аномалий температуры и геопотенциальной высоты, наоборот, уменьшилось, а для изменчивости синоптического масштаба в низких широтах их число увеличилось. Области с максимальными значениями негауссовых аномалий в основном располагались над континентами: зимой – северная часть Дальнего Востока и Северной Америки, а также Сибирский регион; летом – в низких широтах. Аномалии вертикальной скорости ветра расположены в основном над океанами (средние широты Тихого и Атлантического океанов вблизи течений Куроиси и Гольфстрим, а также субполярные круговороты).

Применение R/S-анализа и мультифрактального анализа позволило установить, что выявленные тенденции сохраняются в этих регионах и в океанических районах Российской Арктики. Диапазон долговременной памяти временных рядов негауссовых аномалий составлял от 3,8 до 5 лет. Выявлено, что синоптические экстремальные аномалии более предсказуемы по сравнению с аномалиями исходного временного ряда.

Исследование выполнено по госзаданию № 121031300154-1 и за счет гранта РНФ № 21-17-10052.

Многолетние изменения температурной стратификации атмосферного пограничного слоя в Московско-Калужском регионе

Локощенко М.А.^{1,2}, Богданович А.Ю.³, Алексеева Л.И.¹, Кулижникова Л.К.⁴, Кочин А.В.⁵, Разин П.Е.⁶

¹Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

³Институт глобального климата и экологии им. акад. Ю.А. Израэля, Москва, Россия

⁴Институт экспериментальной метеорологии НПО «Тайфун», Обнинск, Россия

⁵Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный, Московская область, Россия

⁶Российская телевизионная и радиовещательная сеть, Москва, Россия

loko@geogt.msu.su

Ключевые слова: стратификация, климатические изменения, метеорологическая мачта, телебашня, радиозондирование, содар, вертикальный градиент температуры, приземные инверсии, влияние "острова тепла"

В докладе будут рассмотрены данные о стратификации нижнего 300-метрового слоя атмосферы в Московской и Калужской областях, за период с 1991 по 2020 годы. Использованы результаты измерений на двух высотных измерительных комплексах (высотной метеорологической мачте в г. Обнинске и телебашне в районе Останкино в Москве), радиозондирования в г. Долгопрудном и акустического зондирования содаром «ЭХО-1» в районе МГУ в Москве.

Исследованы и сопоставлены многолетние изменения за 28-30 лет на трех измерительных площадках вертикального градиента температуры воздуха γ в слоях 2-100 и 2-300 м, а также повторяемости разных видов температурной стратификации (устойчивой, безразличной, неустойчивой, а также приземных инверсий, включая случаи изотермии). Все расчёты по данным наблюдений в Обнинске и Москве в районе Останкино проведены за каждый день в 3 и 15 ч (мск), т.е. в часы выпусков радиозондов в Долгопрудном, для корректного сравнения результатов в разных местах. Помимо контактных измерений температуры воздуха, использованы также косвенные оценки температурной стратификации по данным акустического зондирования атмосферы в слое до 800 м в отдельные годы в Метеорологической обсерватории МГУ. Показано, что в условиях, близких к фоновым (г. Обнинск), стратификации атмосферного пограничного слоя обладает устойчивостью во времени: многолетние изменения среднегодовых значений γ статистически незначимы. Данные остальных источников в большей или меньшей степени отражают влияние городского «острова тепла» Москвы. Исследован средний многолетний годовой ход γ в середине дня и ночи, в котором также проявляется влияние столичного «острова тепла» при сравнении разных данных. Помимо этого, рассмотрены многолетние данные наблюдений повторяемости, мощности и интенсивности приземных инверсий и современные тенденции изменений этих показателей в Московско-Калужском регионе. Работа выполнена при поддержке РФФ, проекты 21-17-00210 и 23-27-00279.

Использование модели на основе искусственных нейронных сетей для прогнозирования экстремальных фаз ЭНЮК и прогноз Эль-Ниньо в 2023 году

Дубков А.С., Воскресенская Е.Н.

*Институт природно-технических систем РАН, Севастополь, Россия
andrey-ls2015@yandex.ru*

Ключевые слова: *нейронные сети, прогноз, ЭНЮК, Эль-Ниньо, Ла-Нинья, система океан-атмосфера*

Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) – важнейший глобальный процесс межгодового масштаба в системе океан-атмосфера экваториальной зоны Тихого океана. ЭНЮК имеет две противоположные фазы существования – теплую (Эль-Ниньо) и холодную (Ла-Нинья). Известно, что фазы ЭНЮК находят погодно-климатический отклик не только в тропической зоне Тихого океана, но и во внетропических широтах посредством дальнедействующих связей системы океан-атмосфера и могут обуславливать существенные негативные последствия на социально-экономическую сферу [1]. Прогноз этих событий и заблаговременное определение их типа – приоритетная задачей современных исследований.

Существует, по меньшей мере, 18 гидродинамических и 8 статистических моделей, представленных на сайте Колумбийского университета (IRI), которые применяются для прогнозирования ЭНЮК. Для всех моделей долгосрочного прогноза характерен относительно высокий навык прогнозирования нейтральных условий или уже развивающихся явлений ЭНЮК, однако модели практически не способны заблаговременно за 6 и более месяцев определить начало еще не начавшегося Эль-Ниньо/Ла-Нинья. Последние несколько лет стали предлагаться весьма продуктивные решения для прогнозирования ЭНЮК в основе которых лежат методы машинного обучения. Зачастую эти решения значительно лучше прогнозируют цикл ЭНЮК в сравнении с динамическими моделями [2].

В нашем исследовании предлагается модель, способная прогнозировать состояние ЭНЮК и определять заблаговременно за год приближение явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья. В основе модели лежит линейная многослойная нейронная сеть, входными данными в которую служат индексы дальнедействующих связей системы океан-атмосфера. Подробности метода моделирования описаны в работе [3]. Модель имеет значительное преимущество в сравнении с динамическими моделями при заблаговременном прогнозе более 6 месяцев. Так, предсказуемость событий Эль-Ниньо с заблаговременностью 12 месяцев равна 76%, а с заблаговременностью в 6 месяцев – 85%.

Литература:

1. McPhaden M.J., Zebiak S.E., Glantz M.H. ENSO as an integrating concept in Earth science // Science. – 2006. – V. 314. – №. 5806. – P. 1740-1745.
2. Fang W., Sha Y., Sheng V.S. Survey on the Application of Artificial Intelligence in ENSO Forecasting // Mathematics. – 2022. – V. 10. – P. 3793.
3. Лубков А.С., Воскресенская Е.Н., Марчукова О.В. Применение нейронных сетей для модельного прогноза Эль-Ниньо и Ла-Нинья, включая их типы // Метеорология и гидрология, 2020. – №. 11. – С.111-121.

Характеристики свободной атмосферы в Северной полярной области по данным международной сети аэрологических станций и НИС «Ледовая база Мыс Баранова»

Макшtas А.П., Большакова И.И., Жукова О.А.

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия
maksh@aaari.ru

Ключевые слова: Северная полярная область, свободная атмосфера, интегральное влагосодержание, межгодовая изменчивость

На основе анализа созданного в ААНИ архива данных, полученных на сети полярных аэрологических станций, расположенных севернее 67° с.ш., показано, что с 1960-х годов до конца 1990-х годов имел место период похолодания, характеризующийся преобладанием отрицательных аномалий в нижней тропосфере и чередованием аномалий с противоположными знаками в верхней тропосфере и стратосфере. С начала 2000-х годов по настоящее время имеют место период с положительными аномалиями в приземном слое и тропосфере до 500 гПа и преобладание отрицательных аномалий в верхней тропосфере и стратосфере. Рассчитанные для периода с 1963 г. по 2022 г. коэффициенты линейного тренда температуры показали, что на большинстве рассматриваемых станций ярко выражена тенденция потепления тропосферы во все сезоны от земли до уровня 300 гПа и тенденция к похолоданию верхней тропосферы и стратосферы.

Анализ межгодовых изменений нормированных аномалий удельной влажности также позволяет выделить периоды преобладания отрицательных аномалий до конца 1990-х годов и положительных с 2000 до 2022 год.

В заключение приведены результаты начатых в 2019 году на НИС «Ледовая база Мыс Баранова» измерений интегрального влагосодержания атмосферы с помощью разработанного в Институте прикладной астрофизики РАН радиометра водяного пара РВП, показавшие, что его использование в условиях Арктики является надежным способом получения адекватных и нетривиальных данных высокого временного (с дискретностью от 10 минут) разрешения о влагосодержании полярной атмосферы.

Климатические изменения в Черноморско-Средиземноморском регионе: тренды и аномалии циклонической активности, включая интенсивную, в настоящем и будущем

Маслова В.Н., Воскресенская Е.Н.

*Институт природно-технических систем РАН, Севастополь, Россия
veronika_maslova@mail.ru*

Ключевые слова: *циклоническая деятельность, параметры циклонов, климатические процессы/моды, дальнедействующие связи*

Крупномасштабные климатические изменения в Черноморско-Средиземноморском регионе реализуются в основном за счет циклонической активности, особенно в холодное полугодие. В этой связи понимание характера изменения активности циклонов важно не только с теоретической точки зрения, но и для практического применения в ходе регионального экономического планирования. Цель работы – установить закономерности межгодовой-междесятилетней изменчивости и изменения циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе, включая интенсивную, в настоящем и будущем в связи с глобальными природными и антропогенными климатическими аномалиями. Массивы параметров циклонов получены с помощью методик объективной идентификации и трекинга циклонов в барическом поле нижней тропосферы по длительным (с 1948 г.) данным реанализа NCEP/NCAR с привлечением более детальных, но менее продолжительных данных реанализов ERA-5 и CR-20. Обнаружено, что линейные тренды объясняют до 10% изменчивости общей и интенсивной циклонической активности, при этом основной вклад вносят квазипериодические меняющиеся знак аномалии циклонов на межгодовом масштабе (для Средиземноморского региона) и междесятилетнем масштабе (для Черноморского региона). Основные климатические процессы ранжированы по вкладу в квазипериодическую изменчивость циклонической активности. На основе установленных закономерностей показана возможность предсказуемости до полугода частоты интенсивных циклонов в зимне-весенний период в модели нейронных сетей. Получены оценки параметров зимней циклонической активности Черноморско-Средиземноморского региона к середине и концу 21-го века по ансамблю моделей CMIP6 по сценариям умеренного (SSP2-4.5) и максимального (SSP5-8.5) уровней антропогенных выбросов. Перспективные возможности приложения исследования для решения прикладных задач показаны на примере оптимизации размещения виноградников, оценки урожайности зерновых культур и лечебно-рекреационного потенциала курортов.

Прозрачность атмосферы на территории России: текущие изменения в XXI в.

Махоткин А.Н.¹, Плахина И.Н.², Махоткина Е.Л.¹

¹Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург, Россия

²Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия
aktinom@mail.ru

Ключевые слова: мониторинг, прозрачность атмосферы, атмосферный аэрозоль, сетевые наблюдения, тренды

Первые десятилетия XXI в. относятся к периоду, который в глобальном масштабе характеризуется увеличением приходящей солнечной радиации и ростом прозрачности атмосферы. Особенности пространственно-временных изменений прозрачности атмосферы над РФ установлены на основе анализа рядов месячных и годовых значений фактора мутности T_2 и аэрозольной оптической толщины атмосферы АОТ, полученных по данным регулярных актинометрических наблюдений на наземных станциях Росгидромета. По состоянию на 1 января 2023 г. наблюдения за прямой солнечной радиацией выполнялись на 77 станциях.

Анализ стационарных рядов T_2 и АОТ за период 2000–2022 гг. показал, что в первые два десятилетия XXI в. на всей территории РФ сохраняется тенденция к уменьшению интегральной и аэрозольной мутности атмосферы, пространственные особенности ее распределения (увеличение прозрачности с юго-запада на северо-восток) остаются без изменений.

Средние годовые значения T_2 за период 2000–2020 гг. по сравнению со средними за период 1976–1994 гг. уменьшились на ЕТР на 6–15 %, на большей части АТР на 7 %, на Урале и Дальнем Востоке на 12 %. Средние годовые значения АОТ снизились в среднем на 40 % на всей территории России.

Анализ годового хода T_2 и АОТ показывает, что во всех регионах в течение года произошло уменьшение средних месячных значений, наиболее значительное – в зимние месяцы. Закономерности годового хода T_2 сохранились (в обоих рассматриваемых периодах экстремальные значения отмечаются в одни и те же месяцы). Для АОТ снижение средних месячных значений в первую половину года привело к уменьшению, а в отдельных случаях к исчезновению весеннего (апрельского) максимума АОТ.

Идентификация и анализ предсказуемости режимов циркуляции атмосферы средних широт с помощью методов эмпирического моделирования

Мухин Д.Н., Самойлов Р.С.

*Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Нижний Новгород, Россия
mukhin@ipfran.ru*

Ключевые слова: *режимы циркуляции атмосферы, атмосфера средних широт, марковские модели, эмпирическое моделирование климата*

К настоящему времени не достигнут консенсус в выборе методики идентификации режимов циркуляции атмосферы средних широт, при том, что большое число разработанных методов приводят к качественно различным результатам. Отчасти такой разброс связан с неоднозначностью постановки задачи идентификации, а именно -- с различными определениями, используемыми для термина «режим». Например, существует группа методов, в основе которой лежит классификация состояний системы по критерию близости, или похожести. Такие методы направлены на выделение групп похожих состояний, к которым система возвращается значительно чаще, чем к другим состояниям; каждая такая группа ассоциируется с режимом (см., например, [1] и цитируемую литературу). Однако наиболее важной с практической точки зрения является задача выделения динамических режимов, то есть повторяющихся сценариев поведения атмосферы. Здесь особый интерес представляют методы, учитывающие законы динамики системы. В данной работе мы ориентируемся на определение режима как такого подмножества состояний, что, оказавшись в одном из них, система останется в этом подмножестве с вероятностью, значительно превышающей вероятность выхода из него. Для отыскания таких режимов мы используем скрытую марковскую модель (общую идею см. в [2]), оптимизируемую по данным, в которой как параметры связи скрытых состояний с данными, так и матрица вероятностей переходов между состояниями, определяются в результате обучения модели. При этом задача идентификации режимов сводится к распознаванию блочной структуры матрицы марковского процесса. В докладе будут продемонстрированы результаты приложения данного подхода к данным реанализа геопотенциальных высот атмосферы в средних широтах Северного полушария, включающие анализ предсказуемости режимов циркуляции атмосферы с помощью построенной марковской модели. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-12-00388.

Литература:

1. Dmitry Mukhin, Abdel Hannachi, Tobias Braun, Norbert Marwan; Revealing recurrent regimes of mid-latitude atmospheric variability using novel machine learning method. *Chaos*, 2022; 32 (11): 113105. <https://doi.org/10.1063/5.0109889>
2. Franzke, C., D. Crommelin, A. Fischer, and A. J. Majda, 2008: A Hidden Markov Model Perspective on Regimes and Metastability in Atmospheric Flows. *J. Climate*, 21, 1740–1757, <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1175.1>

Климатическая изменчивость температуры, солёности и содержания атлантических, речных, талых вод, а также вод, изъятых на ледообразование в Баренцевом море за последние 100 лет

Намятов А.А.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

alexey.nmyatov@yandex.ru

Ключевые слова: Баренцево море, температура, солёность, атлантические воды, речные воды, талые воды, ледообразование, ледотаяние

Основой для исследования послужили данные по температуре и солёности морской воды из базы NCEI (с 1922 по 2022 гг.) и из архива глобального гидродинамического моделирования HYCOM с 1992 по 2022 г. Значения параметра $\delta^{18}\text{O}$ были получены из базы NASA, а также использовались собственные данные. На основе уравнений смешения [1, 2], со значениями солёности и изотопного параметра $\delta^{18}\text{O}$, рассчитаны средневзвешенные по объёму моря относительные величины содержания базовых вод – атлантических (AW), речных (RW) и талых (MW), а также вод, изъятых на ледообразование (IW) с 1920 по 2022 гг. с осреднением за 5 лет. Все полученные показатели имеют как линейный тренд, так и циклическую составляющую с периодом в 70–80 лет.

Линейный тренд изменения температуры воды положительный и ярко выражен (1.62 ± 0.54 °C за 100 лет), а солёности отрицателен и слабо выражен (-0.024 ± 0.043 епс за 100 лет). Отрицательные аномалии циклической составляющей температуры наблюдались в период 1960–2000 гг. (до -1.16 °C). Положительные аномалии наблюдались в период от 1920 до 1960 и от 2000 до настоящего времени (максимумы 0.80 и 0.97 °C соответственно). В 2010–2015 гг. наметилась точка перегиба в сторону падения.

Положительные аномалии циклической составляющей солёности (0.050–0.075 епс) наблюдались в период с 1955 по 1975 гг. и с 2010 до настоящего времени (до 0.028 епс). Отрицательные аномалии с 1980 по 2010 гг. при максимуме по абсолютной величине 0.060 епс.

Изменение относительных объёмов AW в линейном тренде за 100 лет имеют отрицательные значения ($-0.071 \pm 0.124\%$), объёмов RW – положительные ($0.065 \pm 0.114\%$ %). Фаза циклических изменений для AW совпадает с фазой изменения солёности, а для RW фаза противоположна. Максимальные амплитуды изменения относительных объёмов AW и RW составляла 0.22 и -0.20% (1975 г); -0.18 и 0.16% (2000 г.), соответственно. В настоящее время с 2000 г. наблюдается увеличение содержания атлантических вод на 0.25%. Данный эффект в литературе получил название «атлантификация».

Литература:

1. Bauch D., Cherniavskaya E. & Timokhov, L. Shelf basin exchange along the Siberian continental margin: Modification of Atlantic Water and Lower Halocline Water. 2016. Deep-Sea Res. I. 115, 188–198. <https://dx.doi.org/10.1016/j.dsr.2016.06.008>.
2. Namyatov, A.A. $\delta^{18}\text{O}$ as a tracer of the main regularities of water mass mixing and transformation in the Barents. Kara. and Laptev seas. 2021. Journal of Hydrology 593 125813. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125813>

Сравнительная оценка изменений температуры воздуха и осадков по периодам года в России, Западной Европе и Северной Америке

Нестеренко Ю.М., Соломатин Н.В.

*Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН, отдел геоэкологии, Оренбург,
Россия*

geocolumn@mail.ru

Ключевые слова: *климат, изменение температуры воздуха, изменение атмосферных осадков, цикличность климата*

Во второй половине XX века и наступившем XXI веке возросла озабоченность ускорившимся потеплением климата на планете. Нами исследованы изменения температуры воздуха и атмосферных осадков в XIX–XXI веках, используя инструментальные наблюдения за ними на метеостанциях 27 городов западной части России, 15 городов Западной Европы и 23 городов Северной Америки, сделан сравнительный их анализ по периодам года.

Выявлены различия в темпах изменения температуры воздуха и атмосферных осадков по природным зонам и сезонам года в долгосрочных периодах климата в Северном полушарии Земли. Установлена цикличность климата, различная по времени и территориям.

Дан анализ изменений в климате в западной части России в сравнении с Канадой и Западной Европой в 1923–2022 годах в расчете на 100 лет. В Северном полушарии Земли годовая температура воздуха за 100 лет повысилась на

0,93°C. В России она повышается на 10% быстрее, чем в Западной Европе и на 14% медленнее, чем в Канаде. В зимних месяцах в России за 100 лет температура повысилась на 2,8°C, Канаде на 2,0°C и Западной Европе на 1,8°C. В летних месяцах в России она повысилась на 1,6°C, Канаде на 0,7°C, а в Западной Европе на 1,7°C. Темпы изменения атмосферных осадков также различны по континентам и городам. Годовые атмосферные осадки в России за 100 лет увеличились на 66 мм, в Канаде на 8 мм, в Западной Европе уменьшились на 13 мм. В зимних месяцах России они увеличились на 42 мм, а в Канаде и Западной Европе уменьшились соответственно на 20 и 30 мм. В летних месяцах в России осадки увеличились на 10 мм, в Канаде на 27 мм, а в Западной Европе уменьшились на 2 мм.

Интенсивность стратосферного полярного вихря в различные фазы ЭНЮК в идеализированных численных экспериментах

Панасик А.В.¹, Собаева Д.^{1,2}, Зюляева Ю.А.^{2,3}

¹Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),
Долгопрудный, Россия

²Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, Россия

³Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия
panasik.av@phystech.edu

Ключевые слова: интенсивность стратосферного полярного вихря, стратосферно-тропосферное взаимодействие, ЭНЮК

В настоящий момент известно, что ЭНЮК оказывает воздействие на динамику стратосферного полярного вихря (СПВ). В современных исследованиях нет расхождений по поводу отклика СПВ на положительную моду ЭНЮК, Эль-Ниньо (ЭН). Было показано, что в годы с событиями ЭН вихрь ослабевает относительно нейтральных лет. Однако касательно отклика на отрицательную фазу ЭНЮК (Ла-Нинья, ЛН) в работах существуют расхождения. Некоторые численные эксперименты показывают, что во время ЛН вихрь в среднем сильнее, чем в нейтральные года [Tyrrel et al., 2022]. В то время как в работах, основанных на анализе данных наблюдений, частота внезапных стратосферных потеплений (ВСП) в года ЛН и ЭН сравнима, и вихрь в ЛН слабее, чем в нейтральную фазу ЭНЮК [Garfinkel et al., 2012].

В данной работе был проведен сравнительный анализ интенсивности СПВ (иСПВ) в года с ЛН и ЭН по данным идеализированных численных экспериментов на платформе ISCA. Было показано, что вихрь ослабевает относительно нейтральной фазы ЭНЮК как в эксперименте ЭН, так и в эксперименте ЛН. По сравнению с контрольным экспериментом, ВСП наблюдается в 3 раза чаще в ЭН эксперименте и в 2 раза чаще в ЛН. Максимальные различия в иСПВ между ЭН и контрольным экспериментами наблюдаются в период ранней зимы (ноябрь–декабрь), в то время как между ЛН и контрольным — во второй половине зимнего периода (январь–февраль).

Анализ проводился на основе 6 индексов, характеризующих интенсивность полярного вихря и позволяющих идентифицировать ВСП. Было показано, что некоторые индексы приводят к недооценке частоты ВСП в раннюю зиму.

Также представлен анализ предложенного в работе [Garfinkel et al., 2012] механизма тропосферно-стратосферного взаимодействия, который приводит к ослаблению вихря в обе фазы ЭНЮК.

Литература:

1. Garfinkel C. I. et al. Why might stratospheric sudden warmings occur with similar frequency in El Niño and La Niña winters? //Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2012. – Т. 117. – №. D19.
2. Tyrrell N. L., Koskentausta J. M., Karpechko A. Y. Sudden stratospheric warmings during El Niño and La Niña: sensitivity to atmospheric model biases //Weather and Climate Dynamics. – 2022. – Т. 3. – №. 1. – С. 45-58.

Долгопериодные климатические изменения на Европейской части России и Республики Беларусь

Переведенцев Ю.П.¹, Мирсаева Н.А.¹, Шанталинский К.М.¹, Гледко Ю.А.², Лопух П.С.²

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

ypereved@kpfu.ru

Ключевые слова: долгопериодные изменения, температура воздуха, низкочастотная компонента, корреляция

С использованием данных девяти диннорядных станций, располагающихся с запада на восток вдоль 55° с.ш., за 1891 – 2022 гг. выявлены долговременные тенденции изменения температуры воздуха (ТВ) на фоне климатических изменений происходящих в Северном полушарии (СП). Многолетние ряды данных о приповерхностной ТВ по всему СП (данные CRU) и 9 станций (Калининград, Минск, Смоленск, Елабуга, Лукоянов, Поречское, Казань, Елабуга, Уфа) подвергались статистической обработке. Находились средние значения, коэффициенты наклона линейных трендов (КНЛТ). Для нахождения связей между ТВ и индексами атмосферной циркуляции (NAO, AO, EAWR и SCAND) использовался корреляционный анализ. Выделение низкочастотной компоненты (НЧК) в многолетних рядах ТВ осуществлялось с помощью фильтра Поттера с точкой отсечения 20 лет. Достоверность результатов оценивалась с помощью критерия Фишера.

Отмечается рост континентальности климата с запада на восток: ТВ на западных станциях выше, чем на восточных в холодное время года, и ниже – в теплое. Амплитуда годового хода возрастает от 22,3°C (ст. Калининград) до 35,6°C (ст. Уфа).

Рассмотрение НЧК среднегодовых, летних и зимних аномалий ТВ СП в целом, суши СП и 9 станций выявило ряд долгопериодных особенностей в ходе кривых: так во временном ходе аномалий среднегодовой ТВ СП выделяется повышение температуры с максимумом в 1940 г., что не обнаруживается на рассмотренных станциях, кроме ст. Калининград. Построены графики нормированных аномалий для годовых и сезонных значений ТВ в период 1891–2022 гг., согласно которым повсеместно наблюдается положительный тренд ТВ, а по кривым НЧК определяется начало фазы потепления. Раньше всех потепление по годовым данным началось на ст. Минск, а позже на ст. Уфа (с 1970 г.). Кривые НЧК для зимы имеют циклический характер. При этом повсеместно отмечается рост интенсивности потепления в последние десятилетия.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РНФ (проект № 22-27-20080).

Влияние солнечной и вулканической активности на климатическую изменчивость области мезопаузы

Перцев Н.Н.¹, Далин П.А.^{2,3}, Перминов В.И.¹

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

²Swedish Institute of Space Physics, Kiruna, Sweden

³Институт космических исследований РАН, Москва, Россия
n.pertsev@bk.ru

Ключевые слова: климатическая изменчивость, область мезопаузы, солнечная активность, вулканическая активность, временные ряды

Анализируется межгодовая изменчивость данных многолетних спектрофотометрических измерений инфракрасных эмиссий ночного неба и наблюдений мезосферных (серебристых) облаков. Представляются регрессионные модели, показывающие зависимость среднегодовой и среднесезонной температуры гидроксильного слоя мезопаузы и интенсивностей отдельных эмиссий от индексов солнечной активности. Аналогичные результаты демонстрируются и для сезонных характеристик мезосферных облаков. Обсуждаются индексы, которые можно использовать для описания суммарного годового воздействия вулканов на среднюю атмосферу. Обнаруживаются значимые регрессионные зависимости между вулканической активностью и активностью мезосферных облаков по московской базе данных, которая содержит самые длинные в мире ряды наблюдений мезосферных облаков. Обсуждается вопрос о значительной корректировке результатов регрессионных зависимостей от солнечной активности при одновременном учете вулканической активности.

Оценка климатологических трендов экстремальных скоростей ветра в Российской Арктике по данным модельного архива COSMO-CLM Russian Arctic hindcast за период 1980 – 2016 гг.

Платонов В.С., Бойко А.П., Козлов Ф.А., Игнатов Р.Ю.

*Кафедра метеорологии и климатологии, Географический факультет, Московский государственный
университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*
platonovvs@my.msu.ru

Ключевые слова: COSMO-CLM, модельный архив, изменения климата Арктики, экстремальные скорости ветра

Для оценки климатологических трендов экстремальных скоростей ветра в Российской Арктике использовался детализированный модельный архив COSMO-CLM Russian Arctic hindcast, созданный на основе региональной негидростатической модели COSMO-CLM 5.06 за период 1980–2016 гг. с шагом сетки ~12 км [1]. Модельный архив доступен онлайн [2], включает в себя около сотни гидрометеорологических характеристик с шагом по времени 1 час и покрывает регионы Северной Атлантики и моря атлантического сектора Российской Арктики.

Для оценок использовались данные 145 российских и европейских метеорологических станций по скорости ветра на высоте 10 м, попадающих в пределы области модельного архива, и доступные за период 1980–2016 гг. Для станций и ближайших узлов модельной сетки рассчитывались тренды средних скоростей ветра, значения 0.95, 0.99, 0.999 квантилей и повторяемости скоростей ветра выше 20, 25 и 33 м/с. Статистическая значимость трендов оценивалась по t-критерию Стьюдента на уровне 0.95.

Наибольшие значимые положительные тренды средних скоростей ветра наблюдаются над северными частями Баренцева и Карского морей, т.е. в регионах с максимальной скоростью отступления морского льда. Над остальной частью Баренцева моря и атлантическим сектором Арктики в целом преобладают отрицательные тренды. Над континентами значимых трендов не выявлено, за исключением уменьшения средних скоростей ветра над Таймыром.

Повторяемость скоростей ветра выше 20 м/с заметно возрастает над северными акваториями Баренцевым и Карским морями, а также югом Баренцева моря, западом Карского моря, восточным Шпицбергом, горлом Белого моря и приполярными районами; уменьшается над Северной Атлантикой, северным островом Новой Земли, архипелагом Северная Земля, побережьем Тикси и полуостровом Таймыр.

Исследование выполнено в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

Литература:

1. Platonov V., Varentsov M. Introducing a new detailed long-term COSMO-CLM hindcast for the Russian Arctic and the first results of its evaluation // Atmosphere. — 2021. — Vol. 12, no. 3. — P. 350.
2. Platonov, V., Varentsov, M. Russian Arctic COSMO-CLM hindcast over 1980–2016 period. // figshare. – Collection. – 2020.

Применение байесовской оценки параметров марковских цепей для исследования изменений режима осадков на территории России во второй половине 20 — начале 21 вв.

Попов И.О.¹, Попова Е.Н.²

¹Институт глобального климата и экологии им. акад. Ю.А. Израэля, Москва, Россия

²Институт географии РАН, Москва, Россия

igor_o_popov@mail.ru

Ключевые слова: изменения климата, осадки, марковские цепи, байесовская статистика

Исследование изменений продолжительностей непрерывных периодов с осадками и без них имеет важное прикладное и фундаментальное значение. Этот процесс может быть смоделирован с помощью бинарной цепи Маркова первого порядка, при этом вероятность однородных переходов может служить оценкой продолжительности соответствующих периодов. Для оценки изменения режима осадков на территории России за последние десятилетия была произведена байесовская оценка изменения вероятностей однородных переходов в бинарной марковской цепи первого порядка в 2000-2019 гг. по сравнению с 1966-1985 гг. Использовались суточные значения осадков для 451 станции. Соответствующие переходы рассматривались как события биномиального случайного процесса. Использование однородного распределения в качестве априорного для событий биномиального распределения позволяет получить простое сопряженное апостериорное распределение оцениваемых вероятностей однородных переходов, описываемое законом бета-распределения, и оценить статистическую достоверность их отличия во втором периоде по сравнению с первым. Было показано достоверное изменение вероятностей однородных переходов для 58% станций, причем в большинстве случаев наблюдается увеличение вероятности однородных переходов $0 \rightarrow 0$ (21% станций) и уменьшение вероятности однородных переходов $1 \rightarrow 1$ (25% станций), что может означать увеличение продолжительности непрерывных периодов без осадков и уменьшение непрерывных периодов с осадками. При этом не наблюдалось станций с одновременным повышением вероятностей переходов обоих типов. Были построены карты пространственного распределения этих изменений. С помощью пермутационного теста была показана неслучайность пространственного распределения станций с одинаковыми типами изменений.

Экстремальная засуха на Восточно-Европейской равнине в период потепления XX столетия: климатические характеристики, условия формирования, современные аналоги

Попова В.В.¹, Бокучава Д.Д.^{1,2}, Алдонина Т.А.^{1,2}

¹*Институт географии РАН, Москва, Россия*

²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

valeria_popova@mail.ru

Ключевые слова: потепление середины XX столетия, Восточно-Европейская равнина, речной сток, экстремумы, засуха, индекс Палмера, циркуляционные условия, аномалии ТПО, АМО

Помимо негативного воздействия на человека и бедствий для природной среды (засух, лесных пожаров), новые рекорды летней температуры оказывают критическое влияние на речной сток и водообеспеченность больших регионов. Как правило, подобные события связываются с антропогенным потеплением, в этой связи закономерно встает вопрос о природе и интенсивности подобных событий в доиндустриальную эпоху.

Зафиксированные в вековых рядах гидрологических наблюдений беспрецедентное сокращение водности Волги и Северной Двины и изучение климатических показателей свидетельствуют, что потепление середины 20-го века (ПСДВ) проявилось на Восточно-Европейской равнине (ВЕР) в многолетней засухе 1930-1940 гг., не имеющей аналогов по интенсивности и продолжительности.

Анализ циркуляционных условий и температуры поверхности океана (ТПО) показывает, что аномалии приземной температуры воздуха в июле на ВЕР в этот период связаны не только с потеплением Северной Атлантики (СА), но и с определенной пространственной структурой аномалий ТПО. Разница между аномалиями SST противоположного знака в разных зонах СА, используемая в качестве показателя этой структуры, показывает устойчивую связь с июльскими аномалиями SAT на ВЕР и ответственными за их формирование полями атмосферной циркуляции в 1920-1950 гг. В многолетнем ходе упомянутый показатель демонстрирует тенденцию к снижению с 1960-х и ослабление связей с летней температурой на ВЕР в современный период. Это отличает аномалии 1930-1940 гг., от летних температурных экстремумов на ВЕР в конце 1990-х – начале 2000-х гг., которые коррелируют с Атлантической мультидекадной осцилляцией (АМО). Тем не менее, в обоих случаях положительную фазу АМО и расширение субтропического пояса высокого давления на север и восток, по-видимому, следует рассматривать как движущие силы глобального масштаба.

Исследование выполнено в рамках проекта Российского научного фонда №22-27-00495.

Изменчивость потоков энергии, продукции новых льдов и плотных вод в заприпайных полыньях моря Лаптевых в 1998-2023 гг.

Рубченя А.В.¹, Май Р.И.^{2,3}, Тимофеева А.Б.²

¹Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова (Санкт-Петербургское отделение), Санкт-Петербург, Россия

²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

pp6077@gmail.ru

Ключевые слова: *полыни, потоки тепла, морской лед, анализ полигонов, море Лаптевых*

Заприпайные полыньи – это пространства открытой воды и молодого льда, между припаем и дрейфующими льдами, существующие в холодное время года. Они формируются вдоль всего припая в Арктике, в основном, под действием динамических процессов в атмосфере [1].

Температурные градиенты между поверхностью воды и воздухом в зимний период значительны, в результате чего формируются потоки тепла из океана в атмосферу, уменьшающиеся по мере увеличения толщины льда. При этом происходит формирование новых льдов и, вследствие выпадения рассола, плотных вод [2].

Используемая ледовая информация формата SIGRID-3 представляет собой замкнутые контуры, льды внутри которых имеют приблизительно одинаковые характеристики. В связи с этим в работе, по методике, изложенной в [3], на базе архива электронных ледовых карт за 1998–2023гг. [4] были получены полигональные данные о заприпайных полыньях. Полигон полыньи формировался как объединение нескольких ледовых зон (чистая вода, начальные виды льдов, серые льды). Внутри полученных полигонов производились расчёты продукции новых льдов и плотных вод, с учётом разных толщин льда. Были рассчитаны статистических характеристики, выявлены сезонные и межгодовые закономерности изменчивости продукции новых льдов и вод, оценён вклад ледопродуктивности заприпайных полыней в объёмы льда, образующиеся во всей акватории моря Лаптевых.

Литература:

1. Карелин И.Д., Карклин В.П. Припай и заприпайные полыньи арктич. морей сибирского шельфа в конце XX–начале XXI в. СПб, Изд. ААНИИ, 2012
2. Martin S., Cavalieri D.J. // J of Geoph. Res., vol.94, No.C9 pp.12725-12738.
3. Май Р.И., Ганиева К.Р., Топаж А.Г., Юлин А.В. Повторяемость появления припая, вычисленная на основе анализа полигонов электрон. ледовых карт (на прим. Карского моря)/Криосфера Земли N5 2022
4. URL: <http://wdc.aari.ru/datasets> (дата общ.: 01.07.2023)

Анализ возможной связи явлений Эль-Ниньо/Южное колебание с геомагнитными возмущениями

Рябова С.А.

¹*Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского РАН, Москва, Россия*

²*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия*

ryabovasa@mail.ru

Ключевые слова: Эль-Ниньо/Южное колебание, температура поверхности моря, индекс SO, геомагнитное поле, вариация, спектральный анализ

Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНЮК) – это природное явление, связанное с колебаниями температуры поверхности океана в экваториальной части Тихого океана в сочетании с изменениями в циркуляции атмосферы над ним. Оно оказывает значительное влияние на погодные и климатические режимы во многих частях мира и связано с такими опасными явлениями, как ливни, наводнения и засуха. ЭНЮК также влияет на глобальную температуру, и даже слабое Эль-Ниньо приводит к потеплению.

В настоящей работе исследовалась связь явлений Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) с геомагнитными возмущениями.

В качестве исходных данных использовались четыре ряда данных температуры поверхности моря (NINO 1 + 2, NINO 3, NINO 4 и NINO 3 + 4), а также индекс SO (SOI). В качестве параметров геомагнитной активности привлекались данные геомагнитного мониторинга на станциях Уанкайо и Чартерс Тауэрс и данные о вариациях планетарного Ap индекса.

В настоящей работе проведен спектральный анализ данных ЭНЮК. Обнаружены колебания с периодами около 11–12, 5–6, 2–3 лет. Кроме того, для оценки связи между данными ЭНЮК и параметрами геомагнитной активности привлекались функции когерентности и фазы.

Реконструкция динамических систем в форме оптимальных скрытых марковских моделей по данным наблюдений как инструмент прогноза поведения и анализа динамических свойств системы

Самойлов Р.С., Мухин Д.Н., Гаврилов А.С.

*Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Нижний Новгород, Россия
oram_2000@mail.ru*

Ключевые слова: *скрытая марковская модель, байесов подход, метод к-средних, смесь гауссовых распределений, линейные операторы, бифуркационный анализ, мультистабильность*

Реконструкция динамических систем по наблюдаемым данным находит все более широкое применение к моделированию климатических систем. В данной работе представлен метод эмпирического моделирования, принадлежащий к классу “Скрытых марковских моделей”, в рамках которого динамика системы параметризуется марковским процессом, при этом набор состояний системы и вероятности переходов между ними не известны априори. Все, что требуется задать для такой модели – это число скрытых состояний и модель их связи с измеряемыми величинами. Мы рассматриваем две такие модели: (1) набор состояний определяется с помощью метода к-средних в пространстве измеряемых величин; (2) вероятностная связь скрытого состояния с измеряемой величиной получается посредством комбинации нормальных распределений с обучаемыми параметрами. Число скрытых состояний является структурным параметром метода, он находится путем оптимизации в рамках байесова подхода. Поскольку полученные таким образом модели представляют собой линейные операторы, действующие в пространстве вероятностных распределений, такой подход является альтернативой реконструкции оператора эволюции в виде нелинейных точечных отображений или дифференциальных уравнений. Его преимуществами являются возможность построения аналитической ценовой функции, простота анализа динамических свойств марковского оператора, который сводится к линейным спектральным разложениям.

Возможности подхода демонстрируются на данных, сгенерированных различными модельными примерами: от простых хаотических отображений с шумом до пространственно-распределенной квазигеострофической модели атмосферы. Исследуется предсказательная способность полученных эмпирических моделей, их способность диагностировать и предсказывать бифуркации, а также анализируется зависимость полученных результатов от выбранной модели связи скрытых состояний с данными. Обсуждается возможность применения подхода для анализа климатических данных.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-12-00388.

Новый метод диагностики качества симуляции явления Эль-Ниньо глобальными климатическими моделями

Сафонов С.Е., Мухин Д.Н., Гаврилов А.С.

*Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Нижний Новгород, Россия
s.safonov@ipfran.ru*

Ключевые слова: Эль-Ниньо Южное колебание, диагностика глобальных климатических моделей, методы главных компонент, разложение данных

Эль-Ниньо Южное колебание (ЭНЮК), являясь сильной модой собственной изменчивости климата, оказывает значительное влияние как на глобальный климат, так и на режимы погоды в различных частях Земного шара, поэтому его качественное и количественное моделирование имеет критическое значение для моделирования климата в целом. В частности, симуляция данного явления современными глобальными климатическими моделями (ГКМ) является важным объектом анализа при оценке качества таких моделей. В данном докладе представлен новый метод диагностики качества симуляции ЭНЮК по данным исторических и доиндустриальных экспериментов с ГКМ. Метод основан на специальном спектральном разложении данных, учитывающем сезонность ЭНЮК, т.е. привязку фаз явления к временам года. Главные компоненты такого разложения представляют собой периодический во времени пространственно-временной паттерн, имеющий различные амплитуды в различные периоды. Применение такого разложения к данным температуры поверхности океана (ТПО) и содержания тепла в верхнем слое океана в тропиках Тихого океана позволяет выделить полный цикл развития событий ЭНЮК (Эль-Ниньо и Ла-Нинья), получить как пространственную структуру аномалий в различные месяцы этого цикла, так и амплитуду цикла. По данным реанализа и нескольких ГКМ из ансамбля CMIP показано, что полученные главные компоненты описывают доминирующий цикл ЭНЮК, который инициируется в декабре-январе развитием аномалий теплосодержания в экваториальных подповерхностных водах, ростом аномалий ТПО в центральной и восточной областях тропического Тихого океана с мая-июня по декабрь-январь и последующим угасанием всех аномалий к апрелю-маю. Демонстрируется сравнительный анализ пространственно-временной структуры и мощности явлений ЭНЮК в рассмотренных моделях и данных реанализа, и обсуждаются возможные причины наблюдаемых расхождений.

Работа выполняется в рамках госзадания ИПФ РАН (проект № FFUF-2022-0008).

Глобальная структура и динамика Эль-Ниньо – Южного колебания в моделях CMIP6 и данных наблюдений

Серых И.В., Сонечкин Д.М.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

iserykh@gmail.com

Ключевые слова: Эль-Ниньо – Южное колебание, модели CMIP6, Глобальная атмосферная осцилляция, температура воздуха, атмосферное давление, планетарная структура, спектральные оценки

Исследованы результаты эксперимента piControl моделей общей циркуляции атмосферы и океана, участвующих в шестом этапе Проекта взаимного сравнения совместных моделей (CMIP6). Рассмотрена глобальная межгодовая изменчивость среднемесячных аномалий температуры воздуха у поверхности и атмосферного давления на уровне моря. Рассчитаны амплитуды колебаний аномалий этих метеорологических параметров между противоположными фазами Глобальной атмосферной осцилляции (ГАО), региональным элементом которой в тропиках Тихого океана является Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) [1]. Показано, что большинство рассмотренных моделей демонстрируют связанные с ГАО колебания исследуемых параметров не только в тропическом поясе Земли, но и в умеренных и высоких широтах. При этом модели достаточно близко воспроизводят свойственную для ГАО глобальную пространственную структуру амплитуды колебаний аномалий температуры и давления [1]. Тем не менее оценки энергетических спектров индексов ГАО и ЭНЮК, полученных по моделям, отличаются от спектров, полученных ранее по данным наблюдений, где наблюдаются пики на периодах супер- и суб-гармоник внешних сил, действующих на климатическую систему [2]. Таким образом, большинство моделей CMIP6 содержат физический механизм взаимодействия тропиков Тихого океана с тропиками Индийского и Атлантического океанов, а также с умеренными и высокими широтами. Но временная динамика этого взаимодействия недостаточно точно воспроизводится в эксперименте piControl, поскольку в нем, за исключением годового хода поступления тепла от Солнца, отсутствует воздействие внешних сил на глобальную климатическую систему.

Литература:

1. Serykh I.V., Sonechkin D.M. El Niño–Global Atmospheric Oscillation as the main mode of interannual climate variability. Atmosphere. 2021. Vol. 12. No. 11. 1443.
2. Serykh I.V., Sonechkin D.M. Nonchaotic and globally synchronized short-term climatic variations and their origin. Theoretical and Applied Climatology. 2019. Vol. 137. No. 3-4. pp. 2639–2656.

Применение оценки распределения вероятностей для спутниковых данных об общем балле облачности для Мирового Океана

Синицын А.В., Александрова М.П., Гулев С.К.
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
sinityn@sail.msk.ru

Ключевые слова: *общий балл облачности, спутниковые данные, коротковолновые потоки*

В работе используется неполная Гамма-функция плотности распределения ОБО для Мирового Океана. Такой подход, на основе Гамма-функции, в оценки распределения ОБО по октам был создан в ЛВОАМКИ (ИО РАН), путем глубокого анализа попутных наблюдений ОБО для Мирового Океана по данным VOS.

В ходе работы в качестве входных данных была использована новая облачная климатология CLARA-A ed. 3.0 На основе данных об облачности были рассчитаны основные характеристики неполной Гамма-функции распределения ОБО. В качестве референсных данных нами использовалась работа о вероятностных характеристиках распределения общего балла облачности для Мирового Океана по данным VOS

Нами проведено сравнение сезонных величин ОБО по спутниковым данным с результатами расчетов этих же величин через вероятностный подход. Для всего восстановленного (обратно моделированного) массива характерно занижение величины ОБО до 2 окта в зависимости от района и режима облачности. Занижение до 1 окта характерна для районов со средним ОБО, близким к сплошной облачности, или наоборот – чистое небо. Занижение в расчётах от 1 окта до 2 окта характерно для районов, где облачность может принимать все возможные вероятности распределения по октам. Распределение на основе неполной Гамма-функции лишь генерально повторяет вид распределения облачности по октам для спутниковых данных.

В качестве заключения можно отметить, что в случае спутниковых данных об ОБО функция распределения на основе неполной Гаммы-функции не очень хорошо работает для плотности вероятности. При этом пространственное осреднение данных об общем балле облачности с $0,25^\circ$ до 5° лишь частично улучшает согласование спутниковых данных и вероятностного подхода к их моделированию. Причина такого рассогласования лежит в том, что в отличие от данных VOS в спутниковых данных сохраняются случаи сингулярного распределения облачности по окта, когда плотность вероятности одной из окта на порядок превосходит сумму плотностей остальных окта.

Литература:

1. А. В. Синицын, С. К. Гулев. Сравнение натурных и спутниковых данных об общем балле облачности для Атлантического океана в период 2004–2014 гг // Океанология. – 2022. – Т. 62, № 1. – С. 5-13. DOI 10.31857/S0030157422010142.
2. Aleksandrova M., Gulev S.K., Belyaev K.P. Probability distribution for the visually observed fractional cloud cover over the ocean // J. Climate. 2018. V. 31. P. 3207–3232. DOI: 10.1175/JCLI-D-17-0317.1.

Различия тропосферно-стратосферной динамики под влиянием Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модоки в идеализированных модельных экспериментах

Собаева Д.^{1,2}, Зюляева Ю.А.^{1,3}

¹Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, Россия

²Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Долгопрудный, Россия

³Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия
sobaeva.da@phystech.edu

Ключевые слова: стратосферный полярный вихрь, тропосферно-стратосферное взаимодействие, ЭНЮК, численное моделирование

Крупномасштабные аномалии температуры поверхности океана (аТПО), такие как Эль-Ниньо Южное колебание (ЭНЮК), позволяют расширить период детерминистического прогноза стратосферной динамики.

С конца 20 века все чаще наблюдается неканоническая мода положительной фазы ЭНЮК – Эль-Ниньо Модоки. Целью данной работы стал анализ различия отклика тропосферно-стратосферного взаимодействия на крупномасштабные аТПО, соответствующие каноническому Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модоки, с использованием идеализированных модельных экспериментов на платформе ISCA.

Показано, что при положительных аномалиях ТПО в районе Ниньо 3 (каноническое Эль-Ниньо) наблюдается ослабление полярного вихря на 36% по сравнению с контрольным экспериментом в период с ноября по март. Ослабление вихря при положительных аТПО в центральной части тропической зоны Тихого океана (события Модоки) сравнимо с эффектом канонического Эль-Ниньо, отличия наблюдаются в период поздней осени и ранней весны. Данное различие вызвано более интенсивным распространением волн Россби в эксперименте Эль-Ниньо Модоки. При этом основные различия наблюдаются в планетарной волне 2. Отрицательным аТПО, характеризующим фазу Ла-Нинья, соответствует ослабление вихря не более чем на 20%.

Анализ крупномасштабной структуры поля давления средней тропосферы показал, что каноническое Эль-Ниньо приводит к усилению Тихоокеанского-северо-американского колебания. В отличие от некоторых современных исследований, было получено, что отклик поля давления в средней тропосфере на Эль-Ниньо Модоки сходен с откликом на каноническое Эль-Ниньо. В период Ла-Нинья пространственная структура аномалий давления соответствует усилению Арктической осцилляции.

Анализ частоты возникновения внезапных стратосферных потеплений (ВСП) показал, что наибольшая частота ВСП наблюдается в эксперименте Эль-Ниньо Модоки, а наименьшая – в эксперименте Ла-Нинья.

Климат и масштабы колебаний ледников в голоцене и антропоцене

Соломина О.Н.

Институт географии РАН, Москва, Россия

ogasolomina@yandex.ru

Ключевые слова: голоценовый оптимум, римский оптимум, средневековое потепление, колебания ледников, деградация оледенения

Нынешнее межледниковье – голоцен – охватывает период последних 11 700 лет. Это время появления и развития современной цивилизации. Колебания климата и ледников в голоцене дают представление о масштабах и скоростях естественной изменчивости климата, пространственных и временных закономерностях этих изменений и природных форсингах. Эта информация позволяет ответить на вопрос, насколько деградация оледенения, которая происходит в последние десятилетия, вписывается в природные тренды изменчивости климата или является аномальной, связанной с антропогенным воздействием планетарного масштаба. Достижения последних десятилетий, связанные с созданием десятков новых региональных и глобальных палеореконструкций и с широким использованием методов космогенного датирования ледниковых отложений дают возможность рассмотреть важные вопросы палеогеографии на новом уровне. В докладе будут, в частности, рассмотрены следующие проблемы:

1. Является ли потепление раннего и среднего голоцена глобальным, каковы его причины и масштабы, по сравнению с современным потеплением. Те же вопросы будут рассмотрены относительно потеплений римского времени и средневекового оптимума.
2. Являются ли глобальными события 11.7, 8.2 и 4.2 тыс. лет назад, которые были официально признаны стратиграфической комиссией рубежами подразделений голоцена на основе данных изотопного анализа ледниковых кернов Гренландии и пещерных отложений в Индии (Walker et al., 2018).
3. Чем объясняется расхождение в трендах потепления-похолодания в голоцене, наблюдающееся в моделях и прокси-данных.
4. Являются ли периоды наступаний ледников в голоцене глобальными и какими климатическими изменениями они были вызваны.
5. Является ли современное отступление ледников аномальным в масштабе голоцена по скорости отступления и масштабам. Каков вклад естественной и антропогенной составляющих в этот процесс.

Литература:

1. Walker, M., Head, M. J., Berkelhammer, M., Björck, S., Cheng, H., Cwynar, L., ... & Weiss, H. (2018). Formal ratification of the subdivision of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period): two new Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and three new stages/subseries. *Episodes Journal of International Geoscience*, 41(4), 213-223.

Алгоритм расчета глобального потепления, разработанный на основе натурных данных

Тетельмин В.В.

*Институт экологии Российского университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва,
Россия*

v-tetelmin@rambler.ru

Ключевые слова: климатическая система, антропогенные выбросы, парниковые газы, радиационно-равновесная температура, нетто-поглощение, накопленная тепловая энергия

Предлагается ряд функций, позволяющих рассчитывать темп глобального потепления при различных сценариях антропогенных выбросов парниковых газов (ПГ). Приводится функция зависимости радиационно-равновесной температуры климатической системы (КС) Земли от концентрации K антропогенных ПГ в атмосфере. Определена "концентрация насыщения" $K = 850 \text{ ppm-eq}$, при которой атмосфера перестанет откликаться повышением температуры на дальнейшие выбросы ПГ. Этой концентрации соответствует максимально возможная температура глобального потепления $8,9$ градусов Цельсия (Тетельмин В.В. «Энергетические особенности и пределы глобального потепления»//Экология промышленного производства. №1. 2023. С. 51-59).

По материалам Оценочного доклада МГЭИК ОД-6 выполнен анализ энергетических особенностей процесса глобального потепления, наблюдавшегося в 1970-2020 гг. Получена эмпирическая функция зависимости нетто-поглощения парниковой тепловой энергии от концентрации антропогенных ПГ в атмосфере. Получены зависимости, определяющие рост накопленной в КС Земли тепловой энергии как функция времени, а также рост глобальной температуры. Выполнен расчет параметров глобального потепления при сценарии снижения к 2060 г. в два раза глобальных выбросов и фиксированном значении концентрации антропогенных ПГ в атмосфере на уровне 233 ppm-eq . В таком случае расчетный максимум глобального потепления будет достигнут в 2270 г. и составит $4,2^{\circ}\text{C}$ (Тетельмин В.В. Расчет темпа глобального потепления и роста уровня Мирового океана//Экология промышленного производства. №2. 2023. С. 32-38).

Режимы атмосферных блокирований в Северном полушарии в зависимости от фаз климатических квазициклических процессов

Тимажев А.В.¹, Мохов И.И.^{1,2}

¹*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

²*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

timazhev@ifaran.ru

Ключевые слова: *атмосферные блокирования, данные реанализа, явления Эль-Ниньо, Атлантическая мультидесятилетняя осцилляция, Тихоокеанская десятилетняя осцилляция*

Представлены оценки региональных аномалий повторяемости атмосферных блокирований в Северном полушарии, диагностированных по данным реанализа для периода 1979–2018 гг. при разных фазах явлений Эль-Ниньо, Тихоокеанской десятилетней и Атлантической мультидесятилетней осцилляций. В том числе получены количественные оценки региональной повторяемости зимних блокирований, связанных с явлениями Эль-Ниньо разного типа.

Тенденции летней контрастности турбулентного теплообмена в ландшафтных зонах равнин России

Титкова Т.Б., Золотокрылин А.Н.
Институт географии РАН, Москва, Россия
titkova@igras.ru

Ключевые слова: потоки тепла, явное тепло, скрытое тепло, градиенты, тренды градиентов

Работа направлена на выявление природных зон с максимальными градиентами вертикальных потоков явного и скрытого тепла и их трендов в летний период. Исследовались равнинные территории России с природными зонами от арктической тундры до сухой степи. Использовался архив ежемесячных данных ERA5-Land потока явного тепла ($\text{Дж}/\text{м}^2$) и потока скрытого тепла ($\text{Дж}/\text{м}^2$) с разрешением $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ (<https://climate.copernicus.eu/>). Вычислялись горизонтальные градиенты потоков для средне летних значений и за каждый летний период 1991-2020 гг. и их тренды.

На равнинах России в летний период обширная зона повышенных градиентов явного и скрытого тепла приходится на ландшафты средней тайги до $1 \text{ мДж}/\text{м}^2$ (рис. 1 а, б). Также повышенные градиенты тепла прослеживаются и в зоне северной тайги и лесотундры Кольского полуострова. Севернее таёжной зоны летние турбулентные потоки во многом определяются адвекцией тепла. Южнее таёжной зоны, на фоне более высокой летней температуры, в несколько раз возрастают затраты тепла на испарение (Тепловодообмен, 2007). Вторую полосу повышенных градиентов тепла можно выделить в сухостепной зоне равнин России. Эта область более узкая и фрагментарная. С юга она отделяет зону с недостаточным увлажнением на фоне высоких летних температур (Титкова, Золотокрылин, 2022). В период 1991-2020 гг. наблюдается некоторый фрагментарный летний рост градиентов потоков тепла в лесотундре и тундре. Более масштабное увеличение градиентов вертикальных потоков тепла до $30\%/10\text{лет}$ отмечается в лесостепной и степной зоне. Здесь также в последнее тридцатилетие наблюдается усиления горизонтальных температурных градиентов (Титкова, Золотокрылин, 2022). На тренды потоков тепла оказывает влияние положительный тренд температуры, а также изменения циркуляции атмосферы (Третий..., 2022). Таким образом, на фоне климатических изменений зоны повышенных градиентов тепла усиливаются на севере в лесотундре и тундре, а также на юге в лесостепной и степной зоне.

Литература:

1. Тепловодообмен в мерзлотных ландшафтах Восточной Сибири и его факторы / Изд. Москва - Тверь, 2007, 576 с.
2. Титкова Т.Б., Золотокрылин А.Н. Летние климатические изменения на юге Европейской России // Фундаментальная и прикладная климатология, 2022, Т. 8, № 1, с. 107–121. DOI: 1021513/2410-8758-2022-1-107-121
3. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Росгидромет, 2022, 676 с.

Индоокеанский диполь: механизм формирования и влияние на региональные климатические аномалии

Торбинский А.В.

*Институт природно-технических систем РАН, Севастополь, Россия
uzundja@mail.ru*

Ключевые слова: *Индоокеанский диполь, Эль-Ниньо, Европейский регион, климатические аномалии, критический слой*

Индоокеанский диполь (ИД) представляет собой одну из основных мод, характеризующих межгодовую изменчивость крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в экваториально-тропической зоне Мирового океана. При этом ИД – не до конца изученный природный феномен. Первоначально считалось, что характерный временной масштаб ИД определяется фазовой скоростью планетарных волн в экваториально-тропической зоне Индийского океана и тесно связан с событиями Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК), но современные исследования говорят, что только около 50% событий ИД происходят одновременно с ЭНЮК.

Возникает вопрос: почему не все тихоокеанские аномалии, формирующиеся в период событий ЭНЮК, сопровождаются ИД? Кроме того, влияние ИД на климат Европы, в отличие от его региональных проявлений в странах Индоокеанского бассейна, практически не изучено, что также говорит о важности этого исследования.

Целью настоящей работы является выявление механизма, определяющего возникновение независимых от ЭНЮК событий ИД, и оценка вклада событий ИД в региональные климатические аномалии.

Показано, что появление критического слоя обычно на один – два месяца предшествует началу события ИД. Выделено два типа ИД, развивающихся независимо от Эль-Ниньо (ЭН): первый тип представляет собой события, возникающие в Индийском океане до начала ЭН, а второй – это события ИД, происходящие во время Ла-Ниньо. Впервые продемонстрировано, что события ИД могут развиваться независимо от ЭН в случае наличия протяженного критического слоя.

Выделен статистически значимый сигнал в поле приземной температуры воздуха (ПТВ) над Европейским регионом в летне-осенний период, связанный с ИД. Установлено, что при развитии положительной фазы интенсивных событий ИД обширные положительные аномалии температуры над Европой достигают $+(3-4)^{\circ}\text{C}$. В отрицательную фазу ИД, наоборот, над большей частью Европейского региона наблюдается рост абсолютной величины отрицательных аномалий ПТВ (до $-(4-5)^{\circ}\text{C}$).

Анализ среднесуточных температур воздуха по данным метеостанций РФ за периоды 1961–1990 гг и 1991–2020 гг на основе информационной и перестановочной энтропии

Фролькис В.А.^{1,2}

¹Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, Россия

VFrolkis@gmail.com

Ключевые слова: среднесуточная температура, информационная энтропия Шеннона, перестановочная энтропия, дисперсия среднесуточной температуры

Одним из сравнительно новых способов изучения изменения состояния климатической системы состоит в использовании выборочной информационной энтропии (ИЭ) для анализа, среднесуточных температурных временных рядов. Такой подход позволяет оценить изменение хаотической составляющей во временных рядах. Здесь используются среднесуточные температурные ряды, полученные на 446 метеостанциях Российской Федерации и приведенные в архиве ВНИИГМИ–МЦД за периоды 1961–1990 и 1991–2020 гг. Рассматриваются шесть физико-географических регионов: Европейская часть России (1), Западная Сибирь (2), Средняя Сибирь (3), Прибайкалье и Забайкалье (4), Приамурье и Приморье (5) и Восточная Сибирь (6). Для всех метеостанций в указанные тридцатилетия с учетом и без учета сезонного хода температуры вычислены годовые значения ИЭ и перестановочной энтропии третьего–шестого порядков, а также для каждого года их зимние и летние значения. Оцениваются абсолютные и нормированные значения. Под нормировкой понимается значение энтропии, деленное на ее максимально возможную величину для соответствующей метеостанции. Проведено сравнение значений выборочной энтропии температурных рядов для обсуждаемых периодов в указанных климатических регионах, позволяющее оценить изменения в отдельных пунктах (метеостанциях) климатической системы. Рассмотрен временной ход энтропии на метеостанциях и временной ход средних по регионам ее значений.

Сравнение между собой двух тридцатилетий, усредненных по каждому региону, не выявило существенного различия в годовых, летних и зимних значениях ИЭ и перестановочной энтропии независимо от учета/неучета сезонного хода. Однако за шестидесятилетний период 1961–2020 гг. с учетом сезонного хода нормированная ИЭ в каждом регионе, усредненная по всему набору метеостанций, проявляет тенденцию к росту со значением $p\text{-value} < 0,01$. Аналогично, ненормированная ИЭ обладает отрицательной тенденцией в 1-м регионе ($p\text{-value} < 0,01$) и положительной в 4-м и 5-м регионах ($p\text{-value} < 0,08$).

Повторяемость сильных и слабых ветров в пограничном слое атмосферы на территории Российской Федерации по данным многолетних аэрологических наблюдений

Хохлова А.В.

*Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации –
Мировой центр данных, Обнинск, Россия*

anna_x@meteo.ru

Ключевые слова: *ветер, пограничный слой, климат, аэрологические наблюдения*

Рассмотрены характеристики ветрового режима в нижней части пограничного слоя атмосферы, полученные по данным более 100 аэрологических станций, расположенных на территории России и на близлежащих территориях, за период 1979-2022 гг. Представлены географические распределения средних скоростей, повторяемости штилевых условий, слабых и сильных ветров у поверхности земли и на высотах 100, 500 и 1000 м для летнего и зимнего сезонов. Рассмотрены пространственные и сезонные особенности распределений. Характеристики ветрового режима на станциях, расположенных на побережье океанов, сильно отличаются от материковых. Анализ среднесезонных рядов характеристик ветрового режима показал, что в течение исследуемого периода в нижней части пограничного слоя происходило увеличение повторяемости слабых ветров. Также для каждой станции получено среднее значение показателя степени a , входящего в формулу степенного закона возрастания скорости ветра с высотой. Средние значения коэффициента a составляют 0.15 - 0.42, при этом наименьшие значения имеют место в высоких широтах.

Характеристики смерчей в России

Чернокульский А.В.¹, Вазаева Н.В.¹, Голицын Г.С.¹, Курганский М.В.¹, Мохов И.И.¹, Шихов А.Н.²

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

²Пермский государственный научно-исследовательский университет, Пермь, Россия
a.chernokulsky@ifaran.ru

Ключевые слова: смерч, торнадо, повторяемость, интенсивность, энергия

Представлены новые данные о смерчах над сушей в России за период с 1900 по 2018 гг. на основе различных источников информации [1]. Собрана информация о 1763 смерчах, включая 993 смерча по данным очевидцев прохождения смерчей и/или вызванных ими разрушений, и 770 — по спутниковым данным о смерчевых ветровалах. Отмечены как единичные смерчи, так и вспышки смерчей. Для периода 2009–2018 гг. в среднем за год в России регистрируется более 100 смерчей, из них более 15 — значительных, и 1 —. В некоторые годы эти числа могут быть значительно выше — 342, 52 и 3, соответственно. Смерчи наблюдаются в среднем 41 день в году, в отдельные годы — до 68 дней. Оценена повторяемость смерчей разной категории и вероятности их прохождения через точечный объект, которые могут быть использованы для оценки риска смерчопасных ситуаций. По данным о размерах и интенсивности 164 смерчей определены их характерные времена и форсинги [2]. В зависимости от интенсивности средние времена меняются в 3 раза, а форсинги — в 6 раз. Оценена энергия вихрей, которая выражена в том числе в единицах масс тропического эквивалента.

Литература:

1. Чернокульский А.В., Курганский М.В., Мохов И.И., Шихов А.Н., Ажигов И.О., Селезнева Е.В., Захарченко Д.И., Антонеску Б., Куне Т. Смерчи в российских регионах // Метеорология и гидрология, 2021, №2, с.17–34.
2. Голицын Г.С., Чернокульский А.В., Вазаева Н.В. Энергетика торнадо и смерчей // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле, 2023, в печати

Совместный анализ вертикальной структуры многолетних внутригодовых изменений параметров атмосферы и числа восстановленных по результатам радиозондовых измерений облачных слоев

Черных И.В., Алдухов О.А.

*Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации –
Мировой центр данных, Обнинск, Россия
civ@meteo.ru*

Ключевые слова: атмосфера, климат, изменения, облачность, слои, температура, влажность, радиозондирование, земной, шар, полушарие

Знания о вертикальной структуре числа облачных слоев (ОС), температуры, влажности воздуха в атмосфере и их долгопериодных изменениях, полученные на основе наблюдений, необходимы для изучения изменений климата.

Исследования проведены на основе данных глобального массива результатов радиозондирования атмосферы CARDS [1], дополненных текущими данными, за период 1964–2018 гг. SE-метод [2] был использован для определения границ и количества облачности по профилям температуры и влажности в атмосферном слое 0–10 км над уровнем земли. Средние значения температуры, влажности воздуха и тренды их аномалий были рассчитаны на стандартных высотах в атмосферном слое 0–30 км над уровнем моря. Тренды были рассчитаны для каждой станции с помощью метода наименьших квадратов. Статистики, полученные для каждой станции, были осреднены с учетом площади влияния станции. Аномалии были вычислены по отношению к многолетним средним значениям за период 1964–2018 гг. Анализ результатов расчета показал следующее.

Многолетние средние значения числа ОС с количеством облаков 0–100% покрытия небосвода для каждого месяца, сезона, года в целом и тренды их аномалий зависят от яруса облаков: они максимальны для среднего яруса и минимальны для нижнего яруса для ЗШ, СП и ЮП; для обоих полушарий в атмосферных слоях 0–2, 2–6, 6–10, 0–10 км многолетние средние месячные (сезонные) значения числа ОС и тренды соответствующих аномалий различаются мало; максимальные тренды аномалий числа ОС в слоях атмосферы 2–6, 6–10 и 0–10 км определены в теплый сезон. Средние многолетние значения числа малооблачных и сплошных ОС для всех месяцев, сезонов, года и тренды соответствующих аномалий существенно больше, чем для ОС рассеянной и разорванной облачности. В слое 2–8 км во все месяцы над ЗШ, СП и ЮП определено потепление, убывание относительной влажности над ЗШ и ЮП; в этом слое убывание относительной влажности над СП определено с октября по май, в слоях 3–4 и 6–10 км – в июне и сентябре. Значимость трендов более 95%.

Литература:

1. Eskridge R.E., Alduchov O.A., Chernykh I.V. et al. A comprehensive aerological reference dataset (CARDS): rough and systematic errors//Bull. Amer. Meteorol. Soc. - 1995. - Vol. 76, No. 10. - P. 1759 - 1775.
2. Chernykh I.V., Eskridge R.E. Determination of cloud amount and level from radiosonde soundings//J. Appl. Meteorol. - 1996. - Vol. 35, No. 8. - P. 1362 - 1369.

Изменчивость геофизических и геохимических параметров аридных аэрозолей по данным измерений 2002-2022 гг.

Чхетиани О.Г.¹, Вазаева Н.В.^{1,2}, Малиновская Е.А.¹, Чернокульский А.В.¹, Губанова Д.П.¹,

Кудерина Т.М.³, Иорданский М.А.¹, Артамонова М.С.¹, Максименков Л.О.¹

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

³Институт географии РАН, Москва, Россия

ochkheti@ifaran.ru

Ключевые слова: аридный аэрозоль, полевые измерения, спутниковые данные

Результаты многолетних комплексных измерений (2002–2022) массовой концентрации, микрофизических параметров, элементного и химического состава, морфологии аридных аэрозолей [1-5] показывают существенное снижение массовой концентрации субмикронных и микронных аэрозолей по сравнению с серединой 90-х годов [1-3,5]. Снижение антропогенной нагрузки и смягчение регионального климата ослабляет процесс опустынивания. Значительное влияние антропогенных факторов показало и повышенное содержание химических элементов в приземной атмосфере [3,4]. Для большинства элементов характерна слабая интенсивность накопления в аэрозолях, а их дифференциация в большей мере зависит от мозаичности подстилающей поверхности.

Фоновые значения среднесуточной массовой концентрации приземных аэрозолей в летний жаркий период в аридных районах Калмыкии составляют не менее 125 мкг/м³[5]. Определены функции распределения частиц по размерам, характерные для атмосферных аэрозолей [2,3,5]. Концентрация приземного аэрозоля на опустыненных участках изменяется значительно, что обусловлено в основном ветровыми условиями, спецификой подстилающей поверхности и градиентом нагрева поверхности почв. Явления пыльных бурь в летний период наблюдаются довольно часто, что приводит к значительным кратковременным флуктуациям величин микрофизических параметров аэрозоля.

Для летних месяцев в семиаридных регионах ЕТР (в регионе 44–47° с.ш., 44–47° в.д.) по данным спутниковых изображений MODIS рассмотрена межгодовая изменчивость оптической толщины аэрозоля на длине волны 550 нм [1]. Средние значения AOT550 варьируют в диапазоне 0.1-0.4, проявляются годы с повышенными значениями, максимальные замечены в августе – до 1.4. Суточная изменчивость и годовой ход AOT в регионе (45–48°с.ш., 43–47°в.д.) проанализированы на основе данных METEOSAT и CMSAF-SEVIRI (550 нм). Периоды с повышенными значениями AOT проявляются в основном поздней весной и ранним летом.

Исследование выполнено при поддержке РНФ – проект № 20-17-00214.

Литература:

1. Chkhetiani O. G. et al. // Atmosphere. 2021. V. 12. № 8. P. 985.
2. Chkhetiani O.G., Gledzer E.B., Vazaeva N.V. // Earth and Space Science. 2021. V. 8. № 6. P. e2020EA001616
3. Губанова Д.П. и др. // Геофиз. процессы и биосфера. 2018. Т. 17. №1. С.5-29, №3 С.18-44.
4. Губанова Д.П. и др. // Оптика атмосферы и океана. 2022. Т. 35. № 6 (401). С. 456-464.
5. Малиновская Е.А., Чхетиани О.Г., Максименков Л.О. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2021. Т. 57. № 5. С. 539-554

Внешние факторы современных колебаний климата и асинхронные межкомпонентные связи в климатической системе

Шерстюков Б.Г.

*Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации –
Мировой центр данных, Обнинск, Россия*

boris_sher@mailk.ru

Ключевые слова: колебания климата, космические факторы, асинхронные связи

Рассматриваются статистические связи региональных колебаний климата с циклическими космическими воздействиями на отдельные компоненты климатической системы и анализируются последующие асинхронные распространения возмущений по планете в виде колебаний температуры поверхности океана и температуры воздуха над континентами. Обнаруженные связи и закономерности указывают на участие в формировании долгопериодных колебаний климата динамических воздействий, связанных с циклическими изменениями в небесной механике.

Ветровалы в лесной зоне России в 2001–2022 гг.

Шихов А.Н.¹, Чернокульский А.В.²

¹Пермский государственный научно-исследовательский университет, Пермь, Россия

²Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия
and3131@inbox.ru

Ключевые слова: ветровалы, смерчи, шквалы, спутниковые наблюдения

Представлена база данных о случаях ветровалов в лесной зоне России, обусловленных смерчами, шквалами и сильными ветрами неконвективной природы за период с 2001 по 2022 гг. База данных включает свыше 1400 случаев ветровалов за период с 2001 г. по н.в., выявленных по многолетним рядам спутниковых данных Landsat и Sentinel-2 в пределах лесной зоны России, от западных границ страны до Иркутской области. Методика заполнения базы данных представлена в работе (Shikhov et al., 2020). Для каждого ветровала определены дата возникновения (или диапазон дат), геометрические параметры, а также характеристики вызвавшего его метеорологического явления (при наличии данных наблюдений метеостанций или оценки ущерба).

Общая площадь ветровалов составляет свыше 440 тыс. га. (141 тыс. га – в Зауралье и Сибири и 299 тыс. га на ЕТР). Более 50% ветровалов были вызваны смерчами, но при этом их площадь составляет около 15% от суммарной площади ветровалов. Более 80% общей площади ветровалов обусловлено шквалами, наибольший вклад вносят долгоживущие разрушительные шквалы – деречо, которые отмечались на Европейской территории России в 2010 и 2021 гг. Смерчи и шквалы отмечаются с начала мая до третьей декады сентября. Наибольшее число случаев смерчей и шквалов, вызвавших ветровалы (138) отмечалось в 2020 г. Сильные ветра неконвективной природы вызывают крупные ветровалы в основном на северном Урале и в горах Южной Сибири и наблюдаются преимущественно в октябре–ноябре.

Литература:

1. Shikhov A. N., Chernokulsky A. V., Azhigov I. O., Semakina A. V. A satellite-derived database for stand-replacing windthrow events in boreal forests of European Russia in 1986–2017 // Earth Syst. Sci. Data. 2020. V. 12. P. 3489–3513

Признаки и причины понижения приповерхностной температуры воздуха в Абхазии в 21 столетии

Экба Я.А.¹, Ахсалба А.К.¹, Хинтуба Л.В.²

¹Институт экологии Академии наук Абхазии, Сухум, Абхазия

²Абхазский государственный университет, Сухум, Абхазия
asida_cen@mail.ru

Ключевые слова: глобальное похолодание, климатические факторы, геополитические последствия

Общепринятый ныне прогноз климатических изменений, предсказывающий монотонный рост глобальной температуры до конца 21 века, сделан в предположении об отсутствии существенного влияния солнечной активности, вулканической деятельности, океанических течений на климатическую систему планеты. К настоящему времени выяснено, что такое предположение является ошибочным. Прогнозы, построенные с учетом упомянутых связей, указывают на вероятное понижение глобальной температуры после 2010 года. Изложенные представления с высокой точностью подтверждаются многолетним трендом среднегодовой температуры не только на территории Абхазии, но и во всем Кавказском регионе.

Отчеты Международного Комитета по климатическим изменениям при ООН [2] (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), регулярно суммирующие состояние дел в этой области, едва ли, казалось бы, подлежат критике, так как: они составляются при участии многих сотен экспертов (главным образом из США и Западной Европы) и примерно таким же числом правительственных экспертов рецензируются.

Между тем, этот прогноз, скорее всего, является ошибочным, так как рост глобальной температуры на Земле в последние десятилетия 20-го и начала 21-го века не обусловлен антропогенными причинами; экстраполяция тенденции этого роста на весь 21 век не обоснована.

Литература:

1. Лобанов В.А. Динамика климата. Кн.1, СПб РГГМУ, 2016, -232 с
2. Экба Я.А., Ахсалба А.К., Хинтуба Л.В. Оценка воздействия мощных вулканов на температуру ПСВ на Кавказе. Материалы VI Международной научно –практической конференции: «Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий». Майкоп, 2021, Часть II, С.187-195.

Особенности влияния влагосодержания атмосферы на потепление климата

Экба Я.А.^{1,2}, Ахсалба А.К.^{1,2}, Хинтуба Л.В.², Касландзия Н.Д.²

¹Институт экологии Академии наук Абхазии, Сухум, Абхазия

²Абхазский государственный университет, Сухум, Абхазия

ekba-yan@yandex.ru

Ключевые слова: Водяной пар, парниковый эффект, относительная влажность, абсолютная влажность, атмосферные осадки

Климатические изменения представляют собой сложное наложение из чередующихся циклов тепла и холода разной амплитуды и длительности. Режим водяного пара в атмосфере – главный источник неопределенности изменения климата. При потеплении климата содержание водяного пара в атмосфере будет увеличиваться, тем самым усиливая парниковый эффект.

В то же время среднегодовая абсолютная влажность воздуха меняется синхронно со среднегодовой температурой воздуха (рис.1). Другой не менее важный показатель — относительная влажность. Она распределена очень неравномерно и при одной и той же температуре может быть совершенно разной. Поэтому важно не столько увеличение максимально возможной концентрации водяного пара при росте температуры, сколько реальное изменение его концентрации.

Важным источником водяного пара в стратосфере фактически является окисление метана, переносимого вверх из тропосферы. Предполагается, что будущее потепление вследствие изменения климата и повышение концентраций метана приведут к увеличению количества водяного пара в стратосфере. Увеличение количества водяного пара в верхней тропосфере и нижней стратосфере приводит к радиационному выхолаживанию на этих уровнях и вызывает потепление на поверхности Земли [1,2]. Высокая корреляционная связь, достигающая значений 0,7, прослеживается между суммарным среднегодовым количеством осадков и среднегодовой относительной влажностью. Что является подтверждением приоритетности роли водяного пара в формировании атмосферных осадков. Сравнение трендов годовых значений относительной влажности и суммарных годовых осадков, несмотря на значительные колебания последних, тоже показывают значимую синхронность. Таким образом, относительная влажность воздуха является определяющим фактором, ответственным за формирование регионального климата.

Литература:

1. Смирнов Б.М. Физика глобальной атмосферы. Долгопрудный, изд. Дом «Интеллект», 2017, -256 с.
2. Экба Я.А., Ахсалба А.К., Хинтуба Л.В. Глобальные и региональные (Абхазия) проявления парникового эффекта в атмосфере и на поверхности Земли. Коллективная монография «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа», (ГЕОКАВКАЗ-2021). Москва, 2021, том XI, С.493-498.

Природные пожары 2021 года в Сибири по спутниковым данным: гипотеза «угольного пожара»

Юрганов Л.Н.

*Мэрилендский университет округа Балтимор, Балтимор, Мэриленд, США
leonid.yurganov@gmail.com*

Ключевые слова: оксид углерода, спутниковые данные, природные пожары

Сезон лесных пожаров 2021 года в Северном полушарии был экстремальным. Данные AIRS/Aqua в соответствии с базой данных о природных пожарах GFED4 свидетельствуют о рекордных выбросах CO в Северном полушарии и, в частности, в Сибири. Эти природные пожары происходили в криолитозонных и тундровых районах Среднесибирского плоскогорья. Здесь мы анализируем измерения общего содержания CO в столбе прибора TROPOMI для этой области и сравниваем их с данными AIRS. TROPOMI имеет отличное пространственное разрешение ($7,2 \times 5,6 \text{ км}^2$) и высокую чувствительность к нижней тропосфере, что позволяет разрешить небольшие участки горящей поверхности Земли. В зоне пожаров преобладала усредненная по высоте концентрация XCO₂ ~ 500 ppb. Соответствующие данные AIRS для того же района находились в диапазоне 200–250 ppb. Фоновый XCO₂ по измерениям обоих приборов был несколько ниже 100 ppb. Наблюдались относительно небольшие пятна с XCO₂ от 650 до 700 частей на миллиард. Типичные размеры этих «горячих точек» варьировали от одиночных пикселей (~6 км) до 5 пикселей (~30 км). Южная и юго-восточная части района пожара характеризуются редкостойными и низкорослыми частично заболоченными лиственничными лесами. Плато Путорана со средней высотой 500-700 м и максимальной 1678 м занято горной тундрой или арктической пустыней. Эта область называется Сибирскими Траппами, она образовалась 252 миллиона лет назад в результате одной из крупнейших вулканических катастроф в геологической истории Земли. Современные исследования предполагают, что вулканическая деятельность инициировала возгорание ископаемого угля. Парниковый эффект выбросов CO₂ и CH₄ перекрывался спорадическим охлаждением вулканическим аэрозолем. Неравномерные и сильные климатические скачки привели к тому, что ~90% наземных и океанических видов исчезло (так называемое, «Пермское вымирание»). Мы предполагаем, что горение угля в Сибири объясняет аномальный выброс парниковых газов и CO в июле-августе 2021 г.

Возможности прогноза состояния озонового слоя в рамках концепции динамичной климатической нормы К.Я. Винникова

Акимов А.Н.¹, Гуляева С.И.², Людчик А.М.¹, Павленко П.Н.³

¹Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ, Минск, Беларусь

²Научно-исследовательский институт прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко, Минск, Беларусь

³Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

alex_akimov@mail.ru

Ключевые слова: стратосферный озон, общее содержание озона, динамичная климатическая норма, многолетний тренд стратосферного озона

С учетом наблюдений в последние годы за озоновым слоем над регионами Северного полушария анализируется качество сделанного несколько лет назад прогноза его состояния. Прогноз получен с использованием разработанной советским ученым К. Я. Винниковым, уехавшим в Америку, оригинальной концепции динамичной климатической нормы, допускающей ее изменение в пределах периода определения. Были использованы модель квадратичного многолетнего тренда общего содержания озона (ОСО) и данные спутниковых наблюдений за период 1978 – 2017 гг. Прогнозные значения многолетнего тренда ОСО сравниваются с результатами расчета тренда по данным за период, включающий область прогноза. При этом была использована усовершенствованная модель тренда в виде полинома третьей степени, более соответствующая ожидаемому поведению стратосферного озона.

Многолетние тренды в рамках обеих моделей практически совпадают в пределах ранее использованного периода, однако прогноз на период 2018 – 2022 гг. не во всех случаях оправдался. Анализируются причины несоответствия и возможные пути совершенствования прогноза.

Прогноз на основании дополнительных данных и более гибкой модели кубического многолетнего тренда ОСО, вероятно, тоже не будет точным даже в ближайшие годы. Одной из основных причин является не слишком удачная для данного случая полиномиальная аппроксимация тренда ОСО, допускающая его неограниченное изменение в будущем. Повысить достоверность прогноза можно посредством явного учета дополнительной информации о характере процессов в озоновом слое планеты с целью введения обоснованных ограничений на модель многолетнего тренда ОСО.

Потенциал ветровой энергетики в арктических и субарктических широтах и его изменения в 21 веке по расчетам с региональной климатической моделью

Акперов М.Г.^{1*}, Елисеев А.В.^{1,2,3}, Мохов И.И.^{1,2}, Семенов В.А.^{1,4}, Парфенова М.Р.¹

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

⁴Институт географии РАН, Москва, Россия

aseid@mail.ru

Ключевые слова: ветроэнергетические ресурсы, приземный ветер, морской лед, Арктика, изменение климата, моделирование климата, реанализ

Получены количественные оценки изменений ветроэнергетических ресурсов в Арктике с использованием региональной климатической модели (РКМ) RCA4 при сценариях изменения климата RCP4.5 и RCP8.5 для 2006-2099 гг. При анализе оценивалась мощность ветроэнергетического потенциала (МВП), пропорциональная кубу скорости ветра. Для оценки МВП использовалась процедура коррекции систематической ошибки скорости приземного ветра с данными ERA5 в качестве эталонных и последующей экстраполяции скорости ветра на высоту турбины.

По расчетам с РКМ RCA4, для 21 века при обоих использовавшихся сценариях антропогенных воздействий отмечено, в частности, заметное увеличение МВП над Баренцево-Карским и Чукотским морями зимой. Летом проявляется общее увеличение МВП над Северным Ледовитым океаном. При этом изменения более значимо проявляются при сценарии RCP8.5 с сильными антропогенными воздействиями для 21 века. Согласно полученным модельным оценкам, увеличение межсезонных вариаций МВП в целом не приводит к отклонениям скорости ветра до значений, при которых работа ветрогенераторов невозможна.

Peat4ESM-1.0: Схема вычисления характеристик болотных экосистем для моделей климатической системы

Александров Г.А.¹, Денисов С.Н.¹, Елисеев А.В.²

¹*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

²*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*
g.alexandrov@ifaran.ru

Ключевые слова: модели климатической системы, цикл углерода, болотные экосистемы

Несмотря на то, что болотные экосистемы занимают всего 3% площади суши, в них хранится 15-20% запасов углерода, содержащегося в органическом веществе всего деятельного слоя суши. Высокая уязвимость запасов углерода, содержащихся в торфяных отложениях, к изменению гидрологического режима при их огромной величине означает, что положительная обратная связь между изменением климата и высвобождением углекислого газа из торфа может быть очень сильной. Поэтому дальнейшее развитие моделей климатической системы предполагает параметризацию процесса накопления торфа, позволяющую исследовать обратные связи, связанные с возможной деградацией торфяных отложений [1]. Схема вычисления характеристик болотных экосистем, Peat4ESM-1.0, разработанная в рамках важнейшего инновационного проекта государственного значения по развитию национальной климатической модели, позволяет динамически вычислять долю ячейки модельной сетки, занимаемую болотными экосистемами, и запасы углерода в торфяных почвах, основываясь на модели задержанного дренажа [2] и на данных о современном распространении торфяных почв.

Литература:

1. Chadburn S.E. et al. A new approach to simulate peat accumulation, degradation and stability in a global land surface scheme (JULES vn5.8 accumulate soil) for northern and temperate peatlands // Geosci. Model Dev. 2022. Vol. 15, № 4. P. 1633–1657.
2. Alexandrov G.A. et al. The capacity of northern peatlands for long-term carbon sequestration // Biogeosciences. 2020. Vol. 17, № 1. P. 47–54.

Влияние атмосферных ионов на образование аэрозоля в тропосфере

Алюян А.Е.¹, Ермаков А.Н.², Арутюнян В.О.¹

¹*Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия*

²*Институт энергетических проблем химической физики им. В.Л. Тальрозе ФГБУН ФИЦ химической физики РАН им. Н.Н. Семенова, Москва, Россия*
ezmakr2010@yandex.ru

Ключевые слова: моделирование, атмосфера, газовые примеси, аэрозоль, нуклеация, сульфатные частицы

Мелкодисперсные частицы прямо и косвенно воздействуют на радиационный режим атмосферы, влияют на газовые примеси и здоровье населения [1, 2]. В докладе рассматривается физически полная трёхмерная модель глобального переноса многокомпонентных газовых примесей и аэрозолей в обоих полушариях и сопутствующих физико-химических процессов, в том числе с участием атмосферных ионов. Обсуждаются результаты расчетов пространственно-временной изменчивости счетных концентраций сульфатных частиц, спектра их размеров, критических размеров зародышей аэрозольных частиц, а также концентраций малых примесей в зимнее время. Расчеты выполнялись в рамках единой модели с учетом фотохимии, бинарной и ионной нуклеации паров серной кислоты и воды, а также процессов конденсации/испарения и коагуляции аэрозольных частиц [3]. В умеренных широтах на малых и больших высотах образование зародышей частиц происходит как с участием ионов, так и в процессе бинарной нуклеации. Подобное влияние ионной и бинарной нуклеации в формировании зародышей частиц прослеживается и вблизи тропиков. При этом зона высот, в которой доминирует ионная нуклеация, заметно расширяется и смещается к большим высотам. Такое влияние атмосферных ионов в нижней тропосфере объясняется ростом термической стабильности заряженных кластеров, а в верхней тропосфере – их стабилизацией в условиях дефицита влажности воздуха. Полученные результаты указывают на значимую роль процессов нуклеации с участием ионов в формировании частиц атмосферного аэрозоля в обоих полушариях. При этом определяющими факторами динамики этого процесса наряду с ионизацией воздуха оказываются изменчивость инсоляции, а также температуры и относительной влажности.

Литература:

1. Andreae M.O., Jones C.D., Cox P.M. Strong present-day cooling implies a hot future // *Nature* 2005. Vol. 435. No. 7046. P. 1187–1190.
2. Kulmala M., Pirjola U., Mäkelä U. Stable sulphate clusters as a source of new atmospheric particles. // *Nature*. 2000. Vol. 404. No. 6773. P. 66–69.
3. Froyd K.D., Lovejoy E.R. Experimental thermodynamics of cluster ions composed of H₂SO₄ and H₂O. 1. // *J. Phys. Chem. A* 2003. V 107 №45. P. 9800–9811; 2. *J. Phys. Chem. A* 2003. V. 107 №46. P. 9812–9824.

Исследование воспроизведения атмосферных блокирований моделью INM-CM

Боровко И.В., Градов В.С., Платов Г.А., Крупчатников В.Н.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

irina@ommfao1.sccc.ru

Ключевые слова: блокирование, модель

В рамках международной программы CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) проводится сравнение климатических моделей, разработанных различными группами исследователей в разных странах мира, как между собой, так и с данными наблюдений. Единственной отечественной моделью, участвующей в этом проекте, является модель INM-CM, разрабатываемая в институте вычислительной математики РАН. В представленной работе исследуется воспроизведение атмосферных блокирований различными версиями этой модели. На основе модельных данных высоты геопотенциала рассчитано количество блокирований по критерию Тибальди-Молтени, а также величина локальной волновой активности за летний и зимний периоды с 1990 по 2015 годы. Для версии INM-CM48 также были найдены главные моды высоты геопотенциала и проанализирована зависимость частоты и длительности блокирований от фазы главной моды. Анализ статистик блокирующих явлений в атмосфере показывает, что модель INM-CM6 по сравнению с предыдущей версией демонстрирует значительное усиление волновой активности в Восточном секторе Атлантики, Европе и в районе Берингова моря в зимний период. Усиление блокирований в зимний период имеется в западном секторе Атлантики и в районе Берингова моря. Летом волновая активность и частота блокирований по результатам модели INM-CM6 существенно меньше в субтропическом поясе и несколько выше в субарктике. Результаты моделирования хорошо согласуются с соответствующими характеристиками, полученными на основе данных реанализа ERA5.

Исследование изменений динамических процессов стратосферы Арктики в течение XXI века по расчетам химико-климатической модели SOCOLv4

Варгин П.Н.^{1,2}, Кострыкин С.В.^{3,4}, Коваль А.В.^{5,7}, Розанов Е.В.^{7,8}, Егорова Т.А.⁸, Смышляев С.П.⁶,
Цветкова Н.Д.¹

¹*Центральная аэрологическая обсерватория, Московская область, Россия*

²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

³*Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия*

⁴*Институт глобального климата и экологии им. акад. Ю.А. Изraelя, Москва, Россия*

⁵*Факультет физики атмосферы, Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

⁶*Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия*

⁷*Лаборатория исследования озонового слоя и верхней атмосферы, Санкт-Петербургский
государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

⁸*Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos/World Radiation Center (PMOD/WRC), Davos,
Switzerland*

p_vargin@mail.ru

Ключевые слова: моделирование климата, динамика стратосферы, планетарные волны, озон

Исследуются изменения динамических процессов стратосферы Арктики, влияющие на озоновый слой, по результатам 2 ансамблевых расчетов химико-климатической модели SOCOLv4 [1] с 2015 г. по 2100 г. по умеренному и жесткому сценариям роста парниковых газов (SSP2-4.5 и SSP5-8.5). Анализировались 3 расчета по каждому из сценариев. Сравнение периодов с 2080 г. по 2099 г. и с 2015 г. по 2034 г. для марта выявило снижение температуры стратосферы на 5°-10° и увеличение содержания водяного пара на 5% - 20%. Проанализирована изменчивость среднезональной и остаточной меридиональной циркуляции, волновой активности. Во 2-й половине 21 века в марте выявлено 8 эпизодов с отрицательными аномалиями общего содержания озона (OCO) до 100 е.д., что сравнимо с 2011 г. и 2020 г., когда наблюдалось наибольшее разрушение озона. В расчетах по обоим сценариям выявлено усиление изолированности стратосферного полярного вихря и рост объемов воздушных масс с температурами, достаточными для формирования полярных стратосферных облаков 1-го типа (PSC NAT) в марте, что свидетельствует об усилении стратосферного полярного вихря к концу XXI века. В полярной нижней стратосфере при жестком сценарии выявлено увеличение концентраций жидких частиц, содержащих соединения водяного пара, серной и азотной кислоты (STS, H₂SO₄-H₂O-HNO₃), важных для активации озоноразрушающих соединений. Результаты о возможном усилении стратосферного полярного вихря к концу 21 века согласуются с результатами анализа расчетов 20 моделей проекта CMIP6 [2] и расчетов климатической модели ИВМ РАН CM5 [3]. Вместе с тем, выявленный по обоим сценариям значимый положительный тренд минимальных значений OCO в Арктике в марте свидетельствует об увеличении содержания озона к концу 21 века относительно настоящего времени, как это было показано ранее по тем же расчетам [4].

Литература:

1. Sukhodolov T., et al. Atmosphere–ocean–aerosol–chemistry–climate model SOCOLv4.0: description and evaluation // Geosci. Mod. Devel., 2021.
2. Gathen P., et al. Climate change favours large seasonal loss of Arctic ozone // Nat. Commun., 2021.
3. Vargin P., et al. Arctic Stratosphere Circulation Changes in the 21st Century in Simulations of INM CM5 // Atmosphere, 2022.
4. Karagodin-Doyennel A, et al. The future ozone trends in changing climate simulated with SOCOLv4 // EGUsphere, 2023.

Исследование структуры и геохимического состава неглубокого керна, пробуренного в кальдере вулкана Ушковский

Воробьев М.А.¹, Михаленко В.Н.¹, Хайрединова А.Г.¹, Чижова Ю.Н.^{1,2}, Виноградова М.М.¹

¹Институт географии РАН, Москва, Россия

²Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия

m.vorobyev@igras.ru

Ключевые слова: Ледниковый керн, палеореконструкции, атмосферные аэрозоли, химический и изотопный состав ледниковых кернов

Ледники являются прекрасными архивами, которые содержат различную информацию о климате прошлого. Они позволяют создать продолжительные палеореконструкции с высоким разрешением (вплоть до сезонной изменчивости).

Множество работ посвящено таким реконструкциям для различных регионов Земли. Но для северо-восточной Азии существует лишь несколько, в которых используются данные из керна, пробуренного в кальдере вулкана Ушковский (высота 3903 м) на Камчатке в 1998 г [1].

Мы представляем новые данные по химическому (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) и изотопному ($\delta^{18}\text{O}$ and δD) составу и стратиграфии неглубокого керна (14 м), также пробуренного в кальдере вулкана Ушковский (высота 3900 м) в 2022 г. Эти результаты могут дополнить ранее полученные в 1998 г.

В полученных данных наблюдается сезонная изменчивость значений аммония и δD . Для коррекции датировки мы используем анализ тефры совместно с данными о химическом составе. На основании которых мы делаем попытку реконструировать динамику морского льда, биопродуктивности лесов и лесных пожаров для камчатского региона.

Исследование финансируется со средств гранта РНФ-22-17-00159

Литература:

1. T. Shiraiwa, F. Nishio, T. Kameda, A. Takahashi, Y. Toyama, Y. Muravyev, A. Ovsyannikov, Journal of the Japanese Society of Snow and Ice, 61, 25-40 (1999).

Анализ климатических изменений в Северной Евразии по двум версиям модели ИВМ РАН с разной чувствительностью

Воробьева В.В.^{1,2,3}, Тарасевич М.А.^{1,3,4}, Черненко А.Ю.^{1,4}, Володин Е.М.^{1,2}

¹Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия

²Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

³Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия

⁴Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),

Долгопрудный, Россия

VVorobyeva@yandex.ru

Ключевые слова: климатическая модель, параметризация, предсказуемость, сверхдолгосрочный прогноз, климатическая изменчивость, чувствительность

Новая версия модели INMCM60 [1] отличается от предыдущей версии, использовавшейся в CMIP6, более высокой чувствительностью к увеличению концентрации CO₂, что является следствием изменений в схеме расчета облачности и конденсации. В новой версии модели также усовершенствованы параметризации атмосферного пограничного слоя, эволюции снежного покрова, аэрозолей, расчета электрических явлений.

С двумя версиями модели ИВМ РАН проведен ансамбль исторических экспериментов 1850—2100 гг., для чего в 1850—2014 гг. изменения воздействий были заданы в соответствии с оценками по данным наблюдений, а в 2015—2100 гг. – в соответствии со сценарием SSP3-7.0.

Для оценки воспроизведения современного климата данные ансамблевых расчетов сравниваются с данными реанализов ERA5, GPCPv.2.3, NSIDC. Также рассматривается прогноз климатических изменений в ближайшей (near-term, 2021-2040) и долгосрочной (long-term, 2081-2100) перспективе будущего.

Наиболее существенно отличия в скорости повышения приземной температуры воздуха в Северной Евразии для двух версий модели проявляются с 2040-ых годов, что во многом обусловлено различной чувствительностью моделей. Наибольшее потепление наблюдается для обеих версий модели в зимний сезон в Арктике, что соответствует наблюдениям и согласуется с трендом на сокращение площади морского льда в Арктике. Обе версии модели воспроизводят смену знака среднего за летний сезон Восточно-Атлантического/Западно-Российского индекса (EAWR) с положительного на отрицательный, произошедшую в середине 1990-ых годов. Отрицательные значения индекса EAWR связаны с поступлением теплого и влажного воздуха со Средиземного моря на ЕТР, что приводит к увеличению приземной влажности в данном регионе. Анализируется изменение площади снежного покрова в Евразии. Производится оценка изменения индексов экстремальности, в том числе существенно влияющих на сельскохозяйственную отрасль региона.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-17-00190).

Литература:

1. Володин Е. М. Воспроизведение современного климата моделью климатической системы INMCM60 // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2023, Т. 59, № 1, стр. 19-26.

Воспроизведение в моделях INM-CM5-0 и INM-CM6-L механизма тропосферно-стратосферного взаимодействия в период Эль-Ниньо/Ла-Нинья

Гвоздева А.В.^{1,2}, Володин Е.М.², Гушина Д.Ю.^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия

gvozdevaav@my.msu.ru

Ключевые слова: Эль-Ниньо, атмосферная циркуляция, волновая активность, полярные и умеренные широты, дальние связи

События Эль-Ниньо – Ла-Нинья в значительной степени изменяют атмосферную циркуляцию в умеренных и полярных широтах обоих полушарий [1]. На основе анализа данных наблюдений было показано, что Эль-Ниньо оказывает влияние не только на внутритропическую тропосферную циркуляцию, но и на циркуляцию стратосферы. Тропосферный отклик реализуется через распространение длинной волны Россби из тропиков в средние и высокие широты, что приводит к формированию аномалий давления. Влияние на стратосферу реализуется за счет усиленной передачи энергии через поток волновой активности из тропосферы в стратосферу. Изменения температуры поверхности океана в годы Эль-Ниньо (Ла-Нинья) приводят к усилению (ослаблению) потоков тепла, которые переносятся планетарными волнами, что способствует изменению потока волновой активности.

В условиях меняющегося климата отклик циркуляции в полярных и умеренных широтах на процессы в тропиках может существенно изменяться. Оценки вклада тропической изменчивости в усиление/ослабление эффекта глобального потепления в высоких широтах возможны в рамках климатического моделирования. В настоящем исследовании проведена оценка воспроизведения трехмерного потока волновой активности Пламба [2] из тропосферы в стратосферу в период Эль-Ниньо и Ла-Нинья российской климатической моделью INM-CM5-0 и ее модифицированной версией INM-CM6-L. Качество моделей оценивалось путем сравнения с данными, полученные по результатам реанализа ERA5.

Показано, модель успешно воспроизводит усиление (ослабление) потока волновой активности во время Эль-Ниньо (Ла-Нинья), что способствует неустойчивости (устойчивости) планетарных волн и усилению (ослаблению) потока тепла в стратосферу. Последнее является ключевым фактором в формировании аномалий стратосферного циркумполярного вихря.

Исследование проводилось в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (Соглашение № 169-15-2023-003).

Литература:

1. On the relationship between ENSO diversity and the ENSO atmospheric teleconnection to high-latitudes / D. Gushchina, M. Kolennikova, B. Dewitte and S.-W. Yeh // International Journal of Climatology. – 2021. – Vol. 42, № 2. – P. 1–23.
2. Plumb R.A. On the Three-Dimensional Propagation of Stationary Waves / R. A. Plumb // Journal of the Atmospheric Sciences. – 1985. – Vol. 42, № 3. – P. 217–229.

О возможностях развития методов параметризации гидрологических процессов в моделях деятельного слоя суши

Гельфан А.Н.^{1,2}, Степаненко В.М.², Медведев А.И.², Мотовилов Ю.Г.¹

¹*Институт водных проблем РАН, Москва, Россия*

²*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*
hydrowpi@mail.ru

Ключевые слова: *модель деятельного слоя суши, гидрологические процессы, параметризация, подсеточные эффекты, параметры, схематизация, верификация*

Процессы гидрологического цикла играют ключевую роль в энергетическом и биохимическом взаимодействии суши с атмосферой и океаном, и адекватное описание этих процессов в моделях Земной системы (МЗС) расширяет диагностические и прогностические возможности последних (Clark et al., 2017; Fisher, Coven, 2020; Blyth et al., 2021). Вместе с тем, модели деятельного слоя суши, входящие в структуру МЗС, не в полной мере используют современные достижения в описании гидрологических процессов, что приводит к погрешностям, зачастую значительным, при моделировании характеристик водного режима рек, эвапотранспирации, влажности почв, снежного покрова и др., а также к росту неопределенности прогнозов этих характеристик (Kirtman et al., 2013). В числе прочего, это существенно ограничивает возможности использования прогнозов, полученных с помощью МЗС, для адаптации стратегий управления рисками в области водной безопасности к изменению климата.

В докладе представлен краткий обзор развития известных моделей деятельного слоя суши, и показаны эффекты от включения в эти модели современных параметризаций гидрологических процессов для улучшения описания динамики климатической системы. Далее обсуждаются некоторые подходы, которые широко используются в гидрологическом моделировании и могут быть востребованы для развития модели деятельного слоя суши модели Земной системы ИВМ РАН-МГУ. Рассматриваются следующие возможные направления такого развития: (1) совершенствование методов описания подсеточной изменчивости характеристик подстилающей поверхности; (2) совершенствование методов агрегирования параметров на масштабе расчетной ячейки и задания параметров модели по натурным данным; (3) использование нерегулярной расчетной сетки, основанной на концепции элементарных речных водосборов; (4) использование методов верификации моделей по данным наблюдений. Представлены предварительные результаты реализации некоторых из рассмотренных возможностей для развития модели деятельного слоя суши ИВМ РАН-МГУ.

Моделирование климатологии полярных мезоциклонов в южном полушарии по данным спутниковых мозаик

Гращенко К.В., Криницкий М.А., Вerezemская П.С.
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
kirillgrashchenkov@gmail.com

Ключевые слова: Полярные мезоциклоны, климатология мезоциклонов, трекинг, машинное обучение, сверточные сети

В работе представлен новый подход к построению траекторий полярных мезоциклонов на основе спутниковых данных, с помощью которого смоделирована динамика зарождения и диссипации данных явлений за промежуток 2004-2022 гг. Необходимость в разработке данного подхода обоснована невозможностью использования данных реанализов, поскольку они лишь частично воспроизводят данные климатические явления. В ряде работ показано, что около 40-60% мезоциклонов успешно воспроизводится реанализами. Реализованный подход использует данные спутниковых мозаик и разбивает задачу построения траекторий полярных мезоциклонов на две подзадачи: идентификация мезоциклонов, а именно определение каждого объекта на спутниковом снимке, и непосредственно построение траекторий для идентифицированных объектов. После разработки описанной системы она была применена к спутниковым данным 2004-2022 годов для построения климатологии данных атмосферных явлений. Полученные результаты согласуются с уже имеющимися, представленными в ряде работ на основе ручной разметки данных за короткие промежутки времени. Данная работа позволяет сделать выводы об изменении количества зарождающихся мезоциклонов, а также их количестве, и влиянии антропогенных факторов на эти климатические явления.

Естественные потоки парниковых газов в Северном полушарии по данным ансамбля моделей СМIP6 и их вклад

в изменения климата в 21 веке

Денисов С.Н.¹, Елисеев А.В.^{1,2,3}, Мохов И.И.^{1,2,4}

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

⁴Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),

Долгопрудный, Россия

denisov@ifaran.ru

Ключевые слова: *потоки CO₂, потоки метана, изменения климата, моделирование климата*

Концентрация углекислого газа в атмосфере увеличилась в полтора раза с начала индустриальной эпохи – от уровня около 280 ppm до уровня около 420 ppm к 2023 году. С середины 20 века доминирующим фактором ее роста стали антропогенные выбросы в атмосферу, связанные с использованием ископаемого топлива, и их относительная доля продолжает расти вплоть до настоящего времени. Антропогенные выбросы происходят на фоне природного углеродного обмена, в котором углерод циркулирует между резервуарами атмосферы, океана, биосферы и почвы в масштабах от внутрисуточных до тысячелетних и более. Значительный диапазон неопределенности современных оценок возможной концентрации CO₂ в конце 21 века связан с изменчивостью природного углеродного обмена и неопределенностью в обратной связи углеродный цикл-климат.

Для оценки способности современных глобальных моделей Земной системы учитывать природный обмен углерода проанализированы данные ансамбля моделей проекта СМIP6 для 21 века. Показано, что современные модели Земной системы имеют значительное расхождение в оценках естественных потоков CO₂ и CH₄ на региональном масштабе.

Получены оценки влияния потоков парниковых газов с территории России, Китая, Канады и США на возможные изменения глобальной приповерхностной температуры атмосферы в 21 веке при различных сценариях антропогенного воздействия с использованием кумулятивного температурного потенциала. Показано, что изменение климатических условий при различных сценариях антропогенных воздействий может сильно влиять на показатели климатического вклада потоков парниковых газов, особенно на больших временных горизонтах.

Связь между изменением придонной температуры и температуры воздуха на арктическом шельфе по данным моделей СМIP6

Елисеев А.В.^{1,2,3}, Малахова В.В.⁴

¹Физический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

³Институт наук о Земле, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

⁴Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

eliseev.alexey.v@gmail.com

Ключевые слова: арктический шельф, придонная температура, СМIP6, потепление климата, морской лёд

Чувствительность температуры морского дна T_b к изменению температуры приземного воздуха T_a рассматривается для 1850-2300 гг. на основе данных с использованием пяти моделей ансамбля СМIP6 (Coupled Models Intercomparison Project, phase 6) для сценария с высокими антропогенными выбросами парниковых газов. В численном эксперименте на воспроизведение климата с доиндустриального состояния до 2015 года) коэффициенты чувствительности $\alpha = \Delta T_b / \Delta T_a$ (Δ указывает на изменения относительно доиндустриального периода) составляют не более 0,12 для среднегодовых значений и до 0,43 летом. Однако за тот же период в Баренцевом море коэффициенты чувствительности достигают 0,6 в летний период. Для летнего периода полученные результаты согласуются с данными ограниченными измерениями, доступными для Сибирского шельфа. В XXI-XXIII веках коэффициенты чувствительности заметно увеличиваются. При этом в части арктического шельфа, которая становится свободной ото льда летом, они достигают 0,7. Полученные результаты важны для оценки будущего теплового состояния подводных отложений, а также для оценки состояния океанической биоты.

Использование нейросетей для моделирования полей метеопеременных с высоким пространственным разрешением на примере Москвы

Коспанов А.А.¹, Константинов П.И.¹, Криницкий М.А.²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, Россия

kospanov.alen@gmail.com

Ключевые слова: *нейросеть, машинное обучение, изменение климата, городской микроклимат, моделирование города*

Город обладает собственным микроклиматом, среди проявлений которого наиболее заметен городской остров тепла. Увеличение температуры воздуха за счет изменения параметров подстилающей поверхности может приводить к усилению неблагоприятных эффектов экстремальной жары.

Моделирование с высоким пространственным и временным разрешением требует больших вычислительных ресурсов, а выходные данные в силу объема сложны для обработки. В качестве альтернативы гидродинамическому моделированию для воспроизведения и прогноза климата с высоким пространственным разрешением можно использовать методы машинного и глубокого обучения.

В данной работе в качестве обучающей выборки были использованы данные расчета метеорологических переменных для Москвы и Подмосковья с применением модели WRF-ARW версии 4.5 с использованием локальных климатических зон за 2010 год. Данный год был выбран как год с самой высокой наблюдаемой температурой, что позволило охватить экстремальные значения для моделирования. В качестве начальных данных использовались данные реанализа ERA5 с пространственным разрешением 27 км.

Первая версия нейросети использует архитектуру U-Net для воспроизведения поля разности температуры на высоте 2 метра между данными глобального реанализа и данными моделирования WRF.

Предварительно обучена модель, воспроизводящая на тестовой выборке остров тепла Москвы, однако наличие недостаточного учета параметров подстилающей поверхности могут говорить о необходимости как дальнейшего обучения модели, так и возможной необходимости изменить архитектуру модели.

Ветроэнергетический потенциал Крымского полуострова: текущее и будущее состояние по данным проекта регионального моделирования CORDEX

Лубков А.С.

Институт природно-технических систем РАН, Севастополь, Россия
andrey-ls2015@yandex.ru

Ключевые слова: *Возобновляемые ресурсы, ветрогенерация, ветроэнергетический потенциал, CORDEX, региональные модели*

В предложенном исследовании с помощью 14 связей региональных климатических моделей (ПКМ) с моделями атмосферной циркуляции и 3 связей ПКМ с реанализом ERA-Interim проекта CORDEX были подробно исследованы пространственно-временные особенности ветрогенерации Крымского полуострова в настоящем и будущем по сценарию высоких выбросов 8.5 MBт/м^2 . Среди наиболее эффективных районов для ветрогенерации отмечены Керченский полуостров, Тарханкутский полуостров и залив Сиваш. В этих районах отмечена возможность реализации КПД ветроэнергетических установок более, чем на 60% относительно номинального. Результаты исследования показали, что вклад внутригодовой и внутрисуточной изменчивости на порядок превышает вклад многолетних изменений. Летом в Крыму способность к ветрогенерации меньше на 27% относительно зимы, а ночью меньше на 38% чем днем. Среднегодовые изменения вырабатываемой ветроэнергии к концу XXI века в целом не превысили 3%. Была отмечена выраженная пространственная неравномерность изменений ветрогенерации в XXI веке, которая была подробно рассмотрена для летнего и зимнего сезонов, в дневное и ночное время суток. Наиболее существенные изменения относятся к летнему сезону. В этот сезон к концу 21 века наблюдается значимое уменьшение ветрогенерации в районах предгорья, гор, центрального Крыма и залива Сиваш и небольшое увеличение в районе Тарханкутского полуострова. Так же в работе были проанализированы изменения внутрисуточной, внутригодовой и многолетней изменчивости. Изменения изменчивости этих масштабов лежат в пределах 5%.

Байесовы оценки изменения стока российских рек в XXI веке на основе результатов ансамблевых модельных расчетов СМР6

Медведев А.И.¹, Елисеев А.В.², Мохов И.И.²

¹*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

thienlaowe123@gmail.com

Ключевые слова: *речной сток, Амур, Селенга, ансамбль климатических моделей СМР6, байесовы веса*

С использованием байесовского осреднения результатов расчетов с моделями ансамбля СМР6 проведен анализ стока российских рек в 21 веке, включая Волгу, Обь, Лену, Енисей, Амур, Селенгу. В качестве байесовских весов для моделей ансамбля при осреднении были использованы функции правдоподобия, учитывающие воспроизведение реального годового стока рек, в том числе средних многолетних значений, линейных трендов и межгодовых и междесятилетних вариаций. Согласно полученным результатам в 21 веке сток Амура, Лены, Енисея и Оби увеличивается, особенно при сценариях с большими антропогенными эмиссиями парниковых газов в атмосферу. Подобный рост стока для Селенги и Волги не выявлен.

Обратная задача оценки потоков парниковых газов над неоднородной поверхностью с помощью трехмерной E- ω модели и данных о концентрации на двух уровнях

Мухартова Ю.В.^{1,2}, Гибадуллин Р.Р.², Ольчев А.В.², Керимов И.А.^{3,4}

¹Физический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

⁴Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия
muhartova@yandex.ru

Ключевые слова: потоки парниковых газов, неоднородная поверхность, обратная задача, дистанционные измерения

В связи с растущей антропогенной нагрузкой на атмосферу задача оценки потоков парниковых газов между подстилающей поверхностью и атмосферой является весьма актуальной. Основные методы экспериментального исследования потоков (камерный метод и метод турбулентных пульсаций) имеют ряд существенных ограничений. Для корректной работы метода турбулентных пульсаций необходима горизонтальная однородность подстилающей поверхности. Применение метода экспозиционных камер также затруднительно на местности с сильно расчлененным рельефом. Из-за труднодоступности многих горных регионов измерения потоков парниковых газов традиционными методами осложнены либо невозможны. Предлагаемая в данной работе методика оценки потоков парниковых газов основана на использовании данных измерения поля концентрации на двух уровнях над поверхностью (например, с помощью БПЛА) и гидродинамической модели, позволяющей вычислять установившееся распределение концентрации над поверхностью при заданном потоке. Прямая задача состоит в решении уравнения диффузии-адвекции для концентрации парникового газа при известном пространственном распределении скорости ветра и коэффициента турбулентности для заданного потока парникового газа на некотором уровне над поверхностью. Для вычисления компонент скорости ветра и коэффициента турбулентности используется модификация разработанной ранее гидродинамической E- ω модели турбулентного переноса парниковых газов, позволяющая проводить расчеты над поверхностью со сложным рельефом. Для оценки потока используется обратная задача, заключающаяся в минимизации квадрата нормы разности измеренной и смоделированной концентрации на двух уровнях над поверхностью. Разработанная методика применена для оценки потоков углекислого газа на экспериментальной площадке Рошни-Чу, расположенной в горах Кавказа (Чеченская республика). Работа выполнена в рамках Госзадания № FZNU-2021-0012 «Комплексная интерпретация геофизических и геоэкологических данных для изучения баланса парниковых газов».

**Характеристики облаков в Арктике:
анализ данных региональных моделей Arctic-CORDEX
в сравнении со спутниковыми наблюдениями**

Нарижная А.И.¹, Чернокульский А.В.¹, Rinke A.², Мохов И.И.¹

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

²Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine, Potsdam, Germany

augustea@mail.ru

Ключевые слова: моделирование климата, климат Арктики, региональные модели, спутниковые данные, облачные характеристики

Облака играют важную роль в климатической системе Арктики, оказывая влияние на энергетический баланс и участвуя в ряде важных климатических обратных связей [1]. При этом, климатические модели, включая региональные, воспроизводят ряд облачных характеристик в Арктике недостаточно корректно [2].

В данной работе представлен сравнительный анализ характеристик облаков (балл облачности разного уровня, показатели водности и ледности) на основе данных восьми региональных моделей проекта Arctic-CORDEX [3] в сравнении со спутниковыми данными CERES [4]. Сравнение характеристик облачности по данным модельных экспериментов и по данным спутникового зондирования проводилось для широкого диапазона условий, включая различные подстилающие поверхности (открытая вода и морской лед), для различных сезонов и синоптических условий. Модели Arctic-CORDEX проанализированы с учетом их конфигурации, включая вертикальное и горизонтальное разрешение, схемы параметризации облачности.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ № No 23-47-00104).

Литература:

1. Эзау И.Н., Чернокульский А.В. Поля конвективной облачности в Атлантическом секторе Арктики: спутниковые и наземные наблюдения. ИЗК. 2015. № 2. С.49-63.
2. Kay, J. E., L'Ecuyer, T., Chepfer, H., Loeb, N., Morrison, A., & Cesana, G. (2016). Recent advances in Arctic cloud and climate research. Current Climate Change Reports, 2, 159-169.
3. <http://www.climate-cryosphere.org/activities/targeted/polar-cordex/arctic>
4. Doelling, D. R., N. G. Loeb, D. F. Keyes, M. L. Nordeen, D. Morstad, C. Nguyen, B. A. Wielicki, D. F. Young, M. Sun, 2013: Geostationary Enhanced Temporal Interpolation for CERES Flux Products, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 30(6), 1072-1090. doi: 10.1175/JTECH-D-12-00136.1.

Байесовы оценки продолжительности навигационного периода в разных частях Северного морского пути в 21 веке по расчетам с ансамблем климатических моделей

Парфенова М.Р.¹, Елисеев А.В.^{1,2,3}, Мохов И.И.^{1,2}

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

parfenova@ifaran.ru

Ключевые слова: Арктика, севморпуть, моделирование, морской лед

С использованием байесовского усреднения получены оценки продолжительности навигационного периода на разных участках Северного морского пути на основе расчетов с ансамблем климатических моделей при сценарии RCP 8.5 для 21 века [1]. Согласно полученным результатам различия воспроизведения моделями продолжительности навигационного периода и ее изменений в западной части Северного морского пути (Баренцево и Карское моря) больше, чем в восточной (море Лаптевых и Восточно-Сибирское море). Учет качества моделирования не только средних значений и трендов, но и межгодовой изменчивости при байесовском усреднении в сравнении со спутниковыми данными позволяет уменьшить межмодельные стандартные отклонения вдвое для западной части Северного морского пути и в полтора раза для восточной. Для Северного морского пути в целом по ансамблевым модельным расчетам среднее значение продолжительности навигационного периода оценено в диапазоне 3-4 месяцев для середины 21 века и около 6 месяцев к концу 21 века при сценарии RCP 8.5.

Литература:

1. Парфенова М.Р., Елисеев А.В., Мохов И.И. Изменения периода навигации на Северном морском пути в 21 веке: Байесовы оценки по расчетам с ансамблем климатических моделей // ДАН. Науки о Земле. 2022. Т. 507. № 1. С. 118-125.

Неопределенность реконструкции изменения климата в Последнем Ледовом Цикле: влияние на результаты численного моделирования

Плосков А.Н.^{1,2}, Елисеев А.В.^{1,2}, Мохов И.И.^{1,2}

¹*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

²*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

ploskovanton92@mail.ru

Ключевые слова: *изменение климата, модель ледовых щитов, ледовые щиты, ледовые циклы плейстоцена, неопределённость палеореконструкций, временные масштабы, последний ледниковый максимум, MIS3*

С модифицированной версией изотермической модели динамики ледовых щитов (ЛЩ) IceBern2D проведены численные эксперименты для последнего ледникового цикла (128 тыс. лет). Для последних $\approx 2/3$ длительности контрольного численного эксперимента, когда отсутствует влияние начальных условий интегрирования, модель удовлетворительно воспроизводит пространственное распределение ЛЩ Северного полушария и высоты их куполов, а также соответствующее изменение глобального уровня океана. При добавлении возмущений с достаточно большой амплитудой во входные данные, в модели проявляется заметная чувствительность результатов моделирования к неопределённости атмосферного воздействия на ледниковые щиты Северного полушария, в том числе для периода последнего ледникового максимума и для временного интервала 58-51 тыс. лет назад (marine isotope stage 3). Анализ этих экспериментов с исключением нереалистичного поведения характеристик ЛЩ позволяет оценить неопределённость реконструкций глобальной температуры для последнего ледникового цикла величиной около 2°C, что согласуется с имеющимися оценками, но получено независимо от них.

Наблюдаемые и прогнозируемые изменения суммы активных температур воздуха на территории России и соседних государств в XX-XXI вв.

Попова Е.Н.¹, Попов И.О.²

¹Институт географии РАН, Москва, Россия

²Институт глобального климата и экологии им. акад. Ю.А. Израэля, Москва, Россия

en_popova@mail.ru

Ключевые слова: сумма активных температур (САТ), потепление климата, статистический анализ, климатические модели, сценарные оценки, изменение агроклиматических условий

Проведены расчеты климатических значений годовой суммы активных температур воздуха (САТ) с порогом 10°C в приповерхностном слое атмосферы на территории России и соседних стран для двух временных периодов – 1991-2010 гг. и 1951-1970 гг. С помощью статистических процедур показана достоверность различий значений этих параметров для рассматриваемых периодов времени. САТ достоверно увеличилась практически на всей территории России, за исключением некоторых арктических и дальневосточных регионов. На основе ансамблевой модели климата будущего, полученной путем усреднения 31 глобальной климатической модели из проекта CMIP5, предоставленной ГГО им. А.И. Воейкова, сделаны расчетные оценки изменений САТ на территории России и сопредельных государств для умеренного сценария антропогенного воздействия на климатическую систему Земли RCP4.5. Изменения оценены для текущего 20-летнего периода (2011-2030 гг.) по сравнению с 1981-2000 гг. и для периода 2034-2053 гг. (когда увеличение среднеглобальной температуры воздуха достигнет 2°C относительно доиндустриального уровня) по сравнению с 2011-2030 гг. Отмечено статистически достоверное увеличение САТ на всей исследуемой территории в последующие периоды по сравнению с предыдущими. Полученные результаты могут быть использованы при региональном планировании возделывания сельскохозяйственных культур и проведении защитных мероприятий с учетом прогнозирования распространения и массовых вспышек размножения отдельных патогенов сельскохозяйственных растений.

Высокоразрешенная аппроксимация приповерхностного ветра над Баренцевым и Карским морями по данным WRF и GFS с применением искусственных нейронных сетей

Резвов В.Ю.^{1,2}, Криницкий М.А.^{1,2}

¹Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, Россия

²Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),

Долгопрудный, Россия

rezvov.vyu@phystech.edu

Ключевые слова: статистическое масштабирование, искусственные нейронные сети, глубокое обучение, машинное обучение, Баренцево море, Карское море, приповерхностный ветер

Точное прогнозирование приповерхностного ветра с высоким пространственным разрешением имеет множество применений, в том числе, в ветроэнергетике и изучении экстремальных погодных явлений. Одним из решений проблемы низкого разрешения и высоких затрат моделирования является статистическое масштабирование – аппроксимация физических переменных с высоким разрешением с применением статистических моделей, оптимизируемых на основе данных. В настоящем исследовании были использованы методы глубокого обучения, позволяющие аппроксимировать сложные нелинейные соотношения. В нашей работе мы изучили возможности статистического двукратного масштабирования приповерхностного ветра над Баренцевым и Карским морями. Входные данные в низком разрешении и опорные данные в высоком разрешении были представлены данными WRF и модели GFS. Мы применили несколько методов масштабирования, в том числе, бикубическую интерполяцию как опорное решение, и различные дискриминативные сверточные искусственные нейронные сети (ИНС). Кроме того, мы применили порождающую состязательную сеть, потенциально способную разрешить тонкую структуру приповерхностного ветра. Мы проанализировали производительность методов масштабирования на графическом сопроцессоре и сравнили качество результатов масштабирования с точки зрения среднеквадратичной ошибки абсолютной скорости ветра, пикового отношения сигнала к шуму и других метрик, характеризующих точность аппроксимации экстремальных ветров. Мы также оценили вычислительные затраты и качество различных методов и опорного решения для выявления преимуществ и недостатков масштабирования на основе машинного обучения.

Исследование неопределенности потоков турбулентного тепла в западном секторе Российской Арктики по данным ансамбля моделей CMIP6

Романенко В.А.^{1,2}, Семенов В.А.^{2,3}

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский вычислительный центр, Москва, Россия

²Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

³Институт географии РАН, Москва, Россия
romanenko.victor.geo@mail.ru

Ключевые слова: Западный сектор Российской Арктики, потоки турбулентного тепла, CMIP6

Западный сектор российской Арктики является ключевым регионом в высоких широтах Северного полушария, где наблюдается наиболее сильная межгодовая и междекадная изменчивость климата и, по данным моделей климата, ожидаются самые сильные изменения температуры в ближайшие десятилетия. По современным оценкам, практически все тепло, поступающее в море через западную границу с океаническим притоком, переходит в атмосферу, главным образом, посредством интенсивных потоков явного (H) и скрытого тепла (LE). Вариации нагрева атмосферы в регионе Баренцева моря существенно влияют на формирование региональных и крупномасштабных аномалий атмосферной циркуляции в средних широтах, интенсивность холодных вторжений.

В работе исследуются потоки турбулентного тепла по данным ансамбля климатических моделей проекта CMIP6 в современный период и в XXI в. с использованием сценарных экспериментов (сценарии SSP245 и SSP585). Целью исследования является выявление будущих возможных тенденций изменения региональных потоков турбулентного тепла в Арктике и поиск причин расхождений результатов моделей ансамбля CMIP6. Анализируется связь изменений потоков тепла и изменений концентрации морского льда (КМЛ) и температуры поверхности океана (ТПО), а также метеорологических параметров: температуры воздуха и скорости ветра.

Наибольшие потоки как H, так и LE, наблюдаются в зимнее время года, в период с декабря по март. В марте в течение 1980 – 2100 гг. отмечается значительный рост потока LE, который к 2100 г. увеличится в два раза по отношению к 1980 г, согласно сценарию SSP585. В сентябре рост потока LE происходит в течение всего периода исследования, и к 2100 г. его величина превысит таковую на 1980 г. в полтора раза, согласно сценарию SSP585. H, наоборот, за это время уменьшится в два раза, что связано с более быстрым ростом температуры воздуха по сравнению с ТПО. Отмечаются признаки нелинейной связи потоков H с изменениями площади льда и температуры над Баренцевым морем в марте.

Перспективы использования технологий искусственного интеллекта в задачах долгосрочного прогноза погоды и климата

Солдатенко С.А.

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия
soldatenko@aari.ru

Ключевые слова: климат, прогноз погоды, искусственный интеллект, нейронные сети, глубокое обучение

Словосочетание «искусственный интеллект» (ИИ) является одним из наиболее популярных, обсуждаемых и, вместе с тем, многозначных и противоречивых метафорических понятий, обозначающее научное направление в информатике, изучающее способы получения знаний, их компьютерного представления, преобразования и использования. Области применения ИИ широки и разнообразны. Сегодня ИИ интенсивно проникает во многие сферы человеческой деятельности, в том числе гидрометеорологическую деятельность. В экспертной среде существует устойчивое мнение и определенная уверенность в том, что ИИ может сыграть весьма значимую роль в совершенствовании методов прогнозирования состояния окружающей природной среды и повышении достоверности прогнозов погоды, глобальных и региональных изменений климата. Это мнение основывается на феноменальных достижениях ИИ в области компьютерного зрения и обработки естественного языка, обусловивших появление многочисленных разработок и публикаций, касающихся применения технологий ИИ в науках о Земле, в том числе в метеорологии и климатологии.

В докладе рассматривается вопрос о применении нейросетевых технологий глубокого обучения в задачах долгосрочного прогноза погоды и климата на территории Российской Федерации и Республики Беларусь. Приводится формулировка задачи, а также обсуждается метод и алгоритмы ее решения. Особое внимание уделено обоснованию и выбору предикторов, подаваемых на вход многослойных нейронных сетей и используемых для их обучения. Алгоритмы глубокого обучения используются для анализа метеорологических и климатических данных с целью поиска в них закономерностей и связей, т.е. для получения знаний. Хорошо «обученная» нейронная сеть используется для прогнозирования аномалий температуры и осадков. На данный момент технологии ИИ вряд ли станут полной альтернативой классическим прогностическим моделям, а могут занять достойное место лишь в качестве дополнительного инструмента прогнозирования. Основные причины этого также рассматриваются в докладе.

Нейронное прогнозирование долгосрочной интенсивности стратосферного полярного вихря

Соловьев Д.А., Зюлева Ю.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

solovev@ocean.ru

Ключевые слова: нейронное прогнозирование, долгосрочный прогноз, интенсивность циркуляции, стратосферный полярный вихрь, климатические аномалии

Полярный вихрь в стратосфере оказывает значительное влияние на климатические аномалии и погодные условия в средних широтах.

Распространяющаяся вверх энергия планетарных волн из тропосферы в стратосферу является очень неустойчивым динамическим процессом, варьирующим во времени и в пространстве. Волны большой амплитуды, как следствие циркуляции меридионального характера в тропосфере, проникающие в стратосферу, не всегда способны нарушить термодинамическое ее состояние. Результат данного взаимодействия зависит и от состояния полярного вихря, а именно от распределения характеристик скорости зонального ветра и статической устойчивости с высотой. Прогнозирование его интенсивности на долгосрочном периоде является важной задачей для современной метеорологии и климатологии. Ранние исследования прогнозирования полярного вихря использовали классические методы и модели. Однако с появлением и развитием нейронных сетей в прогнозировании погоды и климата, стали возникать новые перспективы в этой области.

Для прогнозирования интенсивности полярного вихря используется выборка данных, включающая информацию о стратосферной циркуляции и солнечной активности. Нейронные сети применяются для построения модели, способной прогнозировать долгосрочные изменения в интенсивности полярного вихря. Процесс обучения нейронной сети осуществляется на исторических данных о стратосферной циркуляции и интенсивности полярного вихря. После завершения обучения проводится анализ точности и эффективности прогнозов, а также сравнение с традиционными методами прогнозирования. Результаты исследования демонстрируют эффективность нейронного подхода в прогнозировании долгосрочной интенсивности полярного вихря. Это подчеркивает практическую значимость данного метода для улучшения долгосрочных климатических прогнозов.

Радиационное поле – компонента климатической системы Земли. Спектральное альbedo Земли – индикатор эволюции климата и планеты

Сушкевич Т.А.

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия
tamaras40@yandex.ru*

Ключевые слова: радиационное поле, альbedo земли, спутниковая климатология, радиационный климат

При геополитических сдвигах в мире глобального порядка и угрозах «ядерной» войны Указ Президента от 31.03.2023 №229 "Об утверждении Концепции внешней политики РФ" – это актуализация приоритетных направлений, целей, задач внешнеполитической деятельности. Поддержан инновационный проект «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (Расп. Прав. от 29.10.2022 №3240-р, Пост. Прав. от 14.02.2023 №217). Нарушена международная кооперация. Как в «Трех проектах» - «Атомный», «Космический», «Ракетно-ядерный щит», обязаны развивать отечественную науку. Обычно изучают климатическую систему Земли (КСЗ) из пяти природных сред: атмосфера, океан, криосфера, суша, биосфера. Е.С. Кузнецов, М.И. Вернадский, М.И. Будыко, К.Я. Кондратьев, Г.И. Марчук, Г.В. Розенберг, Т.А. Сушкевич и др. особо выделяют «радиационный режим» КСЗ. Электромагнитное излучение – неотъемлемая компонента мироздания Вселенной и «радиационное поле Земли» – «нематериальная» компонента КСЗ. Для обоснования создания космической отрасли в СССР М.В. Келдыш, как государственный деятель, в 1955 г. выделил две главные задачи: наблюдение Земли и разведка. Сейчас шире – космическая связь и космическая передача цифровых данных. В 1971 и 1983 гг. К.Я. Кондратьев сформулировал концепцию «спутниковой климатологии» для исследования глобальных процессов в КСЗ и содействовал организации международной системы космического мониторинга Земли [1-3]. После распада СССР эти работы остановлены. Роскосмос реализует проект многофункциональной космической системы «Сфера». Необходимо в проект «Сфера» включить космические климатические исследования и создать Центр климата с базами для data reanalysis многолетних наблюдений. В СССР создан масштабный уникальный фундаментальный научный и практический технологический потенциал – основа для реанимации «спутниковой климатологии». Огромные размеры России с всевозможными погодно-климатическими и разными природными регионами позволяют возглавить «спутниковую климатологию» в мире.

Литература:

1. Кондратьев К. Я. Спутниковая климатология. Л.: Гидрометеиздат. 1971. 64 с.
2. Кондратьев К. Я. Спутниковая климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 263 с.
3. Кондратьев К. Я. Возможности получения информации о параметрах климата по данным американских спутников оперативного назначения. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. № 07. С. 744-750.

Инициализация модели Земной системы ИВМ РАН полными полями в ретроспективных долгосрочных прогнозах аномалий климата

Тарасевич М.А.^{1,2,3,4}, Володин Е.М.^{1,3,4}

¹Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия

²Московский центр фундаментальной и прикладной математики, Москва, Россия

³Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия

⁴Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),

Долгопрудный, Россия

mashatarasevich@gmail.com

Ключевые слова: ретроспективные сезонные прогнозы, инициализация полными полями, модель Земной системы ИВМ РАН, INMCM5, коэффициент корреляции аномалий

В рамках настоящей работы исследуется влияние способа инициализации модели Земной системы ИВМ РАН (INMCM5) на качество ретроспективных сезонных прогнозов. Для выполнения исследования в развивающуюся систему долгосрочного прогноза на основе INMCM5 был добавлен способ инициализации моделей общей циркуляции атмосферы и океана полными полями. Для построения начальных состояний атмосферы и деятельного слоя суши используется реанализ ERA5 [1], океана и морского льда — SODA3.4.2 [2]. С подготовленных начальных данных выполнены серии ретроспективных прогнозов на различные сезоны 1993/1994–2009/2010 гг. Размер ансамбля составляет 20 членов.

Результаты ретроспективных сезонных прогнозов МЗС ИВМ РАН, полученных с использованием инициализации полными полями, сравниваются с результатами расчётов INMCM5, инициализированных в терминах аномалий, а также, мультимодельного ансамбля WMO. Для верификации результатов серий ретроспективных прогнозов INMCM5 используется пространственное распределение коэффициента временной корреляции аномалий для приземной температуры воздуха и давления на уровне моря. В качестве наблюдений используются данные реанализа ERA5. Перед вычислением коэффициентов корреляции данные климатической модели ИВМ РАН и реанализа ERA5 интерполируются на регулярную широтно-долготную сетку $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, общепринятую для верификации долгосрочных прогнозов.

Работа выполнена в Институте вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской Академии Наук при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ № 22-17-00247, инициализация INMCM5 полными полями) и Московского центра фундаментальной и прикладной математики в ИВМ РАН (соглашение с Минобрнауки России № 075-15-2022-286, анализ результатов серий ретроспективных сезонных прогнозов). Расчёт серий ретроспективных сезонных прогнозов климатической модели ИВМ РАН выполнен на 1600 ядрах вычислительной системы Cray XC40-LC Главного вычислительного центра Гидрометцентра России.

Литература:

1. Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., et al.: The ERA5 global reanalysis, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2020, V. 146, N. 730, pp. 1999–2049.
2. Carton, J. A., Chepurin, G. A., Chen, L. SODA3: A New Ocean Climate Reanalysis, Journal of Climate, 2018, V. 31, N. 17, pp. 6967–6983.

Проблемы параметризации радиационного блока физико-математической модели климата ИВМ РАН и возможности их решения

Федоров В.М.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
fedorov.msu@mail.ru*

Ключевые слова: *моделирование климата, физико-математические модели, радиационный блок*

Солнечная радиация является основным источником тепла на Земле. В связи с этим содержание радиационного блока имеет базовое значение в архитектуре всех климатических моделей, поскольку он отражает основной входящий энергетический сигнал в моделируемую природную систему и ее компоненты.

В ИВМ РАН разработана совместная модель общей циркуляции атмосферы и океана (INMCM – Institute of Numerical Mathematic Climate Model) (Дымников и др., 2015). «В модель включены суточный и сезонный ход высоты Солнца» (Галин, 1998, с. 380; Дианский, 2012, с. 228). Иными словами, в радиационном блоке этой модели в настоящее время учитываются только суточные и сезонные вариации солнечной радиации и не учитываются ее межгодовые и многолетние (вековые и периодические) изменения. При этом существуют реальные возможности их учета (Федоров, 2018).

Без учета многолетних изменений облучения для определенной географической широты на одно и то же время (одинаковый часовой угол) в один и тот же день (одинаковая геоцентрическая долгота Солнца), через 10, 20, 100, 1000 лет входящий энергетический сигнал в модели ИВМ РАН будет равен одной и той же величине. В связи с упрощенной параметризацией солнечной радиации реконструкция и прогнозирование многолетних изменений климата представляется весьма условным.

Для решения проблемы необходима модернизация радиационного блока, включающая полученные расчетными методами с высоким пространственным и временным разрешением значения инсоляции на ВГА (Федоров, Костин, 2020). Кроме того, следует учитывать рассчитанные значения солярных характеристик, регулирующих меридиональный и межполушарный перенос радиационного тепла, а также перенос в системе океан – атмосфера (Федоров, 2021).

Физико-математические модели климата – это высокотехнологичный и необходимый инструмент научных исследований. Совершенствование моделей базируется на выявлении проблем в моделировании и их решении.

Моделирование процесса переноса газовых загрязняющих примесей в городских условиях

Чекина В.Н.¹, Мухартова Ю.В.¹, Мортиков Е.В.², Дебольский А.В.²

¹Физический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский вычислительный центр, Москва, Россия
lera_chekina2002@mail.ru

Ключевые слова: коэффициент турбулентной диффузии, вертикальный перенос примеси, вихреразрешающая модель

В связи с ростом антропогенной нагрузки на атмосферу и ее связью с климатическими изменениями, задачи моделирования процессов распространения атмосферных примесей являются весьма актуальными.

Одна из целей данной работы – разработка и верификация химического блока, описывающего поведение основных атмосферных примесей для дальнейшего включения в вихреразрешающую модель. В качестве таких примесей рассмотрены оксиды азота ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$).

За основу была взята неорганическая часть механизма RACM [1], из которой были выбраны основные реакции, оказывающие влияние на концентрацию NO_x . Для верификации химического блока использованы данные замеров концентраций NO_x на 4х уровнях на Останкинской телебашне.

Одна из вспомогательных задач в данной работе – моделирование коэффициента турбулентного обмена (К) путем решения обратной задачи вертикального переноса оксида углерода (СО) с использованием данных измерений высотного профиля концентраций на Останкинской телебашне. Основная мотивация такой постановки – идея воспользоваться данными локальных измерений для нахождения коэффициента К. В отличие от похожей задачи [2], была предпринята попытка восстановления динамически изменяющегося коэффициента $K(z,t)$ в утренние часы (6:00 – 12:00). Искомый коэффициент необходим для дальнейшего моделирования процесса вертикального переноса примесей. Было проведено сравнение найденного коэффициента со значениями, получаемыми с помощью Е-ε модели турбулентного движения воздуха в АПС, реализованной в НИВЦ МГУ. Результаты хорошо согласовались для промежутка времени, на котором может быть решена обратная задача, получено хорошее согласование модельных результатов с экспериментальными для вертикального профиля концентрации СО.

Расчет вертикальных профилей NO_x без химического блока дал превышение модельными результатами экспериментальных. Анализ системы реакций модели RACM позволил выбрать основные неорганические реакции для NO_x , добавление химического блока позволило уменьшить это расхождение.

Литература:

1. Stockwell W.R., Kirchner F., Kuhn M. A new mechanism for regional atmospheric chemistry modeling // Journal of Geophysical research, 102, D22, 25847-25879, 1997.
2. Давыдова М.А., Еланский Н.Ф., Захарова С.А. О новом подходе к задаче восстановления вертикального коэффициента турбулентной диффузии в пограничном слое атмосферы // Доклады Академии наук, 490, №2, 51-56, 2020.

Внедрение новой параметризации землепользования в климатическую модель ИВМ РАН

Черненко А.Ю.^{1,2}, Володин Е.М.¹

¹*Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия*

²*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),*

Долгопрудный, Россия

chernenkova197@gmail.com

Ключевые слова: климат, климатическая модель, цикл углерода, землепользование

Одно из применений глобальных моделей климата — это оценка антропогенных воздействий на Земную систему. Изменение характера землепользования (например, вырубка лесов, пожары, антропогенная деятельность) влияет на циклы воды, углерода и азота, поэтому является одним из ключевых факторов при моделировании климата.

За основу в данной работе взята перспективная версия климатической модели ИВМ РАН INMCM60 [1]. Исходное землепользование в модели представлено 13 типами растительности с постоянным пространственным распределением. На основании базы данных о землепользовании проекта Land-Use Harmonization 2 (LUN2) [2] был сформирован новый набор из 19 типов растительности. В новой версии возделываемые территории разделены в зависимости от типов произрастающих культур (однолетние или многолетние, C3 или C4, или азотфиксирующие), а также учитываются пастбища. Кроме того, были обновлены данные о занятых площадях для других типов растительности, сохранившихся из старого набора. База LUN2 предоставляет исторические данные (850 — 2015 гг.), а также 8 различных сценариев будущего (до 2100 г.), подготовленные в рамках проекта CMIP6 [3].

Обновленная база землепользования с 19 типами растительности и с изменяющимся во времени их пространственным распределением была внедрена в климатическую модель ИВМ РАН. Проведены вычислительные эксперименты с моделью с новой и старой версиями землепользования на срок с 1850 по 2015 гг.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ №20-17-00190).

Литература:

1. Володин Е. Воспроизведение современного климата моделью климатической системы INMCM60. Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2023, Т.59, N1, с 19-26..
2. Hurr G. C. et al. Harmonization of global land use change and management for the period 850–2100 (LUN2) for CMIP6, Geosci. Model Dev., 13, 5425–5464, 2020.
3. Eyring, V. et al. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization, Geosci. Model Dev., 9 (5), 1937–1958.

Методы анализа и прогноза среднегодовых температурных рядов метеостанций

Яхрюшин В.Н.

Научно-производственное объединение "Тайфун", Обнинск, Россия

valera@rpatyphoon.ru

Ключевые слова: : глобальные изменения климата, EMD метод, прогностическая модель, локальный прогноз, циклы

В докладе приводится анализ данных температурных рядов с 208 метеостанций. Для разложение температурного ряда используется EMD - метод (разложения на эмпирические моды. Эмпирические моды (ЭМ) – это монокомпонентные составляющие сигнала, которые вместо постоянной амплитуды и частоты, как в простой гармонике, имеют меняющуюся во времени амплитуду и частоту. У каждой станции возьмем 100 лет наблюдений среднегодовой температуры, начиная с 1900 по 2000 гг. Выбранные температурные ряды данных разложим с применением EMD метода и от каждой станции возьмем для дальнейшего анализа ЭМ с наибольшим номером, которая определяет медленно меняющийся тренд. Далее, для каждой отобранной ЭМ посредством регрессионного анализа построим оценку линейного тренда. Теперь мы весь набор метеорологических станций можем разделить на три множества: первое – это станции, где наблюдается рост температуры за последнее столетие, второе – уменьшение среднегодовой температуры и третье, в тех случаях, где значение b_1 близко к 0, среднегодовая температура практически не менялась. Такая непростая картина изменения среднегодовых температур на метеостанциях отмечается другими исследователями.

Определим по полученным данным рост температуры за столетний период, который можно оценить в $0.65\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На следующем этапе выделяем 3 станции имеющие самые длинные ряды наблюдений. По выделенным составляющим сделаем прогностические оценки повышения температуры на этих станциях к 2030 году и осторожные оценки к 2100 году.

Литература:

1. Вайцзеккер Э., Ловинс Э., Ловинс Л. Фактор четыре (затрат половина, отдача двойная). М.: Academia, 2000. 400 с.
2. Zhang, Yi Ge; et al. (28 October 2013). "A 40-million-year history of atmospheric CO₂". Philosophical Transactions of the Royal Society A. 371 (2013): 20130096.DOI:10.1098/rsta.2013.0096. PMID 24043869.
3. Farand C. Dioxide levels in Earth's atmosphere reach highest level in 800,000 years // The Independent. 2018-05-05.

Применение модельного реанализа для информационного обеспечения мероприятий по адаптации к изменению климата в районах распространения многолетнемерзлых грунтов

Анисимов О.А.^{1,2}, Пилогина П.², Черников Т.³, Зайцев А.², Булкин А.², Бурнаев Е.², Белалов И.⁴, Максимов Ю.²

¹*Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия*

²*Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия*

³*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Долгопрудный, Россия*

⁴*Центр биотехнологий РАН, Москва, Россия
anisimov.travel@gmail.com*

Ключевые слова: *многолетнемерзлые грунты, реанализ, моделирование, машинное обучение*

Многолетнемерзлые грунты (ММГ) распространены более чем на 60% территории России. Их деградация ведет к многочисленным неблагоприятным социально-экономическим последствиям. Для оптимизации мер по адаптации необходимы прогнозы двух основных параметров, температуры ММГ и мощности сезонно-талого слоя (СТС), которые могут быть получены посредством модельного реанализа, аналогично тому, как это делается с атмосферными параметрами. Основу реанализа составляет математическое моделирование. Задача осложнена тем, что математически сложные высокоинформативные модели ММГ содержат множество неизвестных параметров, что затрудняет их практическое применение. Упрощенные статистические модели в большей или меньшей степени требуют калибровки по данным наблюдений, которые весьма немногочисленны и не охватывают все многообразие мерзлотных, почвенных и биоклиматических условий. В данной работе рассматривается новый гибридный подход, сочетающий традиционную физико-математическую модель ММГ промежуточной сложности (модель В.А. Кудрявцева) и методы машинного обучения.

Расчеты по традиционной модели Кудрявцева используются совместно с данными наблюдений для увеличения обучающей выборки машинного алгоритма. Выборка данных о мощности СТС, измеренных в период 1990-2020, составила 2729 наблюдений, о температуре грунта – 961 наблюдение, для обучения алгоритма использовались данные за период до 2013 г. Сравнение расчетов с наблюдениями показало, что применение гибридной модели уменьшает среднеквадратичную ошибку параметров ММГ в среднем на 20% по сравнению с моделью Кудрявцева.

Экономические последствия деградации многолетней мерзлоты для береговой зоны Российской Арктики

Бадина С.В.

*Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия*

bad412@yandex.ru

Ключевые слова: *многолетняя мерзлота, риски климатических изменений, экономический ущерб, Арктическая зона Российской Федерации*

Для обоснования необходимости развития системы государственного мониторинга многолетней мерзлоты в Российской Федерации была поставлена задача оценить вероятный ущерб от ее деградации в Арктической зоне при различных сценариях геоэкологических изменений. В целях прогнозирования ущерба от таяния многолетней мерзлоты автором разработаны методики, позволяющие оценить стоимость жилищного фонда, а также недвижимой части основных фондов по отраслям экономики в разрезе муниципальных образований Арктической зоны РФ.

Интеграция полученных значений в прогнозы изменения геоэкологических условий до 2050 г. показала, что сумма вероятного ущерба составляет около 5 трлн рублей (усредненный сценарий). Однако при реализации наиболее пессимистического сценария совокупный ущерб до 2050 г. может превысить 9 трлн рублей. Максимальный уровень риска характерен для муниципальных образований Ямало-Ненецкого автономного округа, где ущерб при сценарии умеренного потепления оценен в 500 млрд рублей.

В прибрежной зоне оценка последствий таяния многолетней мерзлоты имеет свою специфику. Например, большая часть береговой линии Карского и Печорского морей сложена мерзлыми грунтами с включениями подземного льда. В связи с этим прибрежная зона весьма чувствительна к изменению климата и его экономическим последствиям. С использованием расчетной кадастровой стоимости земли и прогнозных значений площади возможной потери территории вследствие береговой термоабразии, а также стоимости транспортной инфраструктуры в зоне риска оценен возможный экономический ущерб до 2050 г. Исследование показало, что потенциальный ущерб от отступления береговой линии на рассматриваемой территории в связи с изменением климата до 2050 г. (при сохранении текущих тенденций потепления климата) может составить от 1,5 млн долларов на неосвоенных территориях из-за физической утраты земель, до 8 млн долларов в районах, где присутствует инфраструктура.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ, проект 22-17-00097

О потенциальной угрозе воспроизводству каспийского тюленя (*Pusa caspica* Gmelin, 1788) из-за потепления климата

Баймуканов М.Т., Рыскулов С.Е., Сейткожина Д.А., Сиражитдинова М.К.
Учреждение «Институт гидробиологии и экологии», Алматы, Казахстан
d_seytkozshina@ihe.kz

Ключевые слова: Каспийское море, каспийский тюлень, ледовый покров, температурный режим

Каспийский тюлень – единственное млекопитающее, эндемик Каспийского моря. Включен в Красный список МСОП как вид, находящийся под угрозой исчезновения. Занесен в Перечень редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных Казахстана. Аналогичный статус вид имеет и в других прикаспийских странах.

Тюлень относится к пагофильной группе животных и условия его размножения, спаривания и линьки во многом определяются состоянием ледового покрова в северной части Каспийского моря. Ввиду этого, возможные нарушения ледового режима Северного Каспия из-за глобального потепления климата потенциально несут угрозу существованию вида. Сравнительный анализ температурного режима атмосферного воздуха за зимы с 2015 по 2022 и более ранние годы показал, что повторяемость теплых зим участилась, следовательно, и состояние ледового покрова в Северном Каспии ухудшилось. Так, за период исследований 2015–2022 гг. теплые для размножения каспийского тюленя зимы повторились через 3 года – зимой 2015-2016 гг., а затем в 2019-2020 гг., и снова повторились через 1 год в зимний период 2021-2022 гг.

Суровость зим прямо влияет на ледовый покров, а именно на площадь и продолжительность ледового периода. Площадь ледового покрова и период ледостава в мягкие зимние периоды отличается более низкими показателями в сравнении с умеренными. Средний процент покрытия льдом Северного Каспия в мягкие зимы варьировал от 22,11% до 31,36%, когда как в умеренные - от 36,86% до 56,21%. Продолжительность периода ледостава в мягкие зимы длилась от 82 до 105 дней, когда как в умеренные - от 124 до 136 дней.

Изложенное влияет на распределение, поведение тюленей в зимний период, критически неблагоприятно для размножения и воспроизводства тюленей, выживания новорожденных щенят, повышая их смертность.

Социально-экономические последствия климатических изменений для территории Пермского края

Белик Е.С., Рудакова Л.В., Сурков А.А., Ташкинова И.Н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия
zhdanova-08@mail.ru

Ключевые слова: изменение климата, экономика региона, социальные показатели, региональная адаптация

Климатические условия напрямую влияют на функционирование инфраструктуры, социальных объектов, а также объектов экономики региона. Территория Пермского края относится к регионам высокого риска возникновения природных и техногенных чрезвычайных ситуаций и при наличии значимых климатических изменений риски территории возрастают.

По результатам исследований в Пермском крае установлено увеличение среднегодовой температуры воздуха (до 4°C) и рост количества осадков (преимущественно в летний период) с 1966 по 2022 гг. Наиболее вероятные природные ЧС на территории Пермского края: аномальная жара или холод, смерчи, наводнения, карстовые провалы, лесные и торфяные пожары.

Определены потенциальные риски для секторов экономики и социальной сферы, связанные с воздействием опасных природных явлений. Отрасли экономики Пермского края, несущие основной ущерб от воздействия погодно-климатических изменений: сельское хозяйство, ЖКХ, электроэнергетика, транспорт, лесное хозяйство, добывающая и перерабатывающая промышленности.

По результатам оценки риска для населения, к основным группам риска, чувствительным к климатическим изменениям отнесены люди с сердечно-сосудистыми и респираторными заболеваниями, сахарным диабетом. Также для Пермского края характерно повышение заболеваемости клещевым энцефалитом и клещевым боррелиозом. Наблюдаемая климатическая динамика является фактором положительно влияющем на распространение некоторых видов беспозвоночных - переносчиков опасных трансмиссивных заболеваний, быстро распространяющихся вредителей леса.

В Пермском крае проходит доработку и оценку региональный план климатической адаптации, который позволит максимально сократить социально-экономические последствия для региона. На основе анализа полученных данных утвержден перечень наиболее значимых объектов экономики и социальной сферы, подверженных погодно-климатическому воздействию, требующих наибольшего внимания.

Учет биоклиматических факторов при оценке потребности теплоснабжения больших городов России

Белова И.Н.¹, Гинзбург А.С.¹, Докукин С.А.^{1,2}, Фалалеева В.А.¹

¹*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

²*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

iya@ifaran.ru

Ключевые слова: HDD, PET, биоклиматические индексы

Наблюдаемые и прогнозируемые изменения климата существенно влияют на текущее и планируемое потребление энергии на отопление и кондиционирование воздуха в жилых, производственных, торговых и офисных помещениях. При оценке энергетических потребностей для обеспечения достойного качества жизни городского населения необходимо учитывать не только температурный режим городской атмосферы, но также влажность воздуха и скорость ветра. В некоторой степени это учитывается в строительных сводах правил (см. СП 131.13330.2020 Строительная климатология [1]). Однако биоклиматические индексы более полно учитывают основные метеорологические факторы.

Наиболее распространенными климатическими показателями потребления энергии на обогрев помещений являются характеристики дефицита тепла, обычно называемые градус-сутками отопительного сезона (heating degree days – HDD) [2, 3], которые рассчитываются для определенного периода года путём суммирования абсолютных отклонений средней суточной температуры воздуха от выбранной базовой температуры.

В докладе сравниваются результаты расчета градус-суток отопительного сезона на основе данных о температуре приземного воздуха с использованием базы данных индексов термического комфорта [4] для больших городов России (Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Владивосток, Краснодар), расположенных в различных климатических зонах России.

Показано, что обеспечение термического комфорта горожан с учетом ветровых и влажностных характеристик приземного воздуха требует более эластичного регулирования городской системы теплоснабжения.

Литература:

1. СП 131.13330.2020 Строительная климатология
2. Гинзбург А.С., Решетарь О.А., Белова И.Н. 2016. Влияние климатических факторов на энергопотребление в отопительный сезон // Теплоэнергетика, 9, с. 20–27.
3. Belova I.N. et al 2018 Energy Procedia 149 373-379
4. Konstantinov P.I. et al. NorthEurasian thermal comfort indices dataset (NETCID): New gridded database for the biometeorological studies // Environ. Res. Lett. 2022. 17 085006

VS-CAMBIUM-DEVELOPER: прогнозный подход к моделированию функционирования камбиальной зоны хвойных под влиянием факторов окружающей среды

Белоусова Д.А., Шишов В.В., Попкова М.И.

Сибирский Федеральный Университет, Красноярск, Россия
daryadarya1611@gmail.com

Ключевые слова: камбиальная активность, прогнозное моделирование, деление клеток, модель Ваганова-Шапкина, лиственница сибирская

Годичные кольца древесных растений формируются в условиях меняющегося климата планеты и являются результатом адаптации деревьев к воздействию стрессовых факторов окружающей среды. Камбиальные клетки годичных колец имеют уникальную структуру, формирующуюся под влиянием как внутренних биохимических процессов, так и факторов внешней среды. Имитационные модели роста годичных колец деревьев являются точным инструментом исследования и анализа этих взаимосвязей. Нами разработана новая версия модели камбиальной активности хвойных VS-Cambium-Developer, являющаяся прогнозной и не требующая ежегодной ручной калибровки параметров. Модель может быть применима как для автоматической долгосрочной реконструкции, так и для прогноза развития камбиальной зоны. Для каждого года модель рассчитывает клеточную продукцию и моделирует динамику развития радиального ряда в течение вегетационного периода. Алгоритм реализован на языке программирования R и может быть легко адаптирован к онлайн-платформе vs-genn. Динамика роста камбиальной зоны в сезоне рассчитывается с точностью до сотых долей суток. Модель была протестирована на косвенных наблюдениях за функционированием камбия у лиственницы сибирской *Larix Sibirica* в Южной Сибири (Биджа, Хакассия), а именно на измеренной сезонной продукции клеток с 1963 по 2011 год. В результате эксперимента было показано, что внешние условия обеспечивают более 50% вариации клеточной продукции.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект РНФ 22-14-00048) и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FSRZ-2023-0007).

О последствиях климатических изменений Терско-Кумской низменности

Биарсланов А.Б.¹, Шинкаренко С.С.², Гаджиев И.Р.¹

¹Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия

²Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

axa73@mail.ru

Ключевые слова: Терско-Кумская, дистанционное зондирование, опустынивание, мониторинг, деградация ландшафтов

Работа посвящена мониторингу и анализу сезонной динамики опустынивания (открытых песков и котловин выдувания) Терско-Кумской низменности, расположенной в северной части Республики Дагестан. В работе использованы ежемесячные композиты Sentinel-2 второго уровня обработки с отфильтрованной облачностью и радиометрической нормализацией в рамках за период с 2019 по 2022 г., доступные в системе «Вега-Science» на базе центра коллективного пользования ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Для идентификации опустынивания использовалась классификация с обучением по одному классу, опорная выборка формировалась на основе экспертного дешифрирования и наземных данных. Установлено, что площадь опустынивания в течение года может существенно изменяться (от двух до десяти раз) в зависимости от пастбищных нагрузок, гидротермических условий и ветрового режима. Большая часть существующих исследований многолетней динамики опустынивания не учитывает этот сезонный аспект изменения площадей открытых песков и котловин выдувания, что может приводить к некорректным выводам. Наличие ежемесячных безоблачных композитов спутниковых данных позволяет отслеживать динамику как минимальных, так и максимальных за вегетационный сезон площадей опустынивания. Полученные результаты могут использоваться для оптимизации пастбищных нагрузок и разработки фитомелиоративных мероприятий в регионе.

Экологические последствия изменения климата в Мурманской области

Боровичев Е.А.^{1,2}, Кожин М.Н.^{1,2}, Химич Ю.Р.²

¹Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина ФИЦ "Кольский научный центр РАН", Кировск, Россия

²Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия

borovichyok@mail.ru

Ключевые слова: Мурманская область, изменение климата, биоразнообразие, инвазивные виды, изменение структуры растительных сообществ

В Мурманской области расположены крупные предприятия минерально-сырьевого комплекса, идет добыча медно-никелевых и железных руд, нефелинового и керамического сырья, облицовочного камня и строительных материалов. Предприятия горнопромышленного комплекса являются градообразующими для городов и поселков, в которых проживает треть населения области, а их продукция представляет свыше 60% промышленного производства региона [1,2]. Их деятельность, с одной стороны, обеспечивает высокий уровень социально-экономического развития региона, а с другой — оказывает негативное воздействие на природные экосистемы. Происходящие климатические изменения синергетически накладываются на последствия хозяйственной деятельности.

В докладе представлены результаты многолетних исследований по оценке последствия современных климатических изменений и промышленного освоения на фитообразии Мурманской области. Эти изменения проиллюстрированы несколькими примерами: изменением площади лесов, таянием многолетней мерзлоты, сокращением оленьих пастбищ, появлением трансформированных ландшафтов с нарушенным или полностью уничтоженным растительным покровом в окрестностях крупных промышленных предприятий и городов, изменением состава флоры и грибной биоты и появлением адвентивных и инвазивных видов, которые угрожают естественным сообществам.

Работа выполнена в рамках выполнения государственных заданий ПАБСИ КНЦ РАН и ФИЦ КНЦ РАН.

Литература:

1. Природа и коренное население Арктики под влиянием изменения климата и индустриального освоения: Мурманская область / под ред. Е. А. Боровичёва и Н. В. Вронского. Москва: Изд. Дом «Графит». 2020. 180 с.
2. Маслобоев В. А., Ключникова Е. М., Боровичев Е. А., Ненашева М. В., Попов А. И. Экологический отчет о результатах стратегической оценки воздействия на окружающую среду российской программной территории ППС «Коларктик» на период 2021–2027 гг. Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2022. 74 с

Нивелирование климатических рисков в землепользовании путем оптимизации агрономических решений

Васильева Н.А.¹, Владимиров А.А.^{1,2}, Перевертин К.А.³

¹ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, Россия

²Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

³Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

nadezda.vasilyeva@gmail.com

Ключевые слова: проектирование систем земледелия, оптимизация, погодные риски, моделирование

Погодные явления в растениеводстве являются одной из основных причин снижения урожая. Все виды и даже сорта растений имеют различную ценность, а также различную устойчивость к таким экстремальным погодным явлениям как заморозки и засухи (в том числе на различных фазах своего развития). Нивелировать такие риски можно путем, например, корректировки сроков высева, а также расчета соотношения посевных площадей различных сельскохозяйственных культур согласно выбранной стратегии, основанной на статистике и прогнозе погодных рисков. При выборе культур в сельскохозяйственном предприятии одновременно налаживается специфическая инфраструктура по обработке и переработке сырья. Поэтому существует необходимость экономически целесообразного планирования системы земледелия в средне и долгосрочном периодах. В настоящей работе предлагается способ технологической минимизации погодных рисков для региональных регистров агротехнологий. Данный способ включает в себя алгоритм многопараметрической оптимизации сортимента и площадей возделываемых культур для минимизации погодных рисков с учетом исторических и прогнозируемых климатических рисков, а также экономических параметров эффективности сельскохозяйственного производства. Для каждой рассматриваемой культуры алгоритм вычисляет выживаемость в прогнозируемых условиях и составляется прогноз многолетнего тренда целесообразности выращивания рассматриваемой культуры в севооборотах.

Климатические предпосылки изменений границ ландшафтных зон равнин России

Виноградова В.В.^{1,2}, Титкова Т.Б.¹

¹Институт географии РАН, Москва, Россия

²Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”, Москва, Россия
vvvinog@yandex.ru

Ключевые слова: ландшафты, изменения климата, теплообеспеченность, увлажнение

Глобальное потепление с различной степенью интенсивности проявляется в изменении ландшафтов равнин России. Продуктивность, биомасса и границы распространения растительности меняются в соответствии с динамикой теплообеспеченности и увлажнения. Последствием глобального потепления может быть смещение границ ландшафтных зон [1, 2].

В работе оцениваются изменения климатических характеристик ареалов природных ландшафтов равнин России, произошедших в результате интенсивного глобального потепления, которые могут создать предпосылки возможных изменений в ландшафтных зонах.

Исследования проводились на Европейской части России (ЕТР) и Западной Сибири (ЗС) от арктических до полупустынных ландшафтов. Использованы данные по 266 метеостанциям на территории России, расположенным на ЕТР и в ЗС (<http://meteo.ru/>) за 2000–2022 гг. Рассматривались климатические характеристики: среднегодовая температура, температура января и июля, минимальная температура, сумма температур больше 10 °С, сумма годовых осадков, коэффициент увлажнения.

В лесотундровой зоне Севера России наблюдается положительный тренд суммы активных температур и отрицательный тренд осадков. Коэффициент увлажнения уменьшается. Климатические условия на ряде участков тундры, лесотундры и северной тайги изменяются и теперь соответствуют более южным ландшафтным зонам, что создаёт благоприятные условия для изменения растительности и может привести к смещению границ ландшафтных зон в более высокие широты.

В южной равнинной части России наблюдается увеличение минимальных температур, значительный рост суммы температур больше 10°С и иссушение территории, что может привести к расширению зоны степей, сухих степей и полупустынь.

Работа подготовлена в рамках госзадания РАН АААА-А19-119022190173–2 (FMGE-2019-0009) и гранта, предоставленного Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (№ соглашения о предоставлении гранта: 075-15-2022-325).

Литература:

1. Титкова Т.Б., Виноградова В.В. Изменения климата в переходных природных зонах севера России и их проявление в спектральных характеристиках ландшафтов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 5. С. 310–323.
2. Vinogradova V., Titkova T., Zolotokrylin A. How climate change is affecting the transitional natural zones of the Northern and Arctic regions of Russia // Polar Science 2021. 29, 100652. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polar.2021.100652>

Трансформация природной среды Западного Тянь-Шаня в условиях климатических изменений (на примере Аксу-Джабаглинского заповедника)

Вьюшкова И.В., Климанова О.А.

*Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия
oxkl@yandex.ru*

Ключевые слова: Западный Тянь-Шань, геоданные, деградация оледенения, архевники, ландшафтно-климатические зоны

Наряду с данными моделирования климата для корректировки региональных климатических прогнозов и разработки мер по адаптации также важны данные точечного мониторинга природной среды в заповедниках. Они позволяют достаточно корректно выявить тенденции изменения природных компонентов без учета воздействия антропогенного фактора. Исследование проводилось в Аксу-Джабаглинском заповеднике – старейшем в Казахстане и входящем в состав объекта Всемирного природного и культурного наследия ЮНЕСКО «Западный Тянь-Шань». На компактной (131 тыс. га) территории представлено пять ландшафтно-климатических зон, что позволяет, как выявить изменения для каждой из них, так и проследить взаимосвязь этих изменений в пространстве. Целью работ стало выявление на основе фондовых данных заповедника, полевых наблюдений и геопространственных данных долгосрочных тенденций изменения компонентов природного комплекса заповедника, прежде всего, ареалов современного оледенения и типов растительности.

Выявлено, что по метеорологическим данным на исследуемой территории не подтверждается тренд на усиление континентальности из-за понижения летних температур. Ход температуры за семидесятилетний период демонстрирует тренд на похолодание, наиболее заметный в летнее время. Ледники как индикаторный компонент природной среды в пределах показывают быструю реакцию на климатические изменения. Особенно четко прослеживается корреляция с изменением хода осадков, как основного источника питания. Деградация ледников наблюдалась в пределах всех горных хребтов, минимальное сокращение площади ледников характерно для хребтов Алатау и Бугультор. Повышение значений NDVI отмечено во всех ландшафтно-климатических поясах, за исключением высокогорного нивального. Отмечено постепенное поднятие пояса архевников, однако эти данные нуждаются в дополнительном обосновании из-за невозможности исключения влияния на распространение арчи фактора эпизодического выпаса и особенностей литологического состава пород.

О вкладе климатической флуктуации в усиление антропогенного фактора деградации почвенного покрова (на примере Северного Дагестана)

Гасанова З.У.

Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия
zgasanova@list.ru

Ключевые слова: климатическая флуктуация, динамика песков, перевыпас

По литературным данным и уже сложившимся стереотипам антропогенный фактор является одной из главных причин повышенной деградации почвенного покрова, что в свою очередь делает более интенсивным глобальное потепление.

Сопоставление климатических данных, динамики площадей песков, состояния растительного покрова пастбищ в Северном Дагестане выявили уже вклад самого климата в усиление антропогенного фактора деградации почвенного покрова: климатическая флуктуация в сторону увлажнения, имеющая место с 1998 г. по 2013 г. способствовала перевыпасу мелким рогатым скотом и деградации почвенного покрова за счет роста площадей открытых песков.

Изменение климата и угрозы водной безопасности в России

Гельфан А.Н.^{1,2}, Фролова Н.Л.²

¹*Институт водных проблем РАН, Москва, Россия*

²*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

hydrowpi@mail.ru

Ключевые слова: *изменение климата, гидрологические системы суши, водный дефицит, наводнения, засухи, водная безопасность, адаптация*

Рассмотрены методические проблемы оценки гидрологических последствий происходящих и прогнозируемых изменений климата, и дана информация о связанных с этими изменениями угрозах водной безопасности: углублении дефицита водных ресурсов, увеличении риска наводнений, ухудшении качества вод и экологического состояния водных объектов. Обсуждаются природные и социально-экономические аспекты и количественные индексы водной безопасности. Представлены оценки изменений характеристик среднего, максимального и минимального стока рек России в последние десятилетия, и даны прогнозы возможных изменений речного стока в 21 веке, рассчитанных на основе региональных гидрологических моделей. Рассмотрено влияние изменений водного режима рек на региональные показатели водной безопасности, включая обеспеченность водными ресурсами, повторяемость гидрологических засух и наводнений, гидроэнергетический потенциал и др. Затрагиваются вопросы целесообразности адаптации существующих правил управления водными ресурсами и риском наводнений к климатообусловленным гидрологическим рискам.

Влияние изменения скорости ветра на продолжительность периода термического комфорта

Гинзбург А.С.¹, Белова И.Н.¹, Докукин С.А.^{2,1}, Фалалеева В.А.¹

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
gin@ifaran.ru

Ключевые слова: термический комфорт, температура и влажность воздуха, ветер, города

В условиях глобального потепления меняются многие характеристики климата, влияющие на качество жизни, здоровье и самочувствие людей, в том числе частота возникновения и интенсивность волн жары и холода, а также продолжительность периодов термического комфорта. Эти характеристики зависят не только от изменения температуры, но и от трендов влажности и скорости ветра.

Комбинация характеристик температурного, влажностного и ветрового режима определяет значение биоклиматических индексов, которые рассчитываются по эмпирическим формулам или с помощью численных моделей, учитывающих тепловой баланс человека в различных метеорологических условиях.

Сто лет назад (в 1923 году) специалистами по отоплению и вентиляции [1] было предложено считать диапазон комфортных термических условий от 17.2 до 21.7°C. Позже для российских условий этот диапазон предлагалось изменить на 16.5–20.7°C и даже на 12.1–24.0°C. Однако, наиболее часто используются исходный диапазон.

В работе [2] было показано изменение процентной доли дней термического комфорта в больших городах России (Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Владивосток, Краснодар) за последние десятилетия, полученное с использованием измеряемой и физиологически эквивалентной температуры, рассчитанной по эмпирическим формулам.

В данном докладе приводятся результаты расчета динамики продолжительности периода термического комфорта для этих городов с использованием значений физиологически эквивалентной температуры (PET) из базы данных [3].

Сравнение расчетов с использованием измеряемой и физиологически эквивалентной температуры выявило существенное различие влияния изменения средней скорости ветра на продолжительность периода термического комфорта в городах, расположенных в различных климатических зонах России.

Литература:

1. Houghton F.C. and Yagloglou C.P. Determining lines of equal comfort // Journal of ASHVE. 1923. V. 29. P. 165-176.
2. Belova I.N., Dokukin S.A., Krivenok L.A. Biometeorological characteristics as energy consumption estimates in large Russian cities // 2020 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 606 012007
3. Konstantinov P.I. et al. NorthEurasian thermal comfort indices dataset (NETCID): New gridded database for the biometeorological studies // Environ. Res. Lett. 2022. 17 085006

Реализация системы оценки и прогноза метеорологических индексов пожарной опасности растительности

Глаголев В.А.¹, Зубарева А.М.²

¹Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема, Биробиджан, Россия

²Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан, Россия
glagolev-jar@yandex.ru

Ключевые слова: база данных, засуха индекс, оценка, погода, пожар, приложение, растительность

Пожарная опасность территории определяется многими параметрами, среди которых основными являются климатические условия. Для оценки и прогноза пожарной опасности необходимо специализированное информационное обеспечение (СИО), позволяющее осуществлять прогнозы пожарной опасности и проверку их достоверности при анализе массивов открытых метеорологических данных и материалов наземного и дистанционного зондирования.

Целью работы является разработка СИО для территории Еврейской автономной области (ЕАО), включающее функциональные модули для обработки информации банка метеоданных.

Модули блоков разработаны для расчета критериев пожарной опасности, вывода статистических уравнений зависимости их от метеорологических условий, проведения краткосрочных прогнозов, проверки их достоверности.

Для оценки пожарной опасности использованы: лесопожарной показатель, комплексный показатель и класс засухи. Все виды расчетных лесопожарных показателей включают в себя основание и поправочные коэффициенты, учитывающие факторы высыхания растительных горючих материалов и суточный объем осадков.

На основе наибольшего коэффициента детерминации зависимости метеорологических элементов от показателей засухи и распределения количества пожаров растительности, производится выборка необходимого основания для расчета показателя засухи. Для территории ЕАО по данным с 2000 по 2022 гг. получен максимальный коэффициент при использовании основания Нестерова.

Оценка достоверности прогнозов выполнена на примере особо опасных сухих дней. На каждый прогнозный день рассчитана вероятность подтверждения прогноза, которая позволяет считать разработанные методики оценки и прогноза показателей засухи удовлетворительными согласно существующим критериям прогнозирования гидрометеорологических явлений.

Исследование выполнено за счет средств гранта в форме субсидии в целях реализации программы стратегического академического лидерства "Приоритет-2030" (Соглашение № 075–15-2023-495 от 25.04.2023 г.)

Обнаружение и биоиндикация ранних и последующих климатических изменений на литорали Баренцева моря

Гудимов А.В.

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

alexgud@mail.ru

Ключевые слова: биоиндикация климата, ранние климатические изменения, критическая соленость, эстуарий, краевой биотоп, баянус *Semibalanus balanoides*, Арктика

Изменение климата в Арктике имеет глобальное значение, но актуальные методы биоиндикации влияния климата на популяции морских организмов еще не разработаны. Вычленив климатическую составляющую в комплексном влиянии факторов среды непросто, особенно на интервале 2–3 лет, тем более на ранних стадиях изменения климата. Привычные ретроспективные оценки за большие периоды и стандартный подход к мониторингу здесь не работают. Целью наших исследований был поиск видов-биоиндикаторов ранних климатических изменений и разработка метода биоиндикации влияния климата на экосистему по изменению литоральных сообществ.

В наибольшей степени воздействию климатически обусловленных, а также атмосферных факторов подвергаются долгоживущие прикрепленные организмы литорали, такие как усоногий рак-баянус *Semibalanus balanoides* (Crustacea, Cirripedia) - вид, типичный для литорали северных морей. Установлено, что неуклонное уменьшение средней численности баянусов после 2004 г. и резкое увеличение их гибели (взрослых и спата) с 2007 по 2018 г. в краевом биотопе кута Кольского залива вполне адекватно периоду ускорения в общем тренде потепления климата в Арктике. Влияние аномальных изменений комплекса факторов среды (солёности воды, температуры воздуха...) было заметно в краевых популяциях крупных эстуариев, в то время как в типично морских литоральных биотопах с солёностью выше 22–25‰ уменьшения численности баянусов за этот период не произошло.

Анализ полученных результатов показал, что, несмотря на известную высокую толерантность баянусов к различным воздействиям, их чувствительность к колебаниям факторов среды в краевом биотопе многократно возрастает в условиях критической (<5 ‰) солёности, когда организм находится, фактически, на грани выживания. Следовательно, состояние популяции баянусов в краевом биотопе эстуария может считаться ранним биоиндикатором, первым (в течение 1–3 лет) отреагировавшим на изменение экологических факторов, связанных с потеплением климата.

Литература:

1. Гудимов А.В., Свитина В.С. Экология и распределение усоногих раков *Semibalanus balanoides* (L.) (Crustacea) в южном колене Кольского залива // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. - М.: Наука, 2009. - С. 202–220.
2. Свитина В.С., Гудимов А.В. Многолетние колебания численности популяции усоногих раков *Semibalanus balanoides* (L.) (Crustacea) на эстуарной литорали кута Кольского залива // Вестник МГТУ. – 2017. – Т. 20, № 2. – С. 352–362.

Отступление выводных ледников Патагонии и Южной Георгии как следствие потепления климата

Десинов С.Л., Кудякова С.Т., Алёшина М.А., Рудаков В.А., Ивонин И.Л.
Институт географии РАН, Москва, Россия
sdesinov@gmail.com

Ключевые слова: космический снимок, ледниковые поля, выводной ледник, космический мониторинг, отступление ледников, Патагония, Южная Георгия

Проведён анализ фотоснимков с Международной космической станции, российских спутников Ресурс-Ф и Канопус, ряда зарубежных спутников. Определены изменения 37 ледников Северного и Южного ледниковых полей Патагонии, а также 21 ледника Южной Георгии. Результат обработки данных показал, что за последние 20 лет указанные ледники отступают с разной скоростью. Единственное исключение – ледник Брюгген (Пия XI) на Южном ледниковом поле, который в течение многих лет наступает.

Оценка изменений специализированных характеристик температурно-влажностного режима на базе сверхдолгосрочных прогнозов модели Земной системы ИВМ РАН

Емелина С.В.^{1,2,3}, Тищенко В.А.^{1,2}, Хан В.М.^{1,2,3}

¹Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия

²Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия

³Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия
tkachukzn@gmail.com

Ключевые слова: сверхдолгосрочный прогноз, модель ИВМ, специализированный прогноз, вегетационный период

В связи с изменением климата и последствиями его изменений все больше внимания уделяется вопросам развития специализированного прогнозирования для различных секторов экономики. Исследования и новые технологии в области долгосрочных метеорологических прогнозов имеют важное прикладное значение, так как позволяют принимать своевременные решения и проводить необходимые мероприятия для адаптации к новым условиям. Данная работа посвящена оценке будущих изменений характеристик температурного и влажностного режимов на территории России на временном интервале 5 лет и возможных последствий этих изменений для сельского хозяйства, и здоровья населения на базе экспериментальных сверхдолгосрочных прогнозов, выпускаемых в ФГБУ «Гидрометцентр России» по модели Земной системы ИВМ РАН. Обсуждается успешность прогнозов с использованием стандартных критериев качества для долгосрочных прогнозов. Анализируются последствия возможного изменения характеристик вегетационного периода и биоклиматических индексов в ближайшее пятилетие на базе сверхдолгосрочных прогнозов модели Земной системы ИВМ РАН. Выявлены регионы, в которых эти изменения будут особенно ощутимыми для сельского хозяйства и жизнедеятельности населения. Представленные оценки возможных изменений на территории России на пятилетнем интервале позволяют получить более объективную картину ожидаемых климатических изменений и полезны для разработки оптимальных решений для развития экономики в условиях изменяющегося климата.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда проект РНФ № 22–17–00247 в ИВМ РАН.

Роль климатических изменений в распространении лихорадки Западного Нила

Зелихина С.В.¹, Миронова В.А.¹, Шартова Н.В.^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия
svetlana_2304@list.ru

Ключевые слова: лихорадка Западного Нила, вирус Западного Нила, климат, температура, климатический изменения, изменение нозоареала, метод градусо-дней, климатические тренды

Лихорадка Западного Нила – трансмиссивное природноочаговое заболевание, вызываемое вирусом Западного Нила (ВЗН) и передающееся преимущественно комарами, главным образом, между птицами. В работе рассмотрены эколого-географические предпосылки распространения ЛЗН в Волгограде. Проведена оценка пространственно-временных трендов изменений климатических условий для распространения ЛЗН. Оценка благоприятности климатических условий для репликации и передачи ВЗН проводилась на основе метода градусо-дней. Моделирование пригодности территории для передачи ЛЗН проведено методом максимальной энтропии с использованием программного обеспечения MaxEnt и методом случайного леса с использованием пакета SSDM в программной среде R 4.2.1. Отмечен рост суммы эффективных температур (ЭТ). Данная ситуация создает благоприятные условия для развития вируса у комаров, поскольку скорость репликации вируса возрастает, и циркуляция вируса становится более эффективной. Пространственный анализ показал значительный вклад температуры земной поверхности в распространении ЛЗН. При добавлении в модель показателей городской среды была продемонстрирована их благоприятность для передачи ВЗН. Городская среда значительно увеличивает эпидемический потенциал территории. Данные районы могут содержать в себе подходящие местообитания для взаимодействия носителей и переносчиков вируса.

Экологические последствия климатических изменений в Азии

Инсаров Г.Э.

Институт географии РАН, Москва, Россия

insarvg@gmail.com

Ключевые слова: изменение климата, верхняя граница леса, биоразнообразие, биомы, ареалы растений и животных, природные пожары

Экосистемы Азии разнообразны: в Северной Азии преобладают бореальные леса и тундра, в Центральной и Западной Азии - пустыни и экосистемы ксерофитных кустарников, в горных областях - альпийские экосистемы. Большую часть остальных субрегионов занимают трансформированные человеком ландшафты. Изменение климата (ИКЛ) в Азии, включает глобальное потепление, изменение режима осадков и муссонов, таяние многолетнемерзлых грунтов и экстремальные явления, такие как пыльные бури.

Верхняя граница леса (ВГЛ) в Северной Азии сдвигается вверх с 1990 года, но в Гималаях в некоторых местах ВГЛ сдвигается вверх, а в других местах сдвигается вниз или не меняет положение. Это объясняется тем, что в разных местах различны результаты взаимодействия таких факторов, как потепление, засуха, изменение высоты снежного покрова и землепользования (особенно выпаса) и других. Границы биомов в Азии сдвигаются к северу под влиянием потепления. Наземные и пресноводные виды, популяции и сообщества в Азии в основном меняются в соответствии с ИКЛ. Антропогенная активность, ИКЛ и воздействие молний привели к увеличению числа природных пожаров и выгоревшей площади лесов в Северной Азии после 1990 года. Длина вегетационного периода увеличилась в некоторых частях Восточной и Северной Азии, в других местах она уменьшилась или осталась без изменений. Сокращение биоразнообразия и ареалов растений и животных в некоторых частях Азии связано с ИКЛ, а также с изменением взаимодействия видов и размещения инвазивных видов.

Наблюдаемые и прогнозируемые изменения экосистем в Азии зависят от сложного взаимодействия климатических и других факторов, таких, как изменение землепользования и использования человеком природных ресурсов, включая чрезмерную эксплуатацию видов и экосистем, прямое воздействие роста выбросов парниковых газов. Это взаимодействие недостаточно изучено, предстоит многое сделать для того, чтобы улучшить оценку и прогноз состояния биоты Азии под воздействием изменения климата [1].

Литература:

I. Shaw R., Luo Y., Cheong T.S, Abdul Halim S., Chaturvedi S., Hashizume M., Insarov G.E., Ishikawa Y., Jafari M., Kitoh A., Pulhin J., Singh C., Vasant K., Zhang Z. Asia // Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change — Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2022. — P. 1457–1579.

Влияние изменений климата на жизнедеятельность кочевого населения Ямало-Ненецкого автономного округа

Кибенко В.А.

ГАН ЯНАО "Научный центр изучения Арктики", Салехард, Россия

v.a.kibenko@ya.ru

Ключевые слова: *Изменение климата, кочевой образ жизни, оленеводство, деградация пастбищ, Ямало-Ненецкий автономный округ*

Жизнь оленеводов подчинена годичным природным ритмам. Маршруты миграции оленеводческих домохозяйств осенью пролегают в южном направлении к зимним пастбищам, а весной – в северном, к отельным и летним.

Большинство семей оленеводов указывают на существенные изменения климата и называют эту проблему острой.

Летом аномальная жара приводит к высыханию ягеля, пересыханию водоёмов, появлению новых видов насекомых для мест их миграции. Летом и осенью происходит основной нагул оленей, но на фоне высушенных, истощённых и выбитых пастбищ, аномальной жары, гнуса, животные не набирают достаточной упитанности к началу зимы.

Осень стала продолжительной и сопровождается большим количеством дождей и осадков в виде мокрого снега, что приводит к переувлажнению тундрового покрова особенно в низменностях.

В осенне-зимнее межсезонье вода и мокрый снег застывают и образуют плотную ледяную корку, препятствующую доступу животных к кормам. Верхний слой ягеля оказывается вмёрзшим в ледяной покров. Олень вынужден съедать малопитательную нижнюю часть лишайника и корни.

В зимний период отмечаются резкие перепады температуры, ветра, которые способствуют образованию плотного снежного наста, ледяной корки, препятствующего доступу животных к кормам. Таким образом, плохо упитанные олени тратят много энергии на добычу пищи, разбивая наст и лёд, получают травмы копыт и на фоне общего истощения погибают от бескормицы.

В весенний период также отмечаются резкие перепады температуры, обилие снега, что приводит к образованию ледяной корки, а затяжной характер весны – к позднему появлению проталин на возвышенностях, открывающих доступ к кормам, что имеет большое значение в период отёла, особенно на истощённых и выбитых пастбищах.

Таким образом, изменение климата и деградация пастбищ – главные причины, обуславливающие ежегодные падежи оленей от бескормицы и истощения. В таких условиях трудно обеспечивать воспроизводство стада, что в итоге приводит к росту количества полукочевого и оседлого населения.

Социальные последствия изменения климата в индустриально развитых районах Российской Арктики и готовность профессионального сообщества к адаптации

Ключникова Е.М.

*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН, Апатиты,
Россия*

e.klyuchnikova@ksc.ru

Ключевые слова: *Арктика, социальные последствия изменения климата, общественные представления, добывающие индустрии*

В докладе представлены интегрированные результаты двух проектов. В рамках первого проекта выявлены представления жителей о происходящих изменениях климата и сформулированы социальные последствия этих изменений в промышленных городах Арктической Зоны РФ. Исследование проведено летом и осенью 2018 года. Выявлено, что жители релевантно осознают фиксируемые гидрометеорологической службой изменения климата и осуществляют адаптационные меры на бытовом уровне. Социальные последствия в настоящий момент носят слабовыраженный характер и регулируются на местном и индивидуальном уровне. Второй проект направлен на исследование восприятия профессионального сообщества горнопромышленного комплекса климатических изменений в Арктике. Исследование проведено летом 2021 года, и показывает, что молодое поколение связывает изменения климата с антропогенным воздействием, а старшее с естественными причинами. Адаптационные мероприятия на предприятиях проводятся в оперативном порядке по мере необходимости. Большинство респондентов уверены, что изменение климата в Российской Арктике принесет позитивные изменения, повысится комфортность проживания в Арктической зоне, улучшатся условия для ведения сельского хозяйства и повысится интенсивность движения по Северному морскому пути. Профессиональное сообщество не готово к ограничениям ради проектов по уменьшению воздействия на климат, однако готово нести издержки в целях сохранения природы и жизнеспособности экосистем.

Современные изменения климата и водные биологические ресурсы: проблемы адаптации и регулирования российского рыболовства

Кровнин А.С., Мельников С.П.

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ
«ВНИРО»), Москва, Россия
akrovnin@vniro.ru*

Ключевые слова: *глобальное потепление, климатические циклы, российское рыболовство, динамика запасов рыб, рекомендации по адаптации*

Россия – одна из крупнейших рыбодобывающих стран мира с ежегодным выловом порядка 5 млн т, большая часть из которого приходится на бассейны северных частей Атлантического и Тихого океанов. Сохранение имеющейся сырьевой базы отечественного рыболовства и разработка долгосрочной стратегии развития рыбохозяйственного комплекса России требует знания соответствующих изменений в состоянии основных промысловых запасов.

Динамика запасов промысловых видов рыб тесно связана с изменениями климата в пределах всего Северного полушария. Наблюдаемое на протяжении последних 100–150 лет потепление климата происходило неравномерно вследствие существования природного климатического цикла с периодом порядка 60 лет. На фоне этого цикла происходят колебания с меньшими временными масштабами – от 3–7 до 15–18 лет. Аналогичные колебания выявлены в изменениях численности и биомассы многих объектов российского промысла. Для короткоцикловых видов рыб, таких как тихоокеанские лососи, сардина-иваси, характерно чередование эпох высокой и низкой численности с периодом около 60 лет, а вариации запасов донных рыб со средней продолжительностью жизненного цикла, например минтая и трески, происходят с периодичностью 10–20 лет.

В последние 2–3 десятилетия усилилась короткопериодная изменчивость климата, связанная с увеличением частоты формирования «тепловых волн», прежде всего, в северной части Тихого океана. Этот процесс сопровождался, частности, резким ростом запасов дальневосточных лососей.

Долговременная тенденция к повышению температуры воды провоцирует сдвиги границ ареалов популяций морских рыб в северном направлении, что особенно актуально отечественного промысла, ведущегося, в основном, в умеренных, субарктических и арктических районах.

Указанные выше особенности воздействия климата на водные биологические ресурсы необходимо учитывать при разработке рекомендаций по адаптации и регулированию российского рыболовства к условиям меняющегося климата.

Трансформация генезиса и масштабов наводнений при изменении климата

Крыленко И.Н.^{1,2}, Разаренова А.Д.^{1,2}

¹Институт Водных проблем РАН, Москва, Россия

²Кафедра гидрологии суши, Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

krylenko_i@mail.ru

Ключевые слова: Моделирование, формирование стока, затопление, наводнения, изменения климата, гидродинамическая модель

Разработана методика гидродинамического моделирования характеристик затопления пойм с учетом изменения климатических условий на основе результатов численных экспериментов с моделью формирования речного стока. Модельные расчеты выполнены на основе российских программных комплексов ECOMAG (авт. Ю.Г. Мотовилов) и STREAM_2D (В.В. Беликов и др.). Как ключевые участки рассмотрены р. Лены у г. Якутск и р. Томь у г. Томск. На первом этапе для реализации экспериментальных расчетов проведено моделирование гидрографов на основе модели ECOMAG по методу delta-change, и далее полученные гидрографы использованы в качестве граничных условий для двумерной гидродинамической модели. В результате численных экспериментов получены зависимости возможного изменения основных характеристик наводнений (площади и глубины затопления) при изменении климатических факторов (температуры воздуха и осадков). При всех сценариях, связанных с ростом температур, максимальные расходы воды р. Лены и Томи снижаются, максимальное снижение достигает 40–50% при росте температур на 3–4°C, половодье в этих случаях имеет более “распластанный” гидрограф, либо приобретает двухпиковый характер с максимумом половодья в более ранние сроки, в бассейне р. Томи растут расходы воды зимних паводков. На основе полученных зависимостей показаны максимальные диапазоны возможных изменений характеристик затопления и наиболее опасные с точки зрения увеличения опасности затопления сочетания метеорологических входов. Далее проведено моделирование изменений гидрографов стока и соответствующих им характеристик затопления для различных сценариев эмиссии парниковых газов по данным глобальных климатических моделей. Отдельное внимание уделено сценариям, связанным с затопными наводнениями.

Сбор и анализ исходных данных для адаптации моделей для р. Томи выполнен в рамках ГЗ кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ раздел I.10 (ЦИТИС 121051400038–1), оценка характеристик затопления в рамках темы ГЗ № FMWZ-2022–0001 ИВП РАН.

Вероятностная оценка изменения климатического ареала *Ixodes ricinus* Linnaeus, 1758 - переносчика опасных заболеваний человека

Крыленко С.В., Добролюбов Н.Ю., Богданович А.Ю., Липка О.Н.
Институт глобального климата и экологии им. акад. Ю.А. Изraelя, Москва, Россия
krylenkoserg@mail.ru

Ключевые слова: изменения климата, *Ixodes ricinus*, климатический ареал, предикторы, вероятностная оценка, европейский лесной клещ

Изменения климата оказывают значительное влияние на распространение трансмиссионных инфекционных заболеваний, в том числе передающихся путем укусов клещей. Европейский лесной клещ (*Ixodes ricinus* Linnaeus, 1758) – один из самых широко распространенных видов клещей в Европе, является переносчиком множества опасных заболеваний человека, включая клещевой энцефалит, болезнь Лайма, Ку-лихорадку и туляремию.

Вероятностная оценка изменения климатического ареала *I. ricinus* проводилась с помощью глобальной климатической модели Института вычислительной математики РАН им. Г.И. Марчука для условий сценария SSP7.0, для периодов времени 1990-1999 гг. и 2030-2039 гг. по методике в (Semenov et al., 2020; Богданович и др., 2021). Для расчётов использовались следующие предикторы: годовая сумма активных температур более 1550 °C*сут. при пороге 10°C, необходимая для развития *I. ricinus*, и годовая сумма осадков >491 мм, среднемесячные значения температуры в январе более -14,1°C (Попов, 2016).

Рассчитанный нами климатический ареал (для 1990–1999 гг.) *I. ricinus* охватывает большую часть территорий Европы за исключением степных и горных регионов, южного и центрального Иберийского полуострова, Шотландии. Северная граница проходит примерно по широте 60°. Наиболее существенные изменения климатического ареала ожидаются в 2030–2039 гг. по сравнению с 1990-1999 гг. в области, ограниченной параллелями 60° и 65° и меридианами 20° и 60° (центральная Финляндия, юг Карелии, Архангельская область, Коми) – продвижение ареала ожидается к северу от границы современного климатического ареала. Восточная часть климатического ареала между 50° и 60° параллелями достигнет 65° меридиана.

В выявленных регионах потенциального расширения ареала необходимо начать подготовку принятия мер по предотвращению эпидемиологических ситуаций (вакцинация, уничтожение прокормителей и переносчиков – дератизация и акарицидные обработки) в природных и в антропоургических очагах.

Литература:

1. Богданович и др. Влияние изменений засушливости в России в XXI веке на пригодность территорий для возделывания зерновых культур//ФПК. – 2021.– № 1. – С. 20–35.
2. Попов И. О. Климатически обусловленные изменения аутоэкологических ареалов клещей *Ixodes ricinus* и *I. persulcatus* на территории России и стран ближнего зарубежья: дис. к.б.н.–МСХА, 2016.
3. Semenov et al. Statistical Model for Assessing the Formation of Climate-related Hazards Based on Climate Monitoring Data//RMH. –2020.–45(5). –P.339–344.

Пространственные особенности избыточной смертности во время жары 2010 г. в Европейской России

Максименко М.Р.¹, Тимонин С.А.², Шартова Н.В.³

¹Институт демографии им. А.Г. Вишневского НИУ ВШЭ, Москва, Россия

²School of Demography, College of Arts and Social Sciences, Australian National University, Canberra, Australia

³Международная лаборатория ландшафтной экологии, НИУ Высшая школа экономики, Москва, Россия

mikemaksimenko@gmail.com

Ключевые слова: волны жары, избыточная смертность, городской остров тепла

Во время волны жары лета 2010 г. в Европейской России были достигнуты пиковые значения смертности. Потери во время жары были неравномерными, крупные города пострадали в большей степени [1, 2].

Влияние экстремальных погодных явлений на здоровье чаще исследуется на примере больших городов, где оно выше в силу микроклиматических условий. Избыточная смертность в менее крупных населенных пунктах во время жары изучена существенно слабее, само ее наличие является дискуссионным.

Проведенная работа посвящена оценке пространственных особенностей избыточной смертности населения регионов Европейской России летом 2010 г. В качестве временных границ были взяты 5 июля и 22 августа 2010 г. Избыточная смертность рассчитывалась в абсолютном выражении и в терминах стандартизованных коэффициентов как превышение фактических значений над ожидаемыми. В рамки исследования были включены городское и сельское население 55 регионов в целом и 126 городов более 100 тыс. чел., расположенных в них. Источником данных о смертности служила база микроданных Росстата, агрегированная по месту, дате и возрасту. Численность была получена на основе данных ЦДИ РЭШ и Росстата. Расчет ожидаемой смертности строился на модели, включающей трендовые и сезонные компоненты на основе значений за 2005–2009. Общее число избыточных смертей во время жары составило 58,2 тыс. СКС составил 14,03% против ожидаемых 10,77%. Наибольшие потери понесли регионы Черноземья и Среднего Поволжья, а также Москва. Была выявлена взаимосвязь размера населенного пункта от уровня избыточной смертности, хотя, она была отмечена и для сельского населения.

Ареал сильнейшего прироста СКС совпадал с зоной наибольших температурных рекордов. Регрессионный анализ показал, что значения аномалий температуры воздуха и биоклиматического индекса PET (Physiologically Equivalent Temperature) в наилучшей степени объясняют избыточную смертность [3]. Уровень загрязнения и размер города также оказались значимыми, но их влияние было второстепенным.

Литература:

1. Grigorieva E. A., Revich B. A. Health Risks to the Russian Population from Temperature Extremes at the Beginning of the XXI Century // Atmosphere. 2021. Т. 12. № 10. С. 1331.
2. Shaposhnikov D. и др. Mortality related to air pollution with the Moscow heat wave and wildfire of 2010 // Epidemiology. 2014. Т. 25. № 3. С. 359–364.
3. Sharтова N. и др. Cardiovascular mortality during heat waves in temperate climate: an association with bioclimatic indices // IJEHR. 2018. Т. 28. № 5. С. 522–534.

О тенденциях эколого-климатических рисков для здоровья человека в АЗРФ в условиях изменяющегося климата до 2050

Г.

Матешева А.В.^{1,2}, Макоско А.А.^{1,2}, Емелина С.В.^{1,3,4}

¹*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

²*Российский университет транспорта, Москва, Россия*

³*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия*

⁴*Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия*

matesheva@ifaran.ru

Ключевые слова: АЗРФ, изменение климата, загрязнение атмосферы, риск для здоровья, погодно-климатическая комфортность

Исследована динамика риска для здоровья от загрязнения атмосферы, включая дальний перенос, и погодно-климатической комфортности на материковой части АЗРФ в 2020-2050 гг. в условиях изменяющегося климата по сценариям RCP4.5 и RCP8.5. Исследование выполнено на основе методологии оценки риска от загрязнения окружающей среды U.S. EPA и решения сопряженной задачи переноса и диффузии примеси, а также с помощью расчетов биометеорологических индексов суровости погоды и эквивалентно-эффективной температуры.

Согласно оценкам, в прогнозный период до 2050 г. показана незначительная динамика исследуемых рисков, характеризующаяся межсценарной изменчивостью и дисперсией по территории АЗРФ. Однако в отдельных районах можно наблюдать заметные тренды. В целом, при «умеренном» сценарии (RCP4.5) на значительной территории Арктики наблюдается тенденция к увеличению риска здоровью от загрязнения атмосферы, а также повышение погодно-климатической комфортности в весенний и летний периоды. Зимой и осенью в некоторых арктических районах ЕТР и Сибири возможно увеличение холодового дискомфорта. При «жестком» сценарии (RCP8.5) прослеживается тенденция к снижению риска от загрязнения атмосферы в большинстве районов, повышению комфортности практически на всей территории российской Арктики в весеннее время, на большей части субарктического пояса – в остальные сезоны, в умеренном поясе – в летнее время. Тенденция к усилению холодового дискомфорта отмечается на значительных площадях арктического пояса АЗРФ зимой, летом и осенью, в отдельных районах ЕТР и Сибири в умеренном поясе – осенью и зимой, в субарктическом поясе – осенью. Полученные оценки согласуются с ожидаемыми вариациями направлений дальнего переноса загрязняющих примесей и изменениями температурного, влажностного и ветрового режимов.

Результаты исследования актуальны при стратегическом планировании развития АЗРФ, разработке мер по адаптации к изменениям климата и обеспечению экологической безопасности в Арктике.

Геоэкологические последствия климатических изменений для жизнеобеспечения коренного населения центрально-сибирской тайги

Медведков А.А.^{1,2}, Высоцкая А.А.¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Институт географии РАН, Москва, Россия

a-medvedkov@bk.ru

Ключевые слова: потепление климата, отклик мерзлотных ландшафтов, трансформация экосистемных функций, традиционная культура, южная криолитозона

В докладе будут рассмотрены основные вызовы для систем жизнеобеспечения кетов - таёжных охотников, рыболовов и собирателей, обусловленные трансформацией экосистемных функций мерзлотных геосистем: рост опасности лесных пожаров в условиях выявленного снижения обводнённости мерзлотных ландшафтов; ухудшение транспортной доступности охотничьих участков ввиду усиления маловодности малых и средних рек, питающихся водами от таяния гольцовых льдов; сохраняющаяся опасность ледово-подпрудных наводнений, чему способствует не только потепление, но и рост нестабильности климата; снижение урожайности ягод и кедровых орехов в связи с погодными аномалиями; изменения местообитаний промысловых животных в условиях выраженной динамики геоэкологических и ландшафтных условий, направленной на ослабление мерзлотных процессов и «позеленение» ландшафтов; усиление влияния внешних источников экологической опасности в связи с трансформацией циркуляционных процессов и др. Каждый из названных вызовов изучался с использованием индивидуального сочетания методов. Представляется, что такого типа информация и её комплексный анализ могут быть использованы для разработки стратегических мероприятий по повышению устойчивости поселений к чрезвычайным ситуациям и экологическим вызовам.

Вклад климатических переменных в модель распространения геморрагической лихорадки с почечным синдромом (ГЛПС) на юге Дальнего Востока России

Миронова В.А.¹, Шартова Н.В.², Коренной Ф.И.³, Зелихина С.В.¹, Малхазова С.М.¹

¹*Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия*

²*Международная лаборатория ландшафтной экологии, НИУ Высшая школа экономики, Москва,
Россия*

³*Федеральный центр охраны здоровья животных, Владимир, Россия
miroanova.va@gmail.com*

Ключевые слова: ГЛПС, моделирование экологических ниш, климатические переменные, MaxEnt

ГЛПС — вирусное зоонозное заболевание, переносимое грызунами и вызываемое группой вирусов рода Orthohantavirus семейства Hantaviridae. Распространение ГЛПС во многом определяется численностью и поведением грызунов, которые, в свою очередь, зависят от различных факторов среды. Задачей исследования являлось моделирование благоприятности условий среды для распространения заболевания. В качестве модельной территории была выбрана Еврейская автономная область, как одна из наиболее пораженных территорий на юге Дальнего Востока России. Моделирование проводилось в ПО MaxEnt (версия 3.4.3). Оценивался вклад различных параметров в распределение заболеваемости. Были отобраны предикторы, отражающие различные характеристики среды, в том числе климатические - осадки в теплый период, температура земной поверхности, температура воздуха в теплый период, осадки в холодный период. Установлено, что сами по себе метеорологические параметры не вносят существенного вклада в модель, однако, тем не менее, их влияние прослеживается, хотя оно и незначительно. Это может быть связано с небольшой пространственной изменчивостью параметров. Кривая отклика температуры воздуха в теплый период показала тенденцию к увеличению благоприятности погодных условий для распространения ГЛПС с повышением температур. Такая же тенденция обнаружена и для температуры земной поверхности, что может указывать на ее влияние на численность и распространение грызунов. Увеличение количества осадков негативно влияет на распространение ГЛПС, что может быть связано с созданием менее подходящих условий для жизни грызунов. Кроме того, во влажных районах передача вируса может осложняться уменьшением количества пыли, содержащей засохшие экскременты грызунов, пораженных вирусом. Низкая и высокая нормы осадков в холодный период могут негативно сказываться на зимней выживаемости грызунов, что также подтверждается кривой отклика в модели.

Исследование проведено при поддержке гранта Российского Научного фонда (проект № 21–47–00016).

Биоклиматические предикторы распространения детского висцерального лейшманиоза в Средиземноморье

Миронова Е.Е.¹, Шартова Н.В.², Колбовский Е.Ю.¹, Миронова В.А.¹

¹Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Международная лаборатория ландшафтной экологии, НИУ Высшая школа экономики, Москва, Россия

eev.mironova@yandex.ru

Ключевые слова: детский висцеральный лейшманиоз, изменение климата, моделирование экологических ниш, MaxEnt

Лейшманиозы - группа природноочаговых инфекционных болезней, вызываемых несколькими видами паразитических простейших рода *Leishmania* и передаваемых человеку через укусы инфицированных самок moskitov Phlebotomidae. В Средиземноморском регионе широко распространен детский висцеральный лейшманиоз (ДВЛ), возбудителем которого является *L. infantum*. Болезнь имеет весьма характерную климатическую нишу, в пределах которой любые изменения метеорологических параметров могут значительно сдвигать границы нозоареала в связи с биологическими особенностями паразитарной системы. В работе рассмотрен вклад биоклиматических факторов в распространение ДВЛ в Средиземноморском регионе. Анализ основан на применении метода моделирования экологических ниш (MaxEnt) с использованием биоклиматических данных WorldClim, и дальнейшей интерпретации кривых отклика.

Показано, что наиболее важными биоклиматическими показателями для распространения ДВЛ являются: среднегодовая температура воздуха, амплитуда температур, количество осадков в наиболее холодный квартал и количество осадков в наиболее теплый квартал. Значение вероятности присутствия висцерального лейшманиоза на территории более 0,6 (повышенный риск заболевания ДВЛ) соответствует значениям среднегодовой температуры от +12 до +19 °C. Переменная годового количества осадков демонстрирует положительную связь с вероятностью присутствия в пределах от 350 до 1300 мм осадков. Переменная среднегодовой амплитуды колебания температуры воздуха демонстрирует отрицательную зависимость: вероятность присутствия заметно снижается при среднегодовых амплитудах от 22°C и выше.

Таким образом, глобальные изменения климата оказывают влияние на распространение ДВЛ, в первую очередь, воздействуя на популяции возбудителей и переносчиков. Повышенные температуры сокращают циклы развития лейшманий в москитах и могут создавать более благоприятные условия для существования переносчиков, из-за чего ДВЛ может распространяться в районах, ранее не являвшихся эндемичными.

Моделирование полей аномалий характеристик гидрологического цикла в бассейне Камы при возможных климатических изменениях к концу столетия

Мотовилов Ю.Г., Фащевская Т.Б.
Институт водных проблем РАН, Москва, Россия
motol49@yandex.ru

Ключевые слова: климатические изменения, речной бассейн, моделирование, сценарии, поля гидро-климатических характеристик

Распределенная гидрологическая модель ECOMAG в сочетании с ансамблем GCMs применены для оценки возможных изменений климатических и гидрологических характеристик в бассейне Камы в течение XXI века. По результатам расчетов получены следующие основные выводы.

1. Для крупных речных бассейнов оценки гидрологических последствий изменения климата целесообразно проводить с использованием пространственно распределенных гидрологических моделей, отражающих условия формирования стока в различных частях бассейна. Осредненные по территории речного бассейна оценки изменений стока могут оказаться малоинформативными, а иногда и вводящими в заблуждение. Так, к концу столетия по одному из сценариев прогнозируется снижение осредненного по бассейну Камы модуля стока на 8%, в то же время в различных частях водосбора в зависимости от физико-географических условий отмечался как незначительный рост на 3–6%, так и значительное сокращение среднегодового модуля стока на 22%.

2. Прогнозируемые климатические изменения могут усугубить контрасты в условиях тепло- и влагообеспеченности территории бассейна Камы: по одному из сценариев теплые регионы в зоне степей становятся еще более жаркими и засушливыми, а влагообеспеченность увлажненных территорий в центре и на востоке бассейна еще более увеличивается.

3. Анализ чувствительности показал, что межмодельная изменчивость оценок климатических характеристик по различным GCMs мала и не вносит существенных погрешностей в расчеты гидрографов стока по гидрологической модели. Гораздо более чувствительны оценки изменений гидро-климатических характеристик к заданию сценариев радиационных воздействий RCP. Так, к концу XXI века в зависимости от принятого сценария RCP отмечается диапазон аномалий осредненных по бассейну Камы модулей стока от 1 до -8%. Различные сценарии RCP для GCMs – основной источник неопределенностей при моделировании изменений гидро-климатических характеристик.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВП РАН FMWZ-2022–0003

Литература:

1. Motovilov, Y., and Fashchevskaya, T., 2021. Modeling management and climate change impacts on water pollution by heavy metals in the Nizhnekamskoe Reservoir watershed. Water, 13 (22), 3214. doi:10.3390/w13223214

Влияние климатических факторов на самочувствие трудоспособного населения в г. Санкт-Петербурге

Носков С.Н., Фридман К.Б.

Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья, Роспотребнадзор, Санкт-Петербург, Россия
sergeinoskov@mail.ru

Ключевые слова: климатические факторы, анкетирование, самочувствие

Большинство людей интересуется информация о влиянии на здоровье климатических факторов, что говорит о высокой актуальности этой проблемы, важным аспектом которой помимо количественного анализа последствий является социологическая оценка влияния климата на здоровье населения.

Случайной выборкой взрослых лиц проведено персональное формализованное анкетирование 443 человек в возрасте от 17 до 55 лет в отношении влияния климатических факторов на их самочувствие.

Оценка значимости влияния климатических факторов на самочувствие показала, что в 74,2% случаев респонденты отмечают сильное влияние и соотносят жалобы и реакции со стороны здоровья с наличием климатического фактора, статистически значимая разница по возрасту отсутствует ($p=0,245$). Более чувствительными к изменению природно-климатических факторов оказались женщины по сравнению с мужчинами: 94 и 44,3% соответственно, $p < 0,001$.

Социологическое исследование наряду с количественной оценкой позволяет выявить основные жалобы со стороны здоровья, связанные с воздействием климатических факторов, и прогнозировать их влияние на здоровье населения. При анализе данных, полученных в результате проведённого анкетирования, установлено, что наиболее значимые ранговые места для возрастной группы от 17 до 55 лет по упоминанию о климатических факторах заняли: 1) атмосферные осадки; 2) облачность; 3) изменение продолжительности светлого периода суток. С этими факторами респонденты связывают следующие реакции со стороны здоровья: 1) ухудшение общего самочувствия; 2) нарушение психоэмоционального состояния; 3) головные боли.

Динамика арктических берегов на фоне изменений климата и ледовитости

Огородов С.А., Шабанова Н.Н., Мысленков С.А., Кажукало Г.А., Шабанов П.А., Богатова Д.М.,
Бадина С.В., Ермолов А.А., Маслаков А.А.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
ogorodov@geogr.msu.ru*

Ключевые слова: Арктика, берега, криолитозона, термоабразия, термоденудация, температура воздуха, ледовитость

В настоящее время береговая зона арктических морей испытывают серьезную трансформацию, обусловленную глобальными климатическими изменениями. Наиболее чувствительны к происходящим изменениям берега, сложенные многолетнемерзлыми дисперсными грунтами. Такие берега занимают большую часть протяженности Арктической зоны РФ, при этом около трети от протяженности береговой линии морей подвержено различным формам термоабразии, развивающейся под воздействием термического и волнового факторов. Высокие темпы разрушения термоабразионных берегов, достигающие 0,5–5,0 м/год [1], несут прямую угрозу объектам инфраструктуры на берегу и гидротехническим сооружениям, пересекающим береговую черту. Для достоверного прогноза динамики таких берегов чрезвычайно важно определить механизм и изменчивость вклада основных гидрометеорологических драйверов в процесс их разрушения. Рост температур воздуха и воды способствует не только ускоренной деградации многолетнемерзлых грунтов, но и ледяного покрова. Продолжительность безледного периода в большинстве морей Российской Арктики за последние 40 лет увеличилась вдвое, выросла и длина разгона волн. Указанные изменения способствовали активизации деструктивных береговых процессов, однако катастрофического (многократного) увеличения скоростей разрушения берегов, сложенных многолетнемерзлыми породами, не произошло. Анализ драйверов [2, 3], определяющих интенсивность береговых процессов, показал, что на целом ряде ключевых участков мониторинга арктического побережья России произошло усиление метакронности термического и волнового воздействия, что привело к неполной реализации потенциала термоабразии. Рост суммарной волновой энергии за безледный период компенсировался снижением повторяемости экстраординарных штормовых событий. В отсутствии волновой переработки и периодического удаления материала с подножия берегового уступа термоденудационный процесс замедляется, и берег стабилизируется. Работа выполнена в рамках госбюджетной темы № 121051100167–1.

Литература:

1. Огородов С.А. Влияние изменений климата и ледовитости арктических морей на динамику берегов Евразии // Пр. Арктики и Антарктики, 2008,1(78):123-128
2. Shabanova N. et al. Hydrometeorological forcing of Western Russian Arctic coastal dynamics: XX-century history and current state // Geography, Environmental, Sustainability. 2018;11(1):113-129
3. Огородов С.А. и др. Изменение гидрометеорологического потенциала термоабразии берегов морей Российской Арктики // Вестн.МГУ. Сер.5: Геогр., 2022,1:26–42

Анализ реалистичности достижения основной цели Парижского соглашения при существующей системе правового регулирования и контроля за антропогенными выбросами парниковых газов

Пекарникова М.Е., Полонский А.Б.

Институт природно-технических систем РАН, Севастополь, Россия
pekarnikowa@mail.ru

Ключевые слова: антропогенные выбросы парниковых газов, Парижское соглашение, изменение климата, отчеты IPCC

Вследствие глобального характера проблемы изменений климата и последствий таких изменений эффективное ее решение возможно только путем объединения усилий всего мирового сообщества и согласования совместных действий по контролю над антропогенной эмиссией парниковых газов и аэрозолей, в том числе в сфере правового регулирования данной проблемы.

В работе приведен анализ текущего состояния правового регулирования эмиссии ПГ в странах, отвечающих за основную долю суммарных выбросов ПГ, для оценки вероятности принципиальной достижимости ограничения роста приземной температуры до конца 21 века в пределах 1,5-2°C по сравнению с доиндустриальным периодом при действующей в основных государствах-эмитентах законодательной базе. На основе анализа существующей нормативно-правовой базы в основных странах-эмитентах (ответственных более, чем за 75% глобальной эмиссии ПГ) и данных по выбросам парниковых газов по 2022 год (включительно) сделан вывод, что при современном состоянии правового регулирования эмиссии ПГ в большей части стран, ответственных за основную долю глобальных выбросов парниковых газов, достижение декларируемой цели Парижского соглашения практически нереально. Повышение средней приземной температуры воздуха к концу 21 века (по сравнению с доиндустриальным периодом) вероятнее всего существенно превысит 2°C, если в ближайшие несколько лет не будут приняты юридически обязывающие политико-правовые акты, обеспечивающие достижение основных целей Парижского соглашения. Основной вывод работы сводится к тому, что даже если большинство из декларативных высказываний стран-участниц Парижского соглашения о приверженности его целям будет реализовано, то наилучший результат, который может быть достигнут, в целом будет соответствовать сценарию SSP2-4.5 6-го Оценочного отчета IPCC. При этом повышение глобальной приземной температуры к концу 21 века будет находиться в пределах 2,1–3,5 градусов по сравнению с доиндустриальным уровнем.

Влияние глобального изменения климата в XXI веке на динамику ареалов самых опасных инвазионных видов России

Петросян В.Г., Осипов Ф.А., Варшавский А.А., Дергунова Н.Н., Хляп Л.А.
Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия
vgpetrosyan@gmail.com

Ключевые слова: глобальные климатические модели, сценарии SSPx-у, биологическая инвазия, опасные инвазионные виды

В последние годы во всем мире активизировались исследования, посвященные глобальному изменению климата и биологическим инвазиям. Глобальный мета-анализ изменений границ ареалов 1700 видов из разных таксонов в Северном полушарии показал, что умеренное повышение температуры на 0.74°C в XX веке приводило к северному смещению ареалов на 6.1 км за десятилетие [1]. В настоящее время учеными и политиками для интерпретации прошлых и будущих изменений климата, а также для определения соответствующих мер реагирования на опасные последствия изменения климата используются глобальные климатические модели (GCM) из 6-й фазы международного проекта CMIP6. В докладе представлены результаты наших исследований динамики ареалов самых опасных инвазионных видов TOP-100 [2] России в XXI веке под влиянием глобальных изменений климата с использованием GCM CMIP6. Мы использовали семь методов (GLM, GAM, GBS, FDA, RF, ANN и MaxEnt) для разработки надежных ансамблевых моделей распространения видов (eSDM) в современных (1970–2000 гг.) и будущих климатических условиях, полученных на основе GCM для 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 и 2081-2100 гг. Получено, что изменения ареалов зависят как от чувствительности GCM, так и от сценария (SSPx-у). Ареалы всех исследованных видов по мере потепления климата расширялись. В отличие от общеизвестных закономерностей сдвига ареала видов на север в Северном полушарии, которые широко обсуждаются в мировой литературе, впервые показано, что в Северной Евразии основной сдвиг видовой ареала происходит в северо-восточном направлении. Причем для многих видов сдвиг центроида по долготе в два раза больше, чем по широте. По литературным данным потепление в XX веке на 0.74°C приводило к смещению видовой ареала на север со скоростью 6.1 км за десятилетие [1]. Наши модели показывают, что потепление в XXI веке на 2°C приведет к сдвигу центроидов ареалов исследованных видов позвоночных и беспозвоночных животных на север со скоростью от 28 до 42 км за десятилетие.

Литература:

1. Parmesan C., Yohe G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 2003, 421, P. 37–42.
2. Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100). / Ред. Ю.Ю. Дгебуадзе, В.Г. Петросян, Л.А. Хляп. М. 2018, Тов-во научных изданий КМК, 688 с.

Угрозы и окна возможностей долгосрочного развития сельских территорий Сибири в условиях глобального изменения климата

Петухова М.С.

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия
petuhova_ms@nsau.edu.ru

Ключевые слова: сельские территории, природно-климатические изменения, Сибирский федеральный округ, сельское хозяйство, продолжительность вегетационного периода, агроклиматические условия

Климатический аспект все чаще становится основополагающим при планировании сельского развития по всему миру. Исследователи отмечают возрастающее влияние климатических изменений на аграрное производство и на сельские территории. Как прямое, так и косвенное воздействие климатических изменений порождает экологические и социальные проблемы для фермеров, ведет к экономическим сбоям, вынуждает разрабатывать стратегии адаптации и смягчения последствий. Не являются исключением здесь и сельские территории Сибири, которые находятся в сильнейшей зависимости от природно-климатического фактора.

Глобальные природно-климатические изменения для сибирских сельских территорий выступают одновременно и угрозой, и окном возможностей в долгосрочном периоде развития.

Наблюдаемый в сибирских регионах рост среднегодовой температуры и количества осадков может привести к улучшению сельскохозяйственной продуктивности отдельных территорий, положительно сказаться на качестве почвенных ресурсов, что станет предпосылкой для расширения зоны хозяйственной деятельности человека в северных широтах и создания новых сельских поселений.

Неплохие перспективы складываются как для растениеводства (сдвиг посевных площадей на север), так и для животноводства: предполагаемые климатические изменения могут привести к увеличению периода выпаса скота на летних пастбищах и сокращению сроков стойлового содержания, что, несомненно, положительно скажется на продуктивности стада.

Однако глобальное потепление несет для сельских территорий Сибири не только преимущества, но и серьезные угрозы, способные препятствовать успешному наращиванию сельхозпроизводства и вовлечению в него новых территорий: (1) увеличение числа и масштабов экстремальных природно-климатических явлений; (2) рассинхронизация фенологических фаз у растений и опылителей; (3) таяние вечной мерзлоты ускоряет процессы заболачивания территорий; (4) рост вероятности торфяных пожаров; (5) вспышки размножения насекомых-вредителей.

Оценка влияния московской агломерации на опасные конвективные явления по данным моделирования с высоким разрешением

Платонов В.С.¹, Чернокульский А.В.², Варенцов М.И.^{1,2}, Шихов А.Н.³, Ярынич Ю.И.^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

³Пермский государственный научно-исследовательский университет, Пермь, Россия

platonovvs@my.msu.ru

Ключевые слова: мезомасштабное моделирование, параметризация городской подстилающей поверхности, опасные конвективные явления, экстремальные осадки, влияние города

Московская агломерация за счёт формирования городского острова тепла, повышенной шероховатости подстилающей поверхности, изменения влагосодержания атмосферы может оказывать усиливающее воздействие на формирование конвективных опасных явлений погоды (КОЯП). Для оценки этого влияния был использован многолетний (за летние сезоны 2007–2016 гг.) массив данных экспериментов с мезомасштабной моделью COSMO-CLM с горизонтальным шагом 1 км, с параметризацией городской подстилающей поверхности TERRA_URB и без неё (URB и noURB, соответственно) [1]. Проанализированы максимальная приземная скорость ветра, вертикальная составляющая скорости ветра в слое 1–5 км, часовая интенсивность и суточные суммы осадков, повторяемости ветра и осадков выше пороговых значений, а также параметр Updraft Helicity (UH25), используемый для идентификации мезоциклонов [2]. Для определения роли городской застройки в повторяемости и интенсивности КОЯП использовались разности экспериментов «URB–noURB» для характеристик распределений этих переменных.

Выявлены обусловленные влиянием городской подстилающей поверхности статистически значимые различия в распределении интенсивных, но не самых экстремальных осадков (в градациях 20–40 мм/сут), вертикальной скорости ветра в слое 2–5 км и её изменчивости, а также UH25. В эксперименте URB по сравнению с экспериментом noURB выявлена область повышенных значений этих переменных непосредственно над Москвой и «шлейфа» к северо-востоку от города — в подветренной области (с учётом преобладания юго-западных ветров). Показано значимое увеличение повторяемости событий с одновременным наличием экстремальных осадков и экстремальных скоростей ветра (“compound events” [3]) в условиях городской застройки Москвы (в радиусе 18 км от центра города). Таким образом, учёт городской подстилающей поверхности позволяет описать увеличение вертикального переноса в пограничном слое и выше него, что в том числе может формировать более благоприятные условия для образования КОЯП над городом.

Литература:

1. Varentsov M., Wouters H., Platonov V., Konstantinov P. Megacity-induced mesoclimatic effects in the lower atmosphere: A modeling study for multiple summers over Moscow, Russia. *Atm.*, 2018, 9(2), 50.
2. Kain J. et al. Some practical considerations regarding horizontal resolution in the first generation of operational convection-allowing NWP. *Wea. For.*, 2008, 23, 931–52.
3. Ridder N. et al. Increased occurrence of high impact compound events under climate change. *Cl. Atm. Sc.*, 2022, 5(3).

Воздействие климатических изменений на расширение ареалов и фенологию вредителей растений: риски для сельского хозяйства

Попова Е.Н.¹, Попов И.О.²

¹Институт географии РАН, Москва, Россия

²Институт глобального климата и экологии им. акад. Ю.А. Израэля, Москва, Россия
en_popova@mail.ru

Ключевые слова: вредители растений, ареалы, фенология, изменение климата, риски, сельское хозяйство

Климат как многолетняя совокупность погодных условий в конкретном географическом регионе является одним из главных факторов формирования ареалов и экологических особенностей отдельных биологических видов, в первую очередь, эктотермных организмов, к которым относятся беспозвоночные вредители растений. Наносимый ими ущерб может приводить к катастрофическим последствиям для сельского хозяйства. В частности, в последние десятилетия участились вспышки саранчовых вредителей, которые способны уничтожать любые культуры, вплоть до кустарников и древесных пород. Расселение на картофельных полях колорадского жука вызывает значительное снижение урожая картофеля. Наблюдаемые и прогнозируемые климатические изменения ведут к расширению границ ареалов климатозависимых сельскохозяйственных вредителей в более северные и северо-восточные регионы Российской Федерации. Также под воздействием изменений погодных условий в различных географических районах России меняются фенологические особенности вредителей растений – удлиняется период их активности, возрастает количество генераций за вегетационный период, смещаются пики максимального подъема их численности. Все вышеперечисленные изменения в жизнедеятельности беспозвоночных вредителей, связанные с переменной климата, несут в себе значительные риски для сельскохозяйственного производства и должны учитываться в проведении карантинных и защитных мероприятий.

Метеозависимость: миф или реальность? На примере артериальной гипертонии

Смирнова М.Д.

НМИЦ Кардиологии им академика Е.И. Чазова МЗ РФ, Москва, Россия

79261651139@yandex.ru

Ключевые слова: метеозависимость, артериальная гипертония, сердечно - сосудистые осложнения, волны жары

В докладе рассматривается связь метеорологических факторов, в первую очередь, волн жары с развитием сердечно – сосудистых осложнений (ССО). Сердечно – сосудистая заболеваемость и смертность носят сезонный характер с пиком зимой и минимум летом, что зафиксировано во многих странах мира, включая РФ. Выявлены статистически значимые сезонные пики зимой уровня артериального давления (АД), частоты сердечных сокращений, холестерина, глюкозы, массы тела. Вариабельность АД также максимальна зимой и минимальна летом. Менее изучено влияние таких малопредсказуемых факторов как температурные волны и «магнитные бури». Как гипотеза рассматривается развитие антиспастических реакций с развитием быстрых подъемов АД в ответ на резкие перепады температур, скорости ветра, атмосферного давления. Эти реакции могут развиваться даже у пациентов, находящихся на антигипертензивной терапии, могут не фиксироваться при измерении офисного АД и, при отсутствии должного лечения, приводить к росту числа ССО. Известно, что так называемые волны жары и холода ассоциируются с ростом смертности и ССО, в том числе с гипертоническими кризами. По нашим данным, полученным во время аномальной жары 2010 г в Москве и Нижегородской области, а также во время коротких волн жары на протяжении многих лет наблюдения, их частота зависит от уровня сердечно – сосудистого риска пациента и максимальна у больных ИБС, цереброваскулярной болезнью и сахарным диабетом 2 типа. Но самым мощным предиктором осложнений показал себя отказ от медикаментозной терапии (гипотензивной, гиполипидемической, антиаритмической и т.п.), применяемой ранее. Также была выявлена связь развития ССО во время волн жары с местом проживания, экологической обстановкой, а также с психологическим состоянием пациентов. Перспективным представляется изучение взаимосвязь вариабельности АД и осложнений артериальной гипертонии с метеофакторами с использованием методикой дистанционного мониторингирования АД, в настоящее время активно внедряемой в регионах РФ

Влияние природных и антропогенных факторов на наземные экосистемы в условиях изменения климата в Арктике

Сухарева Т.А.¹, Ершов В.В.¹, Иванова Е.А.¹, Исаева Л.Г.¹, Зенкова И.В.¹, Штабровская И.М.¹, Рябов Н.С.¹, Поликарпова Н.В.²

¹Институт проблем промышленной экологии Севера Колского научного центра РАН, Апатиты, Россия

²Государственный природный заповедник «Пасвик», Никель, Россия
s.tat.a@mail.ru

Ключевые слова: наземные экосистемы, экологический мониторинг, природные и антропогенные факторы, биогеохимия, температура

Лесные экосистемы на северном пределе распространения наиболее уязвимы к воздействию природных и антропогенных факторов, в том числе – климатических изменений, происходящих в высокоширотных районах в последние десятилетия.

На территории Мурманской находится действующая сеть биогеохимического мониторинга Института проблем промышленной экологии Севера Колского НЦ РАН, которая функционирует с начала 1990-х гг. Регулярные наблюдения позволили изучить динамику химического состава взаимосвязанных компонентов лесных экосистем в условиях комбинированного влияния промышленного загрязнения и резкого сокращения атмосферных выбросов при изменяющемся климате в Арктической зоне РФ.

Выявлена пространственно-временная вариабельность состава снеговых вод, почв, растений в лесах, подверженных воздушному промышленному загрязнению медно-никелевых комбинатов. Показано значительное пространственное варьирование химического состава растений и лишайников, которое определяется типом растительного сообщества, внутрибиогенотическим варьированием и степенью техногенной трансформации лесных экосистем. Показано дифференцирующее влияние на температуру почв таких факторов, как «сезонность» и «экспозиция склона».

В ходе междисциплинарных исследований арктических экосистем разработаны превентивные меры и стратегии адаптации к изменениям климата в зонах интенсивного промышленного освоения и промышленных городах российской Арктики (Маслобоев и др., 2022).

Результаты регулярных биогеохимических исследований различных компонентов наземных экосистем (атмосферных осадков, почвы и почвенных вод, биоты, опада) позволили сформировать представление о функционировании экосистем региона с учетом их пространственной гетерогенности и временной изменчивости, уточнить средообразующую роль древесных растений в лесных биогеоценозах, предложить параметры для ранней диагностики состояния наземных экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов в условиях изменения климата в Арктике.

Литература:

1. Маслобоев В.А., Макаров Д.В., Боровичев Е.А., Ключникова Е.М., Исаева Л.Г., Рябова Л.А., Денисов Д.Б., Светлов А.В., Красавцева Е.А., Максимова В.В., Мазухина С.И., Сухарева Т.А., Ершов В.В., Королева Н.Е., Иванова Л.В., Лосев А.В. Зоны интенсивного природопользования в российской Арктике в условиях изменения климата: природные и социальные процессы в долгосрочной перспективе // Вестник РФФИ. 2022. № 3–4 (115–116). С. 37–53.

Глобальное потепление и количественная оценка предельной частоты природных стихийных бедствий

Тетельмин В.В.

*Институт экологии Российского университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва,
Россия*

v-tetelmin@rambler.ru

Ключевые слова: *глобальное потепление, климатическая система, парниковые газы, природные стихийные бедствия, частота экстремальных метеорологических событий*

С помощью ранее предложенных функций выполнен расчет процесса глобального потепления при сценарии сокращения в два раза антропогенных выбросов ПГ и фиксированном значении их концентрации на уровне 233 ppm-eq. Приводится расчет темпа накопления климатической системой (КС) Земли парниковой тепловой энергии в количестве 954 ЭВт-ч до наступления в 2270 г. состояния радиационного баланса [1].

Выполнена систематизация вызванных глобальным потеплением природных стихийных бедствий по частоте их проявления. Получены функции зависимости частоты стихийных бедствий от количества накопленной в КС Земли парниковой тепловой энергии. При накоплении к 2050 г. тепловой энергии в количестве 290 ЭВт-ч дальнейший рост частоты природных стихийных бедствий прекратится. К этому моменту частота спровоцированных глобальным потеплением всех видов стихийных бедствий достигнет предельного значения порядка 1900 в год, из которых около 360 в год будет составлять предельная частота экстремальных метеорологических событий, 400 в год бедствий гидрологического характера, 65 в год бедствий геофизического характера [2].

Литература:

1. Тетельмин В.В. Расчет темпа глобального потепления и роста уровня Мирового океана//Экология промышленного производства. №2. 2023. С. 32–38.
2. Тетельмин В.В. Количественная оценка глобального потепления//Горная промышленность. №3. 2023. С. 52–58.

Республика Алтай: социально-экономические аспекты климатических изменений и возможности адаптации к ним для населения, власти и бизнеса

Устюжанцева О.В., Сорокин А.Н.

*Школа исследований окружающей среды и общества, Тюменский государственный университет,
Тюмень, Россия
olgavust@gmail.com*

Ключевые слова: социальные эффекты, климатические изменения, Республика Алтай, адаптация к климатическим изменениям, Кош-Агач

По оценкам экспертов, прямые и косвенные последствия изменения климата для экономики России могут составить до 1–2% ВВП до 2030 года, а на наиболее уязвимых территориях — до 4–5% регионального ВВП. Среди самых уязвимых регионов — Сибирь.

Высокогорье Алтая является предметом исследования ученых, наблюдения за ледниками, ландшафтами и климатом уже более ста лет. Это регион с высокими темпами и наиболее заметными последствиями изменения климата (2,5°C за 50 лет). Однако все это находится в исследовательском фокусе ученых естественнонаучных направлений. В то время как последствия таких климатических изменений оказывают довольно сильное влияние на регион, могут иметь серьезные социально-экономические последствия, а потому требуют изучения в перспективе социогуманитарного знания и исследовательских методов.

В докладе представлены результаты двух экспедиций сотрудников Антропошколы Тюменского государственного университета в 2021 и 2023 годах, проведенных на территории Кош-Агачского района Республики Алтай. Было выявлено три основных блока социально-экологических проблем, связанных с климатическими изменениями в регионе: эпидемиологическая угроза; деградация жилищно-коммунальной инфраструктуры; разрушение экономической базы традиционных видов хозяйствования в регионе, а именно отходного скотоводства.

Также были изучены текущие практики населения и местной власти, применяемые для смягчения негативных последствий изменения климата, что позволило выявить как пробелы в управлении и регулировании этих процессов, так и возможности для реализации мер и мероприятий для более эффективной адаптации региона к климатическим изменениям в тесном взаимодействии бизнеса, власти и населения.

Климатические изменения составляющих водного баланса Колымского бассейна

Ушаков М.В.

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН,
Магадан, Россия
mvilorich@narod.ru*

Ключевые слова: изменение климата, атмосферные осадки, испарение, речной сток, тренды

Известно, что современное потепление климата сказывается на гидрологическом режиме рек.

Цель настоящей работы: получить представление о произошедших климатических изменениях составляющих водного баланса в бассейне р. Колымы, которое расположено на Северо-Востоке России.

Ряды величин годового стока воды р. Колымы взяты из справочников и Гидрологических ежегодников Государственного водного кадастра. Многолетние данные о температуре воздуха и годовых суммах атмосферных осадков размещены на сайте ВНИИГМИ-МЦД. Погодичные значения испарения с поверхности суши вычислялись по гидролого-климатическому методу В.С. Мезенцева.

Методами исследования явились анализ временных рядов на наличие тренда по t-критерию Стьюдента и статистической значимости коэффициента регрессии связи между временем и гидрометеорологической характеристикой при уровне 5%, а также низкочастотная фильтрация скользящим осреднением.

Сравнение норм гидрометеорологических характеристик в Колымском бассейне, рассчитанных за 1961–1990 гг. и 1991–2000 гг. показало, что нормы среднегодовых температур воздуха выросли на 1,3-1,5°C. Нормы испарения с поверхности суши увеличились на 5–11 %. Годовой сток р. Колымы у г. Среднеколымска повысился на 12%. Эти изменения статистически значимы на уровне 5 %. Суммы атмосферных осадков за год тоже возросли, но на трех из четырех метеостанциях это изменение статистически не значимо.

На графиках скользящих 30-летних средних отчетливо видны выявленные тренды в многолетних колебаниях гидрометеорологических характеристик.

Несмотря на рост испарения сток увеличивается. Можно сделать вывод, что относительно небольшое возрастание осадков ощутимо сказывается на норме годового стока.

Эти изменения должны положительно сказаться на работе гидроэнергетики и речного транспорта.

Опасные атмосферные конвективные явления в России: климатология и изменчивость

Чернокульский А.В.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

a.chernokulsky@ifaran.ru

Ключевые слова: *сильный ливень, гроза, град, шквал, смерч, изменение климата, риски, последствия*

Проанализированы пространственно-временные характеристики повторяемости и интенсивности конвективных опасных явлений погоды, включая сильные ливни, грозы, град, шквалы и смерчи в регионах России в теплый период года на основе различных независимых источников информации [1]. На основе данных наблюдений на российских метеорологических станциях за период 1966–2020 гг. оценена повторяемость гроз, града и сильного ветра, вклад экстремальных ливневых осадков в общую сумму осадков, а также доля небосвода, закрытая кучево-дождевыми облаками. На основе спутниковых данных оценена повторяемость и интенсивность смерчевых и шкваловых событий, вызвавших ветровалы (за 1986–2021 гг.), и высота верхней границы облаков глубокой конвекции (за 2002–2021 гг.). На основе данных реанализа ERA5 оценена повторяемость условий, характерных для развития умеренных и интенсивных конвективных явлений. Результаты анализа указывают на общую интенсификацию КОЯП в большинстве регионов России за исключением ряда регионов на юге европейской территории России. Повторяемость умеренных конвективных явлений имеет тенденцию к уменьшению, а наиболее сильных — к росту. Полученные результаты целесообразно принимать во внимание при разработке планов адаптации российских регионов и отраслей к изменению климата.

Литература:

1. Чернокульский А.В., Елисеев А.В., Козлов Ф.А., Коршунова Н.Н., Курганский М.В., Мохов И.И., Семенов В.А., Швець Н.В., Шихов А.Н., Ярынич Ю.И. Опасные атмосферные явления конвективного характера в России: наблюдаемые изменения по различным данным // Метеорология и гидрология, 2022, №5, С.27–41.

Восстановление вертикального распределения NO₂ в нижней тропосфере по многоугловым спектральным измерениям рассеянной солнечной радиации (MAX-DOAS)

Шамсутдинов Д.Р.^{1,2}, Постыляков О.В.¹, Боровский А.Н.¹, Чуличков А.И.^{1,2}

¹*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

²*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
a.danil.dark@gmail.com*

Ключевые слова: *профиль двуокиси азота, метод MAX-DOAS, линейное программирование, оптимальное статистическое оценивание*

NO₂ является одним из ключевых индикаторов антропогенного загрязнения воздуха городов и промышленных районов.

Так, ИФА им.А.М. Обухова РАН выполняет измерения профиля NO₂ в Звенигороде, в Кисловодске и Томске (совместно с ИОА им.В.Е.Зуева СО РАН) методом многоугловой дифференциальной спектроскопии.

В результате первого этапа обработки получают измерения наклонных содержаний NO₂

$$\xi(\theta_i) = \int_0^h m(h, \theta_i) n(h) dh \quad (1)$$

при различных углах визирования θ_i . Коэффициенты $m(h, \theta_i)$ рассчитывают по модели переноса излучения.

Наша задача состоит в оценке профиля концентрации $n(h)$ по данным измерения $\xi(\theta_i)$.

Мы сравнили два математических подхода к решению задачи. Во-первых, мы построили оптимальную линейную статистическую оценку профиля $n(h)$. Для её получения необходима информация о двух моментах статистического распределения $n(h)$.

Однако в большинстве случаев информации для корректного задания функции случайного распределения по оказывается недостаточно, что приводит к разбросу результатов, получаемых различными группами.

Поэтому мы рассмотрели второй подход, основанный на предположении о количествах возможных экстремумов в профиле NO₂.

В утренние часы при высокой вероятности температурных инверсий можно предполагать наличие нескольких максимумов в распределении примеси. После установления конвективного перемешивания более вероятно распределение NO₂ с одним максимумом.

Для решения возникающей задачи используются методы линейного программирования.

В данной работе предполагается, что вертикальный профиль концентрации NO₂ с достаточной точностью может быть аппроксимирован функцией с одним или двумя максимумами.

В докладе приводятся примеры восстановления вертикального содержания NO₂ двумя методами, а также их сравнения, для модельных и реальных профилей.

Анализ внутригородских различий в совместном воздействии высоких температур и загрязнения воздуха на смертность населения

Шартова Н.В.¹, Шапошников Д.А.², Ревич Б.А.²

¹Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия

²Институт Народного хозяйства и Прогнозирования РАН, Москва, Россия

nshartova@hse.ru

Ключевые слова: термический стресс, загрязнение воздуха, городской остров тепла, смертность населения

Последствия влияния жары на здоровье населения в городах хорошо известны во всем мире и описаны во многих исследованиях. Важным вопросом является исследование совместного воздействия высоких температур и загрязненного воздуха на здоровье. В данном контексте Москва представляет интересный объект для анализа различий в отклике смертности населения на примере двух модельных территорий, расположенных на юго-западе и в центре города и отличающихся по своим характеристикам.

Исходные данные включали суточную смертность населения в возрасте старше 65 лет от сердечно-сосудистых заболеваний, в том числе ишемической болезни сердца и инсультов. Среднесуточные температуры воздуха и данные по загрязнению (PM10 и NO₂) были собраны на основе наблюдений станций Мосэкомониторинга. Временной период представлен 2005–2019 гг. Решение всех задач основано на построении нелинейной пуассоновской модели с распределенным лагом.

Расчет температуры, после которой начинается статистически значимый прирост смертности (ММТ), и атрибутивный фракции жары (AFheat), количественно определяющей прирост, позволил получить статистически значимые оценки рисков для всех рассматриваемых причин смерти. Для центра города AFheat для всех трех показателей примерно в два раза больше по величине, чем на юго-западе, что подтверждает эффект воздействия городского острова тепла. Практически все оценки ММТ в дни с низким уровнем загрязнения оказались статистически незначимы, что свидетельствует о менее выраженном эффекте жары на смертность при низких уровнях концентраций загрязняющих веществ. В дни с высоким уровнем загрязнения эффект жары проявлялся при более низких температурах воздуха (в среднем разница составила около 1°C).

Результаты исследования свидетельствуют о внутригородской неоднородности в рисках смертности населения вследствие воздействия городского острова тепла. Загрязнение воздуха действует во взаимосвязи с температурным воздействием, что следует учитывать при разработке профилактических мероприятий.

Подверженность населения регионов России волнам тепла в середине XXI века в соответствии со сценарными прогнозами изменения климата

Шелудков А.В.^{1,2}, Виноградова В.В.^{1,2}

¹*Институт географии РАН, Москва, Россия*

²*Факультет географии и геоинформационных технологий НИУ ВШЭ, Москва, Россия
a.v.sheludkov@igras.ru*

Ключевые слова: *волны тепла, экстремальные погодные явления, подверженность опасным явлениям, климатические риски, прогнозы численности населения*

Согласно 6-му оценочному докладу МГЭИК, при всех сценариях выбросов парниковых газов глобальная температура поверхности Земли будет расти как минимум до середины столетия. Глобальное потепление сопровождается увеличением частоты экстремальных погодных явлений, в частности волн жары. Риски, связанные с экстремально высокими температурами, зависят от социально-экономических факторов, таких как плотность населения и уровень урбанизации. Мы приводим оценки текущей и будущей подверженности (exposure) населения российских регионов воздействию волн тепла в соответствии с прогнозными сценариями МГЭИК на середину XXI века. Используются данные трех моделей CMIP6 для сценариев SSP1-2.6 и SSP5-8.5 и два показателя, которые отражают величину и продолжительность волн тепла в летний период: максимальная суточная температура (Tmax) и количество очень теплых дней (Tx90), т. е. количество дней с максимальной температурой выше 90-го перцентиля наблюдаемой температуры в базовом периоде. Мы также использовали текущие и прогнозные оценки численности населения регионов России по данным Росстата, РАНХиГС и IIASA на 2020 и 2050 гг. Подверженность населения волнам тепла определялась как количество людей в регионах с максимальной дневной температурой выше 30°C, умноженное на количество очень теплых дней. Расчеты показывают, что совокупная подверженность населения воздействию волн тепла увеличивается в 1.8–2.5 раза с 2.46 млрд человеко-дней в текущем периоде до 4.49 и 6.05 млрд человеко-дней для сценариев SSP1-2.6 и SSP5-8.5 соответственно. При общем снижении численности населения рост подверженности в основном обусловлен климатическим фактором за счет расширения зоны воздействия волн тепла на густонаселенные регионы средней полосы России, включая Москву, юг Урала и юг Сибири, в меньшей степени, сдвигом зоны высокой плотности населения в южные регионы. Наибольшему риску подвергаются регионы Причерноморья, Кавказа и Прикаспия, где летние температуры превышают 35°C и 40°C.

Биологические последствия изменения климата в Средней Енисейской тайге

Якушов В.Д., Шефтель Б.И.

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия
bio.yakushev@gmail.com

Ключевые слова: потепление климата, таежный клещ, мелкие млекопитающие, популяционная динамика

В течение последних 60–70 лет в различных регионах нашей планеты отмечено существенное потепление климата. Глобальным биологическим последствиям этого феномена, в отличие от локальных, посвящено много исследований. Но локальные последствия, которым посвящен данный доклад, также очень важны как для биоты, так и для здоровья человека.

Материал собран на Енисейской экологической станции “Мирное” ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН (62°17' с.ш., 89°02' в.д.). Для анализа климатических изменений использованы среднемесячные температуры воздуха с 1972 по 2020 г. на 7 метеостанциях, охватывающих ≈1000 км долины Енисея к северу и югу от стационара (базовый период с 1972 по 1990 годы, источники данных <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/>; <http://rp5.ru>).

Средняя скорость роста температур – 0.05 °C/10 лет, в среднем последнее десятилетие теплее опорного периода на 1.8 °C. Ярче всего этот тренд выражен весной (3.5 °C). Темпы потепления возрастают с увеличением географической широты (0.04–0.06 °C/10 лет).

Влияние потепления климата на биоту можно подразделить на 2 части.

1. Влияние на видовое разнообразие. Сдвигаются северные границы ареалов видов, в том числе способствующих распространению опасных заболеваний, например рыжей полевки, резервуарному виду хантавируса «Пуумала», вызывающего геморрагическую лихорадку с почечным синдромом (ГЛПС), и таежного клеща, распространителя клещевого энцефалита и боррелиоза. Поскольку на севере региона потепление выражено сильнее, это способствует дальнейшему продвижению указанных видов на север.

2. Влияние на экологические особенности сообществ и популяций. Циклические многолетние колебания численности мелких млекопитающих во многих бореальных регионах мира, в том числе в окрестностях экологической станции «Мирное», на рубеже 20–21 веков сменились нециклическими, флуктуирующими. Большинство исследователей связывают этот феномен с глобальными изменениями климата, последствия которого для функционирования таежных экосистем еще предстоит выяснить.

Гидрометеорологические условия эксплуатации ледовых переправ на реках Арктической зоны России

Агафонова С.А.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
sv_ice@list.ru*

Ключевые слова: *толщина льда, ледостав, изменение климата*

Ледовые переправы играют ключевую роль в транспортной инфраструктуре Арктической зоны России (АЗР). Они заменяют понтонные мосты и паромные переправы в холодную часть года или являются частью зимников. Пересечение водных объектов в составе зимников сокращает период их эксплуатации, но из-за высокой густоты речной сети и озерности арктических территорий избежать подобных пересечений часто невозможно. Крупные ледовые переправы пересекают рр. Северная Двина, Печора, Обь, Хатанга, Анадырский лиман и Чаунскую губу.

Средняя продолжительность ледостава на реках АЗР меняется по территории от 150 сут. в Карелии до 240 и более сут. на севере Красноярского края. К ледовым явлениям, нарушающим режим эксплуатации ледовых переправ в АЗР, относятся, прежде всего полыньи, многослойный лед, торосы и наледи.

Климатические изменения уже сейчас приводят к сбоям в работе ледовых переправ. В теплые многоснежные зимы ледяной покров не достигает достаточной толщины и грузоподъемности, а малые реки, пересыпанные снегом, могут не замерзнуть вовсе. Сокращение периода эксплуатации зимников и ледовых переправ в АЗР в последние годы часто связаны также со сложными погодными условиями. Усиление ветра, плохая видимость и метели являются основанием для ограничений движения транспорта.

Анализ изменения климатических ресурсов при сравнении 2-х периодов (1961–1990 и 1991–2020) для АЗР показал, что снижение накопленных сумм отрицательных температур воздуха происходит преимущественно за счет сокращения числа дней с температурами ниже -15°C .

По данным гидрологических постов сокращение продолжительности ледостава (при сравнении 2-х периодов 1961–1990 и 1991–2020 гг.) составляет 11–14 сут. для рек европейского сектора АЗР и не превышает 2–3 сут. для рек Восточной Сибири в пределах АЗР, толщины льда – на реках Восточной Сибири – не более 5 см, на остальных реках Сибири и на больших реках севера европейской территории (в пределах АЗР) – до 10 см и только на реках Карелии – 10 – 15 см.

Наиболее реалистичный сценарий изменения климата для планирования адаптационных мероприятий

Александров Г.Г.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

gleb@ifaran.ru

Ключевые слова: Изменение климата, выбросы углекислого газа, сценарии SSP

При планировании адаптационных мероприятий очень важно ориентироваться на наиболее реалистичный сценарий изменения климата. Однако, в отчетах МГЭИК все сценарии изменения климата традиционно предлагается считать равновероятными, а при обсуждении изменений климата нередко используют наиболее пессимистический сценарий. Проблемы, связанные с выбором сценария SSP5-8.5 в качестве «рабочего», подробно обсуждаются в работе Хаусфазера и Петерса [1]. По их мнению, выбирать этот сценарий в качестве «рабочего», во-первых, некорректно, а во-вторых, может спровоцировать «пораженческие настроения» относительно возможности сдерживать изменения климата, но выбор наиболее реалистичного сценария представляет собой непростую задачу. Сценарии глобальных выбросов CO₂ довольно сложно интерпретировать в терминах смены технологий и регулятивных мер, так как конкретные предположения, лежащие в основе того или иного сценария, редко формулируются в явном виде. Куми и др [2] предлагают для этой цели применять метод декомпозиции, т. е. оценивать вклад каждого фактора, определяющего выбросы CO₂, в их изменение, предполагаемое каждым сценарием. В настоящей работе наблюдаемые тенденции выбросов углекислого газа экстраполируются на 10-лет вперед и до конца века с помощью модели технологического прогресса. Результаты экстраполяции зависят от периода, по которому определяются параметры модели. Из данных о выбросах за период 1751–2000 гг. следует, что в 2000 г. наиболее реалистичным следовало бы считать сценарий SSP3-7.0, а данные за период 1751–2015 гг. предполагают, что в настоящее время наиболее реалистичным является сценарий SSP2-4.5.

Литература:

1. Hausfather Z., Peters G. P. Emissions—the ‘business as usual’ story is misleading // Nature. 2020. Vol. 577. P. 618–620.
2. Koomey, J., et al. Inside the Black Box: Understanding key drivers of global emission scenarios // Environmental modelling & software. 2019. Vol. 111: P. 268–281.

Оптимизация региональной адаптации к изменению климата в Арктическом регионе России на основе прогностического моделирования

Анисимов О.А.^{1,2}, Бадина С.В.³

¹Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия

²Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

anisimov.travel@gmail.com

Ключевые слова: адаптация, моделирование, прогноз, риски

Правительством РФ были утверждены 10 планов адаптации различных видов экономической деятельности и 21 региона России к изменениям климата. Тема адаптации для большинства министерств, ведомств и руководителей регионов является новой, поэтому планы в малой степени отражают научное понимание проблемы, не учитывают мировые «лучшие практики». Цель работы в том, чтобы на примере Арктической Зоне Российской Федерации (АЗРФ) разработать информационную основу для количественной оценки климатозависимых экономических и инвестиционных рисков, обусловленных деградацией многолетнемерзлых грунтов.

Была построена база климатических данных для АЗРФ на основе моделей земной системы CMIP6; разработаны программы, реализующие модельные расчеты параметров физического состояния многолетнемерзлых грунтов и инженерной несущей способности грунтов в условиях изменения климата; получена оценка стоимости жилой инфраструктуры АЗРФ с детализацией по муниципальным образованиям. На основе этих данных были рассчитаны индекс геокриологического риска, характеризующий изменение несущей способности многолетнемерзлых грунтов, и индекс уязвимости хозяйственных систем, который рассчитывается для различных административно-хозяйственных регионов как произведение средних по регионам значений индекса геокриологического риска и оценочной стоимости основных фондов.

Расчеты указывают на то, что значения индекса уязвимости хозяйственных систем значительно различаются в пределах АЗРФ. Полученные результаты и прогностические карты дают возможность оптимизировать инвестиции в мероприятия по адаптации, выделяя объекты и регионы, требующие первоочередного внимания.

Адаптация регионального агропромышленного комплекса к изменениям климата: проблемы, задачи плана адаптации, методы решения

Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В., Ашабокова М.Б.

Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Россия

ashabokov.boris@mail.ru

Ключевые слова: адаптация, изменение климата, опасные погодные явления, сельскохозяйственное производство, целевые индексы

В работе приводятся результаты анализа проблемы адаптации регионального сельского хозяйства к изменению климата и его экстремальных проявлений. Отмечено, что на данном уровне более целесообразным является рассмотрение данной проблемы для агропромышленного комплекса (АПК) для системы «сельское хозяйство - перерабатывающая отрасль» с учетом их взаимосвязи. Такой подход в существенной степени может повысить эффективность функционирования системы. Приводятся формулировки цели адаптации и задач плана адаптации указанной системы к изменению климата. Обсуждаются некоторые проблемы адаптации данного сектора экономики к изменению климата, а именно: недостаточная информационная обеспеченность решения задач адаптации, недостаточная изученность воздействия климатических факторов на функционирование сельского хозяйства и уязвимости сельскохозяйственных культур от климатических факторов и др. Изложены методы решения задач адаптации агропромышленного комплекса к изменению климата. Приводятся результаты решения таких задач, как формирование и согласование целевых индикаторов развития АПК и определение траектории развития АПК на интервале адаптации, на пути решения которых возникают наибольшие трудности

Влияние изменения климата на здоровье людей и демографические процессы в регионе и возможные пути снижения его последствий

Ашабокова М.Б., Темирхоева Х.М.

*Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Россия
ashabokova.marina@rambler.ru*

Ключевые слова: адаптация, изменение климата, демографические процессы, системы жизнеобеспечения

Глобальное изменение климата в состоянии оказать колоссальное влияние на окружающую среду и на все сферы деятельности людей. Проблему противостояния последствиям данного фактора предлагается рассматривать как проблему создания систем жизнеобеспечения общества на различных уровнях. Определены элементы этих систем, важнейшими из которых являются социально-экономические, политические, демографические и другие процессы, а также факторы, определяющие характер их функционирования (природно-климатические, политические, состояние систем здравоохранения, образования, науки и др.).

В работе проведен анализ проблем, возникающих на пути снижения последствий изменений климата для демографического состояния общества, к которым относится и отсутствие информации необходимого качества и объема для проведения исследований. В большей степени это относится к демографическим процессам. В связи с этим предложено исследовать влияние изменения климата на эти процессы в два этапа:

- изучение влияния данного глобального фактора на здоровье людей;
- использование результатов данного этапа для изучения влияния изменения климата на демографические процессы.

Тогда элементом системы мероприятий, направленных на снижение последствий изменения климата для демографических показателей, является адаптация системы здравоохранения на различных уровнях к изменениям климата. Сформулированы задачи адаптации региональной системы здравоохранения к изменению климата. В рамках теории чувствительности разработан метод определения показателей, характеризующих состояние экономики, социальной сферы и состояние окружающей среды, от которых в большей степени зависят демографические показатели и которых можно использовать для управления этими показателями. Приводятся результаты расчетов чувствительности демографических показателей к вариациям показателей, характеризующих состояние экономики и социальной сферы в регионе.

Возможности и ресурсы международных организаций для обеспечения адаптации Санкт-Петербурга к изменению климата

Близнечкая Е.А.

Московский Государственный Институт Международных Отношений МИД России, Москва, Россия

ekate.bliznetskaya@gmail.com

Ключевые слова: адаптация, международные организации, Санкт-Петербург, климатические риски

Целью исследования являлось определение международных инициатив, которые потенциально могут быть полезными в формировании и реализации адаптационных действий города Санкт-Петербурга в краткосрочной и долгосрочной перспективе. Для этого были выделены ключевые организационные компоненты адаптационной политики города – анализ физических рисков и уязвимости, анализ ущерба и затрат, разработка адаптационных мероприятий, реализация адаптационных мероприятий. В качестве содержательных компонентов выделялись следующие: смягчение рисков бедствий, связанных с наводнениями; смягчение последствий волн жары; охрана культурного наследия в контексте меняющегося климата. В выборку международных инициатив включены как межправительственные формальные организации, так и учреждения с гибридным членством, неправительственные сети, альянсы, программы.

В соответствии с Национальным планом мероприятий второго этапа адаптации к изменению климата на период до 2025 года, к региональному блоку отнесены актуализация региональных планов адаптации и мониторинг состояния и устойчивости грунтов в пределах населенных пунктов. Однако, на практике именно региональный блок работы в области адаптации является ключевым, и региональная специфика в каждом отдельном случае будет по-разному складывать мозаику федеральных полномочий и отраслевых планов адаптации, в том числе в вопросах международного сотрудничества.

Адаптация города к изменению климата – это сложный, открытый социальный процесс. Решения, влияющие на эффективность реализации плана адаптации принимаются не только федеральными и региональными властями, но и девелоперами, руководителями предприятий, в том числе финансовыми учреждениями, и наконец, его гражданами. Участие в международном диалоге и использование лучшего зарубежного опыта не является прерогативой государства, поэтому систематизация возможностей и ресурсов международных инициатив может быть полезна для применения в негосударственном и частном секторах.

Имеет ли размер значение? Оценка охлаждающего эффекта зеленых зон Москвы по данным детализированного моделирования

Варенцов М.И.^{1,2,3}, Васенев В.И.⁴, Дворников Ю.А.⁴, Самсонов Т.Е.^{5,3}, Климанова О.А.⁵

¹*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский
вычислительный центр, Москва, Россия*

²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

³*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия*

⁴*Центр смарт-технологий устойчивого развития городских экосистем в условиях глобальных
изменений РУДН, Москва, Россия*

⁵*Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия*

mikhail.varentsov@srcce.msu.ru

Ключевые слова: *городской остров тепла, городские парки, мезомасштабное моделирование, волна жары, COSMO, Москва, зеленая инфраструктура*

Городская зеленая инфраструктура считается одним из ключевых инструментов для смягчения последствий глобального потепления и эффекта городского острова тепла [1]. Однако охлаждающий эффект зеленой инфраструктуры зависит от ее типа, размера и геометрии, и далеко не все виды таких зависимостей детально изучены. В частности, слабо изучен вопрос об оптимальном размере зеленых зон для охлаждения городской среды. Нами изучен охлаждающий эффект зеленых зон различного размера в г. Москва в условиях волны жары в июне 2021 г. [2]. Рассмотрены зеленые зоны крупнее 1 га, разделенные на 4 класса по площади (S, L, M и XL). Инструментом исследования является региональная климатическая модель COSMO, дополненная городской параметризацией и детальными данными о параметрах застройки. Выполнено моделирование метеорологического режима Москвы со сверхвысоким разрешением (с шагом сетки 250 м) с реалистичной конфигурацией зеленых зон и застройки (эксперимент CTRL), и при допущении замены зеленых зон одного из классов застроенную территорию (эксперименты noGI_S ... noGI_XL). Охлаждающий эффект для каждого класса оценен как разность между результатами экспериментов noGI и CTRL.

Показана зависимость между размером зеленых зон и их охлаждающим эффектом. Снижение средней за период волны жары температуры воздуха в зонах размера XL достигает 3.4°C, а для класса S не превышает 2°C. Эффективность охлаждения на единицу площади для класса XL на 23% выше, чем для класса S внутри зеленых зон, на 40–90% в буферных зонах вокруг них и на 35% в среднем по городу. Более эффективное охлаждения для крупных зеленых зон можно объяснить характерным эффектом паркового бриза, т. е. усилением дивергенции ветра. Однако наибольший охлаждающий эффект для застроенных территорий, где живут и работают люди, оказывают зеленые зоны размеров S и M. Это связано с большей удаленностью более крупных зеленых зон от районов сосредоточения застройки и населения. Работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 19–77-300-12.

Литература:

1. Krayenhoff E.S. et al. Cooling hot cities: a systematic and critical review of the numerical modelling literature // *Environmental Research Letters*. 2021. V. 16. № 5. P. 053007. DOI: 10.1088/1748-9326/abdef1
2. Varentsov M., Vasenev V., Dvornikov Y., Samsonov T., Klimanova O. Does size matter? Modelling the cooling effect of green infrastructures in a megacity during a heat wave // *Science of The Total Environment*. 2023. V 902. P. 165966. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.165966

Проблемы и возможности адаптации к изменениям климата

Вязилов Е.Д.

*Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации –
Мировой центр данных, Обнинск, Россия*

vjaz@meteo.ru

Ключевые слова: адаптация к изменениям климата, прогноз воздействий, выдача рекомендаций, персонализация, автоматическая доставка данных

Изменения климата влияют на деятельность различных отраслей экономики и население. Климатическое обслуживание имеет определенные барьеры. Во-первых, руководители предприятий не готовы к использованию такого обслуживания. Во-вторых, огромные объемы климатической информации требуют существенного повышения уровня автоматизации использования этой информации. В-третьих, существующие сайты с климатической информацией ориентированы на самообслуживание.

Развитие адаптации предприятий различных отраслей должно строиться на современных ИТ-достижениях. В докладе рассмотрены комплексные предложения по реализации климатического обслуживания руководителей предприятий. Предлагается развивать: интеграцию разнородных и распределенных данных в т. ч. для создания цифровых двойников, включающих не только климатическую информацию, но социальные, экономические, технологические и другие типы данных, необходимых для оценки воздействий изменений климата на население и предприятия; сквозную технологию обработки климатических данных на основе конвейера от наблюдения до принятия решений; персонализацию климатического обслуживания за счет разработки базы данных локальных пороговых значений по уровням опасности для каждого предприятия и вида деятельности на нем для идентификации опасных значений показателей изменений климата; модели и прогнозы возможных воздействий изменений климата с возможностью оценки ущерба, базы данных рекомендаций для принятия решений с расчётом стоимости превентивных мероприятий; модели оптимизации решений на основе модели «ущерб - стоимость превентивных мероприятий».

Для принятия решений на основе автоматического детектирования показателей изменений климата необходимо изучить их влияние на предприятия и создать соответствующие базы знаний.

За счет использования современных информационных технологий для климатического обслуживания можно существенно улучшить адаптацию к изменениям климата и соответственно сократить ущерб [1, 2].

Литература:

1. Вязилов Е.Д. (2021) Цифровая трансформация гидрометеорологического обеспечения потребителей. Том[°]1. Подходы по реализации. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 355с.;
2. Вязилов Е.Д. (2022) Цифровая трансформация гидрометеорологического обеспечения потребителей. Том[°]2. Использование в различных отраслях. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 356с.

Построение сетей высокоразрешающего мониторинга атмосферных осадков с целью адаптации городских агломераций к изменению климата

Гаврилова С.Ю.¹, Репеева А.В.^{1,2}

*Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург, Россия
in_heaven@mail.ru*

Ключевые слова: *город, адаптация, автоматизированная сеть, мониторинг, осадки*

Всемирная метеорологическая организация признает, что стремительная урбанизация, особенно в контексте климатических изменений, требует развития новых видов обслуживания, которые наилучшим образом повысят устойчивость городов к опасности, связанной с влиянием окружающей среды, погоды, климата, экстремальных погодноклиматических явлений и воздействий.

Городская инфраструктура, являющаяся совокупностью дорожных, транспортных, финансовых, инженерных, социальных коммуникаций, является особо уязвимой при экстремальных проявлениях окружающей среды. К таким экстремальным проявлениям относятся, например, наводнение, метель, сильный снег, сильный ливень, гололедица.

Всестороннее и своевременное интегрированное информационное городское обслуживание всех категорий потребителей потоками данных высокоразрешающего мониторинга атмосферных осадков повысит устойчивость городов к опасности, позволит минимизировать ущерб для погодозависимых отраслей экономики и обеспечить безопасность населения

К реградации солончаков Кизлярских пастбищ естественно-антропогенным способом

Гасанов Г.Н.^{1,2}, Мусаев М.Р.² Асварова Т.А.¹, Гаджиев К.М.¹, Баширов Р.Р.¹, Абдулаева А.С.¹,
Гасанова З.У.¹

¹Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, Махачкала, Россия

²Дагестанский аграрный университет им. М.М. Джамбулатова, Махачкала, Россия
zgasanova@list.ru

Ключевые слова: аридизация, солончак реградируемый

Почвенный покров Кизлярских пастбищ с 70-х 80-х годов и по н. вр. подвергается ненормированному и бессистемному использованию пастбищных угодий, что способствует усилению дефляционных процессов и аридизации территории. В данном исследовании рассматривается солончак корковый и способ его реградации путем интенсификации образования илисто - песчаной прослойки.

По результатам этих исследований установлено, что в течение 8 лет на поверхности солончака коркового сформировался гумусовый горизонт мощностью 5–7 см, солончак корковый трансформировался в солончак реградируемый.

Повысилось проективное покрытие растительности в 2,2 раза, урожайность воздушно - сухой надземной массы увеличились соответственно в 3,4 раза.

Достижение такой продуктивности фитоценозов на илисто - песчаной прослойке, созданной на поверхности солончака коркового, явилось следствием формирования нового светлогумусового олово-аккумулятивного горизонта почвы.

Приземный озон, температура атмосферного воздуха и неотложные состояния кардио-респираторной системы на Южном берегу Крыма: ретроспективный анализ данных за период 2010–2014 гг.

Евстафьева Е.В.¹, Дудченко Л.Ш.¹, Беляева С.Н.¹, Лапченко В.А.², Прокопенко Н.А.¹

¹*Академический научно-исследовательский институт физических методов лечения, медицинской климатологии и реабилитации им. И.М. Сеченова, Ялта, Россия*

²*«Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского» природного заповедника РАН, филиал ФИЦ Института биологии южных морей, Курортное, Россия*

evstafeva@mail.ru

Ключевые слова: *неотложные состояния, кардио-респираторная система, приземный озон, температура атмосферного воздуха, приземный озон*

Несмотря на очевидный механизм негативного влияния озона на дыхательную систему и, менее очевидный, на сердечно-сосудистую, накапливается все больше сведений, подтверждающих его опасность в отношении кардио-респираторной системы при краткосрочном влиянии высоких доз и длительном воздействии субхронических доз как по данным обширных эпидемиологических, так и экспериментальных исследований. Конечный эффект этого влияния может быть существенно модифицирован метеопогодными факторами, в особенности температурой атмосферного воздуха [1]. Определение региональных допустимых уровней сочетанного влияния этих факторов имеет особое значение на Южном берегу Крыма, где сосредоточены санатории для больных кардио-респираторного профиля. С этой целью были проанализированы ретроспективные данные по количеству вызовов скорой помощи в связи с неотложными состояниями по причине обострений бронхиальной астмы и ишемической болезни сердца, гипертонической болезни, острого инфаркта миокарда, острой недостаточности мозгового кровообращения и вегето-сосудистой дистонии у населения г. Ялта за период 2010–2014 г. Перманентная регистрация концентрации приземного озона на Карадагской станции фонового мониторинга производилась оптическим методом с помощью автоматического газоанализатора АРОА 370 (HORIBA). Статистический анализ взаимосвязи сопоставляемых данных осуществлялся посредством непараметрического корреляционного анализа по Спирмену.

Полученные результаты свидетельствовали о значимой зависимости числа обострений регистрируемых заболеваний кардио-респираторной системы от концентрации приземного озона, чаще наблюдаемой у кардиологических больных. Характер зависимости в разные сезоны был разным, что при отрицательных корреляционных коэффициентах может свидетельствовать о задержке в реагировании [2], обусловленной, по-видимому, уровнем озона и сопутствующими метеопогодными факторами, среди которых важную роль играет температура атмосферного воздуха.

Литература:

1. Spatio-Temporal Modeling of Ozone Distribution in Tehran, Iran Based on Neural Network and Geographical Information System/Sherafati L, et al./Iran J Public Health. 2022 Jan;51(1):196-204. doi: 10.18502/ijph.v51i1.8312.PMID: 35223641
2. Evaluating changes in ambient ozone and respiratory-related healthcare utilization in the Washington, DC metropolitan area/CH. Fuller et al./Environ Res.. 2021 Jul; 186: 109603. Published online 2020 Apr 26. doi: 10.1016/j.envres.2020.109603

Водно-зеленый градостроительный каркас в крупных городах России и его возможный потенциал климатической адаптации

Илларионова О.А., Климанова О.А., Колбовский Е.Ю.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

heatherpaw95@gmail.com

Ключевые слова: водно-зелёный градостроительный каркас, потенциал климатической адаптации, климаторегулирующие функции, крупные города, приречные территории

Природо-ориентированные решения в настоящее время рассматриваются как один из наиболее эффективных инструментов повышения городской жизнестойкости к изменениям климата [1]. Интегрирующая территориальная система для таких решений - водно-зеленый градостроительный каркас (ВЗГК). В отличие от привычного для отечественной практики планирования понятия экологический каркас, его состав более обширен по составу элементов и по реализуемым функциям.

По результатам наших оценок состава и состояния зеленой инфраструктуры в крупных российских городах в состав ВЗГК могут быть включены: 1) леса в городской черте и в верхних частях водосборных бассейнов, частично относящихся к городу, 2) внутригородское озеленение, 3) террасированные склоны водоразделов, позволяющие удерживать и замедлять поверхностный сток, 4) городские водотоки и их приречные территории, 5) пруды, озера и небольшие городские водоемы, 6) внутригородские заболоченные территории, 7) природные комплексы приморских территорий, 8) подводная растительность субаквальных ландшафтов. Потенциал каждого из этих элементов по климатической адаптации определяется сочетанием климато- и стокорегулирующих функций, а также возможностью предоставления условий для рекреации и отдыха, что особенно актуально для поддержания здоровья городского населения [2].

Для ряда крупнейших городов России по космическим мультиспектральным и тепловым снимкам Landsat 8 выполнены модельные расчеты по оценке потенциала климатической адаптации отдельных элементов ВЗГК. С высокой долей достоверности выявлено, что на него влияют размер и форма патча, доля древесного покрова и водных объектов в составе ВЗГК, ориентация и расположение города по отношению к главному водотоку, ширина и непрерывность его «зеленой» приречной территории, близость элементов ВЗГК к зоне компактного проживания населения. Значимым показателем может быть и связность ВЗГК города в целом, которая свидетельствует о полноте реализации им потенциала климатической адаптации.

Литература:

1. Kabisch N. et al. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action // Ecology & society. – 2016. – V. 21(2).
2. Seddon N. et al. Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges // Philosophical Transactions of the Royal Society. – 2020. – V. 375.

Специфика нормативных документов по вопросам адаптации к изменениям климата в области рыболовства

Кивва К.К., Кровнин А.С.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Москва, Россия

kivva@vniro.ru

Ключевые слова: *Методические рекомендации, отраслевой план адаптации, агропромышленный комплекс, водные биологические ресурсы, изменения запасов, исключительная экономическая зона, морские акватории*

Основные существующие на данный момент нормативные документы, затрагивающие вопросы адаптации к изменениям климата в области рыболовства, включают следующие.

1. Национальный план мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года (НПАИК-1) [1].
2. Методические рекомендации по оценке климатических рисков (РОКР) и Методические рекомендации по формированию отраслевых, региональных и корпоративных планов адаптации к изменениям климата (РФОП) [2].
3. Отраслевой план адаптации к изменениям климата в сфере агропромышленного комплекса, в области рыболовства на период до 2022 года (ОПАИКАР) [3].
4. Национальный план мероприятий второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 года (НПАИК-2) [4].

НПАИК-1 стал рамочным документом, запустившим процесс разработки всех остальных перечисленных документов. В РОКР и РФОП предпринята попытка дать универсальную методологию формирования адаптационных мероприятий. ОПАИКАР создан согласно НПАИК-1, с учётом РОКР и РФОП. Однако 95 % ежегодного вылова водных биологических ресурсов (ВБР) Россией приходится на некультивируемые объекты рыболовства в морях и океанах. Изменения запасов ВБР лишь отчасти напрямую или косвенно связаны с изменениями в среде обитания. Прямой учёт влияния изменений климата на них затруднителен, для них неприменимы подходы, справедливые для стационарных объектов хозяйствования. Кроме того, информация о состоянии запасов ВБР доступна только для ряда основных объектов рыболовства. Для большинства объектов существует только мониторинговая информация о вылове с 2004 года. При этом вопросам изменения климата в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) и на континентальном шельфе России уделяется меньше внимания, чем соответствующим вопросам по территории страны [5].

Вышесказанное позволяет заключить, что при разработке документов, предусмотренных НПАИК-2, необходимо отдельно учитывать объекты в ИЭЗ, на континентальном шельфе России и в открытых районах Мирового океана.

Литература:

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2019 года № 3183-р.
2. Приказ Минэкономразвития России от 13 мая 2021 года № 267.
3. Распоряжение Минсельхоза России от 30 декабря 2021 года № 716-р.
4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 11 марта 2023 года № 559-р.
5. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В. М. Катцова; Росгидромет. – Санкт-Петербург: Научное издание, 2022. – 676 с.

Адаптация регионов России. Проблемы и предлагаемые решения

Кожанова Л.В., Белов Е.И.

Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов, Москва, Россия
lv.kozhanova@asi.ru

Ключевые слова: адаптация, климат, регионы

В рамках программы «Адаптация регионов России к изменениям климата», проводимой РЭУ им. Плеханова по заказу Агентства стратегических инициатив при участии ведущих российских центров компетенций (в т.ч. ИГКЭ им. Израэля, ИФА РАН, ГГО им. Воейкова, НИУ ВШЭ, МГУ им. Ломоносова и пр.), ведется работа по повышению компетенций команд 35 субъектов РФ, а также ведется работа по разработке концепций прикладных проектов адаптации к изменениям климата с целью минимизации ущерба и/или эффективного использования новых возможностей.

Множество разрабатываемых проектов можно разбить на несколько основных отраслевых сюжетов:

- выполнение исследовательских работ с последующей актуализацией региональной нормативно-правовой базы (Камчатский край, Чукотский автономный округ);
- проведение агролесомелиоративных работ (Ростовская обл., Саратовская обл., Ставропольский край);
- внедрение/расширение посадок устойчивых к изменениям климата и малопопулярных культур (Брянская обл., Республика Крым, Республика Северная Осетия – Алания);
- инвентаризация и обустройство водных объектов (Белгородская обл., Кировская обл., Тамбовская обл.); управление водно-болотными угодьями (Ленинградская обл.);
- повышение эффективности управления лесными угодьями (Курская обл., Нижегородская обл.);
- адаптация городской среды (г. Москва, Пермский край, Челябинская обл.);
- создание промышленно-гражданской и транспортной инфраструктуры в регионах Крайнего Севера (Красноярский край, Республика Саха – Якутия).

Также разрабатываются проекты, связанные с внедрением новых строительных технологий и материалов, созданием отраслевых региональных ГИС, повышением энергетической безопасности регионов и пр.

Основные проблемы – дефицит профильных знаний и данных о климатических рисках, сложность межведомственного взаимодействия, ограниченность финансовых ресурсов. Тем не менее даже в таких условиях возможна разработка и реализация адаптационных проектов со значительными социально-экономическими и иными эффектами.

Экологические последствия климатических изменений и адаптация к ним в Ямало-Ненецком автономном округе

Колесников Р.А.¹, Черных Д.В.², Малыгина Н.С.²

¹ГАО ЯНАО "Научный центр изучения Арктики", Салехард, Россия

²Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия
roman387@mail.ru

Ключевые слова: Климатические изменения, адаптация к изменениям климата, Арктика, Ямало-Ненецкий автономный округ, план адаптации к изменениям климата

В последние десятилетия в ЯНАО идёт потепление климата. Результаты расчетов изменений температуры для последних 50 лет показали, что её повышение составило $\approx 0,6-0,7^{\circ}\text{C}/10$ лет, увеличение атмосферных осадков по данным метеорологических станций – на 16 мм/10 лет. Прогнозирование климатических изменений до конца XXI в., выполненное с использованием ансамбля моделей СМIP 6 показало, что тенденция потепления будет сохраняться [1].

Повышение температуры воздуха оказывает влияние на ход многих природных процессов и жизнедеятельность человека в ЯНАО. Так, в условиях деградации многолетней мерзлоты усиливаются риски, связанные с криогенными процессами, деградацией мёрзлых грунтов и снижением их несущей способности. Значительная часть региона подвержена термокарсту, термоэрозии и пучению. По берегам рек, озёр и заливов Карского моря развиваются криогенные оползни, солифлюкция, термоабразия. Идет переработка берегов озёр [2].

Наличие многолетнемерзлых пород при незначительных уклонах поверхности затрудняет сток осадков и талых вод. В результате происходит подтопление территории, её заболачивание. Интенсифицируются процессы плоскостной эрозии. На реках во время вскрытия ото льда наблюдаются наводнения. Летом интенсивно горит лесной фонд, возникают тундровые пожары.

Увеличение частоты зимних оттепелей, сопровождающихся таянием снега и образованием корки льда на поверхности почвы и растений, препятствует доступу оленей к кормам. Возникают зимние и ранневесенние падежи домашних оленей [3].

Дальнейшее потепление приведет к изменениям в структуре флоры и фауны: появятся новые виды, изменение среды обитания скажется на условиях миграции. Уже сейчас фиксируются так называемое «позеленение» тундры, распространение кустарников в тундре. Повышение температур может привести к возникновению эпидемий, эпизоотий и эпифитотий.

С целью адаптации к происходящим изменениям климата в ЯНАО реализуется региональный план адаптации, включающий 50 различных мероприятий.

Литература:

1. Современные климатические изменения и их влияние на ландшафтную структуру ЯНАО: отчет о НИР/Салехард, 2022.183с.
2. Кислов А.В. Прогноз изменений климата и интенсивности экзогенных процессов на территории Ямало-Ненецкого автономного округа // Доклады РАН. Науки о Земле. 2023.Т.510.№2.С.233-240.
3. Колесников Р.А., Локтев Р.И. Действие экологических факторов, как причина зимнего и ранневесеннего падежа оленей в сеяхинской тундре полуострова Ямал // Научный вестник ЯНАО.2018.№3(100).С.38-45.

Создание и совершенствование базы данных о климатической комфортности для территории Северной Евразии для современного и будущего климата

Константинов П.И.^{1,4}, Шартова Н.В.², Варенцов М.И.^{3,4}

¹Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Высшая Школа Экономики, Москва, Россия

³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский вычислительный центр, Москва, Россия

⁴Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия
kostadini@mail.ru

Ключевые слова: изменение климата, климатическая комфортность, PET, UTCI, база данных реанализа

Изменения климата ставят перед нами получения информации о пространственном распределении показателей биоклиматической комфортности на глобальном или континентальном уровне.

В современной климатологии задача хранения таких данных решается с помощью баз данных «реанализа» - массива данных метеорологических переменных, особым образом спроецированных на узлы координатной сетки. Этот подход в полной мере актуален для территории Северной Евразии с ее разнообразным климатом, быстрыми изменениями окружающей среды и часто разреженной сетью натурных наблюдений.

В данном докладе мы представляем концептуально новый набор данных для наиболее популярных индексов теплового комфорта, а именно «индекса жары – Heat Index (HI)», индекса жары и влажности - Humidex (HUM), индекса холодового дискомфорта (WCT), средней лучистой температуры (MRT), физиологически эквивалентной температуры (PET) и универсального индекса теплового комфорта (UTCI). Исходным материалом для расчета и моделирования данных индексов стали данные реанализа ERA-Interim для территории Северной Евразии (географическая область, ограниченная 40°N-80°N, 10°W-170°W).

Представляемый набор данных имеет горизонтальное разрешение 0,75° x 0,75° (до 79 км), временное разрешение 3 часа и охватывает период с 1979 по 2018 год (40 лет), что соответствует стандарту Всемирной метеорологической организации (ВМО) при определении параметров современного климата. Временные ряды индексов дополнены набором из 8092 предварительно рассчитанных статистических параметров, характеризующих климатологию условий тепловой/холодовой нагрузки.

В качестве примера мы также демонстрируем несколько примеров применения Северо-Евразийской базы данных о термическом комфорте (NETCID), включая анализ пространственной неоднородности условий теплового стресса, оценку их изменений и анализ конкретных экстремальных явлений.

В настоящее время база данных NETCID доступна для бесплатного скачивания по адресу <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12629861>

Сравнение зеленых и белых крыш как методов адаптации к экстремальной жаре на примере Москвы

Коспанов А.А., Константинов П.И.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

kospanov.alen@gmail.com

Ключевые слова: микроклимат, городской остров тепла, адаптации, зеленые крыши, численное моделирование

Московский мегаполис в 2021 и 2022 годах трижды испытывал метеорологические условия, соответствующие волне жары – более 5 последовательных дней с максимальной температурой, превышающей средний климатический максимум на 5 градусов и более. Экстремально высокие температуры приводят к увеличению смертности, так как увеличивается нагрузка на дыхательную и сердечно-сосудистую системы.

Так как изменить уже существующую застройку не представляется возможным, стоит рассмотреть способы уменьшения температуры. Наиболее простых способа два – увеличить отражающую способность, либо снизить температуру за счет затрат тепла на испарение с растительности.

Для оценки влияния описанных выше подходов использовалась модель WRF-ARW версии 4.5. Была использована многоуровневая параметризация городской подстилающей поверхности ВЕР+ВЕМ, которая точно воспроизводит основные метеопараметры в условиях городской застройки.

Для экспериментов было выделено 3 периода, соответствующих критериям волны жары:

- 1) 17–29 июня 2021 года
- 2) 8–18 июля 2021 года
- 3) 2–29 августа 2021 года

Для каждого периода было проведено 4 эксперимента:

- 1) Моделирование с параметрами городской застройки, приближенными к реальным
- 2) Моделирование с зелеными крышами
- 3) Моделирование с белыми крышами

Моделирование проводилось на 3 вложенных сетках с шагом 9000, 3000 и 1000 метров, охватывающих Москву и окрестности. Результаты моделирования показали снижение температуры воздуха на высоте 2 метра и изменение вертикального профиля как температуры воздуха, так и влажности.

По результатам проведенного эксперимента, белые крыши привели к уменьшению температуры воздуха как днем, так и ночью. Интересным фактором для проверки влияния на температуру воздуха может быть увеличение альбедо стен. С одной стороны, это уменьшит поглощение солнечной радиации, с другой это увеличит количество переотражения внутри городского каньона.

Литература:

1. Skamarock W. C. et al. A description of the advanced research WRF version 4 //NCAR tech. note ncar/tn-556+ str. – 2019. – Т. 145.
2. Zonato A. et al. Exploring the effects of rooftop mitigation strategies on urban temperatures and energy consumption //Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2021. – Т. 126. – №. 21. – С. e2021JD035002.

Потенциал экосистемных услуг в адаптации к изменениям климата в России

Липка О.Н., Андреева А.П.

Институт глобального климата и экологии им. акад. Ю.А. Израэля, Москва, Россия

olipka@mail.ru

Ключевые слова: экосистемные услуги, адаптация на основе экосистем, изменения климата

Идея использования экосистемных услуг для адаптации, в том числе антропогенных систем, к изменениям климата трансформировалась в действующую концепцию: адаптация к изменениям климата на основе экосистем (Ecosystem-based Adaptation – EbA). Она предполагает использование биоразнообразия, экосистемных функций и услуг в рамках общей стратегии адаптации, чтобы помочь людям адаптироваться к неблагоприятным последствиям изменения климата.

В России методы адаптации на основе экосистем пока недооценены. Это связано как незавершенностью общей оценки экосистемных услуг для территории страны, так и с применением традиционной системы ТЕЕВ (The Economics of Ecosystem and Biodiversity), в которой регулирующие экосистемные услуги, важные с точки зрения адаптации, не выделены.

Для адаптации к изменениям климата возможно использовать следующие регулирующие экосистемные услуги: уменьшение скорости деградации многолетней мерзлоты и эрозии в тундровой и ташажной природных зонах; выравнивание амплитуды суточных температур под пологом леса, уменьшение скорости ветра, уменьшение интенсивности наводнений, поддержание гидрологического режима рек, сохранение влажности почвы и уменьшение эффекта засух лесами; уменьшение водной и ветровой эрозии, предотвращение и уменьшение интенсивности пыльных бурь, водорегулирующие и водосберегающие функции в степях и пустынях.

Россия обладает потенциалом в виде более 11 000 особо охраняемых природных территорий (ООПТ), занимающих около 14% территории страны, а также защитных лесов (дополнительно 16% площади). Предоставляемые ими экосистемные услуги как минимум в 6–8 раз превышают стоимость природных ресурсов, которые при коммерческом подходе можно получить с гектара (древесина, торф и др.).

Из более 50 региональных планов адаптации экосистемные услуги напрямую включены только в Москве на уровне исследований. В дальнейшем целесообразно доведение адаптации на основе экосистем до уровня практических действий и распространение опыта на другие регионы.

Влияние изменения климата на экономику России: рейтинг регионов по необходимости адаптации

Макаров И.А.¹, Чернокульский А.В.^{1,2}

¹*Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия*

²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

imakarov@hse.ru

Ключевые слова: *изменение климата, климатические риски, адаптация к изменению климата, региональная экономика, финансирование адаптационных мероприятий*

Финансовые и кадровые ограничения в реализации действенных программ адаптации к последствиям изменения климата требуют расстановки приоритетов. Приоритет в реализации адаптационных мероприятий должен принадлежать регионам, которые сталкиваются с наибольшим уровнем климатических рисков и, как следствие, в наибольшей степени нуждаются в адаптации к ним. В данном исследовании составлен рейтинг субъектов РФ по уровню физических рисков изменения климата и необходимости адаптации к ним на основе аналитической рамки «подверженность-уязвимость-адаптация» для четырех ключевых воздействий изменения климата: влияния «волн тепла» на здоровье городского населения, влияния засух на сельское хозяйство, таяния вечной мерзлоты, учащения лесных пожаров.

Данный подход, основанный на понимании риска, изложенном в IPCC (2022), позволяет рассматривать зависимость потенциального ущерба от изменения климата (величины физического риска) не только от его интенсивности, но и от специфики конкретных регионов и их адаптационного потенциала.

Анализируемые типы климатических рисков распределены по территории России неравномерно. Так, таяние вечной мерзлоты является наиболее актуальным климатическим риском в северо-восточных регионах. Лесные пожары характерны для лесного пояса от центра европейской части страны до Центральной Сибири и юга Дальнего Востока России. Аномально жаркие периоды наиболее опасны для населенных урбанизированных территорий центра Европейской части России, но также и для юга европейской части страны, юга Урала и юга Западной Сибири. Обусловленное климатическими изменениями усугубление водного стресса является ключевой опасностью для юга европейской части, Черноземья, юга Урала и юга Западной Сибири.

Челябинская, Московская и Воронежская области являются единственными тремя регионами, которые имеют высокий риск в отношении трех типов связанных с изменением климата опасностей: аномальной жары, водного стресса и лесных пожаров.

Оптимизация сезонных периодов лечения на климатическом курорте Южного берега Крыма в условиях изменения глобального климата

Мизин В.И., Ежов В.В., Царев А.Ю., Дудченко Л.Ш., Северин Н.А.

*Академический научно-исследовательский институт физических методов лечения, медицинской
климатологии и реабилитации им. И.М. Сеченова, Ялта, Россия*
yaltamizin@mail.ru

Ключевые слова: климат, курорт, лечение, соматическая патология, МКФ

Системообразующим фактором климатических курортов являются многолетние устойчивые диапазоны сезонной динамики метеорологических параметров, соответствующие оптимальному лечебно-профилактическому влиянию на организм человека. Методической основой для оценки климата и его влияния на организм человека является «Международная классификация функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья» (МКФ, в английской транскрипции ICF), которая использует единый критериальный подход – качественные и количественные характеристики т.н. доменов – для оценки как состояния организма, так и влияния на него факторов внешней среды, включая климат. В нашем институте разработана методика практической оценки влияния климатических доменов МКФ по значениям стандартных метеорологических наблюдений. В ходе исследований проведена оценка по критериям МКФ состояния лечащихся и параметров климата на курорте Южного берега Крыма (ЮБК) за период 2018-2020 гг. Наиболее эффективное курортное лечение на ЮБК обеспечивают следующие сезоны: для пациентов с ИБС - конец осени, зима и начало весны; для пациентов с ГБ и ЦА – конец весны, лето и начало осени; для пациентов с БОД – все сезоны года. С целью адаптации условий лечения на курорте ЮБК к текущим изменениям климата, рекомендуется: 1) внести предпочтительные сезонные сроки лечения на курорте ЮБК в соответствующие приказы Минздрава РФ; 2) активно использовать адекватное отопление (при температурах открытого воздуха ниже +13°C) и кондиционирование (при температурах открытого воздуха выше +27°C) в помещениях здравниц.

Температурно-влажностный режим летнего сезона Правобережной части Саратовской области в условиях современных климатических тенденций

Ормели Е.И., Перельгина Ю.М.

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г.
Чернышевского, Саратов, Россия
meteokatenok@mail.ru*

Ключевые слова: региональное потепление климата, температурно-влажностный режим, летний сезон, климатограмма

Преимущественно широтное расположение Саратовской области и меридиональное пересечение территории рекой Волгой определило два соразмерных по площади района – Правобережье и Левобережье (Заволжье), существенно отличающиеся геологическим строением, рельефом, климатическими условиями.

Цель работы – изучить физико-географические особенности Хвалынского, Балашовского, Саратовского районов и рассчитать температурно-влажностные показатели исследуемой территории.

Динамика изменения температурно-влажностных характеристик Саратовской области в летнее время за период с 2011 по 2022 гг. рассмотрена на примере трех метеорологических станций (Хвалынский, Балашов, Саратов), расположенных в разных природно-климатических зонах Правобережной части региона. Исходным материалом для расчета количественных параметров климата (средняя месячная температура воздуха и сумма осадков месячного разрешения) послужили ежедневные метеорологические результаты, взятые с официальных серверов «ВНИИГМИ МЦД» и «Погода и климат» [2, 3]. Средние многолетние значения климатической нормы за период с 1991 по 2020 гг. использовались с официального сайта «Гидрометцентр России» [4].

Проведенные исследования показали, что продолжительность летнего периода в Хвалынске составила 174 дня, в Балашове – 159 дней, в Саратове – 175 дней. Расчет средних многолетних значений температуры воздуха показал незначительное ее повышение в апреле по всем метеостанциям на 0,2-0,5°C; в мае-июле на севере и в западной части Правобережья – в Хвалынске и Балашове повышение составило 0,6-0,8°C, в центральной части региона – в Саратове – на 1,3°C; в августе отмечалось наибольшее превышение нормы – на 1,0-2,2°C. За последние 10 лет отмечалось значительное сокращение осадков теплового периода на 10-20 мм, за исключением апреля и июня, где их значения близки к норме.

Возможности минимизации погодных рисков для растениеводства путём технологического программирования сроков пролонгации действия оригинальных полимер-модифицированных средств агрохимии

Перевертин К.А.¹, Баматов И.М.², Белолубцев А.И.³

¹Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

²Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, Россия

³Российский государственный аграрный университет (Московская сельскохозяйственная академия) им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

perevertink@mail.ru

Ключевые слова: *погодные риски, растениеводство, теория игр, средства агрохимии*

Сельское хозяйство, как никакая другая отрасль зависит от климатических условий. Изменения климата, ускорившиеся в последние десятилетия, объективны и относительно предсказуемы, хотя бы даже в поливариантных сценариях, т.е. в принципе поддаются прогностическому моделированию. Однако даже оптимистичные сценарии для большей части сельхозугодий РФ, констатируя повышение биоклиматического потенциала (что неоспоримо), не учитывают нервозность климата, многократно повышающую погодные риски для аграрного сектора.

Погодные условия в течение вегетационного периода могут быть близки к идеальным для сельхозкультуры, но даже несколько дней ситуации ОАЯ (опасных атмосферных явлений), способны «по Либиховски» минимизировать выход урожайной продукции. Например, для сахарной свёклы в текущем, 2023 г. «неожиданные волны холода» погубили урожай в Башкирии (ранний посев+возвратные заморозки) и в Бельгии (поздняя уборка урожая 2022г.+высокоамплитудный двукратный переход температуры через 0°C).

К сожалению, приходится признать, что в отличие от климата, современная погода на сколько-нибудь долгосрочный период непрогнозируема особенно в ситуации, когда агрономические решения, например глубина заделки семян озимых зерновых, принимаются осенью года предшествующего активной вегетации.

По нашему мнению, в условиях непредсказуемости погодных рисков лучшим решением является диверсификация агрономических решений на основе математической Теории игр, где в качестве игроков выступают А (агроном) и П (природа или, если угодно, погода). Решение, лежащее в области смешанных стратегий - цена игры - выше, чем при применении любой из чистых стратегий. В журнале «Картофель и овощи» (№6, 2020) нами доступным для агронома языком изложена методика диверсификации.

Однако идеи диверсификации реализованы нами и в новой концепции – не AvsП, а А (совместно с) П для оригинальных полимер-модифицированных минеральных удобрений пролонгированного действия за счёт программирования сроков пролонгации.

Модель снижения потерь сельского хозяйства, связанных экстремальными погодными явлениями

Ташилова А.А., Ашабоков Б.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В., Ашабокова М.Б.

Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Россия

tashilovaa@mail.ru

Ключевые слова: адаптация, изменение климата, градобития, сельскохозяйственное производство, оптимизация

В работе изложена модель снижения потерь сельского хозяйства от опасных погодных явлений (ОПЯ). В качестве механизма снижения потерь отрасли в модели использована зависимость уязвимости сельскохозяйственных культур от ОПЯ, предложено решение задачи в рамках теории принятия решений. Выбор оптимального действия для снижения потерь отрасли (оптимальной структуры производства сельскохозяйственных культур с точки зрения используемого критерия) осуществляется с помощью модели оптимизации структуры производства сельскохозяйственных культур с учетом их уязвимости рассматриваемым погодным явлением (градобитие). В качестве целевой функции в модели используется математическое ожидание валового объема производства сельскохозяйственной продукции на заданной территории с учетом влияния ОПЯ. Показано, что модель позволяет рассматривать проблему снижения рисков, как для сельского хозяйства региона, так и для системы «сельское хозяйство – перерабатывающая отрасль». Обсуждаются основные проблемы, возникающие на пути практического использования предложенного метода. Приводятся результаты модельных расчетов, которые проведены для производственно-экономических условий предгорной зоны Кабардино-Балкарской Республики (КБР) с целью исследования эффективности предложенного метода. Достоинством метода является то, что затраты на практическое его использование являются незначительными.

Адаптация зерновых культур к условиям изменяющегося климата в степной зоне Южного Урала

Халин А.В., Федюнин С.А., Нестеренко Ю.М., Гринцов Д.А.

*Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН, отдел геоэкологии, Оренбург,
Россия
geoecon-onc@mail.ru*

Ключевые слова: адаптация, климат, технология

Базовую основу комплексного природопользования в растениеводстве обеспечивают природные особенности региона в симбиозе с агрономией, основанной на использовании эффективных научно обоснованных систем и технологий, обеспечивающих устойчивость природных процессов и экологическое равновесие. В степной зоне, где единственным источником влаги для растений являются атмосферные осадки, применяемые технологии возделывания культур не обеспечивают достаточной эффективности их использования. Значительная часть весенней почвенной влаги теряется на испарение до начала вегетации яровых культур. Ситуация усугубляется продолжающейся аридизацией климата.

Повысить эффективность использования осадков холодного периода года в условиях недостаточной влагообеспеченности позволяет использование природоподобной технологии подзимнего посева яровых ранних культур, семена которых сохраняют жизнеспособность в мерзлой почве и прорастают весной после снеготаяния при прогревании почвы до минимально необходимой для этого температуры.

Вегетация культур при таком способе посева смещается в среднем на 25–30 дней раньше, что обеспечивает прохождение критических по отношению к влаге и температуре фаз развития в более благоприятных гидротермических условиях и способствует лучшему их развитию.

Более эффективное использование естественных ресурсов увлажнения повышает степень участия в формировании урожая других факторов жизни и создает дополнительные возможности для повышения продуктивности с.-х. культур в результате применения соответствующих агротехнических приемов.

Применение подзимнего посева является приоритетным направлением адаптации технологий возделывания яровых ранних культур к изменяющимся климатическим условиям степной зоны Южного Урала, позволяющее увеличить урожайность зерновых культур в среднем в 1,5–2,0 раза по сравнению с весенним посевом и открывает дополнительные возможности для экономической стабилизации и развития аграрного производства.

Мелиорация - инструмент адаптации к процессам изменения климата

Шабанов В.В., Дубенок Н.Н.

*Российский государственный аграрный университет (Московская сельскохозяйственная академия)
им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия*

515vvsh@gmail.com

Ключевые слова: *экосистемная мелиорация, изменение климата, выделение кислорода, поглощение углерода, природные экосистемы*

Изменение климата на Земле, независимо от причин (космических, геологических или антропогенных), приведёт к изменению условий жизни экосистем Земли.

Опасность таких изменений – «умирание» существующих экосистем (сельскохозяйственных, луговых, лесных и пр). Это связано не только с изменением средних величин климатических параметров (они могут меняться и незначительно), но со значительным изменением варьирования и возрастанием частоты экстремальных явлений.

Кроме того, существуют опасения, что при общем увеличении количества осадков, произойдет их выравнивание между холодным и тёплым периодами. На сельскохозяйственных землях это приведёт к более интенсивному стоку талых вод и разрушению структуры почвы, значительным потерям биомассы почвенной биоты и дополнительному потоку парниковых газов.

Для природных экосистем существенное переувлажнения почвы (за счёт увеличения количества осадков), или недостаток осадков, приведут к угнетению биотического сообщества почвы и созданию неоптимальных условий для роста и развития автотрофов существующих экосистем, с последующей заменой их на другие виды.

При возрастании вариации основных факторов жизни для существующих экосистем, возможны и катастрофические последствия - резкое отмирание их и очень медленное воссоздание новых. Может наступить период резкого снижения количества автотрофов на Земле. Это повлечёт за собой не только повышение содержания углекислого газа (и других парниковых газов), но и недостаток кислорода в атмосфере. Кроме того, резко уменьшатся объёмы транспирационной влаги, т.е. очищенной (дистиллированной) воды в атмосфере. С другой стороны, уменьшение фотосинтеза, уменьшает не только наземную, но и подземную биомассу, т.е. общий объём поглощения углерода.

Смягчить этот процесс, сделать процессы изменения экосистем, более плавными, поможет мелиорация - управление по уму. Но, тогда такое управление должно распространиться не только на сельскохозяйственные, но и на природные экологические системы. [1].

Литература:

1. ЭКОСИСТЕМНАЯ МЕЛИОРАЦИЯ - ИСТОЧНИК ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ

Шабанов В. В., научный руководитель «Проблемной лаборатории по разработке теоретических основ управления водным, солевым и тепловым режимами мелиорируемых земель» РГАУ-МСХА, д.т.н., проф.;

Дубенок Николай Николаевич, заведующий кафедрой «Сельскохозяйственной мелиорации» РГАУ-МСХА, академик РАН, д. с-х. н., проф.

URL: https://www.timacad.ru/uploads/files/20230412/1681287653_EM_IIR.pdf (дата обращения 27.07.2023)

Оценка эмиссии метана с поверхности Бурейского водохранилища по данным натурных наблюдений

Агафонова С.А.^{1,2}, Горин С.Л.¹, Терский П.Н.¹, Репина И.А.¹

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
sv_ice@list.ru

Ключевые слова: эмиссия метана, глубокое водохранилище, Дальний Восток

В настоящее время для водохранилищ России существуют лишь единичные оценки эмиссии метана по данным натурных измерений. И поэтому вопрос влияния этих объектов на эмиссию парниковых газов остается открытым. Например, для водохранилищ Дальнего Востока таких оценок ранее не проводилось.

Бурейское водохранилище – одно из крупнейших на Дальнем Востоке. Оно осуществляет сезонное регулирование стока; используется для борьбы с наводнениями в долине р. Амур, для целей энергетики, водного транспорта и водоснабжения. Водохранилище функционирует менее 20 лет.

В 2021–2023 гг. ИФА РАН проведены измерения удельных потоков метана и концентраций растворенного метана в воде. За указанный период состоялось 5 экспедиций: в сентябре 2021 г., в марте и июне 2022 г., а также в марте и мае 2023 г. Измерение удельного потока метана в атмосферу производилось методом плавучих камер [Bastviken et. al., 2004], концентрация метана в воде – методом headspace [Bastviken et. al., 2010]. На каждой станции также измерялись температура воды, воздуха и атмосферное давление, необходимые для последующих расчетов. Для хранения и транспортировки проб использовались стеклянные флаконы, заполненные насыщенным раствором NaCl. Эмиссия метана с поверхности всего водохранилища рассчитана как сумма эмиссий из отдельных районов. В качестве топосновы использовалась цифровая модель рельефа, построенная по космическим снимкам, топокартам различного масштаба и собственным промерам глубин.

В результате выявлена пространственная неоднородность удельных потоков метана: повышенные величины на мелководьях, локальные максимумы («горячие точки») с пока невыясненным генезисом.

Кроме этого, выражена сезонная изменчивость. Измеренные удельные потоки метана в сентябре 2021 г. составили от -0,30 до 16,77 мгС- CH₄/м²*сут, в июле 2022 г. – от 0,47 до 52,17 мгС- CH₄/м²*сут. Эмиссия с поверхности всего водохранилища в сентябре 2021 г. – 2,17 тС/сут, в июле 2022 г. – 5,63 тС/сут.

Литература:

1. Bastviken D, Cole J, Pace M et al (2004) Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. *Global Biogeochemical Cycles* 18(GB4009). doi:10.1029/2004GB002238
2. Bastviken D., Santoro A.L., Marotta H. et al. (2010) Methane Emissions from Pantanal, South America, during the Low Water Season: Toward More Comprehensive Sampling. *Environmental Science & Technology* 2010 44 (14), 5450-5455. doi:10.1021/es1005048

Климатические риски поглощения углерода экосистемами Лёссового плато и Русской равнины

Александров Г.А.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

g.a.alexandrov@ifaran.ru

Ключевые слова: *изменение климата, поглощение углерода, экосистемные услуги, Русская равнина*

В 1999 году правительство КНР инициировало программу восстановления естественного растительного покрова на малопродуктивных сельскохозяйственных угодьях. В результате реализации этой программы, в которой приняли участие 125 млн человек, естественный растительный покров был восстановлен на 16 000 км² Лёссового плато, и доля площади Лёссового плато, занимаемая лесами и степями, увеличилась с 31.6% в 1999 году до 59.6% в 2013 году. Цель восстановления растительного покрова первоначально состояла в том, чтобы предотвратить эрозию почв, но следующая фаза программы, на которую планируется выделить до 2050 года 9.5 млрд USD, принимает во внимание и такую критически важную экосистемную услугу как поглощение углерода. Поглощение углерода экосистемами существенно зависит от климатических условий. Поэтому оценка рисков превращения экосистем из стока углерода в его источник является в настоящее время актуальной научной проблемой, особенно в связи с обсуждением возможности восстановления лесов и степей в тех регионах, где они были замещены сельскохозяйственными землями (Русская равнина, плато Мато Гроссо и т.д.). Проведение исследований, аналогичных тем, которые были проведены для Лёссового плато [1], но учитывающих региональные особенности Русской равнины, а также формирование российско-китайской программы исследований климатических рисков поглощения углерода экосистемами представляется необходимым условием для понимания целесообразности инициирования программы широкомасштабного восстановления естественного растительного покрова Русской равнины.

Литература:

1. Zhao F. et al. Toward Sustainable Revegetation in the Loess Plateau Using Coupled Water and Carbon Management // Engineering. 2022. Vol. 15. P. 143–153. DOI: 10.1016/j.eng.2020.12.017

Развитие энергетики в условиях изменения климата и разрушения озонового слоя Земли

Алексеевко С.В.

Институт теплофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

asvasus@yandex.ru

Ключевые слова: Климат, парниковые газы, озоновый слой, озоноразрушающие вещества, энергетика

Энергетика - базис экономики любой страны вне зависимости от технологического уклада. Однако сегодня возникла беспрецедентная ситуация, когда необходимо безотлагательно принимать принципиальные решения по дальнейшему развитию мировой энергетики. Причины обусловлены изменениями климата и разрушением озонового слоя Земли, преобладающий вклад в которые вносит деятельность человека, прежде всего, в сфере энергетики. В докладе дан анализ существующей ситуации и сформулированы выводы, в частности:

- Необходимо последовательно осуществлять декарбонизацию энергетики со скоростями, не превосходящими экономические возможности страны.
- В сфере энергетики на органичном топливе, прежде всего, необходимо повышать эффективность производства энергии. Радикальным подходом является применение технологий с секвестированием CO_2 . В числе наиболее перспективных – цикл Аллама, предусматривающий сжигание топлива в кислороде без выбросов оксида углерода в атмосферу и использование сверхкритического CO_2 в качестве рабочего тела.
- Альтернативными безуглеродными технологиями являются атомная энергетика и возобновляемые источники энергии (ВИЭ). В числе наиболее перспективных ВИЭ видится геотермальная энергетика с переходом в будущем на глубинное (петротермальное) тепло. Петротермальной энергии достаточно, чтобы навсегда обеспечить человечество энергией!
- Поскольку практически все основные рабочие тела (типа фреонов) в тепловых машинах являются либо озоноразрушающими, либо парниковыми (или то и другое), то существует принципиальная проблема выбора рабочих веществ.
- Наиболее подходящими рабочими телами (неводного типа) с точки зрения озонобезопасности и парникового эффекта являются давно известные природные агенты: углеводороды типа пропана и изобутана; углекислый газ; аммиак. Аммиак выглядит особо перспективным, поскольку освоен в глобальных масштабах, кроме того, он представляет собой соединение, которое можно считать одним из лучших способов хранения водорода.

Перспективы гибридизации и информализации международного климатического управления

Близнетская Е.А.

*Московский Государственный Институт Международных Отношений МИД России, Москва,
Россия*

ekate.bliznetskaya@gmail.com

Ключевые слова: *Международное климатическое управление, Парижское соглашение, климатическая политика*

В последнее десятилетие отмечается резкий рост количества международных структур, создающихся в качестве вспомогательных площадок для многостороннего диалога по вопросам изменения климата за пределами формальных конференций Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН). Это явление хорошо описывается концепцией полицентричного климатического управления.

Сегодня и государства, и негосударственные акторы переходят к реализации климатических стратегий, поэтому невозможно представить себе такое международное учреждение, которое могло бы охватывать все вопросы климатической повестки и координировать действия всех значимых игроков. Во все более усложняющейся системе международного климатического управления многочисленные международные структуры, которые предлагается называть информальными, играют растущую роль в накоплении и обмена знаниями и опытом между государствами по вопросам осуществления Парижского соглашения. Вместе с тем новая конфигурация грозит опасностью эрозии международных правовых основ климатического сотрудничества, и как следствие, замедлить прогресс по удержанию роста концентрации парниковых газов в атмосфере.

Для того, чтобы определить реализуется ли эта опасность, на основании имеющейся типологизации новых международных структур, были проведены анализ их функций в международном климатическом управлении и качественная оценка потенциального влияния на климатическую политику государств и бизнеса.

Разработка технологии получения устойчивого авиационного топлива SAF-PCH

Буров Н.О.^{1,2}, Савеленко В.Д.^{1,2}, Ершов М.А.^{1,2}

¹Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, Москва, Россия

²ООО «Центр разработки низкоуглеродных технологий», Москва, Россия

n_burov@ntwc.ru

Ключевые слова: керосин, возобновляемое топливо, углеродная нейтральность, устойчивое авиационное топливо

Авиация вносит основной вклад в глобальные антропогенные выбросы парниковых газов и ожидается, что в отсутствие значительных мер политики в этом секторе по-прежнему будет приводить к существенному росту выбросов CO₂. В то время как для наземных и водных видов транспорта существует и активно развиваются множество альтернатив углеводородному топливу (электричество, биотопливо, водород, СПГ/КПГ и др.) для воздушного транспорта их внедрение и масштабирование осложнено.

Одним из способов снижения выбросов углекислого газа воздушным транспортом является использование альтернативного топлива, производимого из биомассы, позволяющего замкнуть глобальный углеродный цикл: диоксид углерода, образующийся при сгорании топлива, компенсируется поглощением CO₂ во время роста сырьевой биомассы.

На сегодняшний день сертифицировано 7 технологий производства авиационного топлива из биомассы, еще более 15 находятся в процессе сертификации. При этом не существует отечественных технологий производства SAF, однако рядом исследовательских групп ведутся разработки в данном направлении. Специалистами РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина и ЦРНТ предложена и разрабатывается технология производства возобновляемого авиационного топлива из лигноцеллюлозного сырья, представляющая собой комбинирование процессов пиролиза, коксования и гидрокрекинга. Предлагаемая технология (SAF-PCH) переработки лигноцеллюлозного сырья может быть реализована на НПЗ, располагающем установками замедленного коксования и глубокого гидрокрекинга. На текущий момент подобная комбинация встречается только на двух заводах: ТАНЕКО и ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка. Однако, с учетом планов модернизации, данная связка будет присутствовать на еще четырех НПЗ. Помимо целевого продукта SAF достаточно большая часть возобновляемого углерода будет уходить в другие моторные топлива: дизельное и бензин, а также в не менее ценный продукт – кокс.

Оценка потоков CO₂ и CH₄ на береговом участке карбонового полигона с применением математического моделирования, данных полевых измерений и дистанционного зондирования

Гибадуллин Р.Р.¹, Мухартова Ю.В.¹, Пушкин В.В.², Кочкина М.В.³, Ольчев А.В.¹, Гулев С.К.³

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Южное отделение Института океанологии имени П.П. Ширикова РАН, Геленджик, Россия

³Институт океанологии им. П.П. Ширикова РАН, Москва, Россия

ravil00121@mail.ru

Ключевые слова: потоки парниковых газов, карбоновый полигон, трёхмерная модель

Для получения репрезентативных оценок потоков парниковых газов между земной поверхностью и атмосферой в локальном и региональном масштабе с учетом внутренней неоднородности ландшафтов требуется комплексное изучение: источников и стоков парниковых газов у земной поверхности, топографии местности, структуры растительности, а также интегрирование полученных данных в процесс-ориентированные модели. Модели являются эффективным инструментом для описания переноса парниковых газов внутри атмосферного пограничного слоя с учетом неоднородной структуры подстилающей поверхности.

Основной задачей исследования, была оценка пространственной неоднородности вертикальных и горизонтальных потоков CO₂ и CH₄ на береговом участке карбонового полигона Института океанологии РАН, расположенного в Голубой бухте вблизи г. Геленджик. Для расчета динамических характеристик воздушного потока и переноса парниковых газов была использована трёхмерная процесс-ориентированная модель [1]. Для определения входных параметров модели были использованы данные измерений потоков CO₂ и CH₄ у поверхности почвы, а также данные о рельефе, LAI и высоте растительности, полученные с помощью лидарной съемки с БПЛА. Для описания поля ветра на верхней границе модельной области использовались данные реанализа ERA5. Расчеты проводились с пространственным разрешением по горизонтали в 1 метр.

Результаты модельных экспериментов показали значительную неоднородность поля ветра и коэффициента турбулентности. Максимальная неоднородность воздушного потока отмечается над неоднородным береговым участком, а также на границе раздела море-суша. Показано, что в дневное время отмечаются существенно более высокие скорости поглощения CO₂ береговым участком по сравнению с поверхностью моря. Выявлены значительные латеральные потоки сопоставимые по величине с горизонтальными потоками. Также показаны высокие скорости поглощения CH₄ поверхностью почвы на прибрежном участке.

Литература:

1. Modeling tool for estimating carbon dioxide fluxes over a non-uniform boreal peatland / I. Mukhartova, J. Kurbatova, D. Tarasov et al. // Atmosphere. — 2023. — Vol. 14. — P. 625.

Климатически значимые составляющие приземного аэрозоля в Москве: сезонные и суточные вариации массовой концентрации частиц PM_{10} , $PM_{2.5}$ и черного углерода

Губанова Д.П., Виноградова А.А., Копейкин В.М.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия
gubanova@ifaran.ru

Ключевые слова: атмосфера, Москва, аэрозольные частицы, PM_{10} , $PM_{2.5}$, черный углерод, массовая концентрация

Климатически значимые компоненты аэрозоля (углерод- и серосодержащие частицы, пыль) составляют основную часть глобальной аэрозольной нагрузки и способствуют изменению состава и свойств атмосферы, что сказывается на экосистемах и климате Земли. Их характеристики обладают пространственно-временной изменчивостью, зависят от синоптико-метеорологических параметров и эффективности источников и стоков, а в условиях крупного города они подвергаются дополнительному воздействию.

В докладе рассмотрены особенности изменения массовой концентрации частиц $PM_{2.5}$ и $PM_{10-2.5}$ и черного углерода в приземном воздухе Москвы по данным наблюдений в ИФА РАН в 2021–2022 гг. Экспериментальные методы и средства наблюдений подробно описаны в [1,2].

Определен средний уровень массовой концентрации различных компонент приземного аэрозоля в Москве в исследуемый период в сравнении с многолетними данными [1–4]. Выявлены значительные и при этом качественно различные сезонные вариации внутрисуточной изменчивости массовой концентрации фракций аэрозольных частиц $PM_{2.5}$ и $PM_{10-2.5}$, обусловленные спецификой их источников и стоков в городе в течение года. Концентрация черного углерода в аналогичных зависимостях близка к характеру вариаций частиц $PM_{2.5}$, что косвенно указывает на сходство процессов формирования полей концентрации этих составляющих в приземном слое городской атмосферы. Суточный ход массовой концентрации частиц $PM_{10-2.5}$, в основном образующихся в результате эмиссии с поверхности частиц почвенного происхождения, соответствует активности человеческой деятельности в течение суток и дневному усилению вертикальной конвекции в нижнем слое атмосферы.

Непериодические воздействия дополнительных антропогенных и природных источников аэрозоля сказываются на всех составляющих приземного аэрозоля. Предложен способ грубой оценки годового баланса процессов формирования содержания частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} и черного углерода в воздухе города.

Работа выполнена при поддержке РНФ, грант №23–27–00063.

Литература:

1. Gubanova D.P., Vinogradova A.A., Iordanskii M.A. et al. // Atmosphere. – 2022. – V. 13(4). – 574.
2. Голицын Г.С., Гречко Е.И., Ван Генчен и др. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2015. – Т. 51, № 1. – С. 8–19.
3. Копейкин В.М., Емиленко А.С., Исаков А.А. и др. // Оптика атмосферы и океана. – 2018. – Т. 31, № 01. – С. 5–10.
4. Popovicheva O., Chichayeva M., Kovach R. et al. // Atmosphere. – 2022. – V. 13(4). – 563.

Влияние экстремальных явлений температуры и осадков на среднесуточные потоки CO₂ в тропиках

Гущина Д.Ю.¹, Тарасова М.А.¹, Сатосина Е.М.^{1,2}, Железнова И.В.¹, Емельянова Е.Р.^{1,2},
Новикова Е.В.³, Ольчев А.В.¹

¹*Кафедра метеорологии и климатологии, Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

²*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцева РАН, Москва, Россия*

³*Лаборатория снежных лавин и селей, Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*
lisan.sat@gmail.com

Ключевые слова: экстремальные явления температуры и осадков, тропические экосистемы, потоки углекислого газа, реанализ, база данных FLUXNET

Влияние аномальных погодных явлений (таких как экстремальные значения температуры и осадков) на изменчивость потоков CO₂ в различных экосистемах тропических широт оценивалось с использованием доступных данных реанализа ERA5, а также информации о среднесуточных потоках CO₂ из глобальной базы данных FLUXNET. Рабочая гипотеза исследования предполагает, что отклик растительного покрова в тропических широтах может различаться в зависимости от местных географических условий и интенсивности аномалий температуры и осадков. Результаты исследования показали разнообразный отклик потоков CO₂ на аномалии колебаний температуры и осадков в тропических экосистемах. Некоторые из них могут значительно отличаться от ранее зафиксированных взаимосвязей (например, более высокая эмиссия CO₂ при сухой и жаркой погоде, более высокое поглощение CO₂ при холодных и влажных погодных условиях). Основные результаты продемонстрировали, что обильные осадки в основном приводят к сильной интенсификации среднесуточной эмиссии CO₂ в атмосферу практически на всех станциях и во всех типах исследуемых биомов. Для большинства рассмотренных тропических экосистем выявлена интенсификация суточной эмиссии CO₂ в холодную и влажную погоду, тогда как при жарких и сухих условиях экосистемы преимущественно выполняли роль поглотителей CO₂ из атмосферы. Столь различные отклики экосистем предполагают, что положительные и отрицательные аномалии температуры и осадков влияют на валовую первичную продукцию (GPP) и скорость экосистемного дыхания (ER), что может привести к различным реакциям чистого экосистемного обмена (NEE) CO₂ к внешним воздействиям. Отклик GPP и ER может также зависеть от различных местных биотических и абиотических факторов, включая возраст и структуру растительного покрова, его биоразнообразие, содержание органического углерода в почве, доступность воды, рельеф местности, колебания солнечной радиации и т. д.

Применение минеральных удобрений как инструмент регулирования эмиссии CO₂ из почв городских газонов

Деревенец Е.Н., Кулачкова С.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
lizaderevenets@yandex.ru

Ключевые слова: диоксид углерода, эмиссия парниковых газов, базальное дыхание, городские почвы, минеральные удобрения, углерод-секвестрирующие технологии

Необходимость выявления роли городских почв как поглотителей или источников климатически активных газов отражена в глобальной климатической повестке и государственной стратегии развития. В целях изучения углерод-поглощающей способности экосистем для регулирования и смягчения климатических изменений в городе, была оценена возможность применения минеральных удобрений для регулирования эмиссии CO₂ из почв городских газонов. Исследования проводились в 2022 году на территории Ботанического сада МГУ на Ленинских горах в мелкоделяночном опыте с дробным внесением четырех видов комплексных минеральных удобрений (NPKS 27:6:6:2, NPKS 21:10:10:2, NPK 15:15:15 и NPK 18:18:18 + 3 MgO + микроэлементы (МЭ)) в дозах 60 и 120 кг N·га⁻¹ за вегетационный период. Статистическим камерным методом определена эмиссия CO₂ (почвенное, экосистемное дыхание и нетто-экосистемный обмен), в лабораторных экспериментах изучено базальное дыхание (БД) почв. Результаты опыта подтвердили разнонаправленность влияния минеральных удобрений на эмиссию CO₂ из почв городских газонов как в летний период, так и в сезонной динамике. Стимулирующее воздействие на эмиссию CO₂ могут оказывать обе дозы удобрений, эффект обычно краткосрочный и составляет 1–2 недели, далее она становится ниже контрольной. Выявлен значительный вклад БД в эмиссию CO₂ почвами, в отдельные периоды достигающий 81% при внесении большей дозы удобрений и 94% – меньшей. Вследствие этого подбор оптимальной дозы и состава удобрений может служить инструментом для управления потоками CO₂ в урбоэкосистемах. В целях снижения эмиссии CO₂ для исследованного газона рекомендовано применение удобрения NPKS 21:10:10:2 в более низкой дозе (60 кг N·га⁻¹), при использовании которого наблюдались минимальные интенсивность эмиссии CO₂ и всплеск БД почвы. Результаты исследования могут быть использованы для разработки углерод-секвестрирующей технологии при создании и уходе за городскими газонами.

Декарбонизация: эффект для окружающей среды города Москвы

Захарова П.В.¹, Семутникова Е.Г.², Лезина Е.А.¹

¹ГПБУ "Мосэкомониторинг", Москва, Россия

²Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, Москва, Россия

ZaharovaPV@eco.mos.ru

Ключевые слова: климат города, углеродная нейтральность, декарбонизация экономики

Рассматривается взаимосвязь мер, направленных на достижение углеродной нейтральности (декарбонизация экономики, повышение поглощения углекислого газа экосистемами), с улучшением качества окружающей среды в г. Москве. Оценивается экологический эффект от реализованных мер в области энергетики, транспорта, промышленности. Также особое внимание уделяется сохранению природы, развитию зеленой инфраструктуры, цифровому экологическому мониторингу.

Запасы и динамика «голубого углерода» в береговой зоне морей западного сектора Российской Арктики

Красильников П.В.¹, Огородов С.А.¹, Сергиенко Л.А.², Багдасаров И.Е.¹, Белова Н.Г.¹, Бобрик А.А.¹,
Ильичев И.А.¹, Кажукайло Г.А.¹, Мосеев Д.С.³, Прокопьева К.О.¹, Теребова Е.Н.², Цейц М.А.¹,
Шишов А.А.¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия

³Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, Россия
krasilnikov@soil.msu.ru

Ключевые слова: Арктика, марши, лайды, «голубой углерод», математическое моделирование, дистанционное зондирование, динамика берегов, колебания уровня моря, изменение климата, вегетационные индексы

Одна из основных общественных потребностей в современном мире – обеспечение устойчивого развития, что подразумевает устойчивость состояния природной среды, которая находится под угрозой в результате глобальных изменений климата. Повышение средней температуры на Земле как минимум отчасти связано с повышением концентрации углекислого газа и иных климатически активных газов в атмосфере, которое приписывается антропогенным выбросам указанных газов. Также считается, что возможна компенсация антропогенных выбросов секвестрированием атмосферного углерода в биомассе и в органическом веществе почвы. Соответственно, в ряде исследований рассматриваются разные естественные и антропогенные экосистемы по критерию их потенциала секвестрирования атмосферного углерода. В последние годы повысился интерес к так называемому «голубому углероду», то есть к запасам биомассы и органического вещества в морской воде и в прибрежных водно-болотных угодьях (маршах, манграх и морской траве). На настоящий момент наши знания о запасах и динамике «голубого углерода» берегов по-прежнему неполны и несовершенны. Исследования, связанные с циклом углерода, активно развиваются в России, однако исследования именно «голубого углерода» побережий находятся в зачаточном состоянии. Работы проводятся либо по морским, либо по наземным экосистемам, в то время как береговым ландшафтам посвящены единичные работы. При этом ни запасы углерода, ни их динамика практически нигде не рассматривались. За рубежом исследование роли «голубого углерода» в углеродном цикле активизировались в последнее десятилетие. Проводились исследования как запасов углерода биомассы и почвенного органического вещества, так и их вклад в эмиссию климатически активных газов. Настоящее исследование предполагает интегрировать ранее не связанные исследования по приросту биомассы береговых экосистем, с одной стороны, и работы по выносу из береговой зоны органического вещества за счёт береговой эрозии.

Определение оптимальных параметров урбанизированной поверхности Санкт-Петербурга методами глобального анализа чувствительности

Ладохина Е.М.^{1,2,3}, Рубинштейн К.Г.^{1,4}

¹*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия*

²*МикроСтеп-МИС, Санкт-Петербург, Россия*

³*Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Санкт-Петербург, Россия*

⁴*Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва, Россия
katur.job@mail.ru*

Ключевые слова: модель WRF-ARW, Санкт-Петербург, параметры урбанизированной поверхности, параметризация деятельного слоя суши, метод Морриса, метод Соболя, суррогатные модели

Особенности городской застройки могут оказывать значительное влияние на локальную погоду и климат, приводя к изменению температурного, ветрового и влажностного режимов атмосферы над городом. Понимание этих процессов имеет решающее значение для городского планирования, стратегий адаптации к изменению климата, смягчения последствий изменения климата в городах.

В этой работе с помощью методов глобального анализа чувствительности исследовалось влияние параметров подстилающей поверхности, характеризующих урбанизированные районы Санкт-Петербурга в численной модели WRF-ARW, на прогностические поля. Численные эксперименты были проведены за 12 мая, 18 июня, 25 августа и 15 октября 2015, когда погодные условия в мегаполисе были благоприятны для развития городского острова тепла. Метод Морриса [1] использовался для качественного определения чувствительности высоты планетарного пограничного слоя (PBL) и приземных метеозлементов — температуры (T2), скорости ветра (W10), относительной влажности (RH2) — к изменению параметров урбанизированной поверхности в параметризации деятельного слоя суши [2]. Количественная оценка индивидуального и совместного вклада параметров урбанизированной поверхности в изменение прогностических T2, W10, RH2 и PBL выполнена методом Соболя [3] с применением машинного обучения для построения суррогатных моделей.

Для определения набора оптимальных параметров урбанизированной поверхности в разработанной конфигурации модели, рассчитывалось среднеквадратическое отклонение (СКО) данных прогноза от данных наблюдений на станциях ОГМС Санкт-Петербург, аэропорт Пулково, Белогорка. Полученные значения СКО были использованы для построения суррогатной модели. В результате работы был определен набор параметров, при использовании которого СКО прогнозов T2, W10 и RH2 в указанные даты были минимальны (1 °C, 1.8 м/с, 6.8%). Полученные значения потенциально оптимальных параметров урбанизированной поверхности будут протестированы на более длинных прогностических периодах.

Литература:

1. Morris M. D. Factorial sampling plans for preliminary computational experiments // *Technometrics*. 1991. V. 33, N 2. P. 161–174.
2. Kusaka H. et al. A simple single-layer urban canopy model for atmospheric models: Comparison with multi-layer and slab models // *Bound.-Lay. Meteorol.* 2001. V. 101, N 3. P. 329–358.
3. Sobol I. M. Global sensitivity indices for nonlinear mathematical models and their Monte Carlo estimates // *Mathematics and Computers in Simulation*. 2001. V. 55, N 1-3. P. 271–280.

Исследование возможности поглощения углерода лесостепными и степными геосистемами с использованием спутниковых данных

Мячина К.В.^{1,2}, Дубровская С.А.^{1,2}, Ряхов Р.В.¹, Щавелев А.Н.¹

¹Институт степи УрО РАН Оренбургского федерального исследовательского центра УрО РАН,
Оренбург, Россия

²Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова,
Грозный, Россия
mavicsen@gmail.com

Ключевые слова: степные и лесостепные геосистемы, поглощение углерода, спутниковые данные, Оренбургская область, северо-кавказский карбоновый полигон

Мониторинг растительного покрова напрямую связан с мониторингом изменений углеродного баланса. Традиционные методы анализа наземной фитомассы, основанные на сборе полевых данных, точны, но ресурсозатратны. Подходы, основанные на дистанционном зондировании, могут служить альтернативой для получения таких данных. Вегетационные индексы имеют положительную связь с депонированием углерода растительной биомассой [1] и отрицательную – с содержанием углерода в атмосфере [2]. С помощью спутниковой информации возможна оценка чистой первичной продуктивности (ЧПП) и расчет объема чистого поглощенного углерода (ЧПУ).

В качестве ключевых отобраны семь участков исследования. Шесть из них – лесостепные и предгорно-степные - входят в состав северокавказского карбонового полигона «Way Carbon», седьмой выделен на территории Оренбургской области.

Мы рассчитали объемы ЧПУ на ключевых участках за каждый год исследования. Исходными данными для расчетов послужили ряды чистой первичной продуктивности (ЧПП) за период с 2000 по 2020 гг., полученные с помощью продуктов MODIS.

Выявлено, что наибольшей поглотительной способностью обладают геосистемы лесостепного и лесного ключевых участков карбонового полигона. Максимальные значения показателя поглощения чистого углерода (от 2,6 до 3,5 кгС/м²/год) стабильно прослеживаются на участке Рошни-Чу, покрытом смешанным лесом в хорошо увлажняемом низкогорье. К максимальным значениям также стремятся показатели на участках Ханкала и Галанчож, представленные естественной луговой растительностью среднегорья и лиственным лесом низкогорья. Минимальную способность к поглощению углерода демонстрирует участок Никольская степь - от 0,5 до 1,5 кгС/м²/год. Это участок с естественной сухостепной растительностью в засушливой части Оренбургской области.

Работа выполнена в рамках ГЗ ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова № ФЗНУ-2021-0012 и ГЗ Института степи УрО РАН ОФИЦ УрО РАН № АААА-А21-121011190016-1.

Литература:

1. Erasmii, S., Klinge, M., Dulamsuren, C., Schneider, F., Hauck, M. Modelling the productivity of Siberian larch forests from Landsat NDVI time series in fragmented forest stands of the Mongolian forest-steppe // Environmental monitoring and assessment, 2021. Т.193. №. 4. С. 1-18.
2. Lv Z, Shi Y, Zang S, Sun L. Spatial and Temporal Variations of Atmospheric CO₂ Concentration in China and Its Influencing Factors // Atmosphere, 2020. Т. 11(3):231.

Способы формирования лесных карбоновых ферм в целях достижения углеродной нейтральности

Онучин А.А., Данилин И.М.

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН,
Академгородок, Красноярск, Россия
onuchin@ksc.krasn.ru*

Ключевые слова: Карбоновые фермы, сосновые древостои, углеродная нейтральность

В качестве одной из разновидностей лесоклиматических проектов выделяются проекты по формированию так называемых карбоновых ферм. Авторы предлагают создавать карбоновые фермы на основе высокопродуктивных сосновых древостоев посредством формирования насаждений оптимальной структуры на протяжении всего цикла лесовыращивания. При этом эффект усиления углерод депонирующих функций насаждений начинает проявляться практически сразу после проведения лесохозяйственных мероприятий, а не спустя 10–15 лет как в случае реализации проектов по облесению и лесоразведению. Создание карбоновых ферм посредством сосновых древостоев обеспечивает определенные преимущества по сравнению с таковыми на основе других быстрорастущих растений в том числе неофитов, высокая скорость поглощения которыми CO_2 не гарантирует надежного и длительного удержания в фитомассе растений депонированного углерода, прежде всего это касается многолетних трав.

Посредством анализа экспериментальных данных по текущему приросту древесины в сосняках I и Ia классов бонитета различного возраста полноты и густоты, а также литературных и справочных данных, выявлены зависимости прироста сосняков от густоты и полноты. Используя выявленные зависимости, оценена реакция прироста и, следовательно, величина депонирования CO_2 в насаждениях различной структуры. Определены оптимальные значения густоты при максимально возможной полноте для насаждений каждой возрастной группы.

Оценивая динамику прироста, представляется возможным планировать и проводить лесохозяйственные мероприятия (рубки ухода), направленные на усиление углерод депонирующих функций насаждений на каждом этапе роста формируемых карбоновых ферм. Наибольший эффект депонирования атмосферного углерода посредством формирования карбоновых ферм проявляется в возрасте от 20 до 60 лет, в период наиболее интенсивного роста сосновых древостоев, связанного с биологическими особенностями этого вида древесных растений.

Роль естественных и искусственных водных экосистем в изменении баланса парниковых газов

Репина И.А.^{1,2}, Степаненко В.М.^{2,1}, Чечин Д.Г.¹, Артамонов А.Ю.¹, Пашкин А.Д.¹, Казанцев В.С.¹

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский
вычислительный центр, Москва, Россия

repina@ifaran.ru

Ключевые слова: баланс парниковых газов, водные экосистемы, антропогенное воздействие, климатические риски

Потоки парниковых газов из неглубоких озер, рек и особенно водохранилищ могут иметь серьезные последствия для глобального углеродного цикла в условиях современных изменений климата. В докладе исследуется вклад отдельных водных экосистем в баланс парниковых газов. Для анализа используются данные прямых наблюдений и результаты математического моделирования. В качестве объектов исследования выбраны великие сибирские реки, небольшие озера, болотные экосистемы и водохранилища. В докладе приводятся данные прямых измерений потоков и концентраций углекислого газа и метана, а также пространственная изменчивость характеристик газообмена в реках Обь и Лена и их эстуариях. Исследованы возможные прибрежные и речные источники парниковых газов. Установлено, что эмиссия метана из р. Лены примерно в 3 раза выше, чем с окружающих наземных источников. Данные измерений сравниваются с данными дистанционного зондирования. Также исследуется роль водохранилищ как источника эмиссии метана. Используются данные измерений на водохранилищах, расположенных в различных климатических зонах. Установлена зависимость баланса парниковых газов от возраста водохранилища, его проточности и гидрологического режима. В качестве озерных экосистем исследуются меромиктические озера севера РФ. Установлено, что они могут являться источником метана в период вскрытия ото льда. Отдельно рассматривается вклад элементов ландшафта сибирских болот в эмиссию парниковых газов. Также обсуждается роль антропогенного воздействия в изменении баланса парниковых газов водных экосистем.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 22-47-04408. Исследования водохранилищ проводятся при поддержке ПАО РусГидро (договор 1010-416-2021).

Климатическая наука в зарубежных судебных решениях по искам о понуждении к наращиванию сокращений выбросов парниковых газов

Ровнов Ю.Е.

*Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия
yrovnov@hse.ru*

Ключевые слова: международный суд, международный трибунал по морскому праву, Urgenda, RDS, климатические иски, сокращение выбросов ПГ, доклады МГЭИК

В 2022–2023 гг. в Международный трибунал по морскому праву и Международный суд ООН поступили запросы о вынесении консультативных заключений об обязательствах государств по защите климатической системы Земли от антропогенных выбросов ПГ. За официальными формулировками запросов скрывается вопрос о том, сформировалась ли к настоящему времени международно-правовая норма, обязывающая государства действовать более амбициозно в сфере смягчения антропогенного воздействия на выбросы ПГ, чем это предусматривает Парижское соглашение и поданные к настоящему времени ОНУВ.

На аналогичный вопрос, но в сфере внутригосударственного права, уже успело ответить несколько национальных судов. Самыми известными являются решения нидерландских судебных инстанций, которые предписали нидерландскому государству обеспечить сокращение совокупных выбросов ПГ страны к концу 2020 года до уровня на 25% ниже 1990 года, а крупнейшему юридическому лицу страны Royal Dutch Shell — сократить выбросы CO₂ по всей товаропроводящей цепи к концу 2030 года до уровня на 45% ниже 2019 года.

В основу исковых требований истцов и решений судов по таким делам ложатся, прежде всего, доклады МГЭИК (AR4, AR5 и SR15) и содержащиеся в них оценки о необходимых уровнях сокращения выбросов. Но если остроту климатической проблемы национальные суды оценивают одинаково, их выводы относительно юридических обязанностей государств разнятся. Решения нидерландских судов, полностью заимствовавших цифры сокращений из докладов МГЭИК, являются, скорее, исключением, чем правилом.

В докладе будут представлены различные взгляды национальных судов на характер докладов МГЭИК как выражающих «научный и дипломатический» консенсус о необходимых мерах, на влияние научной неопределенности на дискрецию государств в выбор мер; на роль мер адаптации в исполнении государствами обязанности по защите от опасных изменений климата; на место технологий удаления углекислого газа из атмосферы в стратегиях смягчения антропогенного воздействия на климат.

Отклик нетто CO₂- и влаго- обмена лесных сообществ с атмосферой на экстремальные колебания температуры воздуха и количества осадков в лесных экосистемах умеренных широт

Тарасова М.А.¹, Гущина Д.Ю.¹, Сатосина Е.М.^{1,2}, Железнова И.В.¹, Емельянова Е.Р.^{1,2},
Гибадуллин Р.Р.¹, Осипов А.М.¹, Ольчев А.В.¹

¹Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

²Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия
mkolennikova@mail.ru

Ключевые слова: леса умеренных широт, аномалии температуры и осадков, нетто-экосистемный обмен CO₂, поток скрытого тепла, FLUXNET

Лесные экосистемы в средних широтах Северного полушария подвержены значительному воздействию экстремальных погодных явлений, повторяемость которых в последнее время значительно увеличилась. Исследование направлено на оценку различий в отклике суточного нетто-экосистемного обмена CO₂ (NEE) и скрытого потока тепла (LE) различных экосистем лесов умеренных широт с атмосферой на экстремальные погодные явления (например, аномальную температуру воздуха и интенсивные осадки). Были использованы данные о турбулентных потоках и метеорологических параметрах из глобальной и региональных баз данных FLUXNET, а также данные реанализа ERA5. Анализ отклика потоков NEE и LE на высокие/низкие значения температуры и осадков выявил значительные различия, в основном связанные с типом леса, географическим положением, региональными климатическими условиями и видовым составом растений. В теплое и холодное время года экстремально высокие значения температуры воздуха, как правило, приводят к увеличению потока CO₂ во всех типах лесов, причем наибольший отклик наблюдается в хвойных лесах. Понижение температуры воздуха в теплое время года в основном приводит к более высокому поглощению CO₂, что указывает на более благоприятные условия для фотосинтеза при относительно низких значениях температуры воздуха в теплый период. Экстремально низкие значения температуры воздуха в холодное время года не сопровождаются значительными аномалиями потока NEE. Отклик LE на колебания температуры воздуха существенно не меняется в течение всего года, при этом более высокие значения температуры приводят к увеличению LE, а более низкие - к снижению. Мгновенный отклик на интенсивные осадки проявляется в виде увеличения потока NEE и уменьшения испарения. Кумулятивный эффект на интенсивные осадки противоположен мгновенному эффекту в теплое время года и приводит к увеличению поглощения CO₂ из-за усиленного фотосинтеза в условиях достаточной влажности почвы.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ (22-17-00073).

Содержание углерода и основные потоки CO₂ в биогеоценозах горной тундры (Хибины)

Шмакова Н.Ю., Ермолаева О.В., Копейна Е.И.

*Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина ФИЦ "Кольский научный центр
РАН", Кировск, Россия
shmanatalya@yandex.ru*

Ключевые слова: потоки и пулы углерода, эмиссия CO₂ из почвы, биогеоценоз, горная тундра

Предполагают, что прогнозируемые изменения климата в первую очередь затронут Арктику. В сообществах тундры и полярных пустынь с низким уровнем биоразнообразия и упрощенной структурой потепление может привести к значительному ускорению процессов разложения органического вещества, накопленного в почве тундровых биогеоценозов. Возможное увеличение первичной продукции не будет в состоянии компенсировать увеличения дыхания, в результате чего произойдет освобождение в атмосферу значительных количеств пассивного в настоящий момент углерода, что вызовет дополнительный парниковый эффект.

Запасы углерода в фитомассе тундровых и лесотундровых экосистем России составляют в среднем 9.65 т/га или 34.2% от мировых запасов углерода в фитомассе тундрового биома. Средняя величина годичной первичной продукции тундровой зоны России составляет 0.133 кг/м² или 35% от мировых значений, что согласуется с общемировой оценкой для данного биома - 0.131 кг/м² (Карелин и др., 1995). Запасы углерода в фитомассе и годичной продукции биогеоценозов Хибин соответственно 6.52 т/га и 0.097 кг/м². Средние запасы углерода в почвах горных тундр Кольского полуострова (по расчетным оценкам) составляют 5.33 кг/м² (Честных и др., 1999). По нашим данным в почвах изученных сообществ горной тундры Хибин запасы углерода составили 5.3–27.0 кг/м².

Показано, что наиболее типичные для горной тундры Хибин растительные сообщества (лишайниковые, кустарничково-лишайниковые, кустарничковые) функционируют в направлении стока углерода, что способствует формированию почв с большим количеством закрепленного углерода. Менее распространенные сообщества характеризуются максимальными скоростями большинства показателей круговорота углерода и, вероятно, функционируют в переходном режиме близком к стационарному.

Литература:

1. Карелин Д.В., Замолдчиков Д.Г., Гильманов Т.Г. Запасы и продукция углерода в фитомассе тундровых и лесотундровых экосистем России // Лесоведение. 1995. № 5. С. 29–36.
2. Честных О.В., Замолдчиков Д.Г., Карелин Д.В. Запасы органического углерода в почвах тундровых и лесотундровых экосистем России // Экология. 1999. № 6. С. 426–432.

Наблюдения климатически значимых летучих органических соединений в приземном воздухе протонным масс-спектрометром

Белουσوف В.А.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

belousov@ifaran.ru

Ключевые слова: летучие органические соединения, суточные и сезонные вариации концентраций, оценка эмиссий

Летучие органические соединения (ЛОС), присутствующие в приземном воздухе, оказывают существенное влияние на глобальные изменения климата Земли. В частности, химические реакции ЛОС с иными загрязняющими атмосферу примесями под воздействием солнечного излучения приводят в итоге к интенсивной генерации озона [1]. Вклад в парниковый эффект этого газа, как показывают недавние исследования, весьма существен.

Прогнозирование и моделирование уровней концентраций ЛОС в атмосфере, необходимое для выработки мер по предотвращению их негативного влияния на климат, требует проведения постоянных натурных наблюдений концентраций ЛОС в приземном воздухе. ИФА им. А.М.Обухова РАН располагает уникальным прибором для мониторинга концентраций ЛОС, т.н. протонным масс-спектрометром модели Comrast PTR-MS производства компании Ionicon (Австрия). Прибор позволяет одновременно определять концентрации таких ЛОС как ацетон, уксусная кислота, ацетальдегид, этанол, бензол, толуол, стирол, ксилол, фенол, изопрен, терпены и др. Чувствительность прибора составляет порядка 0,5 1/млрд, время измерения каждого ЛОС не превышает 0,5 с.

Данный прибор использовался в 2011–2013 гг. для наблюдений в МГУ им.М.В.Ломоносова (г. Москва, Воробьевы горы), в 2019–2020 гг. в ИФА им.А.М.Обухова РАН (г. Москва, район Якиманка) и в 2022-2023 гг. на Звенигородской научной станции (Московская обл., дер. Новошихово).

По данным наблюдений выявлены общие закономерности сезонных и суточных вариаций концентраций раздельно для антропогенных и биогенных ЛОС. Отмечен общий характер вариаций как органических, так и неорганических примесей в условиях мегаполиса. С использованием т.н. "ящичной" модели [2] получены оценки интегральных эмиссий некоторых ЛОС для г. Москвы. Результаты анализа сопоставлены с известными из научных публикаций данными по эмиссиям и вариациям этих же ЛОС в различных мегаполисах мира.

Непрерывные наблюдения концентраций ЛОС и накопление данных в настоящее время продолжаются.

Литература:

1. Berezina E. V., Moiseenko K. B., Skorokhod A. I., Pankratova N. V., Belikov I. B., Belousov V. A., Elansky N. F. Impact of VOCs and NO_x on Ozone Formation in Moscow // Atmosphere. - 2020. - V. 11. - №. 1262. - DOI 10.3390/atmos11111262.
2. Elansky N. F., Ponomarev N. A., Verevkin Y. M. Air quality and pollutant emissions in the Moscow megacity in 2005-2014 // Atmospheric Environment. - 2018. - V. 175. - P. 54-64. - DOI 10.1016/j.atmosenv.2017.11.057.

Оценка климатических ареалов видов с использованием системы RANGES

Богданович А.Ю., Семенов С.М.

*Институт глобального климата и экологии им. акад. Ю.А. Израэля, Москва, Россия
bogda-anton@yandex.ru*

Ключевые слова: *система RANGES, климатический ареал, изменения климата*

Система RANGES на основе данных моделирования климата и значений климатических предикторов позволяет получить статистическую оценки уверенности в том, что заданная точка географического пространства принадлежит климатическому ареалу вида. Используя данный подход, выполнение ограничений на значения климатических предикторов проверяется не для их средних климатических значений, а для каждого года рассматриваемого периода времени.

Пусть для заданной точки географического пространства для отрезка времени в I последовательных лет при оценке обнаружилось k благоприятных лет из общего числа N . Если речь идет о данных мониторинга, то $N = I$. Если делается оценка для будущего климата, и имеются L его модельных реализаций, то $N = IL$. Климат рассматриваемого I -летия считается благоприятным для вида, если доля благоприятных лет p больше некоторого порогового значения p_0 . Значение p_0 задается экспертами, а при отсутствии информации принимается равным 0.5. Для оценки уверенности непосредственно используется вероятность того, что $p > p_0$. При этом функция $F(N, k; p)$ распределения p на отрезке $[0, 1]$ соответствует байесовскому подходу.

Исходя из чисел k и N , гипотезу о том, что доля благоприятных лет p не превосходит порогового значения p_0 , можно отвергнуть для определенных уровней значимости $\varepsilon > 0$. Таким образом определяется, в каком из полуинтервалов $(0, 0,33]$, $(0,33, 0,66]$, $(0,66, 0,90]$, $(0,90, 0,99]$, $(0,99, 1,00]$ находится доверительная вероятность $PR = 1 - \varepsilon$, т. е. “уверенность” в том, что значение p превосходит p_0 .

Система была применена в работах [1, 2] для региональных (на территории РФ) и глобальных оценок климатических ареалов непарного шелкопряда и средиземноморской плодовой мухи для климата 1990–1999 гг., а также климатов будущего: 2030–2039 и 2050–2059 гг. в условиях различных сценариев. Использовались результаты расчетов региональной модели ГГО им. А.И. Воейкова и глобальной модели ИВМ РАН.

Литература:

1. Богданович А.Ю. и др. Климатический ареал непарного шелкопряда на территории России, соответствующий климатам конца XX века и XXI века. – *Фундаментальная и прикладная климатология*. – 2023. – т. 9, № 1, с. 65–88.
2. Bogdanovich A.Yu. et al. Possible Expansion of the Climatic Range of the Mediterranean Fruit Fly Being a Dangerous Fruit Pest // *Russian Meteorology and Hydrology*. – 2023. – Vol. 48., No. 1 – pp. 72–78.

Оценка высоты нижней границы облачности над океаном по данным стереографической широкоугольной оптической съемки видимой полусферы небосвода с применением методов глубокого обучения

Борисов М.А.^{1,2}, Криницкий М.А.^{1,2}

¹Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),

Долгопрудный, Россия

²Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, Россия

borisov.ma@phystech.edu

Ключевые слова: облачность, высота нижней границы облачности, машинное обучение, глубокое обучение, компьютерное зрение, облачная камера

Высота Нижней Границы Облачности (ВНГО) играет важную роль в метеорологических измерениях и в некоторых случаях сильно коррелирует с толщиной планетарного пограничного слоя. Существующие методы оценки ВНГО требуют использования сложных и дорогостоящих устройств, таких как лидары, беспилотные летательные аппараты или метеорологические шары-пилоты. Альтернативный метод, основанный на визуальных наблюдениях и характерных высотах расположения различных типов облаков, характерен высокой неопределенностью оценок. Кроме того, большинство инструментальных методов сложно применять в условиях морской качки.

В нашем исследовании представлен новый метод для оценки ВНГО, использующий две оптические широкоугольные камеры, расположенные на расстоянии от 15 до 30 метров друг от друга. Метод основан на использовании явления параллакса. Для оптической цифровой съемки видимой полусферы небосвода мы используем устройство для оценки свойств облачности SAIL Cloud v.2, разработанное в Лаборатории взаимодействия океана и атмосферы и мониторинга климатических изменений Института океанологии РАН.

Для определения ключевых точек облаков, которые наблюдаются под разными углами с двух камер, мы используем графовую искусственную нейронную сеть SuperGlue. SuperGlue помогает нам идентифицировать ключевые точки и извлекать их геометрические характеристики для дальнейшего сопоставления ключевых точек на синхронных изображениях. Эти данные затем используются для расчета угла, под которым ключевые точки видны с двух камер, что, в свою очередь позволяет оценить расстояние от камер до облаков.

В рамках настоящего исследования мы создали новый алгоритм для расчета ВНГО и сравнили его результаты с данными реанализа ERA-5 для морских экспедиций АИ57, АИ58, АИ61 Института океанологии РАН. Мы обнаружили наиболее близкое совпадение с данными реанализа для слоисто-кучевых и кучевых облаков.

Применение георадиолокации для мониторинга многолетнемерзлых пород на острове Кашин (площадка CALM) в 2021–2022 гг.

Давыденко С.Ю.¹, Судакова М.С.^{2,3}

¹Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия
sofydav@mail.ru

Ключевые слова: *геокриология, георадар, многолетнемерзлые породы, ммп, мониторинг, мерзлота, печора, георадиолокация, глобальное потепление, температурный режим, calm*

В докладе приводятся результаты комплексных геокриологических исследований на одной из мониторинговых площадок на Российском севере. Цель работы заключается в анализе связи между меняющимся температурным режимом и состоянием деятельного слоя мерзлоты на участке за последние 2 года (2021–2022); а также сравнение динамики изменения с более ранним промежутком наблюдения (2015–2017 гг).

Площадка - участок 100x100 метров, расположена на острове Кашин (дельта реки Печора), в зоне островной мерзлоты мощностью 30–40 м, активный слой которой не превышает 150 сантиметров.

Река Печора - один из факторов, влияющих на деятельный слой мерзлоты, оказывая на него отепляющий эффект. Также предыдущими исследователями выявлено, что таяние мерзлоты здесь напрямую связано с мощностью торфа, который уменьшает глубину протаивания. Кроме этого, рассматриваемый участок Кашин интересен тем, что глубина до кровли мерзлоты относительно невелика, вследствие чего заметна реакция активного слоя на изменения среднегодовой температуры.

В составе комплекса мониторинговых исследований входят измерения температуры, измерения максимальной глубины протаивания с помощью металлического зонда, геофизические исследования методом георадиолокации. Георадиолокация эффективный метод для исследования и мониторинга активного слоя на о. Кашин во многом благодаря преобладающим на нём торфяным и песчаным отложениям, из-за которых верхняя граница кровли мерзлоты была отчётливо видна на всех радарограммах. В результате построены карты мощности и влажности активного слоя мерзлоты по полученным и рассчитанным данным за 2021–2022 годы.

Анализ изменений и сравнение двух временных периодов подтвердили нестабильность многолетнемерзлых пород и их зависимость от температурного режима. Средние значения мощности сезонно-талого слоя заметно повысились в сравнении с периодом 2015–2017 гг. Подводя итоги, можно сделать вывод об усилении влияния глобального потепления на состояние многолетней мерзлоты.

Эйлеровы методы идентификации когерентных структур в пространственных данных на примере результатов численного моделирования атмосферы над Северной Атлантикой

Кошкина В.С.^{1,2}, Гавриков А.В.¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширикова РАН, Москва, Россия

²Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),
Долгопрудный, Россия
koshkina.vs@phystech.edu

Ключевые слова: когерентные структуры, мезомасштабные атмосферные процессы, идентификация вихрей, численное моделирование, NAAD

Когерентные структуры (КС), проявляющиеся в природе в виде устойчивых во времени вихрей, играют важную роль в любой жидкой среде климатической системы Земли и на всех масштабах движения. Если вихри крупных (синоптических) масштабов уже более-менее изучены, то оценка вклада мезомасштабных процессов в климат пока остается неизученной. Главной проблемой этого направления является отсутствие строго математического определения вихря (и его внешней границы), что делает невозможным автоматический поиск КС в пространственных данных. Некоторые наработки в этом направлении были проведены в области мелкомасштабной турбулентности: был разработан ряд критериев, позволяющих с разной степенью достоверности выделять вихри. Настоящая работа посвящена исследованию применимости эйлеровых методов идентификации КС на существенно более крупномасштабных геофизических данных. Достоверный метод идентификации КС потенциально может быть использован для детерминистической оценки мезомасштабных вихрей на климатическом масштабе.

Для исследования были выбраны наиболее зарекомендовавшие себя локальные методы идентификации вихрей – Q , Δ , λ_2 и Rortex критерии [1-3], применимость которых к данным синоптического или мезомасштабов не была рассмотрена ранее.

Существенным результатом работы является получение функциональной зависимости порогового значения критерия от высоты, что позволяет проводить трехмерный анализ атмосферных явлений. Метод определения порогового значения, основанный на максимуме градиента количеств КС на каждом уровне высоты также позволяет снизить неопределенность идентификации КС.

В работе продемонстрирован алгоритм получения базовых характеристик когерентных структур (эффективный радиус, вытянутость, интенсивность и направление вращения). Более подробно метод был протестирован на примере тропических циклонов Эрл и Даниэль и интенсивного внетропического циклона в августе 2010 года.

Литература:

1. M. S. Chong, A. E. Perry, and B. J. Cantwell. A general classification of three-dimensional flow fields. *Physics of Fluids A*, 1990. ISSN 08998213. doi: 10.1063/1.857730
2. J. Jeong and F. Hussain. On the identification of a vortex. *Journal of Fluid Mechanics*, 285:69–94, 1995. ISSN 14697645. doi: 10.1017/S0022112095000462.
3. Tian S. et al. Definitions of vortex vector and vortex // *Journal of Fluid Mechanics*. – 2018. – Т. 849. – С. 312-339.

Оценка значимой высоты ветрового волнения по данным судового навигационного радара X-диапазона с применением свёрточных нейронных сетей

Криницкий М.А.^{1,2,4}, Суслов А.И.¹, Тилинина Н.Д.¹, Голиков В.А.^{1,2,3}, Борисов М.А.^{1,2}

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН, Москва, Россия*

²*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),
Долгопрудный, Россия*

³*Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия*

⁴*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский
вычислительный центр, Москва, Россия*

krinitsky@sail.msk.ru

Ключевые слова: *значимая высота волн, морской навигационный радар, ветровое волнение, машинное обучение, глубокое обучение, искусственные нейронные сети, свёрточные нейронные сети, позиционное кодирование, остаточные соединения*

Морские судовые радары X-диапазона обеспечивают не только навигацию и безопасность судов, но и дополнительные данные, такие как характеристики ветровых волн, поверхностных течений, разливов нефти и ледовые карты. Оценка параметров ветрового волнения по данным радаров традиционно основывается на анализе Фурье и дисперсионном соотношении, позволяющем по соотношению сигнала к шуму в Фурье-образе оценить значимую высоту ветровых волн и их период с использованием калибровочных коэффициентов. Эти методы реализованы в серии прикладных коммерческих и научных решений. Эти методы обладают рядом недостатков, среди которых - необходимость набора большой последовательности радарных снимков, специфичность калибровочных коэффициентов для каждой отдельной модели радара. В то же время методы машинного обучения потенциально могут преодолеть такие ограничения. В нашем исследовании мы демонстрируем возможность оценки значимой высоты ветровых волн по данным морского судового радара X-диапазона с применением искусственных нейронных сетей. В этом подходе анализу подвергается только один радарный снимок; метод не подразумевает использование калибровочных коэффициентов. Нейросеть сконструирована на основе подхода свёрточных искусственных нейронных сетей с использованием остаточных соединений и гармонического позиционного кодирования. Мы обучили эту нейросеть на наборе данных, полученных в ходе нескольких морских исследовательских экспедиций в Центральной и Северной Атлантике, а также в морях российского сектора Арктики.

Нейросеть продемонстрировала более высокую точность определения значимой высоты ветрового волнения по сравнению с классическим подходом. Для дальнейшего повышения качества оценки мы планируем пополнять обучающий набор данных, который будет покрывать расширенный диапазон волновых условий. Кроме этого, мы планируем повышать качество за счет предварительного обучения на синтетических данных, правдоподобно имитирующих радарную картину взволнованной поверхности океана.

Климатическая диаграмма нового времени: оценка биоклиматических условий Москвы с использованием CTIS (Climate - Tourism Information Scheme)

Маратканова В.С., Константинов П.И.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

varvara.mar@yandex.ru

Ключевые слова: *комфортность климата, биоклиматические индексы, тепловая нагрузка, CTIS*

Одними из наиболее уязвимых вследствие изменений климата объектов являются крупные города, в которых рост средних температур усугубляется наличием острова тепла [1]. Однако именно мегаполисы становятся площадками для проведения крупных мероприятий, и информация о погодно-климатических условиях востребована среди ответственных за принятие решений лиц. Следовательно, существует потребность в представлении интересующей научной информации доступном для неспециалистов виде, например, при помощи CTIS [2]. Она представляет собой диаграмму повторяемости погодно-климатических условий в зависимости от критериев отбора. Временное разрешение CTIS зависит от доступных данных.

CTIS для г. Москвы была построена по срочным данным ст. Москва-ВДНХ за 1991–2020 гг. Пороговые значения для г. Москвы были: термический комфорт ($13^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 29^{\circ}\text{C}$), тепловой стресс ($\text{PET} > 35^{\circ}\text{C}$), холодовой стресс ($\text{PET} \leq 8^{\circ}\text{C}$), Солнечные дни (облачность < 5 октантов), туманные дни (относительная влажность $> 93\%$), дождливые дни (сумма осадков > 5 мм/сутки), сухие дни (сумма осадков < 1 мм/сутки), душные дни (давление водяного пара > 18 гПа), ветреные дни (скорость ветра > 8 м/с) [2]. Построенные CTIS были апробированы на нескольких крупных мероприятиях, проводившихся в г. Москва в последние 60 лет.

CTIS для Москвы демонстрирует, что с точки зрения наиболее благоприятен период с июня по август (повторяемость $> 55\%$). Повторяемость также достигает 40% в мае. Холодовой стресс наиболее часто встречается с октября по апрель, и большую часть этого периода повторяемость таких условий близка к 100% . Условия теплового стресса характерны для летних месяцев, в июле повторяемость достигает 13% . Солнечных дней больше летом, дождливые и туманные дни, наоборот, встречаются крайне редко. Повторяемость душных дней наибольшая в июле.

Повторяемости по CTIS согласуются с данными наблюдений для ряда мероприятий. Это демонстрирует, что CTIS является надёжным средством предварительной оценки биоклиматических условий.

Литература:

1. Kislov A. V., Konstantinov P. I. Detailed spatial modeling of temperature in Moscow / A. V. Kislov, P. I. Konstantinov // Russian Meteorology and Hydrology. – 2011. – 36(5). – P. 300–306.
2. Matzarakis A.; Frohlich D. Sport events and climate for visitors—The case of FIFA World Cup in Qatar 2022 / A. Matzarakis, D. Frolich // Int. J. Biometeorol. – 2015. – 59. – P. 481–486.

Исследование драйверов и барьеров управления цепочками поставок в условиях изменения климата

Осинцев Н.А., Мишкурин П.Н., Семчук Д.Б., Мельников М.С.

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск,
Россия*

osintsev@magtu.ru

Ключевые слова: устойчивое развитие, ESG, цепи поставок, управление устойчивыми цепями поставок, многокритериальные методы, факторы

В эпоху изменения климата, усиления антропогенного воздействия и социально-экономической нестабильности в мире возрастают требования к трансформации цепей поставок в соответствии с концепциями Sustainable Development (Устойчивого развития) и ESG (Экологическое, социальное и корпоративное управление). Актуальной задачей в таких условиях является выявление факторов, положительно или отрицательно оказывающих влияние на процесс управления цепочками поставок.

Целью настоящего исследования является анализ драйверов и барьеров управления цепочками поставок в условиях изменения окружающей среды. В результате анализа установлено, что отсутствует единая система факторов и общепринятая система критериев оценки устойчивости цепочек поставок. Доказана необходимость использования методов многокритериального анализа для оценки факторов устойчивости цепочек поставок. Это многофакторностью и динамичностью внешней среды, а также сложностью сбора исходных данных для оценки различных аспектов устойчивости цепочек.

Авторами предложен подход к оценке факторов устойчивости цепочек поставок с использованием многокритериальных методов. Основное отличие предлагаемого подхода от существующих заключается в том, что объектом оценки выступают не конкретные элементы цепочек поставок, а универсальные функции элементов цепей по воздействию на логистические потоки для достижения целей устойчивого развития. Полученные результаты являются основой для разработки системы управления цепями поставок, включающей комплекс математических и имитационных моделей, позволяющих учитывать сложность структуры цепей поставок, многофакторность среды их функционирования, многокритериальность задач, решаемых при их формировании с учётом глобальных климатических изменений.

* Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23–21–10038, <https://rscf.ru/project/23-21-10038/>

Определение общего содержания углекислого газа в атмосфере по измерениям фурье-спектрометра ИКФС-2 космического аппарата «Метеор-М» № 2

Рублев А.Н., Голомолзин В.В., Киселева Ю.В., Успенский А.Б.

НИЦ "Планета", Москва, Россия

rublev@planet.iitp.ru

Ключевые слова: *углекислый газ, Метеор-М, ИКФС-2, XCO_2 , фурье-спектрометр*

В НИЦ «Планета» разработана методика определения общего содержания углекислого газа (XCO_2) в атмосфере по данным измерений инфракрасного (ИК) фурье-спектрометра ИКФС 2, устанавливаемого на отечественные космические аппараты (КА) серии «Метеор М». Для оценки XCO_2 используется регрессия, предикторами в которой являются эффективные спектральные оптические толщины атмосферы в ИК области спектра $8\div 14$ мкм. Опорными значениями XCO_2 для построения регрессии служили контактные измерения концентраций CO_2 на высотной мачте международной обсерватории ZOTTO (Центральная Сибирь) в период 2015 ÷ 2016 г. г., а также результаты определения общего содержания по вертикальным профилям концентрации CO_2 , полученным в ходе самолетных измерений Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН в 2004-2011 гг..

В докладе обсуждаются результаты сопоставления оценок XCO_2 по измерениям ИКФС-2 КА «Метеор М» №2 с данными параллельных измерений над Сибирью спутниковыми спектрометрами OCO и CrIS, установленных на КА США OCO-2 и NOAA 20. Кроме того, для валидации оценок XCO_2 по данным ИКФС-2 привлекались данные наземной спектроскопической сети TCCON.

Квазидвудлетняя цикличность влажности почвы в основных зернопроизводящих регионах России в условиях региональных изменений климата

Тарасова Л.Л., Кланг П.С.

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия
lydia_tarasova@mail.ru*

Ключевые слова: *влажность почвы, изменение климата*

Проведена оценка влажности почвы за период 1958–2022 гг на основе средних за декаду запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы под ранними яровыми зерновыми культурами по основным зернопроизводящим регионам Европейской России и Западной Сибири. Показано, в XX веке имел место циклический режим увлажнения почвы (чередование периодов с низкими и высокими значениями влагозапасов) с периодом от 2 до 4 лет, объясняемую циклами Северо-Атлантического колебания. В настоящее время в большинстве районов режим влажности почвы стал ближе к оптимальному для роста и развития зерновых колосовых культур по сравнению с периодом до 1991г.

Индикатор начала 25-го одиннадцатилетнего цикла солнечной активности

Тертышников А.В.

Институт прикладной геофизики им. акад. Е.К. Федорова, Москва, Россия
atert@mail.ru

Ключевые слова: цикл, солнечная активность, индикатор, масс-спектрометр, "Метеор", полярная шапка, авроральный овал

В декабре 2019г. начался очередной 25-й одиннадцатилетний цикл солнечной активности. При определении его начала используются данные наблюдений за Солнцем, активность которого проявляется в характеристиках атмосферы.

Для зондирования состава верхней атмосферы 27.06.2023г. с космодрома Восточный запущен очередной радиочастотный масс-спектрометр (космический масс-спектрометр, МСК) на гидрометеорологическом спутнике "Метеор-М" № 2–3. Прибор будет работать на орбите высотой 832 километра и предназначен для зондирования состава верхней атмосферы Земли. МСК выполнен в ФГБУ "ИПП" по техническому решению А.В. Тертышникова (Патент на изобретение № 2726186 по заявке № 2019121111/20(041262) от 05.07.2019г.). За счет современных микроэлектронных датчиков существенно повышена разрешающая способность регистрации количества селектированных ионов и качество измерений состава верхней атмосферы. Масса МСК позволяет использовать его на малых КА и для ракетных экспериментов.

Предыдущие версии масс-спектрометра показали эффективность его функционирования и возможность использования для климатических исследований, диагностики начала одиннадцатилетнего цикла солнечной активности, для исследования морфологии полярных шапок, аврорального овала и полярного ионосферного провала вблизи полюсов Земли, экваториальная токовой струи в ионосфере и даже откликов эффекта переполосовки солнечного магнитного диполя перед максимумом 11-летнего цикла солнечной активности.

На примере многолетних измерений с действующего радиочастотного масс-спектрометра показано соответствие минимумов концентрации иона кислорода с началом очередного 25-го одиннадцатилетнего цикла солнечной активности. Рассмотрена также технология определения положения аврорального овала и геомагнитного экватора по данным измерений МСК с учетом сезона, геомагнитной возмущенности, характеристик солнечного ветра. Даны оценки положения магнитных полюсов Земли.

Уровенный режим Онежского озера: прошлое, настоящее, будущее

Шмакова М.В., Кондратьев С.А.

*Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия
m-shmakova@yandex.ru*

Ключевые слова: *Онежское озеро, уровень воды, температура воздуха, осадки, климат, математическая модель*

Онежское озеро – второй по величине пресноводный водоем Европы. Начиная с середины прошлого века с введением в эксплуатацию Верхне-Свирской ГЭС, Онежское озеро фактически стало водохранилищем с зарегулированным режимом стока.

Существенное повышение температуры воздуха для всего северо-западного региона, которое пришлось преимущественно на зимний период, определило и изменение внутригодового распределения притока воды в озеро. Для Онежского озера имеет место увеличение среднегодового уровня воды более, чем на 10%. Линейный тренд уровня воды за продолжительный 141-летний период показали повышение уровня Онеги на 53 см. Ввиду того, что средний сток притока в Онежское озеро в течение двух рассматриваемых климатических периодов остался неизменным (около 16.5–16.8 км³/год), обратные тенденции изменения уровня Онеги связаны с его подпорным режимом.

Для оценки последствий возможных климатических изменений использованы два RCP-сценария, это RCP 2.6 и RCP 8.5 – лучший и худший с точки зрения воздействия на окружающую среду, соответственно. Сценарий RCP 2.6 требует, чтобы выбросы диоксида углерода (CO₂) начали неуклонно снижаться и достигли нуля к 2100 г. В сценарии RCP 8.5 выбросы продолжают расти в течение всего 21 века теми же темпами, что и сейчас. Для решения задачи оценки возможного изменения притока с территории водосбора в Онежское озеро в результате изменений регионального климата использованы климатическая модель MPI-ESM-MR и модель формирования стока на водосборе ILHM.

В результате моделирования получено, что к концу 21 века среднегодовой сток с водосбора Онежского озера при реализации сценария RCP 8.5 увеличивается не более чем на 18% относительно периода 2006–2015 годов. В то же время сценарий RCP 2.6 дает снижение стока также на 18%, так как здесь отмечается небольшое возрастание температуры воздуха, а осадки имеют отрицательный тренд.

Содержание

Пленарные доклады

<u>Башмаков И.А.</u> Россия на траекториях движения к углеродной нейтральности.....	7
<u>Вильфанд Р.М.</u> , Хан В.М., Куликова И.А., Макарова М.Е. Климатические прогнозы: актуальные вопросы и перспективы развития в Гидрометцентре России	8
<u>Володин Е.М.</u> , Грицун А.С., Воробьева В.В., Тарасевич М.А., Черненко А.Ю. Воспроизведение современных изменений климата в климатической модели ИВМ РАН	9
<u>Гинзбург В.А.</u> Регулирование антропогенного воздействия на климат: проблемы мониторинга достижения углеродной нейтральности регионов России.....	10
<u>Ишков А.Г.</u> Климатическая стратегия ПАО «Газпром»	11
<u>Катцов В.М.</u> Климатическая наука для принятия решений	12
Клименко В.В., Клименко А.В., <u>Терешин А.Г.</u> Безуглеродная Россия: есть ли шанс достичь углеродной нейтральности к 2060 году?	13
<u>Марсеев Е.А.</u> Электрические явления в климатической системе и их моделирование.....	14
<u>Мохов И.И.</u> Региональные климатические аномалии и тренды на фоне глобальных изменений, естественные и антропогенные причины, предсказуемость, последствия.....	15
<u>Ольчев А.В.</u> , Гулев С.К. Пилотный проект карбоновых полигонов РФ: результаты первых 2 лет реализации	16
<u>Порфирьев Б.Н.</u> Стратегии адаптации населения и экономики России к изменениям климата.....	17
<u>Ревич Б.А.</u> Ключевые направления защиты здоровья в условиях климатических изменений.....	18
<u>Семенов С.М.</u> Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК): некоторые итоги текущей работы, проблемы и перспективы их разрешения	19
 <i>Секция 1. Климатические процессы и изменения: механизмы, предсказуемость, экстремальные режимы</i>	
<u>Абдусаматов Х.И.</u> Двухвековая цикличность мощности солнечного излучения определяет изменение климата	20
<u>Абдусаматов Х.И.</u> Увеличение концентрации водяного пара при потеплении снижает чувствительность климата к росту содержания углекислого газа.....	21

<u>Александров Г.А.</u> , Гинзбург А.С, Гитарский М.Л., Чернокульский А.В. Изменение климатологических границ вечной мерзлоты в Большеземельской тундре	22
<u>Александрова М.П.</u> , Гулев С.К. Изменчивость радиационных потоков над Мировым океаном в XX веке на основе скорректированных визуальных наблюдений за облачностью	23
<u>Алешина М.А.</u> , Семенов В.А. Изменение характеристик режима осадков в XX-XXI вв. по данным наблюдений и моделей климата СМIP6 на территории России	24
<u>Антохина О.Ю.</u> , Антохин П.Н., Гочаков А.В., Збиранник А.А., Газимов Т.Ф. Атмосферные циркуляционные паттерны, связанные с экстремальными осадками в Восточной Сибири и Монголии	25
<u>Аржанова Н.М.</u> Специализированный массив данных гололедно-изморозевых отложений для климатических исследований	26
Ахтамянов Р.А., <u>Платонов В.С.</u> , Вереземская П.С. Разработка алгоритма и анализ воспроизведения траекторий полярных мезоциклонов в климатологических модельных архивах COSMO-CLM RAh и RAS-NAAD	27
<u>Безверхний В.А.</u> Внутривековые колебания ряда океанских характеристик и LOD	28
<u>Безотеческая Е.А.</u> Распределение струйных течений при основных формах атмосферной циркуляции в Атлантико-Европейском секторе	29
<u>Бекряев Р.В.</u> Переломные моменты климатических изменений. Статистика раннего предупреждения	30
<u>Беликов Ю.Е.</u> , Дышлевский С.В., Николайшвили С.Ш., Репин А.Ю. Испарение и дробление электризованных капель полярных стратосферных облаков в весеннее время – спусковой механизм разрушения озона	31
<u>Беликов Ю.Е.</u> , Дышлевский С.В., Репин А.Ю. Влияние движения магнитного полюса и уменьшение солнечной активности в последние десятилетия на изменение облачности и как результат климат арктической зоны и северных территорий России	32
<u>Богородский П.В.</u> , Лоскутова М.А., Макшгас А.П. Конвективная фильтрация как механизм тепломассообмена деятельного слоя грунта с приземным слоем атмосферы на побережье о. Большевик (Северная Земля)	33
Буянова М.О., <u>Люшвин П.В.</u> Текущие изменения климата в Арктике и сейсмическая активность на хребте Гаккеля	34
<u>Валле А.А.</u> Об изменчивости концентрации растворенного кислорода в Черном море	35
<u>Варенцов М.И.</u> , Криницкий М.А., Степаненко В.М. Анализ антропогенных и метеорологических факторов интенсификации городского острова тепла Москвы на основе машинного обучения	36

<u>Воропай Н.Н., Рязанова А.А. Многолетние изменения гидротермических условий в субъектах СФО</u>	37
<u>Горчаков Г.И., Карпов А.В., Семутникова Е.Г., Гушин Р.А., Даценко О.И. Крупномасштабные задымления Северной Америки: аномальное селективное поглощение дымового аэрозоля.....</u>	38
<u>Гребнева Е.А., Полонский А.Б. Климатические тенденции изменения водородного показателя в водах Черного моря.....</u>	39
<u>Гушина Д.Ю., Гвоздева А.В. Термодинамический отклик внетропической атмосферы Северного полушария на явления Эль-Ниньо и Ла-Нинья</u>	40
<u>Добролюбов Н.Ю., Семенов С.М. Типы годового хода среднемесячной температуры приземного воздуха в 1981-2010 годах, выделенные по данным реанализа NOAA-CIRES-DOE 20th Century Reanalysis V3.....</u>	41
<u>Дюкарев Е.А., Дмитриченко А.А., Заров Е.А., Кулик А.А., Суворов Г.Г., Лапшина Е.Д. Пространственная и временная изменчивость потоков углекислого газа, тепла и влаги в болотных экосистемах Западной Сибири</u>	42
<u>Железнова И.В., Гушина Д.Ю., Мейрамов Ж.М. Роль крупномасштабных и региональных климатических мод в формировании условий засухливости на территории Казахстана</u>	43
<u>Железнова И.В., Гушина Д.Ю., Мейрамов Ж.М., Ольчев А.В. Пространственно-временная изменчивость условий засухливости на территории Республики Казахстан в 1979-2021 гг. по данным реанализа ERA5.....</u>	44
<u>Зюляева Ю.А., Собаева Д. Отклик тропосферной динамики на внезапные стратосферные потепления в различные фазы ЭНЮК и ТДК в идеализированных модельных экспериментах.....</u>	45
<u>Ильющенкова И.А., Коржиков А.Я., Иванов Б.В. Повторяемость штормовых ветров в районе арх. Шпицберген в условиях современного изменения климат</u>	46
<u>Ингель Л.Х., Макоско А.А. О влиянии неоднородностей силы тяжести на теплообмен атмосферы с подстилающей поверхностью</u>	47
<u>Кадышев Е.А., Островский В.Е. Причины и механизмы потепления климата Земли: ПФО-ХФО Теория Образования и Трансформации Солнечной Системы (PFO-CFO Theory)</u>	48
<u>Калинин М.А., Вереземская П.С., Гавриков А.В., Криницкий М.А., Гулев С.К. Факторы формирования колец Ирмингера и их влияние на глубокую конвекцию в море Лабрадор</u>	49
<u>Кислов А.В., Аляутдинов А.Р., Архипкин В.С., Баранская А.В., Белова Н.Г., Богатова Д.М., Викулина М.А., Железнова И.В., Суркова Г.В. Опыт детализированного прогнозирования климатических изменений (в том числе нестационарных экстремумов) и инициируемых ими экзогенных процессов в Арктике</u>	50

<u>Коршунова Н.Н.</u> , Швець Н.В. Региональные особенности изменения норм основных климатических параметров на территории России	51
Корягина Ю.В., Донец Е.В., <u>Тычинина А.П.</u> Динамика гидротермического режима в условиях горноклиматического города-курорта Кисловодск (по данным многолетних метеорологических исследований за 1993-2023 гг.)	52
<u>Кочин А.В.</u> Вращение Земли формирует структуру общей циркуляции атмосферы	53
<u>Криницкий М.А.</u> , Спрыгин А.А., Нарижная А.И., Чернокульский А.В. Идентификация и построение траекторий мезомасштабных конвективных систем над сушей по данным дистанционного зондирования Земли с применением методов глубокого обучения	54
<u>Кузьмин А.М.</u> , Мохов И.И., Елисеев А.В. Аппроксимация высоты тропопаузы для использования в моделях промежуточной сложности	55
<u>Куминов А.А.</u> О форме оси среднеклиматического циркумполярного вихря в стратосфере северного полушария (по данным метеорологического ракетного зондирования в 1969-1995 гг.)	56
<u>Лавров А.С.</u> , Стерин А.М. Исследование климатических трендов приземной температуры и осадков на территории Российской Федерации методом квантильной регрессии	57
<u>Левина Г.В.</u> Необходимо ли в России изучать и самостоятельно диагностировать черноморские квазитропические циклоны?	58
<u>Левковская Ю.А.</u> , Вереземская П.С., Ахтамьянов Р.А., Гавриков А.В. Критерии выделения мезомасштабных циклонов	59
<u>Логинов С.В.</u> , Харюткина Е.В., Морару Е.И. Тенденции синоптических негауссовских экстремальных метеорологических аномалий в Северном полушарии в конце XX - начале XXI вв.	60
<u>Локощенко М.А.</u> , Богданович А.Ю., Алексеева Л.И., Кулижникова Л.К., Кочин А.В., Разин П.Е. Многолетние изменения температурной стратификации атмосферного пограничного слоя в Московско-Калужском регионе	61
<u>Лубков А.С.</u> , Воскресенская Е.Н. Использование модели на основе искусственных нейронных сетей для прогнозирования экстремальных фаз ЭНЮК и прогноз Эль-Ниньо в 2023 году	62
<u>Макштас А.П.</u> , Большакова И.И., Жукова О.А. Характеристики свободной атмосферы в Северной полярной области по данным международной сети аэрологических станций и НИС «Ледовая база Мыс Баранова»	63
<u>Маслова В.Н.</u> , Воскресенская Е.Н. Климатические изменения в Черноморско-Средиземноморском регионе: тренды и аномалии циклонической активности, включая интенсивную, в настоящем и будущем	64

<u>Махоткин А.Н.</u> , Плахина И.Н., Махоткина Е.Л. Прозрачность атмосферы на территории России: текущие изменения в XXI в.	65
<u>Мухин Д.Н.</u> , Самойлов Р.С. Идентификация и анализ предсказуемости режимов циркуляции атмосферы средних широт с помощью методов эмпирического моделирования	66
<u>Намятов А.А.</u> Климатическая изменчивость температуры, солёности и содержания атлантических, речных, талых вод, а также вод, изъятых на ледообразование в Баренцевом море за последние 100 лет	67
<u>Нестеренко Ю.М.</u> , Соломатин Н.В. Сравнительная оценка изменений температуры воздуха и осадков по периодам года в России, Западной Европе и Северной Америке	68
<u>Панасик А.В.</u> , Собаева Д., Зюляева Ю.А. Интенсивность стратосферного полярного вихря в различные фазы ЭНЮК в идеализированных численных экспериментах	69
<u>Переведенцев Ю.П.</u> , Мирсаева Н.А., Шанталинский К.М., Гледко Ю.А., Лопух П.С. Долгопериодные климатические изменения на Европейской части России и Республики Беларусь	70
<u>Перцев Н.Н.</u> , Далин П.А., Перминов В.И. Влияние солнечной и вулканической активности на климатическую изменчивость области мезопаузы	71
<u>Платонов В.С.</u> , Бойко А.П., Козлов Ф.А., Игнатов Р.Ю. Оценка климатологических трендов экстремальных скоростей ветра в Российской Арктике по данным модельного архива COSMO-CLM Russian Arctic hindcast за период 1980 – 2016 гг.	72
<u>Попов И.О.</u> , Попова Е.Н. Применение байесовской оценки параметров марковских цепей для исследования изменений режима осадков на территории России во второй половине 20 — начале 21 вв.	73
<u>Попова В.В.</u> , Бокучава Д.Д., Алдошина Т.А. Экстремальная засуха на Восточно-Европейской равнине в период потепления XX столетия: климатические характеристики, условия формирования, современные аналоги	74
<u>Рубчenea А.В.</u> , Май Р.И., Тимофеева А.Б. Изменчивость потоков энергии, продукции новых льдов и плотных вод в заприпайных полыньях моря Лаптевых в 1998-2023 гг.	75
<u>Рябова С.А.</u> Анализ возможной связи явлений Эль-Ниньо/Южное колебание с геомагнитными возмущениями	76
<u>Самойлов Р.С.</u> , Мухин Д.Н., Гаврилов А.С. Реконструкция динамических систем в форме оптимальных скрытых марковских моделей по данным наблюдений как инструмент прогноза поведения и анализа динамических свойств системы	77
<u>Сафонов С.Е.</u> , Мухин Д.Н., Гаврилов А.С. Новый метод диагностики качества симуляции явления Эль-Ниньо глобальными климатическими моделями	78
	235

<u>Серых И.В., Сонечкин Д.М.</u> Глобальная структура и динамика Эль-Ниньо – Южного колебания в моделях CMIP6 и данных наблюдений	79
<u>Синицын А.В., Александрова М.П., Гулев С.К.</u> Применение оценки распределения вероятностей для спутниковых данных об общем балле облачности для Мирового Океана	80
<u>Собаева Д., Зюляева Ю.А.</u> Различия тропосферно-стратосферной динамики под влиянием Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модоки в идеализированных модельных экспериментах	81
<u>Соломина О.Н.</u> Климат и масштабы колебаний ледников в голоцене и антропоцене	82
<u>Тетельмин В.В.</u> Алгоритм расчета глобального потепления, разработанный на основе натурных данных	83
<u>Тимажев А.В., Мохов И.И.</u> Режимы атмосферных блокирований в Северном полушарии в зависимости от фаз климатических квазициклических процессов....	84
<u>Титкова Т.Б., Золотокрылин А.Н.</u> Тенденции летней контрастности турбулентного теплообмена в ландшафтных зонах равнин России	85
<u>Торбинский А.В.</u> Индоокеанский диполь: механизм формирования и влияние на региональные климатические аномалии	86
<u>Фроликс В.А.</u> Анализ среднесуточных температур воздуха по данным метеостанций РФ за периоды 1961-1990 гг и 1991-2020 гг на основе информационной и перестановочной энтропии.....	87
<u>Хохлова А.В.</u> Повторяемость сильных и слабых ветров в пограничном слое атмосферы на территории Российской Федерации по данным многолетних аэрологических наблюдений	88
<u>Чернокульский А.В., Вазаева Н.В., Голицын Г.С., Курганский М.В., Мохов И.И., Шихов А.Н.</u> Характеристики смерчей в России	89
<u>Черных И.В., Алдухов О.А.</u> Совместный анализ вертикальной структуры многолетних внутригодовых изменений параметров атмосферы и числа восстановленных по результатам радиозондовых измерений облачных слоев	90
<u>Чхетиани О.Г., Вазаева Н.В., Малиновская Е.А., Чернокульский А.В., Губанова Д.П., Кудерина Т.М., Иорданский М.А., Артамонова М.С., Максименков Л.О.</u> Изменчивость геофизических и геохимических параметров аридных аэрозолей по данным измерений 2002-2022 гг.	91
<u>Шерстюков Б.Г.</u> Внешние факторы современных колебаний климата и асинхронные межкомпонентные связи в климатической системе	92
<u>Шихов А.Н., Чернокульский А.В.</u> Ветровалы в лесной зоне России в 2001-2022 гг....	93

<u>Экба Я.А., Ахсалба А.К., Хинтуба Л.В. Признаки и причины понижения приповерхностной температуры воздуха в Абхазии в 21 столетии</u>	94
<u>Экба Я.А., Ахсалба А.К., Хинтуба Л.В., Касландзия Н.Д. Особенности влияния влагосодержания атмосферы на потепление климата</u>	95
<u>Юрганов Л.Н. Природные пожары 2021 года в Сибири по спутниковым данным: гипотеза «угольного пожара»</u>	96

Секция 2. Моделирование Земной климатической системы и ее изменений в прошлом, настоящем и будущем

<u>Акимов А.Н., Гуляева С.И., Людчик А.М., Павленко П.Н. Возможности прогноза состояния озонового слоя в рамках концепции динамичной климатической нормы К.Я. Винникова</u>	97
<u>Акперов М.Г.*, Елисеев А.В., Мохов И.И., Семенов В.А., Парфенова М.Р. Потенциал ветровой энергетики в арктических и субарктических широтах и его изменения в 21 веке по расчетам с региональной климатической моделью</u>	98
<u>Александров Г.А., Денисов С.Н., Елисеев А.В. Peat4ESM-1.0: Схема вычисления характеристик болотных экосистем для моделей климатической системы</u>	99
<u>Алоян А.Е., Ермаков А.Н., Арутюнян В.О. Влияние атмосферных ионов на образование аэрозоля в тропосфере</u>	100
<u>Боровко И.В., Градов В.С., Платов Г.А., Крупчатников В.Н. Исследование воспроизведения атмосферных блокирований моделью INM-CM</u>	101
<u>Варгин П.Н., Кострыкин С.В., Коваль А.В.-, Розанов Е.В., Егорова Т.А., Смышляев С.П., Цветкова Н.Д. Исследование изменений динамических процессов стратосферы Арктики в течение XXI века по расчетам химико-климатической модели SOCOLv4</u>	102
<u>Воробьев М.А., Михаленко В.Н., Хайрединова А.Г., Чижова Ю.Н., Виноградова М.М. Исследование структуры и геохимического состава неглубокого керна, пробуренного в кальдере вулкана Ушковский</u>	103
<u>Воробьева В.В., Тарасевич М.А., Черненко А.Ю., Володин Е.М. Анализ климатических изменений в Северной Евразии по двум версиям модели ИВМ РАН с разной чувствительностью</u>	104
<u>Гвоздева А.В., Володин Е.М., Гущина Д.Ю. Воспроизведение в моделях INM-CM5-0 и INM-CM6-L механизма тропосферно-стратосферного взаимодействия в период Эль-Ниньо/Ла-Нинья</u>	105
<u>Гельфан А.Н., Степаненко В.М., Медведев А.И., Мотовилов Ю.Г. О возможностях развития методов параметризации гидрологических процессов в моделях деятельного слоя суши</u>	106

<u>Гращенков К.В., Криницкий М.А., Веземская П.С. Моделирование климатологии полярных мезоциклонов в южном полушарии по данным спутниковых мозаик..</u>	107
<u>Денисов С.Н., Елисеев А.В., Мохов И.И. Естественные потоки парниковых газов в Северном полушарии по данным ансамбля моделей CMIP6 и их вклад в изменения климата в 21 веке</u>	108
<u>Елисеев А.В., Малахова В.В. Связь между изменением придонной температуры и температуры воздуха на арктическом шельфе по данным моделей CMIP6</u>	109
<u>Коспанов А.А., Константинов П.И., Криницкий М.А. Использование нейросетей для моделирования полей метеопеременных с высоким пространственным разрешением на примере Москвы</u>	110
<u>Лубков А.С. Ветроэнергетический потенциал Крымского полуострова: текущее и будущее состояние по данным проекта регионального моделирования CORDEX</u>	111
<u>Медведев А.И., Елисеев А.В., Мохов И.И. Байесовы оценки изменения стока российских рек в XXI веке на основе результатов ансамблевых модельных расчетов CMIP6</u>	112
<u>Мухартова Ю.В., Гибадуллин Р.Р., Ольчев А.В., Керимов И.А. Обратная задача оценки потоков парниковых газов над неоднородной поверхностью с помощью трехмерной E-ω модели и данных о концентрации на двух уровнях</u>	113
<u>Нарижная А.И., Чернокульский А.В., Rinke A., Мохов И.И. Характеристики облаков в Арктике: анализ данных региональных моделей Arctic-CORDEX в сравнении со спутниковыми наблюдениями</u>	114
<u>Парфенова М.Р., Елисеев А.В., Мохов И.И. Байесовы оценки продолжительности навигационного периода в разных частях Северного морского пути в 21 веке по расчетам с ансамблем климатических моделей</u>	115
<u>Плосков А.Н., Елисеев А.В., Мохов И.И. Неопределенность реконструкции изменения климата в Последнем Ледовом Цикле: влияние на результаты численного моделирования</u>	116
<u>Попова Е.Н., Попов И.О. Наблюдаемые и прогнозируемые изменения суммы активных температур воздуха на территории России и соседних государств в XX-XXI вв.</u>	117
<u>Резвов В.Ю., Криницкий М.А. Высокоразрешенная аппроксимация приповерхностного ветра над Баренцевым и Карским морями по данным WRF и GFS с применением искусственных нейронных сетей</u>	118
<u>Романенко В.А., Семенов В.А. Исследование неопределенности потоков турбулентного тепла в западном секторе Российской Арктики по данным ансамбля моделей CMIP6</u>	119
<u>Солдатенко С.А. Перспективы использования технологий искусственного интеллекта в задачах долгосрочного прогноза погоды и климата</u>	120

<u>Соловьев Д.А., Зюляева Ю.А.</u> Нейронное прогнозирование долгосрочной интенсивности стратосферного полярного вихря	121
<u>Сушкевич Т.А.</u> Радиационное поле – компонента климатической системы Земли. Спектральное альbedo Земли – индикатор эволюции климата и планеты	122
<u>Тарасевич М.А., Володин Е.М.</u> Инициализация модели Земной системы ИВМ РАН полными полями в ретроспективных долгосрочных прогнозах аномалий климата	123
<u>Федоров В.М.</u> Проблемы параметризации радиационного блока физико-математической модели климата ИВМ РАН и возможности их решения	124
<u>Чекина В.Н., Мухартова Ю.В., Мортиков Е.В., Дебольский А.В.</u> Моделирование процесса переноса газовых загрязняющих примесей в городских условиях	125
<u>Черненко А.Ю., Володин Е.М.</u> Внедрение новой параметризация землепользования в климатическую модель ИВМ РАН	126
<u>Яхрюшин В.Н.</u> Методы анализа и прогноза среднегодовых температурных рядов метеостанций	127
 <i>Секция 3. Экологические и социально-экономические последствия климатических изменений, риски и возможности</i>	
<u>Анисимов О.А., Пилюгина П., Черников Т., Зайцев А., Булкин А., Бурнаев Е., Белалов И., Максимов Ю.</u> Применение модельного реанализа для информационного обеспечения мероприятий по адаптации к изменению климата в районах распространения многолетнемерзлых грунтов	128
<u>Бадина С.В.</u> Экономические последствия деградации многолетней мерзлоты для береговой зоны Российской Арктики	129
<u>Баймуканов М.Т., Рыскулов С.Е., Сеиткожина Д.А., Сиражитдинова М.К.</u> О потенциальной угрозе воспроизводству каспийского тюленя (<i>Pusa caspica</i> Gmelin, 1788) из-за потепления климата	130
<u>Белик Е.С., Рудакова Л.В., Сурков А.А., Ташкинова И.Н.</u> Социально-экономические последствия климатических изменений для территории Пермского края	131
<u>Белова И.Н., Гинзбург А.С., Докукин С.А., Фалалеева В.А.</u> Учет биоклиматических факторов при оценке потребности теплоснабжения больших городов России	132
<u>Белоусова Д.А., Шишов В.В., Попкова М.И.</u> VS-CAMBIUM-DEVELOPER: прогнозный подход к моделированию функционирования камбиальной зоны хвойных под влиянием факторов окружающей среды	133
<u>Биарсланов А.Б., Шинкаренко С.С., Гаджиев И.Р.</u> О последствиях климатических изменений Терско-Кумской низменности	134

<u>Боровичев Е.А.</u> , Кожин М.Н., Химич Ю.Р. Экологические последствия изменения климата в Мурманской области	135
<u>Васильева Н.А.</u> , Владимиров А.А., Перевертин К.А. Нивелирование климатических рисков в землепользовании путем оптимизации агрономических решений	136
<u>Виноградова В.В.</u> , Титкова Т.Б. Климатические предпосылки изменений границ ландшафтных зон равнин России	137
<u>Вьюшкова И.В.</u> , <u>Климанова О.А.</u> Трансформация природной среды Западного Тянь-Шаня в условиях климатических изменений (на примере Аксу-Джабаглинского заповедника)	138
<u>Гасанова З.У.</u> О вкладе климатической флуктуации в усиление антропогенного фактора деградации почвенного покрова (на примере Северного Дагестана)	139
<u>Гельфан А.Н.</u> , Фролова Н.Л. Изменение климата и угрозы водной безопасности в России	140
<u>Гинзбург А.С.</u> , Белова И.Н., Докукин С.А., Фалалеева В.А. Влияние изменения скорости ветра на продолжительность периода термического комфорта	141
<u>Глаголев В.А.</u> , Зубарева А.М. Реализация системы оценки и прогноза метеорологических индексов пожарной опасности растительности	142
<u>Гудимов А.В.</u> Обнаружение и биоиндикация ранних и последующих климатических изменений на литорали Баренцева моря	143
<u>Десинов С.Л.</u> , Кудякова С.Т., Ал ёшина М.А., Рудаков В.А., Ивонин И.Л. Отступление выводных ледников Патагонии и Южной Георгии как следствие потепления климата	144
<u>Емелина С.В.</u> , Тищенко В.А., Хан В.М. Оценка изменений специализированных характеристик температурно-влажностного режима на базе сверхдолгосрочных прогнозов модели Земной системы ИВМ РАН	145
<u>Зелихина С.В.</u> , Миронова В.А., Шартова Н.В. Роль климатических изменений в распространении лихорадки Западного Нила	146
<u>Инсаров Г.Э.</u> Экологические последствия климатических изменений в Азии	147
<u>Кибенко В.А.</u> Влияние изменения климата на жизнедеятельность кочевого населения Ямало-Ненецкого автономного округа	148
<u>Ключникова Е.М.</u> Социальные последствия изменения климата в индустриально развитых районах Российской Арктики и готовность профессионального сообщества к адаптации	149
<u>Кровнин А.С.</u> , Мельников С.П. Современные изменения климата и водные биологические ресурсы: проблемы адаптации и регулирования российского рыболовства	150

<u>Крыленко И.Н.,</u> Разаренова А.Д. Трансформация генезиса и масштабов наводнений при изменении климата	151
<u>Крыленко С.В.,</u> Добролюбов Н.Ю., Богданович А.Ю., Липка О.Н. Вероятностная оценка изменения климатического ареала <i>Ixodes ricinus</i> Linnaeus, 1758 - переносчика опасных заболеваний человека	152
<u>Максименко М.Р.,</u> Тимонин С.А., Шартова Н.В. Пространственные особенности избыточной смертности во время жары 2010 г. в Европейской России	153
<u>Матешева А.В.,</u> Макошко А.А., Емелина С.В. О тенденциях эколого-климатических рисков для здоровья человека в АЗРФ в условиях изменяющегося климата до 2050 г.	154
<u>Медведков А.А.,</u> Высоцкая А.А. Геоэкологические последствия климатических изменений для жизнеобеспечения коренного населения центрально-сибирской тайги	155
<u>Миронова В.А.,</u> Шартова Н.В., Коренной Ф.И., Зелихина С.В., Малхазова С.М. Вклад климатических переменных в модель распространения геморрагической лихорадки с почечным синдромом (ГЛПС) на юге Дальнего Востока России	156
<u>Миронова Е.Е.,</u> Шартова Н.В., Колбовский Е.Ю., Миронова В.А. Биоклиматические предикторы распространения детского висцерального лейшманиоза в Средиземноморье	157
<u>Мотовилов Ю.Г.,</u> Фашевская Т.Б. Моделирование полей аномалий характеристик гидрологического цикла в бассейне Камы при возможных климатических изменениях к концу столетия	158
<u>Носков С.Н.,</u> Фридман К.Б. Влияние климатических факторов на самочувствие трудоспособного населения в г. Санкт-Петербурге	159
<u>Огородов С.А.,</u> Шабанова Н.Н., Мысленков С.А., Кажукало Г.А., Шабанов П.А., Богатова Д.М., Бадина С.В., Ермолов А.А., Маслаков А.А. Динамика арктических берегов на фоне изменений климата и ледовитости	160
<u>Пекарникова М.Е.,</u> Полонский А.Б. Анализ реалистичности достижения основной цели Парижского соглашения при существующей системе правового регулирования и контроля за антропогенными выбросами парниковых газов	161
<u>Петросян В.Г.,</u> Осипов Ф.А., Варшавский А.А., Дергунова Н.Н., Хляп Л.А. Влияние глобального изменения климата в XXI веке на динамику ареалов самых опасных инвазионных видов России	162
<u>Петухова М.С.</u> Угрозы и окна возможностей долгосрочного развития сельских территорий Сибири в условиях глобального изменения климата	163
<u>Платонов В.С.,</u> Чернокульский А.В., Варенцов М.И., Шихов А.Н., Ярынич Ю.И. Оценка влияния московской агломерации на опасные конвективные явления по данным моделирования с высоким разрешением	164

<u>Попова Е.Н., Попов И.О.</u> Воздействие климатических изменений на расширение ареалов и фенологию вредителей растений: риски для сельского хозяйства	165
<u>Смирнова М.Д.</u> Метеозависимость: миф или реальность? На примере артериальной гипертонии	166
<u>Сухарева Т.А., Ершов В.В., Иванова Е.А., Исаева Л.Г., Зенкова И.В., Штабровская И.М., Рябов Н.С.1, Поликарпова Н.В.</u> Влияние природных и антропогенных факторов на наземные экосистемы в условиях изменения климата в Арктике	167
<u>Тетельмин В.В.</u> Глобальное потепление и количественная оценка предельной частоты природных стихийных бедствий	168
<u>Устюжанцева О.В., Сорокин А.Н.</u> Республика Алтай: социально-экономические аспекты климатических изменений и возможности адаптации к ним для населения, власти и бизнеса	169
<u>Ушаков М.В.</u> Климатические изменения составляющих водного баланса Колымского бассейна	170
<u>Чернукульский А.В.</u> Опасные атмосферные конвективные явления в России: климатология и изменчивость	171
<u>Шамсутдинов Д.Р., Постыляков О.В., Боровский А.Н., Чуличков А.И.</u> Восстановление вертикального распределения NO ₂ в нижней тропосфере по многоугловым спектральным измерениям рассеянной солнечной радиации (MAX-DOAS)	172
<u>Шартова Н.В., Шапошников Д.А., Ревич Б.А.</u> Анализ внутригородских различий в совместном воздействии высоких температур и загрязнения воздуха на смертность населения	173
<u>Шелудков А.В., Виноградова В.В.</u> Подверженность населения регионов России волнам тепла в середине XXI века в соответствии со сценарными прогнозами изменения климата	174
<u>Якушов В.Д., Шефтель Б.И.</u> Биологические последствия изменения климата в Средней Енисейской тайге	175
 <i>Секция 4. Проблемы адаптации к изменениям климата</i>	
<u>Агафонова С.А.</u> Гидрометеорологические условия эксплуатации ледовых переправ на реках Арктической зоны России	176
<u>Александров Г.Г.</u> Наиболее реалистичный сценарий изменения климата для планирования адаптационных мероприятий	177
<u>Анисимов О.А., Бадина С.В.</u> Оптимизация региональной адаптации к изменению климата в Арктическом регионе России на основе прогностического моделирования	178

<u>Ашабоков Б.А.</u> , Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В., Ашабокова М.Б. Адаптация регионального агропромышленного комплекса к изменениям климата: проблемы, задачи плана адаптации, методы решения	179
<u>Ашабокова М.Б.</u> , Темирхоева Х.М. Влияние изменения климата на здоровье людей и демографические процессы в регионе и возможные пути снижения его последствий	180
<u>Близнецкая Е.А.</u> Возможности и ресурсы международных организаций для обеспечения адаптации Санкт-Петербурга к изменению климата	181
<u>Варенцов М.И.</u> , Васенев В.И., Дворников Ю.А., Самсонов Т.Е., Климанова О.А. Имеет ли размер значение? Оценка охлаждающего эффекта зеленых зон Москвы по данным детализированного моделирования	182
<u>Вязилов Е.Д.</u> Проблемы и возможности адаптации к изменениям климата	183
Гаврилова С.Ю., <u>Репесва А.В.</u> Построение сетей высокоразрешающего мониторинга атмосферных осадков с целью адаптации городских агломераций к изменению климата	184
<u>Гасанов Г.Н.</u> , Мусаев М.Р.Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Баширов Р.Р., Абдулаева А.С., Гасанова З.У. К реградации солончаков Кизлярских пастбищ естественно-антропогенным способом	185
<u>Евстафьева Е.В.</u> , Дудченко Л.Ш., Беляева С.Н., Лапченко В.А., Прокопенко Н.А. Приземный озон, температура атмосферного воздуха и неотложные состояния кардио-респираторной системы на Южном берегу Крыма: ретроспективный анализ данных за период 2010-2014 гг.	186
<u>Илларионова О.А.</u> , Климанова О.А., Колбовский Е.Ю. Водно-зеленый градостроительный каркас в крупных городах России и его возможный потенциал климатической адаптации	187
<u>Кивва К.К.</u> , Кровнин А.С. Специфика нормативных документов по вопросам адаптации к изменениям климата в области рыболовства	188
<u>Кожанова Л.В.</u> , Белов Е.И. Адаптация регионов России. Проблемы и предлагаемые решения	189
<u>Колесников Р.А.</u> , Черных Д.В., Малыгина Н.С. Экологические последствия климатических изменений и адаптация к ним в Ямало-Ненецком автономном округе	190
<u>Константинов П.И.</u> , Шартова Н.В., Варенцов М.И. Создание и совершенствование базы данных о климатической комфортности для территории Северной Евразии для современного и будущего климата	191
<u>Коспанов А.А.</u> , Константинов П.И. Сравнение зеленых и белых крыш как методов адаптации к экстремальной жаре на примере Москвы	192

<u>Липка О.Н., Андреева А.П. Потенциал экосистемных услуг в адаптации к изменениям климата в России</u>	193
<u>Макаров И.А., Чернокульский А.В. Влияние изменения климата на экономику России: рейтинг регионов по необходимости адаптации</u>	194
<u>Мизин В.И., Ежов В.В., Царев А.Ю., Дудченко Л.Ш., Северин Н.А. Оптимизация сезонных периодов лечения на климатическом курорте Южного берега Крыма в условиях изменения глобального климата</u>	195
<u>Ормели Е.И., Перелыгина Ю.М. Температурно-влажностный режим летнего сезона Правобережной части Саратовской области в условиях современных климатических тенденций</u>	196
<u>Перевертин К.А., Баматов И.М., Белолубцев А.И. Возможности минимизации погодных рисков для растениеводства путём технологического программирования сроков пролонгации действия оригинальных полимер-модифицированных средств агрохимии</u>	197
<u>Ташилова А.А., Ашабоков Б.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В., Ашабокова М.Б. Модель снижения потерь сельского хозяйства, связанных экстремальными погодными явлениями</u>	198
<u>Халин А.В., Федюнин С.А., Нестеренко Ю.М., Гринцов Д.А. Адаптация зерновых культур к условиям изменяющегося климата в степной зоне Южного Урала</u>	199
<u>Шабанов В.В., Дубенок Н.Н. Мелиорация - инструмент адаптации к процессам изменения климата</u>	200
 <i>Секция 5. Проблемы регулирования и смягчения антропогенных воздействий на климат. Углеродная нейтральность</i>	
<u>Агафонова С.А., Горин С.Л., Терский П.Н., Репина И.А. Оценка эмиссии метана с поверхности Бурейского водохранилища по данным натурных наблюдений</u>	201
<u>Александров Г.А. Климатические риски поглощения углерода экосистемами Лёссового плато и Русской равнины</u>	202
<u>Алексеев С.В. Развитие энергетики в условиях изменения климата и разрушения озонового слоя Земли</u>	203
<u>Близнацкая Е.А. Перспективы гибридизации и информализации международного климатического управления</u>	204
<u>Буров Н.О., Савеленко В.Д., Ершов М.А. Разработка технологии получения устойчивого авиационного топлива SAF-PCN</u>	205
<u>Гибадуллин Р.Р., Мухартова Ю.В., Пушкин В.В., Кочкина М.В., Ольчев А.В., Гулев С.К. Оценка потоков CO₂ и CH₄ на береговом участке карбонового полигона</u>	

с применением математического моделирования, данных полевых измерений и дистанционного зондирования	206
<u>Губанова Д.П.,</u> Виноградова А.А., Копейкин В.М. Климатически значимые составляющие приземного аэрозоля в Москве: сезонные и суточные вариации массовой концентрации частиц PM₁₀, PM_{2.5} и черного углерода.....	207
Гушина Д.Ю., Тарасова М.А., <u>Сатосина Е.М.</u> , Железнова И.В., Емельянова Е.Р., Новикова Е.В., Ольчев А.В. Влияние экстремальных явлений температуры и осадков на среднесуточные потоки CO₂ в тропиках	208
<u>Деревенец Е.Н.</u> , Кулачкова С.А. Применение минеральных удобрений как инструмент регулирования эмиссии CO₂ из почв городских газонов	209
<u>Захарова П.В.</u> , Семутникова Е.Г., Лезина Е.А. Декарбонизация: эффект для окружающей среды города Москвы	210
<u>Красильников П.В.</u> , Огородов С.А., Сергиенко Л.А., Багдасаров И.Е., Белова Н.Г., Бобрик А.А., Ильичев И.А., Кажукайло Г.А., Мосеев Д.С., Прокопьева К.О., Терехова Е.Н., Цейц М.А., Шишов А.А. Запасы и динамика «голубого углерода» в береговой зоне морей западного сектора Российской Арктики	211
<u>Ладохина Е.М.</u> , Рубинштейн К.Г. Определение оптимальных параметров урбанизированной поверхности Санкт-Петербурга методами глобального анализа чувствительности	212
<u>Мячина К.В.</u> , Дубровская С.А., Ряхов Р.В., Щавелев А.Н. Исследование возможности поглощения углерода лесостепными и степными геосистемами с использованием спутниковых данных	213
<u>Онучин А.А.</u> , Данилин И.М. Способы формирования лесных карбоновых ферм в целях достижения углеродной нейтральности.....	214
<u>Репина И.А.</u> , Степаненко В.М., Чечин Д.Г., Артамонов А.Ю., Пашкин А.Д., Казанцев В.С. Роль естественных и искусственных водных экосистем в изменении баланса парниковых газов.....	215
<u>Ровнов Ю.Е.</u> Климатическая наука в зарубежных судебных решениях по искам о понуждении к наращиванию сокращений выбросов парниковых газов	216
<u>Тарасова М.А.</u> , Гушина Д.Ю., Сатосина Е.М., Железнова И.В., Емельянова Е.Р., Гибадуллин Р.Р., Осипов А.М., Ольчев А.В. Отклик нетто CO₂- и влаго- обмена лесных сообществ с атмосферой на экстремальные колебания температуры воздуха и количества осадков в лесных экосистемах умеренных широт	217
<u>Шмакова Н.Ю.</u> , Ермолаева О.В., Копеева Е.И. Содержание углерода и основные потоки CO₂ в биогеоценозах горной тундры (Хибины).....	218

Секция 6. Прикладные и технологические аспекты проблемы изменений климата

Белоусов В.А. Наблюдения климатически значимых летучих органических соединений в приземном воздухе протонным масс-спектрометром	219
Богданович А.Ю., Семенов С.М. Оценка климатических ареалов видов с использованием системы RANGES	220
Борисов М.А., Криницкий М.А. Оценка высоты нижней границы облачности над океаном по данным стереографической широкоугольной оптической съемки видимой полусферы небосвода с применением методов глубокого обучения.....	221
Давыденко С.Ю., Судакова М.С. Применение георадиолокации для мониторинга многолетнемерзлых пород на острове Кашин (площадка CALM) в 2021-2022 гг.	222
Кошкина В.С., Гавриков А.В. Эйлеровы методы идентификации когерентных структур в пространственных данных на примере результатов численного моделирования атмосферы над Северной Атлантикой	223
Криницкий М.А., Суслов А.И., Тилинина Н.Д., Голиков В.А., Борисов М.А. Оценка значимой высоты ветрового волнения по данным судового навигационного радара X-диапазона с применением свёрточных нейронных сетей.....	224
Маратканова В.С., Константинов П.И. Климатическая диаграмма нового времени: оценка биоклиматических условий Москвы с использованием CTIS (Climate - Tourism Information Scheme).....	225
Осинцев Н.А., Мишуров П.Н., Семчук Д.Б., Мельников М.С. Исследование драйверов и барьеров управления цепочками поставок в условиях изменения климата	226
Рублев А.Н., Голомолзин В.В., Киселева Ю.В., Успенский А.Б. Определение общего содержания углекислого газа в атмосфере по измерениям фурье-спектрометра ИКФС-2 космического аппарата «Метеор-М» № 2	227
Тарасова Л.Л., Кланг П.С. Квазидвухлетняя цикличность влажности почвы в основных зернопроизводящих регионах России в условиях региональных изменений климата	228
Тертышников А.В. Индикатор начала 25-го одиннадцатилетнего цикла солнечной активности	229
Шмакова М.В., Кондратьев С.А. Уровенный режим Онежского озера: прошлое, настоящее, будущее	230