



М.А. Петросянц и отечественная метеорология

Тезисы конференции к 100-летию
со дня рождения М.А. Петросянца

М.А. Петросянц и отечественная метеорология

Тезисы конференции к 100-летию
со дня рождения М.А. Петросянца

21 ноября – МГУ имени М.В. Ломоносова,
географический факультет

22 ноября – Гидрометцентр России

Концепция гидрометеорологического образования в России

Добролюбов С.А.¹
Кислов А.В.¹

¹ Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
avkislov@mail.ru

В России высшее образование структурировано в виде крупных форм, объединяющих родственные направления. Это так называемые Федеральные учебно-методические объединения (ФУМО). Образование в области гидрометеорологии включено в ФУМО «Науки о Земле» и представлено двумя направлениями: 1) Гидрометеорология и 2) Прикладная гидрометеорология. Обучение осуществляется различными университетами (см. рисунок).

В рамках направления выделяются так называемые профили: метеорология, гидрология суши, океанология.

В настоящее время в сфере гидрометеорологического образования (и не только гидрометеорологического) сложилась парадоксальная ситуация. С одной стороны, тем, кто работает в данной сфере совершенно понятно, кто такие гидрологи, метеорологи, океанологи. С другой стороны, паспорт специальности государством не определен, то есть соответствующие документы Росстандарта (<http://www.consultant.ru/document>), Минтру-

да России (<http://fgosvo.ru/>), Росгидромета (<http://www.meteorf.ru/documents/12/>) или вообще не содержат определения того, что представляет собой данная специальность, или противоречат друг другу. С попыткой систематизации в данной сфере выступила Всемирная метеорологическая организация (<https://public.wmo.int/ru>, http://www.aviamettelecom.ru/?id_top=400), представившая свое видение того, какими знаниями и компетенциями должен обладать метеоролог – специалист в области обслуживания авиации. Однако это – лишь первый шаг, отражающий далеко не всю палитру направлений деятельности гидрометеорологов.

Работодатели не проявляют активности в сфере разработки квалификационных требований (рамки квалификаций) для выпускников высших учебных заведений, что должно быть сделано с учетом запросов рынка труда, международного опыта и учета реалий организации высшего образования Российской Федерации.



Сетевое международное межуниверситетское сотрудничество как инструмент интернационализации метеорологического образования

Богуш А.И.¹
Мамаева М.А.²

¹ Северо-Западный филиал «Авиаметтелеком Росгидромета»,
Санкт-Петербург, Россия

² Государственный гидрологический институт,
Санкт-Петербург, Россия
bogush.anatolyivanovitch@gmail.com

Необходима ли университету интернационализация образования? Для гидрометеорологического образования ответ сформулирован в Долгосрочной программе образования и подготовки кадров в метеорологии, гидрологии и климатологии Всемирной метеорологической организации (ВМО), основой которой являются унифицированные для всех специальностей в гидрометеорологии требования к результатам обучения. Одним из основных инструментов интернационализации, как известно, являются так называемые совместные образовательные программы (СОП). СОП позволяют интегрировать научные, образовательные и кадровые ресурсы нескольких университетов при разработке и реализации образовательных программ высшего профессионального образования существенно повышая таким образом их качество. В РФ в области метеорологического образования существуют существенные различия в состоянии кадрового потенциала, инфраструктурных и некоторых других возможностях университетов, что приводит нередко к низким оценкам подготовки специалистов со стороны подразделений и учреждений Росгидромета. Все это приводит к объективной необходимости интернационализации метеорологического образования на основе привлечения потенциала зарубежных университетов. Наиболее перспективным в настоящее время является развитие сотрудничества с университетами государств – участников Содружества Независимых Государств (СНГ), так как существуют объективные предпосылки для создания единого образовательного пространства в области гидрометеорологии государств – участников СНГ, обусловленные необходимостью развития гидрометеорологического обслуживания на пространстве СНГ на единой методической и технологической основе, отсутствие которой неизбежно приведет к резкому понижению качества

гидрометеорологической деятельности на огромной территории Земли.

Методическое и технологическое единство гидрометеорологического обслуживания в СНГ требует также единства квалификационных характеристик персонала НГМС СНГ достигаемого на основе гармонизации образования. В СНГ осуществляют подготовку гидрометеорологов 25 национальных университетов в 9 государствах-участниках СНГ. Университетские образовательные программы Национальных университетов СНГ не всегда обеспечивают результаты обучения, соответствующие современным требованиям к необходимым профессиональным компетенциям и зачастую не согласуются с документами Всемирной метеорологической организации и Международной организации гражданской авиации о требованиях к результатам обучения и квалификационным стандартам. Существует необходимость повышения качества образования, отмечается разрыв содержания университетских программ и требований НГМС СНГ к наличию определенных профессиональных компетенций выпускников университетов. Интернационализация образования на основе объединения возможностей университетов и Национальных гидрометеорологических служб в разработке и реализации совместных практико-ориентированных современных образовательных программ (бакалавр и магистр) в области гидрометеорологии на основе и согласованных требований к результатам обучения, открытого доступа ко всем образовательным ресурсам всех университетов (сетевой гидрометеорологический университет СНГ), развития межуниверситетской академической мобильности и создания системы независимой профессионально-ориентированной аккредитации образовательных программ – оптимальный путь обеспечения качества гидрометеорологического образования как в России, так и за ее пределами.

Опыт подготовки специалистов по гидрометеорологии в Белорусском государственном университете

Гледко Ю.А.¹
Лопух П.С.¹

¹ Белорусский государственный университет,
Минск, Беларусь
gledko74@mail.ru

В Белорусском государственном университете (БГУ) подготовка специалистов в области гидрометеорологии ведется с 2006 года в рамках специальности «География» направление «Гидрометеорология». С 2013 года на основе производственного направления открыта новая специальность 1-31 02 02 «Гидрометеорология» с пятилетним сроком обучения (с 2018 г. четырехлетним) и присвоением квалификации «Географ. Гидрометеоролог». Выпускающей кафедрой является кафедра общего земледения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики. За более чем десятилетний период подготовлены высококвалифицированные специалисты в области гидрометеорологии, которые успешно работают на таких должностях, как инженер-гидролог, инженер-метеоролог, инженер-агрометеоролог, инженер-синоптик (1 и 2 категории) в системе учреждений Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, производственных и проектных организациях, а также в качестве инженера-исследователя, младшего научного сотрудника, в научных учреждениях в соответствии с должностными инструкциями и квалификационной характеристикой специалиста.

Учебный план специальности включает учебные общепрофессиональные географические дисциплины и специальные курсы государственного и университетского компонента гидрологического, метеорологического и агрометеорологического циклов, а так же специальные курсы и курсы по выбору. Среди которых: общее земледение, метеорология и климатология, гидрология, геоморфология, геофизика, управление гидрометеорологическими данными, гидрология болот, гидрология водохранилищ, гидрогеология, теория общей циркуляции атмосферы, авиационная метеорология, лимнология, гидрометрия и водохозяйственный баланс, речной сток и русловые процессы, гидрологические расчеты, гидрологический прогноз,

методы обработки и анализа гидрометеорологической информации, обеспечение потребителей гидрометеорологической информацией, гидроэкология, управление и восстановление водных экосистем, агрометеорология, мониторинг атмосферного воздуха и гидросферы, синоптическая метеорология, методы прогнозирования погоды, агрометеорологические и фенологические наблюдения, прикладная климатология и ряд других.

Для подготовки специалистов используется современная научно-правовая база, методики мониторинга атмосферы и гидросферы, стандартные программные продукты, численные модели прогнозирования погоды, соответствующие международным стандартам СНГ и Всемирной метеорологической организации.

Основными базами для прохождения практик являются ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» (Белгидромет) и его областные подразделения, НИИЦ мониторинга озоносферы БГУ, Центральный НИИ комплексного использования водных ресурсов (ЦНИИКИВР), Институт природопользования НАН Республики Беларусь, БелНИЦ «Экология» Минприроды, Национальный парк «Браславские озера», НИЛ озероведения БГУ, проектные и производственные организации. При Белгидромете работает филиал кафедры общего земледения и гидрометеорологии, который создан в целях укрепления связей университета с производством и усиления практической направленности подготовки специалистов по специальности «Гидрометеорология», закрепления теоретических и практических знаний, профессиональных компетенций студентов, проведения совместных научных исследований с использованием учебно-научной базы кафедры и научно-производственной базы Белгидромета.

При кафедре функционирует магистратура и аспирантура.

Концепция современной метеорологической практики для географических факультетов

Платонов В.С.¹

Константинов П.И.¹

Суркова Г.В.¹

¹ Московский государственный университет

имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

vplatonov86@gmail.com

Развитие современной метеорологии ставит новые вызовы перед практической навыками студентов, получающих географическое образование, требует освоения и приобретения актуальных компетенций и знаний. Каждый профессиональный географ должен иметь представление о современных автоматизированных метеорологических приборах, новых методах и сферах их применения в различных областях географии, технологиях составления прогнозов погоды различной заблаговременности и многих других аспектах.

В ходе стандартной метеорологической практики в рамках общегеографической практики на 1 курсе Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова студенты получают представления об основных закономерностях суточного и междусуточного хода метеорологических величин по данным собственных наблюдений, их связи с крупномасштабными синоптическими процессами, исследуют влияние разнообразного сочетания физико-географических факторов на формирование микроклиматических различий на полигоне.

В качестве дополнения программы практики и представления её на современном уровне была предложена концепция индивидуальных творческих заданий, предполагающих более активное их вовлечение в учебный и познавательный процесс. Примерами таких заданий являются: регулярное обновление информации о текущей погоде и составление кратко-

срочных прогнозов погоды; исследование характеристик метеорологической комфортности в студенческом лагере и на территории базы по данным автоматических метеостанций (АМС) и на основе социологических опросов; составление температурных профилей и тепловых карт участков полигона при помощи пирометра; барометрическое нивелирование; оценка качества прогнозов погоды по различным источникам; исследование термического режима (почвы, приземного слоя и др.) датчиками iButton; изучение пространственной неоднородности выпадения осадков на полигоне с помощью самодельных осадкомеров и некоторые другие.

Помимо этого, была введена частичная автоматизация измерений и более активное использование данных АМС, в частности, Davis VantagePro2 и Aanderaa AWS2700.

Таким образом, студенты получают представление о широком диапазоне возможного использования метеорологической информации, методов её получения, оказываются активно вовлечены в образовательный процесс, а практика становится более интенсивной, насыщенной и в конечном счёте более интересной. Отзывы о расширенном варианте практики от самих студентов в большинстве своём исключительно положительные, что позволяет признать опыт обновления практики успешным и открывает возможности дальнейшего её развития в этом направлении.

Вклад М.А. Петросянца в ПИГАП (Программа исследования глобальных атмосферных процессов – Global Atmospheric Research Program)

Зайцева Н.А.¹

¹ Отдел наук о Земле РАН, Москва, Россия
ninaz@ras.ru

Михаил Арамаисович Петросянец начал заниматься проблемами тропической метеорологии и климата в Институте экспериментальной метеорологии (ИЭМ), т.к. в 1970-1972 гг. ИЭМ был определен головным институтом ГУГМС при СМ СССР по этим вопросам. В это же время Международный совет научных союзов и Всемирная метеорологическая организация приступили к разработке крупной международной Программы исследования глобальных атмосферных процессов – ПИГАП/GARP (Global Atmospheric Research Program). Ее главной целью было комплексное изучение физических процессов в тропосфере и стратосфере, необходимых для понимания неустойчивых атмосферных процессов, проявляющихся в крупномасштабных флуктуациях и обуславливающих перемены погоды. В организации ПИГАП участвовали многие советские ученые: В.А. Бугаев, С.П. Хромов, А.Л. Кац, А.Х. Хргиан, А.С. Монин, Д.Л. Лайхтман и др. Первым научным проектом ПИГАП был Атлантический Тропический Эксперимент ПИГАП – АТЭП/GATE (GARP Atlantic Tropical Experiment), намеченный к выполнению в 1974 году. Район эксперимента – тропическая Атлантика (20° с.ш. – 15° ю.ш. и 10–50° з.д.).

М.А. Петросянец был назначен руководителем Межведомственной экспедиции ТРОПЭКС-74 – советской части АТЭП. В разработке программы участвовали ученые и специалисты институтов ГУГМС при СМ СССР, АН СССР и крупнейших вузов (МГУ, ЛГУ, ДВГУ, ЛГМИ). В рамках подготовки к 1974 году и для отработки взаимодействия научно-исследовательских судов (НИС) в океане в 1972 году был проведен эксперимент ТРОПЭКС-72 с участием шести НИС. Параллельно шли международные консультации и совещания по формированию международной программы – был организован Центр опера-

тивного управления АТЭП, главой которого был директор международной научно-административной группы д-р И. Кюттнер (Германия/США). М.А. Петросянец был национальным координатором СССР и в ходе эксперимента находился на флагманском судне – НИС «Профессор Зубов». По отдельным видам наблюдений были учреждены пять подпрограмм и соответствующие международные рабочие группы: синоптические, радиационные и океанографические, конвекции и пограничного слоя. Центр оперативного управления находился в порту Дакар, куда суда сходились в перерыве между фазами эксперимента.

Наблюдательная система АТЭП-74 включала сеть станций Всемирной службы погоды – станции, расположенные в районе эксперимента, и временную сеть наблюдений. Всего в эксперименте участвовали около 70 стран: 39 НИС из 10 стран, включая 13 советских, 12 самолетов из четырех стран. Была тщательнейшим образом отработана схема расположения НИС и программа наблюдений, позволившая проводить наблюдения с большим пространственным и временным разрешением. Это позволило описать процессы различных масштабов, протекавших в атмосфере и океане, и понять их взаимодействие.

Программа была выполнена достойнейшим образом: многие научные выводы были получены впервые. В последующие годы ПИГАП выполнялась в форме Программы Глобальных Экспериментов ПИГАП (ПГЭП), одним из крупнейших разделов которой была серия экспериментов в Арктике (полярный эксперимент ПОЛЭКС-76), совместные работы в Индийском океане (Муссон-77 и МОНЭКС-79), изучение аэрозоля (КЭНЭКС). Все они существенно обогатили мировую гидрометеорологическую науку и подтвердили авторитет СССР как крупнейшей научной державы.

От теории к практике: ранняя диагностика тропического и квазитропического циклогенеза на основе концепции турбулентного вихревого динамо

Левина Г.В.¹

Ярвая Д.А.²

¹ Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

² Морской гидрофизический институт, Севастополь, Россия
levina@iki.rssi.ru

Фундаментальная теоретическая гипотеза о турбулентном вихревом динамо-механизме, предложенная учеными Института космических исследований РАН (ЖЭТФ, 1983), основана на особых свойствах мелкомасштабной спиральной турбулентности, характеризующейся нарушением зеркальной симметрии и при определенных условиях обеспечивающей поток энергии от мелкомасштабных движений к крупным вихрям. С самого начала авторы имели в виду практическое применение выдвинутой гипотезы для описания крупномасштабных долгоживущих интенсивных вихревых возмущений в атмосфере и проиллюстрировали такую возможность на примере тропических циклонов в атмосфере Земли (ДАН, 1983). Обсуждению работ этого направления посвящен обзор [1].

Однако, основываясь на знаниях того времени, невозможно было объяснить, каким образом динамо-механизм может быть реализован в естественных природных условиях. Действительно, в математической модели турбулентного вихревого динамо для неравномерно нагретой вращающейся жидкости [1] новая крупномасштабная спирально-вихревая неустойчивость обеспечивается полученным в результате осреднения слагаемым, входящим в уравнение для вертикальной скорости и пред-

ставляющим собой вертикальный компонент завихренности. С учетом термодинамических характеристик конвективной турбулентности, вошедших при осреднении в коэффициент, физический смысл этого слагаемого – вращающийся вертикальный поток с объемным выделением тепла.

Решающим событием в пользу существования турбулентного вихревого динамо стало открытие американскими учеными вращающейся влажной конвекции в тропиках [2-4]: идеализированное облачно-разрешающее численное моделирование (JAS, 2004), первое подтверждение на основе натуральных наблюдений и измерений (JAS, 2005) и предложенный на основе этого открытия новый сценарий тропического циклогенеза (JAS, 2006).

В ходе предпринятых вслед за этим совместных российско-американских исследований удалось получить ответ на фундаментальный вопрос тропической метеорологии, долгое время остававшийся открытым – «Когда зарождающийся крупномасштабный ураганный вихрь становится энергетически самоподдерживающимся?» [5].

В докладе будут представлены результаты, которые могут быть рекомендованы метеорологам для применения в целях ранней диагностики зарождения тропических циклонов.

Литература

1. Levina G.V., Moiseev S.S., Rutkevich P.B. Hydrodynamic alpha-effect in a convective system. *Nonlinear Instability, Chaos and Turbulence*. Vol. 2. Adv. Fluid Mech. Series, Debnath L. and Riahi D.N. (Eds.). WIT Press, Southampton, 2000. P. 111-162.
2. Hendricks E.A., Montgomery M.T., Davis C.A. The role of “Vortical” Hot Towers in the formation of tropical cyclone Diana (1984). *J.Atmos.Sci.*, vol. 61, pp. 1209-1232, 2004.
3. Reasor P.D., Montgomery M.T., Bosart, L.F. Mesoscale observations of the genesis of Hurricane Dolly (1996). *J.Atmos.Sci.*, vol 62, pp. 3151-3171, 2005.
4. Montgomery M.T., Nicholls M.E., Cram T.A. et al. A vortical hot tower route to tropical cyclogenesis. *J.Atmos. Sci.*, vol. 63, pp. 355-386, 2006.
5. Levina G.V. On the path from the turbulent vortex dynamo theory to diagnosis of tropical cyclogenesis. *Open Journal of Fluid Dynamics*, v. 8, p. 86-114, 2018.

Школа тропической метеорологии МГУ: прошлое, настоящее и будущее

Гущина Д.Ю.¹

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
dasha155@mail.ru

Более 20 лет школой тропической метеорологии в МГУ руководил выдающийся российский ученый, организатор науки и педагог – Михаил Арамаисович Петросянц. Им сделан целый ряд важных научных открытий и разработаны новые оригинальные методы в области изучения процессов в тропической зоне. М.А. Петросянцем предложена новая концепция формирования развитой и размытой ВЗК, разработана гипотеза о равноправности пассатной и муссонной циркуляции в тропиках, выявлено, что циклонические образования (муссонные минимумы и муссонные депрессии) относятся к классу тропических циклонов, так как являются термически симметричными образованиями и не имеют, в отличие от циклонов умеренных широт, генетической связи с атмосферным фронтом. М.А. Петросянцем впервые в России проведен детальный анализ восточных волн в тропической Атлантике и показана их тесная связь с процессами в ВЗК и тропическими ураганами Карибского бассейна, определен индивидуальный потенциал зарождения тропических циклонов, учитывающий относительную завихренность и горизонтальную дивергенцию крупномасштабных потоков, его увеличение в среднем на сутки опережает минимум давления, что служит важным прогностическим признаком интенсификации тропической депрессии и ее превращения в тропический шторм. М.А. Петросянц разработал новое определение границ тропической зоне, основанное на локализации границы между тропической и умеренной тропопаузой. В последнее десятилетие научная деятельность М.А. Петросянца была посвящена изучению крупнейшей климатической осцилляции на межгодовых масштабах – явлению Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК). При этом М.А. Петросянц рассматривал проблему прежде всего в контексте долгосрочного прогнозирования погоды, т.е. возможного воздействия ЭНЮК

на аномалии погоды и климата в умеренных широтах.

В настоящее время на кафедре метеорологии продолжают исследования процессов в тропиках, в том числе с использованием идей и методов, разработанных М.А. Петросянцем. Основными направлениями являются:

- эволюция, прогноз и изменчивость явления Эль-Ниньо – Южное Колебание;
- тропический циклогенез в условиях меняющегося климата.

На фоне успехов, достигнутых в последние десятилетия мировым научным сообществом в области прогнозирования и понимания динамики Эль-Ниньо, успешность долгосрочного прогноза явления лимитируется двумя факторами: очень сильной изменчивостью ЭНЮК на межгодовых масштабах и наличием долгопериодных трендов, обусловленных изменением фонового состояния климатической системы, в том числе обусловленных глобальным потеплением климата. Определение модификации Эль-Ниньо в будущем климате существенно осложняется значительным межмодельным разбросом в оценках характеристик ЭНЮК. В рамках решения этих проблем на кафедре метеорологии и климатологии ведутся исследования по следующим направлениям: разработка механизма генерации Эль-Ниньо стохастическим возмущением со стороны атмосферы и его изменения в будущем климате; влияние изменения среднего состояния океана-атмосферы на характеристики ЭНЮК, с учетом дифференциации Эль-Ниньо на два типа, на масштабах десятилетий (влияние декадных колебаний климата); оценка изменений двух типов Эль-Ниньо в прошлых и будущих климатах; дальние связи ЭНЮК в условиях меняющегося климата. Решение этих задач направлено на совершенствование прогноза как самого явления, так и связанных с ним аномалий погоды и климата в удаленных от тропиков районах Земного шара.

Влияние прохождения холодного фронта через Мозамбикский пролив на начало Индийского муссона по данным реанализов и высокоразрешающего моделирования

Гавриков А.В.¹
Разоренова О.А.¹

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Москва, Россия
gavr@sail.msk.ru

Современные глобальные атмосферные реанализы, а также развитие иерархий моделей высокого разрешения дают возможность объективного исследования процессов мезомасштаба и позволяют определить и проверить механизмы взаимодействия процессов в земной климатической системе, которые до последнего времени могли быть исследованы только путем визуального синоптического анализа.

В представленной работе исследовано влияние прохождения холодного фронта через Мозамбикский пролив на начало Индийского муссона с использованием данных современного высокоразрешающего реанализа ERA5. Этот реанализ открывает новые возможности в исследовании циркуляций малого масштаба, что особенно важно для тропического и экваториального региона. Для корректного расчета вертикальной скорости, которая играет ключевую роль во многих типах мезомасштабных движений, дополнительно проводились численные эксперименты с использованием высокоразрешающей негидростатической модели WRF.

Задача заблаговременного прогноза начала и интенсивности Индийского муссона остается актуальной и в настоящее время. Многочисленные работы посвящены исследованию влияния атмосферных процессов Южного полушария на развитие Индийского муссона: его начало,

скорость продвижения, формирование и продолжительность его фаз. В частности, рядом исследователей отмечено усиление сомалийского струйного течения в нижней тропосфере при прохождении холодного фронта через Мозамбикский пролив, что приводило к интенсификации юго-западного муссонного потока и влияло на начало муссона над штатом Керала. Однако недостаточность данных не позволяла досконально изучить этот вопрос и определить статистическую значимость предложенного механизма. В настоящей работе проверен и подтвержден обнаруженный механизм: прохождение холодного фронта через «критическую точку» (30° ю.ш. – 40° в.д.), с одной стороны, усиливает муссонный поток, с другой стороны, ячейка высокого давления в тылу фронта вливается в Маскаренский антициклон, усиливает его, что также способствует увеличению интенсивности юго-восточного пассата. Для анализа был выбран период с 2001 по 2010 гг. Классическая схема этого механизма представлена для 2009 г. Кроме того, обнаружено, что последующие фронты способствовали более быстрому продвижению муссона и усилению юго-западного ветра над Индией. Проведенный численный эксперимент с меняющимися граничными условиями также подтвердил наличие и значимость выявленного механизма.

Литература

1. Sikka D.R. Southern hemisphere influence on the onset of southwest monsoon of 1979. Results of Summer MONEX field phase research (B), FGGE operational report №9, 1980, WMO.
2. Разоренова О.А. Индийский муссон как взаимодействие атмосферных процессов Северного и Южного полушарий. Диссертация на соискание ученой степени канд. геогр. наук. Москва, 1989, 211 стр.
3. Vinod Kumar, A.K. Jaswal I, S.D. Agre, M. Satya Kumar, N.I. Pareekh and P.S. Fernandes Shyam Bhawan, Ashok Nagar. Cold fronts/ upper air troughs and low level subtropical anticyclones in South Indian Ocean and Indian summer monsoon rainfall. J. Ind. Geophys. Union, 2014, v.18, no.2, pp:225-244
4. Skamarock, W. C. et al. A description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Technical Note. Boulder, Colorado: NCAR. 2008.
5. Copernicus Climate Change Service (C3S), 2017: ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), date of access. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>

Изменение взаимосвязей между Эль-Ниньо и Арктической осцилляцией в условиях меняющегося климата

Коленникова М.А.¹

Гущина Д.Ю.¹

¹ Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
mkolennikova@mail.ru

Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) – явление планетарного масштаба, отклик на которое через механизм дальних связей может наблюдаться в очень удаленных районах. На величину отклика влияет не только интенсивность аномалий, но и их локализация, в связи с чем важно учитывать выделяемые на данный момент два типа теплой фазы ЭНЮК: Восточно-Тихоокеанское и Центрально-Тихоокеанское Эль-Ниньо.

Связь между атмосферной циркуляцией в северном и южном полушарии и 2 типами Эль-Ниньо в условиях современного и будущего климата анализируется по данным реанализа и по данным расчетов исторического (historical) и будущего (тср8.5) климата 6 совместных климатических моделей (CCSM4, CESM1-BGC, CMCC-CESM, CMCC-CM, CMCC-CMS, FIO-ESM) проекта CMIP5, способных хорошо воспроизводить два теплых режима ЭНЮК [1], и их связь с Арктической осцилляцией. Основными методами анализа являются: 1) построение композитов для каждого типа Эль-Ниньо, а также 2) регрессия среднемесячных аномалий геопотенциала на уровне 1000 (700) и 500 гПа на индексы E и C, рассчитанных, согласно [2], по линейной комбинации временных коэффициентов при 1-ой и 2-ой моде ЭОФ-разложения аномалий температуры поверхности тропического Тихого океана, где E индекс соответствует Восточно-Тихоокеанскому Эль-Ниньо, C индекс – Центрально-Тихоокеанскому.

Анализ композитов аномалий геопотенциала на уровне 1000 гПа для каждого типа Эль-Ниньо по данным реанализа показывает, что структура распределения аномалий геопотенциала в годы Центрально-Тихоокеанского

Эль-Ниньо схожа с отрицательной фазой Арктической осцилляции. В годы с Восточно-Тихоокеанским Эль-Ниньо поле геопотенциала представляет собой волновую структуру, соответствующую положительной фазе Тихоокеанского-северо-американского колебания. Для южного полушария, напротив, распределение аномалий геопотенциала, схожее по структуре с отрицательной фазой Антарктической осцилляции, наблюдается при Восточно-Тихоокеанском типе. Отклик на Центрально-Тихоокеанский тип Эль-Ниньо имеет совершенно другую структуру, которая сильно различается от явления к явлению.

По результатам анализа модельных расчетов по сценарию будущего климата для северного полушария можно отметить практически отсутствие в будущем климате изменений структуры поля регрессии геопотенциала для Центрально-Тихоокеанского Эль-Ниньо. Что касается отклика на Восточно-Тихоокеанский тип Эль-Ниньо, то во всех моделях структура распределения аномалий геопотенциала больше не представляет собой длинную волну Россби, а становится похожей на Арктическую осцилляцию.

Для определения возможных причин изменения отклика атмосферной циркуляции на два типа Эль-Ниньо в будущем климате проведен анализ структуры аномалий ТПО в Тихом океане. С помощью билинейной регрессии аномалий ТПО на индексы E и C показано, что в ряде моделей в будущем климате отчетливо виден сдвиг очага аномалий ТПО Восточно-Тихоокеанского Эль-Ниньо на запад. При этом изменения локализации аномалий ТПО при Центрально-Тихоокеанском Эль-Ниньо не наблюдается.

Литература

1. Cai W., et al. Increased variability of eastern Pacific El Nino under greenhouse warming // Nature. 2018. V.564. – P. 201–206.
2. Takahashi, K., Montecinos, A., Goubanova, K., and Dewitte, B. ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Nino // Geophys. Res. Lett. 2011. 38, L10704.

Влияние экстремального Эль-Ниньо 2015/16 года на радиационный баланс, испарение и потоки диоксида углерода влажного тропического леса в Индонезии

Ольчев А.В.¹

Гушина Д.Ю.¹

Хаймш Ф.²

Осипов А.М.¹

Крейлейн Х.²

Панферов О.³

Кноль А.⁴

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

² Департамент биоклиматологии, Университет Гёттингена, Гёттинген, Германия

³ Университет прикладных наук, Бинген на Рейне, Германия

⁴ Департамент климатологии и защиты от атмосферных воздействий, Факультет наук о жизни и инжиниринга, Департамент биоклиматологии, Университет Гёттингена, Гёттинген, Германия
aoltche@gmail.com

Явление Эль-Ниньо – Южное Колебание (El Niño – Southern Oscillation) проявляется в квази-периодических колебаниях температуры поверхности (ТПО) центральной и восточной части экваториального Тихого океана, а также в изменении атмосферного давления между его восточными и западными частями, оказывая значительное влияние на погодные и климатические условия как в тропиках, так и во внетропических широтах. В рамках проведенного исследования была выполнена оценка влияния экстремально сильного Эль-Ниньо 2015/16 на локальные и региональные метеорологические условия, а также на радиационный баланс, испарение и потоки диоксида углерода влажного тропического леса, расположенного в центральной части острова Сулавеси (Индонезия) в западной части Тихого океана. На протяжении последних 20 лет данная территория является объектом интенсивных исследований тропических лесов в контексте их устойчивости к внешним природным и антропогенным воздействиям. Начиная с 2002 года на станции Барири во влажном тропическом лесу проводятся непрерывные наблюдения за потоками диоксида углерода, явного и скрытого тепла для изучения отклика лесных экосистем на изменения условий внешней среды. В рамках исследования для определения влияния Эль-Ниньо 2015/16 на погодные условия и атмосферные потоки были использованы данные реанализа ERA-Interim, данные метеорологических наблюдений, измерения атмосферных потоков и результаты математического моделирования. Результаты исследования показали, что Эль-Ниньо 2015/16 года

сопровождалось значительным увеличением приходящей солнечной радиации и температуры воздуха в Индонезии, которое происходило синхронно с ростом ТПО в районе Niño4 (160° в.д. – 150° з.д.; 5° ю.ш. – 5° с.ш.). Динамика среднемесячного количества осадков характеризовалась их резким снижением в фазу развития Эль-Ниньо, а затем их постепенным увеличением. При этом максимум осадков наблюдался спустя 3-4 месяца после кульминации Эль-Ниньо. Интегральная эмиссия CO₂ тропического леса (экосистемное дыхание) увеличивалась с ростом Niño4, в то время как скорость поглощения лесной экосистемой CO₂ (валовая первичная продукция) в это же время практически не менялась, что привело к ярко выраженной положительной аномалии нетто-экосистемного CO₂ обмена, NEE (уменьшенной скорости поглощения CO₂) влажных тропических лесов в период кульминации Эль-Ниньо 2015/16 года. Сопоставление выявленных закономерностей с откликом метеорологических параметров и атмосферных потоков на явления Эль-Ниньо меньшей интенсивности (наблюдаемых в период с 2003 по 2008 год) показало их существенные различия. В частности, слабые Эль-Ниньо оказывали незначительное влияние на температурный режим района исследований, и как следствие на скорость экосистемного дыхания тропических лесов. Это привело к очень слабой зависимости NEE от Niño4 за период 2003-2008 гг. В свою очередь величина испарения достаточно хорошо коррелировала с Niño4 как в период сильного Эль-Ниньо 2015/16, так и при более слабых Эль-Ниньо периода с 2003 по 2008 год.

Выпуск долгосрочных метеорологических прогнозов в рамках деятельности Северо-Евразийского климатического центра (СЕАКЦ)

Вильфанд Р.М.¹

Хан В.М.¹

Тищенко В.А.¹

Круглова Е.Н.¹

Куликова И.А.¹

¹ Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия
vilfand@mecom.ru

В докладе обсуждается технология выпуска мультимодельных глобальных вероятностных и детерминистических прогнозов на месяц и сезон, реализованная в рамках СЕАКЦ. Мультимодельный подход, основанный на использовании моделей общей циркуляции атмосферы Гидрометцентра России и ГГО, позволяет устранить систематические ошибки моделей и улучшить качество прогнозов за счет простого объединения ансамблей. Показано, что качество прогнозов сильно меняется в зависимости от региона, сезона и режима атмосферной циркуляции. В связи с

этим в рамках данной технологии с использованием ретроспективных прогнозов решается задача статистической интерпретации для повышения успешности прогнозов в отдельных регионах. Представлен блок верификации оперативных и исторических прогнозов, позволяющий осуществлять мониторинг качества в реальном режиме времени. По аналогии с технологией месячных и сезонных прогнозов развернута и отлажена в квази-оперативном порядке технологическая линия еженедельных выпусков долгосрочных метеорологических прогнозов на срок до 1,5 месяцев.

Киктёв Д.Б.¹
Муравьев А.В.¹
Смирнов А.В.¹

¹ Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия
dkiktev@mail.ru

В Гидрометцентре России функционирует система наукастинга осадков, основанная на радиолокационных полях осадков, поступающих от Центральной аэрологической обсерватории. Расчетным ядром системы является статистическая прогностическая схема, построенная как мультипликативный каскад с использованием технологии оптического потока [1-4].

На основании решения Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета от 01.12.2017 г. система наукастинга была внедрена в качестве основной оперативной технологии Гидрометцентра на территории ЦФО (по девяти ДМРЛ-С) и с января 2018 г. работает в оперативном режиме с обновлением прогностической продукции каждые 10 минут. К настоящему времени (июль 2019 г.) входная продукция расширена до двадцати семи локаторов ДМРЛ-С на Европейской территории России. Прогнозы представляют собой серии из 15 последовательных прогностических полей с 10-минутным шагом. Результаты прогнозов в графическом и цифровом виде накапливаются на сервере Гидрометцентра России в виде полей разме-

ром 256×256 в примерно двухкилометровом разрешении, а наложенные на географическую сетку прогностические поля размещаются на веб-сайте Гидрометцентра России с опцией анимации.

В течение 2017-2018 гг. были проведены оценки качества наукастинга с помощью точечных и пространственных методов верификации. Сопоставлены результаты верификации прогнозов интенсивности осадков по теплomu (май-сентябрь 2017 г.) и холодному (ноябрь 2017 г. – март 2018 г.) периодам года на территории Центрального федерального округа.

В течение 2018 г. проведены тестовые прогоны обновленной версии схемы наукастинга, в которой, во-первых, размер и шаг определяются исходными полями произвольного размера и расширены возможности генерирования ансамблей, а во-вторых, имеется независимый программный блок комбинирования радарных полей с полями численного прогноза. В 2019 г. начаты активные эксперименты с использованием продукции мезомасштабной гидродинамической модели COSMO.RU с шагом сетки 2 км и с покрытием территории Центрального федерального округа.

Литература

1. Bowler N., C. Pierce and A. Seed. STEPS: A probabilistic precipitation forecasting scheme which merges an extrapolation nowcast with downscaled NWP. - Q. J. R. Meteorol. Soc. 2006, 132, pp. 2127–2155.
2. Киктёв Д.Б., Муравьев А.В., Смирнов А.В. Прогнозирование осадков с помощью модели мультипликативного каскада: опыт радарного наукастинга // Международная конференция «Турбулентность, динамика атмосферы и климата», посвященная 100-летию со дня рождения академика А.М. Обухова, Москва, 16-18 мая 2018. Тезисы докладов. С. 27.
3. Муравьев А.В., Киктёв Д.Б., Смирнов А.В. Оперативная технология наукастинга осадков на основе радарных данных и результаты верификации для теплого периода года (май-сентябрь 2017) // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 1(367). С. 6-38.
4. А.В. Муравьев, Д.Б. Киктёв, А.В. Смирнов, М.Ю. Зайченко. Оперативная технология наукастинга осадков на основе радиолокационных данных и сравнительные результаты точечной верификации для теплого и холодного периодов года // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019, № 2(372). С. 12-40.

COSMO-Ru – оперативная система краткосрочного прогноза погоды Гидрометцентра России

Ривин Г.С.¹
Розинкина И.А.¹

¹ Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия
gdaly.rivin@mail.ru

С 2009 г. Росгидромет является полноправным членом метеорологического консорциума COSMO, в состав которого в данный момент входят метеослужбы Германии, Греции, Израиля, Италии, Польши, России, Румынии и Швейцарии. Основной задачей консорциума является совместное развитие негидростатических моделей COSMO (до 2020 г.) и ICON-LAM (с 2018 г.) атмосферы и деятельного слоя суши для ограниченной территории и ее совершенствование. В настоящее время различные конфигурации модели COSMO используются в оперативной работе указанных выше метеослужб. По внутренним правилам консорциума к имени конкретных реализаций модели, используемой в оперативной практике, принято добавлять две буквы страны, например, COSMO-De, ICON-LAM-Ru.

Благодаря полноправному участию в работе консорциума COSMO в Гидрометцентре России была разработана и функционирует оперативная система COSMO-Ru регионального краткосрочного численного прогноза погоды для территории России и прилегающих регионов с шагами сеток от 13.2 до 1 км, признанная Центральной методической комиссией Росгидромета на основе оперативных испытаний 2011, 2016 и 2018 гг. базовой отечественной технологией численного краткосрочного прогноза погоды. Эта система полностью соответствует уровню ведущих метеослужб мира как по показателям успешности

прогнозов, так и по примененным технологическим решениям. Продукция COSMO-Ru четыре раза в сутки рассылается в подавляющее большинство прогностических центров Росгидромета, являясь одной из наиболее востребованных. Проводимые в рамках перспективных проектов и задач консорциума разработки российских специалистов внедрены либо находятся на стадии внедрения в комплексы программных средств консорциума.

Применение современных технологических решений позволяют адаптировать систему COSMO-Ru к широкому спектру задач метеорологического обеспечения и вычислительных систем. Ввод в эксплуатацию нового суперкомпьютера Росгидромета является залогом поддержания достигнутого уровня отечественных высокодетальных технологий численных прогнозов и их развития. Основные задачи для ближайших лет: переход на применение конфигураций модели нового поколения ICON с дальнейшим уменьшением шагов сетки, совершенствованием физических и химических компонент модели.

В заключение отметим значительный вклад кафедры метеорологии и климатологии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова в данную работу: 12 (из 17!) членов авторского коллектива являются выпускниками кафедры, причем 8 из них закончили университет в 2009 г. и позднее.

Оперативный комплексный прогноз приземных метеозаэментов: температуры и влажности воздуха, ветра и количества осадков с заблаговременностью 6–144 ч по городам России, Беларуси и республик Средней Азии

Багров А.Н.¹
Быков Ф.Л.^{1,2}
Гордин В.А.^{1,2}

¹ Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия
² НИУ «Высшая школа Экономики», Москва, Россия
bagrov@mecom.ru

Для оперативного комплексного прогноза используются результаты лучших прогностических гидродинамических моделей на 3-6 суток, а также архивы прогнозов этих моделей и наблюдений на 2800 метеостанциях на территории России, стран Восточной Европы и Средней Азии. После нашей статистической обработки на выходе получаются прогнозы температуры и влажности воздуха в стандартные сроки наблюдения с шагом 3 часа и экстремальной за каждые сутки температуры с заблаговременностью от 6 до 144 ч. Таким же образом получаются прогнозы направления и скорости ветра, включая возможные порывы ветра, а также прогнозы количества осадков. Как правило, результаты получаются лучше, чем в лучшей из используемых моделей. Результаты оперативного комплексного прогноза (для ~280 городов России и

Республики Беларусь; и отдельно для 80 городов Средней Азии) выкладываются на сайт Гидрометцентра РФ в 8.30 и 20.30 мск.

Полученные оценки ошибок прогнозов всех метеозаэментов сравниваются с оценками гидродинамических моделей. Также делается сравнение прогнозов экстремальной температуры воздуха с оценками ошибок прогнозов синоптиков областных управлений и с оценками других прогностических сайтов.

Работа Ф.Л. Быкова и В.А. Гордина была поддержана грантом (№ 18-05-0011) в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2018-2019 гг. и в рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации «5-100».

Литература

1. А.Н. Багров, Ф.Л. Быков, В.А. Гордин. Схема оперативного краткосрочного комплексного прогноза ветра. Метеорология и гидрология. № 7, 2018, с. 19-28.
2. А.Н. Багров, Ф.Л. Быков, В.А. Гордин. Схема оперативного краткосрочного комплексного прогноза приземной температуры и влажности воздуха. Метеорология и гидрология. № 8, 2018, с. 5-18.

Может ли квантовый компьютер быть применен для численного прогноза погоды?

Фролов А.В.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия
send@alexfrolov.com

Рассмотрены принципиальные ограничения на рост производительности суперкомпьютеров на базе кремниевых транзисторов, не позволяющие в будущем удовлетворить потребности развивающихся численных моделей прогноза погоды и климата. Дан краткий обзор исследований в области разработки алгоритмов квантовых вычислений и создания реальных квантовых компьютеров. Сделан вывод о наметившемся

переходе от чистой науки к инженерным решениям. Лидеры компьютерной индустрии поставили перед собой цель создать квантовый компьютер общего назначения в течение нескольких ближайших лет. Приведены аргументы в поддержку идеи о проведении предварительных исследований по оценке применимости квантовых вычислений и квантовых компьютеров для решения задач численного прогноза погоды и климата.

Литература

1. Фролов А.В. Может ли квантовый компьютер быть применен для численного прогноза погоды? – *Метеорология и гидрология*, 2017, № 9, с. 12-23.
2. Arute, F., Arya, K., Babbush, R. et al. Quantum supremacy using a programmable superconducting processor. – *Nature*, 2019, 574, pp. 505–510.

Ансамблевый прогноз погоды в Гидрометцентре России

Астахова Е.Д.¹

Бундель А.Ю.¹

Алферов Д.Ю.¹

Гайфулин Д.Р.¹

Цырульников М.Д.¹

Розинкина И.А.¹

Ривин Г.С.¹

¹ Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия
elena_ast_hmc@mail.ru

В Гидрометцентре России ведутся исследования по ансамблевому прогнозированию на различных пространственно-временных масштабах. Разработана и функционирует в оперативном режиме глобальная система ансамблевого среднесрочного прогноза, основанная на методе бридинга. В качестве основной модели в системе использована глобальная спектральная модель Гидрометцентра России с разрешением 169 спектральных гармоник (шаг сетки по горизонтали около 70 км), треугольным усечением и 31 уровнем по вертикали (T169L31). Дополнительно в ансамбле используется контрольный прогноз по глобальной модели ПЛАВ-2008 (разрешение около 70 км по горизонтали, 28 уровень по вертикали). Размер ансамбля – 14 реализаций. Неогъемлемой частью системы ансамблевого прогноза являются подсистемы ансамблевого постпроцессинга и ансамблевой верификации. Результаты оперативных испытаний 2014 года показали удовлетворительное качество ансамблевых прогнозов

Гидрометцентра России. Результаты ансамблевых прогнозов регулярно представляются на сайте Гидрометцентра России и передаются в Ведущий Центр по верификации ансамблевых прогнозов (Япония).

Для метеорологического обеспечения Олимпиады 2014 была разработана и функционировала в квазиоперативном режиме система мезомасштабного ансамблевого прогноза COSMO-Ru2-EPS для территории Сочи, основанная на использовании модели COSMO с разрешением 2.2 км. Граничные и начальные условия для ансамблевой системы предоставлялись системой COSMO-S14-EPS с разрешением 7 км (метеослужба Италии). Было продемонстрировано удовлетворительное качество работы системы (на уровне зарубежных систем). Результаты прогнозирования предоставлялись синоптикам Олимпиады. После Олимпиады были выполнены исследования возможности учета несовершенства модели атмосферы за счет применения стохастических методов.

Диагноз и прогноз атмосферных фронтов. 2D, 3D, 4D версии

Беззубцев А.С.¹

Быков Ф.Л.^{2,3}

Гордин В.А.^{1,3}

¹ ГБОУ Лицей «Вторая школа», Москва, Россия

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

³ НИУ «Высшая школа Экономики», Москва, Россия

vagordin@mail.ru

Классическое представление о динамике атмосферы: движение сравнительно однородных синоптических масс, разделенных тонкими поверхностями – атмосферными фронтами (АФ). С точки зрения идеальной газовой динамики АФ – контактные разрывы, где рвется температура и нормальная компонента скорости. Для вязкой модели газодинамики (и в реальности) АФ уже не двумерные поверхности, а зоны, где толщина много меньше длины. В этой зоне велики лапласиан геопотенциала, градиент температуры и вертикальная компонента вихря скорости. Предлагается усовершенствовать эти предикторы: наибольшее собственное число матрицы Гессе для геопотенциала (главная кривизна его графика) лучше лапласиана, и наибольшее собственное число специальной матрицы, составленной из первых производных скорости лучше вертикальной компоненты вихря. Однако в случае дискретных полей можно существенно упростить вычисления и вычислять соответствующие производные по направлениям с шагом 45°.

Для выбора коэффициентов наилучшей комбинации нескольких перечисленных предикторов в финальном предикторе нужен критерий качества. В таком качестве используем различие между корреляционной функцией

для пар точек в одной синоптической массе и пар, разделенных АФ. Соответствующий алгоритм позволяет строить кривые АФ на различных изобарических уровнях. Значения финального предиктора описывают локальную интенсивность АФ или фронта окклюзии.

Прохождение АФ на уровнях 850 и 700 гПа коррелирует с выпадением осадков и распространением внутренних гравитационных волн.

Для того чтобы соединить кривые АФ на разных уровнях в поверхности, используем аппроксимацию Безье, а затем производим приближенную триангуляцию этих поверхностей.

Разработанный интерфейс позволяет приближать отдельные участки поверхностей АФ и рассматривать их с разных сторон. Имитируется рабочее место пилота. Исходные поля (геопотенциал, температура, ветер) получают из прогностической модели COSMO-ru.

Работа была поддержана грантом (№ 18-05-0011) в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2018-2019 гг. и в рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации «5-100».

Литература

1. Ф.Л. Быков, В.А. Гордин. Трехмерный объективный анализ структуры атмосферных фронтов. Известия РАН, сер. «Физика атмосферы и океана» 48(2), 2012, с.172-188.
2. Ф.Л. Быков, В.А. Гордин. О статистической связи атмосферных фронтов и осадков. Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, 2012, вып. 348, с. 184-194.
3. В.А. Гордин. Математика, компьютер, прогноз погоды и другие сценарии математической физики. М., ФИЗМАТЛИТ, 733 стр., 1-е изд. 2010, 2-е изд. 2012-2013.
4. С.Н. Куличков, Н. Цыбульский, И. Чунчuzов, А. Чуличков, В.А. Гордин, Ф.Л. Быков, В. Перепелкин, Г. Буш, Е. Голикова. Некоторые результаты регистрации внутренних гравитационных волн от атмосферных фронтов в московском регионе// Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2017, Т.53. № 4, стр. 455-469.
5. A.S. Bezzubtsev, Ph.L. Bykov, V.A. Gordin. Three-dimensional visualization of atmospheric fronts.

Краткосрочный прогноз смерчей на Европейской территории России

Калмыкова О.В.¹
Новицкий М.А.¹
Шершаков В.М.¹
Шмерлин Б.Я.¹

¹ Научно-производственное объединение «Тайфун»,
Москва, Россия
kov@feerc.ru

В работе рассматриваются вопросы прогноза сухопутных и водяных смерчей на Европейской территории России на базе результатов расчетов по мезомасштабным численным моделям прогноза погоды WRF и COSMO-Ru2. Прогноз строится на основании анализа полей индексов конвективной неустойчивости.

Установлено, что для интенсивных сухопутных смерчей в рамках модели WRF наиболее информативными и обеспечивающими минимальное количество ложных тревог являются индексы SCP и STP [2]. Кроме того, показана возможность рассмотрения достижения максимума вертикальной скорости, непосредственно рассчитываемой в модели WRF, в качестве еще одного важного признака смерчопасной ситуации, связанной с интенсивными смерчами.

Для смерчей на российской акватории Черного моря, как было установлено, ни один из известных индексов не обеспечивает должного качества прогноза в теплый конвективный период. По этой причине для данного региона был разработан новый индекс смерчопас-

ности WRI [1]. Впоследствии в ходе непрерывного тестирования с июля 2017 г. по октябрь 2018 г. была подтверждена эффективность этого индекса как на модели WRF, так и на модели COSMO-Ru2. Качественный прогноз водяных смерчей в более холодный и значительно менее смерчопасный период обеспечивает разработанный канадскими специалистами метод номограммы Силадды [3], который, как было установлено, кроме того, может служить хорошим индикатором начала и окончания сезона смерчей над Черным морем.

Рассматривается работа автоматизированной технологии оценки и прогноза смерчопасности на российской акватории Черного моря, включенной в 2019 г. в план испытания новых и усовершенствованных технологий (методов) гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов Росгидромета. Анализируются перспективы создания аналогичной технологии и для сухопутных смерчей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 19-01-00300).

Литература

1. Калмыкова, О.В. Индекс смерчопасности российской акватории Черного моря / О.В. Калмыкова, В.М. Шершаков // Труды ГГО им. А.И. Воейкова. – 2017. – Вып. 284. – С. 142 – 163.
2. Новицкий, М.А. О совместном расчете полей вертикальной скорости и конвективных индексов в модели WRF для анализа и прогноза смерчопасных ситуаций / М.А. Новицкий, Б.Я. Шмерлин, С.А. Петриченко, Л.А. Терех, О.В. Калмыкова // Метеорология и гидрология. – 2018. – № 9. – С. 14 – 25.
3. Sioutas, M. Waterspout outbreaks over areas of Europe and North America: Environment and predictability / M. Sioutas, W. Szilagyi, A. Keul // Atmospheric Research. – 2013. – Vol. 123. – P. 167 – 179.

Изучение условий образования гололедных отложений на Урале по данным наземных наблюдений и гидродинамического моделирования

Пищальникова Е.В.¹
Калинин Н.А.¹
Быков А.В.¹

¹ Пермский государственный национальный
исследовательский университет, Пермь, Россия
meteo@psu.ru

В зимний и переходный период года наиболее опасным видом осадков, образующим гололед, являются переохлажденный дождь и морось [1]. При этом распределение повторяемости и условия выпадения осадков, обуславливающих формирование гололеда, на обширной территории России изучены недостаточно [2].

Материал исследования – данные о гололеде с 51 метеорологической станции (МС), расположенной на территории ответственности ФГБУ «Уральское УГМС». За 2017–2018 гг. отмечалось 63 случая с гололедом. Наибольшая повторяемость гололеда фиксируется в ноябре (23 случая), минимум – в феврале и мае (1 случай). Время начала образования гололеда на МС ночью и утром. Средняя общая продолжительность составляет 17 ч, максимальная – 231 ч. Диаметр отложений не превышает 17 мм, при этом средний вес составляет 26 гр. Синоптические условия формирования гололеда на Урале связано в основном с прохождением теплых фронтов, редко имеет внутримассовый характер. Абсолютный максимум по охвату территории гололедом (на 17 МС одновременно) зафиксирован 22 декабря 2017 г. При формировании гололеда температура в целом укладывается в интервал 0...–5°C, ветер дует слабо со скоростью до 5 м/с.

В данном исследовании в качестве инструмента используется гидродинамическая мезомасштабная модель WRF–ARW версии 4.1.1.

Для изучения условий формирования гололедных отложений используется компонента «freezing gain» (замерзающие осадки). Методика определения факта наличия явления и его оценка следующая. Суммарная модельная величина замерзающих осадков за 24 ч составляет 0,01 мм и более. Для пункта, где по факту отмечался гололед, оправдываемость составит 100%, в случае, когда гололед не наблюдался, оправдываемость нулевая.

В качестве примера приведем оценку успешности расчета замерзающих осадков по модели WRF от 22 декабря 2017 г. Общая оправдываемость прогноза замерзающих осадков составляет 91,9%, число ложных тревог/пропусков явления мало и равняется 4/2 соответственно. Приведенная успешность диагноза гололеда позволяет сделать предварительные выводы, что модель WRF качественно воспроизводит область замерзающих осадков, способствующих образованию гололеда. Прямая зависимость диаметра гололеда от суммарного количества замерзающих осадков не проявилась. Оценка сдвига по времени начала явления по расчетам модели показала, что с явным превосходством отмечается временное запаздывание диагноза гололеда, при этом для половины числа МС модель воспроизводила замерзающие осадки на 10–13 ч позже времени начала нарастания гололеда на МС.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-45-590021 p_a).

Литература

1. Шакина Н.П., Хоменко И.А., Иванова А.Р., Скриптунова Е.Н. Образование и прогнозирование замерзающих осадков: обзор литературы и некоторые новые результаты // Труды ГМЦ. – 2012. – № 348 – С. 130–161.
2. Chakina N.P. Winter storms in Russia // Storms. Vol. I. – London, Routledge, 2000. – P. 506–525.

Новый подход к эмпирическому моделированию и прогнозу явления Эль-Ниньо

Гаврилов А.С.¹
Селезнев А.Ф.¹
Мухин Д.Н.¹
Лоскутов Е.М.¹
Куртц Ю.¹
Фейгин А.М.¹

¹ Институт прикладной физики РАН,
Нижний Новгород, Россия
gavrilov@ipfran.ru

Предложена прогностическая модель явления Эль-Ниньо, основанная на новом методе анализа пространственно-распределенных данных.

Метод является линейной модификацией недавно предложенного нелинейного подхода к декомпозиции высокоразмерных данных [1]. Подход учитывает динамические свойства изучаемой системы, явным образом выделяя и учитывая в процессе декомпозиции доминирующие временные масштабы наблюдаемой эволюции системы. Найденные в результате используемой процедуры линейные динамические моды (ЛДМ) используются далее в качестве переменных при построении эмпирической модели в форме нелинейного стохастического оператора эволюции.

Метод применен для анализа данных аномалий поверхностной температуры океана в тропическом поясе (30S–30N) [2,3], в котором Эль-Ниньо – Южное Колебание (ЭНЮК) является главной модой климатической изменчивости. На основе этих данных проведено сравнение модели, построенной на базе ЛДМ, с моделями на основе традиционно используемых в качестве переменных эмпирических ортогональных функций. Продемонстрировано [4], что прогностическая точность новой модели не уступает точности прогноза лучших существующих моделей ЭНЮК.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 19-02-00502.

Литература

1. Mukhin D, Gavrilov A, Feigin A, Loskutov E, Kurths J (2015) Principal nonlinear dynamical modes of climate variability. *Scientific Reports*, 5:15510. <https://doi.org/10.1038/srep15510>
2. Huang B, Banzon VF, Freeman E, Lawrimore J, Liu W, Peterson TC, Smith TM, Thorne PW, Woodruff SD, Zhang HM, Huang B, Banzon VF, Freeman E, Freeman E, Lawrimore J, Liu W, Peterson TC, Smith TM, Thorne PW, Woodruff SD, Zhang HM (2015) Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST.v4). Part I: upgrades and intercomparisons. *Journal of Climate*, 28(3):911–930. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00006.1>
3. Liu W, Huang B, Thorne PW, Banzon VF, Zhang HM, Freeman E, Lawrimore J, Peterson TC, Smith TM, Woodruff SD (2015) Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST.v4): part II. Parametric and structural uncertainty estimations. *Journal of Climate*, 28(3):931–951
4. Andrey Gavrilov, Aleksei Seleznev, Dmitry Mukhin, Evgeny Loskutov, Alexander Feigin, Juergen Kurths (2018) Linear dynamical modes as new variables for data driven ENSO forecast. *Climate Dynamics*, <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4255-7>.

Объективный анализ влажности почвы на основе полей относительной влажности верхнего слоя почвы по данным с прибора ASCAT (ИСЗ MetOp-A и MetOp-B) и запасов продуктивной влаги в верхнем 10-сантиметровом и пахотном слоях почвы

Быков Ф.Л.^{1,2}
Василенко Е.В.³
Гордин В.А.^{1,2}
Тарасова Л.Л.¹

¹ Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия
² НИУ «Высшая школа Экономики», Москва, Россия
³ Научно-исследовательский центр «Планета», Москва, Россия
lydia_tarasova@mail.ru

Влажность почвы является одной из компонент водного баланса климатической системы. Традиционно в период вегетации с.-х. культур гидрометеостанции определяют запасы продуктивной влаги (ЗПВ) в слоях 0-10, 0-20, 0-50 и 0-100 см на 7 день декады. В последнее десятилетие появилась возможность оценить влажность верхнего (примерно 5-сантиметрового) слоя почвы с использованием средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Эти данные имеют разрешение ~12,5 км и поступают обычно 1-2 раза в сутки.

Наличие достаточно точного и подробного оперативного объективного анализа влажности почвы по сравнительно большой территории представляется важным не только для агрометеорологических задач. Возможно, будет полезен его использование и в динамических моделях, которые могли бы предсказывать влагосодержание почвы, имея на входе дополнительную информацию об выпавших осадках.

Для контроля данных измерений используются, во-первых, горизонтальные корреляционные связи между данными с ближайших станций («интерполяция на отброшенную станцию») и, во-вторых, связь между данными о влаге в 10- и 20-сантиметровых слоях. Временной контроль не использован, поскольку измерения производятся довольно редко – 1 раз в декаду. Не прошло такой контроль примерно 1% измерений.

По архиву спутниковых наблюдений в моменты и в точках сетки, близких к станционным измерениям, оценена функция пересчета спутниковой информации в станционную, так чтобы среднеквадратическая погрешность была минимальной. Погрешность интерполяции данных ЗПВ в точку станции без использования данных с этой станции и погрешность оптимальной интерполяции с других станций довольно близки, т.е. интегральная информативность спутниковых данных близка к информативности приземных. В настоящее время в Гидрометцентре России оперативная модель объективного анализа влагозапаса почвы по Европейской территории РФ работает в тестовом режиме ежедневно.

Сравнивались поля оперативного объективного анализа влажности почвы на день взятия проб с полей для определения ЗПВ (7, 17 и 27 числа с апреля по октябрь, т.е. рассчитанные с учетом данных за предыдущую декаду) и пересчитанные в начале следующей декады (1, 11 и 21, т.е. с учетом вновь поступившей информации). Оказалось, что они хорошо согласуются друг с другом, а разность не превышает допустимой погрешности в 10 мм продуктивной влаги.

В ходе работы Ф.Л.Быков и В.А.Гордин были поддержаны грантом (18-05-0011) в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2016-2017 гг.

Литература

1. Быков Ф.Л., Василенко Е.В., Гордин В.А., Тарасова Л.Л. Статистическая структура поля влажности верхнего слоя почвы по данным наземных и спутниковых наблюдений. Метеорология и гидрология, 2017, № 6, стр. 68-84.
2. Василенко Е.В., Тарасова Л.Л. Использование данных с прибора ASCAT/MetOp для мониторинга влажности почвы Вестник Московского университета. Сер. 5: География, Изд-во Моск. ун-та (М.), 2015, № 2, с. 40-49.

Долгосрочный прогноз степени засушливости вегетационного сезона для Саратовской области

Кононова Н.К.¹
Морозова С.В.²
Полянская Е.А.²

¹ Институт географии РАН, Москва, Россия
² Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия
swetwl@yandex.ru

Актуальность и пространственной, и временной детализации долгосрочных метеорологических прогнозов неоднократно подчеркивается в научной литературе [1, 2]. В настоящей публикации представлены разработки по прогнозированию степени засушливости вегетационного сезона в Саратовской области, являющейся важнейшим аграрным регионом России. Расположение территории области по «оси Воейкова» является дополнительным фактором, усложняющим прогнозирование погодных условий в регионе.

Для выделения засушливых сезонов использовался гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК). Климатическое значение ГТК для территории Саратовской области оценивается величиной 0,8, что соответствует слабозасушливым условиям. Значения коэффициента Селянинова 0,6-0,7 соответствуют засухе средней интенсивности, а 0,5 и меньше – сильной и очень сильной засухе. Исследуемым временным промежутком стали 1971-2018 гг.

В прогностической схеме названные градации явились предиктантом. В качестве предикторов использовались барические поля на среднем уровне тропосферы в месячном осреднении. Поиск асинхронных связей осуществлялся с временным лагом 1 месяц. Временной интервал между предиктором и предиктантом составлял от двух до шести месяцев. Использовался прием непараметрического дискрими-

нантного анализа [3]. Рабочая «вырезка» полей геопотенциала ограничивалась параллелями 35° с.ш. и 70° с.ш. и меридианами 0° в.д. и 70° в.д. Для удобства и большей объективности исследуемые поля представлялись полями лапласианов. В результате серии статистических экспериментов было установлено, что наибольшей прогностической информацией о степени засушливости первой половины вегетационного сезона (май – июнь) обладают средние многолетние барические поля на среднем уровне тропосферы в январе и феврале.

Анализ исторических (ретроспективных) прогнозов показал, что формирование интенсивной засухи в Поволжье происходит с вероятностью 79% при развитии барического гребня в январе и феврале над Восточной Европой. При развитии барического гребня только в одном из этих месяцев с вероятностью 69% в регионе наблюдаются средnezасушливые условия (ГТК = 0,6-0,7). При устойчивом западном переносе или волнах малой амплитуды на рассматриваемом пространстве Атлантико-Евразийского сектора полушария в большинстве случаев в Поволжье формируются условия, близкие к средним многолетним, или достаточное увлажнение. В дальнейшем предполагается исследовать механизмы выявленных связей.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Института географии РАН, проект № 0148-2019-0009.

Литература

1. Крыжов В.Н. Региональная коррекция для Северной Евразии глобальных сезонных прогнозов Гидрометцентра России // Метеорология и гидрология, 2012.С.5-14.
2. Морозова С.В., Алимписева М.А. Физико-статистическая модель долгосрочного прогноза весенних дат перехода средней суточной температуры воздуха через 10 С // Тр. ГМЦ РФ.Москва,2018.Вып.369. С.46-61.
3. Практикум по синоптической метеорологии. СПб.: Изд-во РГТМУ, 2006. 304 с.

Метеобеспечение горного курорта «Роза Хутор». Опыт коммерческой метеослужбы

Коротеев А.В.¹

¹ ООО «Роза Хутор», Сочи, Россия
Koroteev_AV@rosaski.com

Метеоподразделение противолавинной службы горного курорта «Роза Хутор» создано для решения задач специализированного метеобеспечения круглогодичной работы курорта (наблюдение и прогнозирование погодных условий). В настоящей работе автор попытался обозначить круг задач, стоящих перед метеослужбой, и разработанные методы их решения – как в части наблюдений, так и в части прогнозов.

В части организации наблюдений описана сеть автоматических метеостанций, созданная на курорте (её достоинства и недостатки, использование результатов измерений в оперативной работе и последующая их камеральная обработка), лавинный пост и проводимые на нём наблюдения в зимний сезон.

Подробно описана методика прогнозирования метеорологических величин и явлений погоды как с использованием известных методик прогнозирования, описанных в [1, 2], так и разработанных на курорте (в том числе элементов горной погоды – фёна, облачных морей, летних внутримассовых ливневых осадков в горах (с применением выводов, представленных в [4]).

С учётом потребности разных служб курорта в гидрометеорологическом обеспечении, показана форма доведения прогнозов погоды до потребителя, система их оценки. Приведены обоснованные критерии опасных и неблагоприятных погодных условий.

Для планирования работ на курорте также необходимы сверхкраткосрочные прогнозы погоды, разработка которых для горных территорий Большого Сочи представляет определённые трудности. Описаны факторы формирования локальной погоды на курорте, приведены методики наукастинга, в том числе опробованные предложенные авторами в [5]. В продолжение описания региональных синоптических процессов и условий погоды Кавказа [6] приведено описание синоптических процессов для района курорта (Западного Кавказа).

Опираясь на погодные факторы риска роста лавинной опасности в сезон возможного схода лавин, подробно описанные в [3, 7], разработаны критерии выпуска предупреждений инженеров противолавинной службы, разрабатываемые прогнозическим и наблюдательным подразделениями (так называемые *avalanche meteoalarms*).

Для более полного ознакомления с работой метеослужбы курорта «Роза Хутор» автором в дополнение к стендовому докладу подготовлена иллюстрированная брошюра, в которой подробно описана работа наблюдательного и синоптического подразделений, приведены методики и результаты работы, разобраны наиболее интересные с точки зрения автора случаи из синоптической практики. Описана работа по популяризации метеорологической науки среди сотрудников и гостей курорта.

Литература

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л., Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
2. Иванов В.Х. Способы расчёта и прогноза основных метеорологических характеристик и явлений погоды. М., Изд-во Моск. ун-та, 1978. – 364 с.
3. Майр Р., Найрц П. Лавины. Практический учебник. 10 важнейших видов опасности. Как их распознать. – М., ТВТ Дивизион, 2013. – 220 с.
4. Русин И.Н. Влияние гор на формирование ливневых осадков. – СПб, изд. РГГМИ, 1997. – 59 с.
5. Русин И.Н., Тараканов Г.Г. Сверхкраткосрочные прогнозы погоды. – СПб, изд. РГГМИ, 1996. – 308 с.
6. Хандожко Л.А. Региональные синоптические процессы. Учебное пособие. – Л., изд. ЛГМИ, 1988, 103 с.
7. McClung D., Schaerer P. The Avalanche Handbook. – Seattle, The Mountaineers Books, 2006. – 342 p.

Прогноз микрофизических и оптических характеристик крупномасштабной облачности и ее радиационного воздействия с помощью мезомасштабной модели численного прогноза погоды COSMO

Хлестова Ю.О.^{1,2}

Шатунова М.В.²

Чубарова Н.Е.¹

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

² Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия
khlestova2013@yandex.ru

В работе отражены результаты исследования характеристик облачности и их радиационного воздействия для оперативной и экспериментальной облачно-радиационных схем мезомасштабной модели COSMO [1, 2]. В исследовании применялась реализация модели с шагом сетки 2,2 км. Используются данные наблюдений за солнечной радиацией и уникальные измерения облачных характеристик в Линденберге (Германия), а также результаты измерений радиационных потоков Метеорологической Обсерватории МГУ. Установлены отклонения рассчитанных

микро- и макрофизических характеристик облаков и суммарной радиации от данных измерений. Установлена связь ошибок прогноза ледности в верхней тропосфере с рассчитываемой абсолютной влажностью. Проведен анализ работы экспериментальной облачно-радиационной схемы и выявлены радиационный и температурный эффекты у земной поверхности при ее использовании по сравнению с наблюдениями и данными оперативной схемы.

Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-17-00149).

Литература

1. Ривин Г.С., Розинкина И.А., Багров А.Н., Блинов Д.В., Кирсанов А.А., Кузьмина Е.В., Шатунова М.В., Чумаков М.М., Алферов Д.Ю., Бундель А.Ю., Зайченко М.Ю., Никитин М.А. Мезомасштабная модель COSMO-Ru2 и результаты ее оперативных испытаний // Информационный сборник. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов.

2. Segal Y., Khain A. Dependence of droplet concentration on aerosol conditions in different cloud types: Application to droplet concentration parameterization of aerosol conditions // J. Geophys. Res. 2006. V.111, ND15204. DOI: 10.1029/2005JD006561.

Естественные и антропогенные причины региональных и глобальных климатических аномалий и трендов

Мохов И.И.^{1,2}

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

² Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
mokhov@ifaran.ru

Характеризуются тенденции современных глобальных и региональных изменений климата по многолетним данным и модельным расчетам в сопоставлении с палеоклиматическими реконструкциями [1-4]. Отмечаются особенности изменений климата в Арктике и в разных российских регионах. Рассматриваются процессы, способствующие «нер-

возности» климата. Определяется роль естественных и антропогенных факторов в климатических изменениях и способность современных моделей адекватно оценивать климатические изменения. Оцениваются тенденции возможных в XXI веке глобальных и региональных изменений климата и их последствий.

Литература

1. Атмосферные интенсивные вихри и их динамика. Под ред. И.И. Мохова, М.В. Курганского, О.Г. Чехтиани. М.: ГЕОС. 2018. 482 с.
2. Мохов И.И. Современные изменения климата Арктики // Вестник РАН. 2015. Т. 85. № 5-6. С. 478-484.
3. Мохов И.И. Современные изменения климата: аномалии и тенденции / В: Турбулентность, динамика атмосферы и климата. Под ред. Г.С. Голицына, И.И. Мохова, С.Н. Куличкова и др. М.: Физматкнига. 2018. С. 250-263.
4. Мохов И.И. Оценка способности современных климатических моделей адекватно оценивать риск возможных региональных аномалий и тенденций изменения // Доклады АН. 2018. Т. 479 (4). С. 452-455.

Выявление роли глобального потепления в наблюдаемом тренде к увеличению количества экстремальных осадков в Средиземноморском регионе и его окрестностях с использованием данных реанализа

Кричак С.О.¹

¹ Отделение геофизики, Факультет точных наук,
Тель-Авивский университет, Тель-Авив, Израиль
shimonk@tauex.tau.ac.il

Последние десятилетия характеризовались уменьшением количества годовых осадков над большей частью Средиземноморского региона. В ряде северных и, частично, восточных областей региона, однако, имело место увеличение в количестве осадков. Анализ причин наблюдаемого изменения климата свидетельствуют о существенности вклада эффектов глобального потепления. В исследовании использованы данные за период с 1957 по 2010 из двух (Европейского Центра Среднесрочного Прогнозирования Погоды и Национального управления океанических и атмосферных исследований США) проектов реанализа за период 20-го века и глобального архива данных об осадках Центра Климатических Исследований Великобритании. Результаты совместного анализа процессов многолетней эволюции полей (осредненных по зимнему и летнему сезонам) ряда характеристик климата Средиземноморского региона свидетельствуют о существенности роли, являющегося следствием антропогенного глобального потепления, возрастания приземного давления в субтропиче-

ских районах Восточной Атлантики и северной Африке в наблюдавшихся изменениях в количестве осадков в Средиземноморском регионе. Указанное изменение в поле приземного давления привело к интенсификации переноса влажных воздушных масс тропического происхождения над восточной Атлантикой и северной Африкой в направлении Средиземноморского региона. Результаты анализа подтверждают обоснованность сделанных ранее предположений о существенности роли переноса влажных воздушных масс тропического происхождения и процесса формирования атмосферных рек в развитии интенсивных осадков в Средиземноморском регионе и прилегающих к нему районах запада и юго-востока Европы и, в частности, России.

Литература

1. Krichak SO, Feldstein SB, Alpert P, Gualdi S, Scoccimarro E, Yano J-I (2016) Discussing the role of tropical and subtropical moisture sources in extreme precipitation events in the Mediterranean region from a climate change perspective, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16, 269–285, doi:10.5194/nhess-16-269-2016
2. Scoccimarro E., Gualdi, S. and S.O. Krichak (2018) Extreme precipitation events over north-western Europe: getting water from the tropics, *Annals of Geophysics*, Vol 61, No 4 OC449, 2018; doi: 10.4401/ag-7772

Статистическое моделирование региональных изменений климата

Лобанов В.А.¹
Маммедов С.А.¹
Наурузбаева Ж.К.¹
Фань Сяо Цинь¹

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия
lobanov@EL6309.spb.edu

При изучении региональных изменений климата на основе физико-математических моделей возникают проблемы описания подсеточных процессов, которые в глобальных моделях климата параметризуются. С другой стороны, на малой территории усиливается влияние местных или а зональных факторов, что приводит к отличию климатических характеристик на метеостанциях от сглаженных данных реанализа, учитывающих в основном зональные закономерности. В этом случае вполне правомерно для выявления современных изменений климата на региональном уровне применять пространственно-временные статистические модели, включающие:

- статистические модели нестационарного среднего для однородных временных рядов;
- статистические модели внутригодовых колебаний и пространственные статистические модели;
- статистические модели декомпозиции разномасштабного процесса;
- регрессионные региональные зависимости между климатическими индикаторами и климатическими характеристиками.

На уровне рассмотрения простых моделей проявление изменений климата в многолетних временных рядах может быть двух основных видов:

- монотонные изменения в виде тренда или цикла,
- ступенчатые изменения, характеризующие переходы от одного стационарного состояния к другому.

Современное изменение климата дает основание рассмотреть проблему климатических колебаний более детально и представить их в виде композиции циклических составляющих разных временных масштабов. Такой подход реализует принцип суперпозиции или наложения колебаний, имеющих разные периоды и сформированных разными причинами и осно-

ван на концепции неоднородных и нестационарных природных процессов. Для выделения процессов разных временных масштабов разработаны статистические методы декомпозиции, такие как метод «срезки» и метод сглаживания амплитуд циклов.

Для описания внутригодовых изменений может быть предложена линейная статистическая модель, связывающая данные последовательно каждого конкретного года с климатической внутригодовой функцией. В такой модели принимается, что вид функции годового хода одинаков для рассматриваемой метеостанции в каждый год, а отличаются только параметры этой функции. Тогда должна иметь место прямолинейная зависимость между климатической (многолетней) функцией годового хода и функцией годового хода в каждый год. Аналогичный подход предлагается и при построении пространственной модели при существовании линейной зависимости между полем отдельных лет и климатическим полем. Коэффициенты этих линейных ежегодных зависимостей имеют хорошо выраженную интерпретацию.

Применение предлагаемых статистических моделей реализовано при исследовании региональных изменений климата для разных по климатическим условиям и протяженности регионов Земли, включая:

- определение зон климатического риска на территории всей России при современном изменении климата;
- детальный анализ и установление проявления современных изменений климата на территории Костромской области как примера небольшого региона;
- оценку современного и будущего климата Аравийского полуострова, как пример наиболее жаркого и сухого региона планеты;
- оценку современного и будущего климата Якутии, как пример наиболее холодного региона планеты.

Мониторинг и прогноз изменений климата в Приволжском федеральном округе

Переведенцев Ю.П.¹

Шанталинский К.М.¹

Шерстюков Б.Г.²

Гурьянов В.В.¹

Николаев А.А.¹

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

² Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации – Мировой центр данных, Обнинск, Россия
Ypereved@kpfu.ru

Цель настоящего доклада обобщить результаты исследований за последние годы в области изучения изменений современного климата от поверхности Земли до уровня 0,1 гПа (~ 64 км) на территории Приволжского федерального округа (ПФО) на фоне происходящего глобального потепления, построить регрессионную модель для прогноза температуры воздуха на 30 лет вперед, рассмотреть результаты прогнозирования температуры с использованием климатических моделей проекта CMIP5 до конца XXI века.

В качестве исходных данных для проведения исследований использовались результаты многолетних наблюдений на метеостанции Казань, университет (1828-2018 гг.), данные приземной температуры воздуха (ТВ) по всему земному шару (1850-2018 гг.) университета Восточной Англии (CRU), реанализов NCEP/NCAR (1848 – 2016 гг.), ERA – Interim (1979-2016 гг.) на 27 уровнях тропо-стратосферы до высоты 64 км, данные о температуре поверхности океана (ТПО) в узлах сетки с разрешением 2x2° и 117 метеостанций (1955-2016 гг.) на территории ПФО.

Основные результаты сводятся к следующим положениям:

1. Построенные вертикальные профили коэффициента наклона линейного тренда (КНЛТ) ТВ для СП в целом, широтных зон, секторов, над сушей и океаном свидетельствуют о вертикальном расслоении атмосферы по характеру временного изменения температуры: в тропосфере выявлена тенденция ее повышения, в нижней и средней стратосфере понижения и в районе стратосферы вновь роста.

2. Выявлено долготное различие в поведении ТВ: в Азиатско-Тихоокеанском секторе умеренной зоны в слое 10-40 км в холодное время года отмечается значительная положи-

тельная аномалия ТВ относительно всей умеренной зоны. При этом в тропосфере и на высоте выше 40 км наблюдается отрицательная аномалия.

3. Коэффициент корреляции, рассчитанный между значениями ТВ на различных уровнях, при переходе через тропопаузу становится отрицательным, его поведение в атмосфере в зимний период свидетельствует о волновом механизме взаимодействия между слоями атмосферы.

4. Выявлены тенденции изменения температуры в ПФО в период 1955-2018 гг. и оценены экстремальные ситуации.

Согласно расчетам по 7 отобранным моделям CMIP 5, в конце XXI в. по жесткому сценарию RCP 8.5 ТВ в Казани может повыситься в январе примерно на 8 °С, а в июле на 4 °С, однако по «мягкому» сценарию RCP 4.5 это повышение к 2050 г. составит всего лишь 0,5 °С.

Во втором подходе вначале были оценены дальние связи по асинхронным коэффициентам корреляции между ТПО в каждом узле географической сетки и ТВ в Казани с запаздыванием от 1 до 36 лет. Анализ расчетов показал, что долгопериодные колебания ТВ в Казани с высокой достоверностью ($r = 0,69$) повторяют те колебания ТПО, которые происходили в Южном океане в районе южного циркумполярного океанического течения Западных ветров, что было положено в основу построенного прогностического регрессионного уравнения, согласно которому в ближайшие годы температура воздуха в Казани будет ниже прогностической нормы (5,1 °С) на 0,3-0,5°С, в 2028-2037 гг. она поднимется выше этой нормы на 0,4-0,5°С, а к 2045 г. вновь станет ниже этой нормы на 0,3-0,4°С.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 18-05-00721, 18-45-160006).

Численное моделирование влияния глобальных периодических колебаний на состав и структуру арктической стратосферы

Смышляев С.П.¹
Погорельцев А.И.¹
Ермакова Т.С.¹
Яковлев А.Р.¹
Галин В.Я.²

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия
² Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия
smyshl@shu.ru

Предметом исследования является влияние периодических колебаний, таких как квазидвухлетние осцилляции зонального ветра, Южное колебание (Эль-Ниньо/Ла-Нинья) и осцилляция Маддена-Джулиана на процессы в арктической стратосфере. Целью исследования является изучение степени влияния изменчивости фаз периодических колебаний, которые происходят, главным образом, в тропиках на устойчивость циркумполярного вихря, температуру и содержание озона в арктической стратосфере. Методами исследования является численное моделирование с использованием глобальной химико-климатической модели (ХКМ) ИВМ РАН – РГГМУ и модели средней и верхней атмосферы (МСВА), а также анализ данных ре-анализа. Для исследования влияния южного колебания выполнялись численные эксперименты с ХКМ для периода с 1979 по 2018 годы, в которых влияние периодических колебаний учитывалось заданием температуры поверхности океана по данным реанализа ERA-Interim. Расчеты изменчивости устойчивости циркумполярного вихря, температуры стратосферы и содержания озона сравнивались с данными измерений и реанализа для лет с тремя фазами Южного колебания (Эль-Ниньо, Ла-Нинья и нейтральная). Результаты проведенных численных экспериментов позволили определить, что явление Эль-Ниньо, в основном, предшествует малоустойчивому арктическому циркумполярному вихрю с относительно теплой стратосферой и высоким содержанием озона в конце зимы –

начале весны, тогда как явление Ла-Нинья чаще всего предшествует устойчивому циркумполярному вихрю с низкими температурами и пониженным содержанием озона в арктической стратосфере. Выполнены оценки влияния Эль-Ниньо Южного Колебания (ЭНЮК) на средний зональный ветер, температуру и стационарные планетарные волны (СПВ) в средней атмосфере внетропических широт Северного полушария в зимние месяцы с использованием модели средней и верхней атмосферы (МСВА) и данных реанализа MERRA, а также проведено исследование влияния ЭНЮК на температуру и озон в полярных районах во время весенней перестройки циркуляции стратосферы. В соответствии с таблицами индекса MEI были выбраны годы с фазой Эль-Ниньо (1983, 1987, 1992, 1993, 1998) и с фазой Ла-Нинья (1989, 1999, 2000, 2008, 2011). В первом случае (исследование в условиях зимы) композиты были построены с использованием модельных ансамблевых расчетов (10 прогнозов для каждой фазы ЭНЮК) и по данным MERRA в условиях различных фаз ЭНЮК. Во втором случае (исследование внутрисезонной и межгодовой изменчивости температуры и концентрации озона в весенние месяцы) исследование проводилось на основе анализа данных ретроспективного анализа MERRA двух лет: 2010 (Эль-Ниньо) и 2011 (Ла-Нинья).

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (РНФ), проект 19-17-00198.

Горбаренко Е.В.¹

¹ Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
catgor@mail.ru

Основное региональное проявление изменения климата в Московском регионе выражено в показателях термического режима. Важным фактором его формирования является колебание потоков солнечной и длинноволновой радиации, приходящих к земной поверхности. С 1954 года в Метеорологической обсерватории при кафедре метеорологии и климатологии Географического факультета МГУ (МО МГУ) проводятся непрерывные наблюдения за радиационными параметрами атмосферы. Перечень наблюдений и действующих приборов приведен на сайте МО МГУ (www.momsu.ru). На основе этих наблюдений определены климатические нормы и оценены пределы (суточной, годовой, межгодовой) изменчивости продолжительности солнечного сияния, суммарной и отраженной интегральной солнечной радиации, радиационного баланса, а также факторов, определяющих эту изменчивость (продолжительность солнечного сияния, высота Солнца, условия облачности, прозрачность атмосферы, альbedo подстилающей поверхности). Средние месячные значения балла общей облачности в течение года меняются от 7,3 балла в августе до 9,1 балла в ноябре и декабре, а нижней – от 4,6 балла в мае до 8,1 балла в ноябре, месячные значения ПСС изменяются от 19 ч. в декабре до 286 ч. в июне-июле. Средние суточные значения аэрозольной оптической толщины лежат в пределах от 0,01 до 3,29; средние месячные от 0,01 до 1,43; средние годовые от 0,10 до 0,35. В соответствии с внутригодовой изменчивостью этих факторов максимум в годовом ходе месячных сумм приходящих потоков радиации приходится на июнь-июль, когда высота Солнца и продолжительность дня максимальны, а облачность и число дней без Солнца минимальны, минимум – на декабрь. В годовом ходе отраженной радиации наряду с летним максимумом отмечается весенний. Весенний максимум наблюдается в марте-апреле, когда суммарная радиация прибывает пропорцио-

нально росту высоты Солнца, а альbedo подстилающей поверхности при сохранении снежного покрова, остается высоким. В течение большей части года радиационный баланс имеет положительное значение. Устойчивая тенденция уменьшения числа дней с отрицательной суточной суммой радиационного баланса стала одной из главных проявлений в современных изменениях радиационного климата Москвы. Месячные суммы радиационного баланса отрицательны в ноябре-феврале, а иногда – в октябре-марте. В эти месяцы эффективное излучение в 1,5-2,7 раза превышает поглощенную радиацию. Наибольшее отрицательное значение В (-72 МДж/м²) отмечено в феврале 1969 г., а наибольшее положительное (374 МДж/м²) – в июле 2010 г.

В последние десятилетия в многолетних изменениях радиационных параметров атмосферы в Москве наметились новые тенденции, отличающиеся от тенденций, отмеченных в XX веке. В настоящее время можно утверждать, что для некоторых параметров данные тенденции значимы, сохраняются на протяжении длительного периода и, следовательно, являются климатическими изменениями. К таким изменениям можно отнести увеличение влагосодержания атмосферы, продолжительности солнечного сияния, прямой радиации и ее доли в суммарном потоке, противоизлучения атмосферы, радиационного баланса; уменьшение рассеянной солнечной радиации, длительности периода со снежным покровом, альbedo. На радиационный режим современного периода существенно повлияли уменьшение аэрозольной оптической толщины атмосферы и уменьшение количества облаков нижнего яруса.

Большая работа по систематизации представленных результатов наблюдений была проделана совместно с Галиной Михайловной Абакумовой и Ольгой Александровной Шиловцевой, безвременно ушедшими из жизни в 2017 году.

Атмосферные засухи на юге Сибири

Воропай Н.Н.^{1,2}

Рязанова А.А.¹

Дюкарев Е.А.^{1,3}

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

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

³ Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

voropay_nn@mail.ru

В условиях современных климатических изменений актуальным является мониторинг экстремальных природно-климатических явлений, к числу которых относятся засухи. Засуха означает временное понижение влажности окружающей среды по отношению к ее среднему состоянию. Ввиду сложной природы засухи обычно ограничиваются изучением одной из ее сторон, проявляющейся или в атмосфере, или в почве. Для количественной оценки засух используют различные гидротермические индексы, представляющие собой в большинстве случаев, сочетания величин температуры воздуха и сумм атмосферных осадков.

В работе проведен сравнительный анализ часто используемых российских и международных количественных показателей засушливости – гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК), индекса засушливости Педя (S), стандартизированного индекса осадков (SPI) и стандартизированного индекса осадков и испаряемости (SPEI). Территория исследования – Южная Сибирь (50-65° с.ш., 60-120° в.д.).

Анализ проводился с использованием веб-ГИС «КЛИМАТ» (<http://climate.scert.ru>). В качестве исходных данных для расчета индексов использовались суточные данные метеостанций по температуре воздуха и суммам атмосферных осадков, данные реанализа ERA Interim в узлах сетки с шагом 0,75×0,75°, скорректированного по данным метеорологических станций, с 1979 по 2018 годы. Расчет и анализ проводились для теплого периода года (май-сентябрь), отдельно для каждого месяца.

Синхронность изменения рассматриваемых индексов засушливости подтверждается высокими коэффициентами корреляции между

ними. Однако характеристики выявленных с помощью указанных индексов экстремальных событий в отдельные годы (интенсивность, продолжительность засухи) не всегда совпадают. Для определения наиболее репрезентативного индекса засушливости на территории юга Сибири в анализе были использованы многолетние ряды характеристик растительности – нормализованный разностный индекс растительности (NDVI). Исходная информация – данные MODIS (MOD13C2: Vegetation Indices Monthly L3 Global) с 2000 по 2017 год с пространственным разрешением 0,05×0,05°. Оценка изменений NDVI в природных комплексах проводилась с учетом карты подстилающей поверхности. Карта – продукт MODIS (MCD12C1: Land Cover Type Yearly Global), верифицированный по данным натурных наблюдений и экспертной оценки. Нами рассмотрены статистические характеристики NDVI для основных типов подстилающей поверхности. Наиболее стабильно в течение лета ведет себя NDVI на болоте, изменяясь в среднем за период исследования от 0,58 в мае до 0,71 в июле, уменьшаясь затем к сентябрю до 0,64. Чуть больше вариабельность NDVI в темновойном лесу (0,64-0,81). Самая большая изменчивость NDVI на пойменных лугах (0,46-0,81) и пашнях (0,51-0,79). Во всех рассматриваемых ландшафтах максимальная амплитуда межгодовых колебаний наблюдается в мае (от 0,06 на болоте до 0,39 в лиственном лесу). При сравнении индексов растительности и гидротермических индексов однозначных выводов не получено, что может быть объяснено отсутствием в рассмотренных гидротермических индексах почвенной составляющей, введение которой может существенно изменить результат.

Опасные погодные явления и «острова тепла» в крупнейших городах Индии и России

Локощенко М.А.^{1,2,3}

Алексеева Л.И.¹

Еланский Н.Ф.²

Енукова Е.А.³

Богданович А.Ю.¹

Гоуда К.Ч.⁴

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

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

³ Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия

⁴ CSIR Fourth Paradigm Institute (C-MMACS), Bangalore, India
loko@geogr.msu.ru

Анализ опасных явлений, а также городских «островов тепла» в Индии служит важным дополнением имеющихся данных о климате тропиков и его современных изменениях. Сравнение этих явлений в Индии и России позволяет полнее исследовать отличия условий тропиков от умеренных широт. Шквалы в Московском регионе отмечаются крайне редко; за последние десятилетия их случаи единичны (1998, 2001, 2010, 2017, 2018 гг.). Максимальный порыв ветра V_{\max} составил во Внуково 30 м/с 29 мая 2017 г. В Индии в 2013–2015 гг. было отмечено 160 шквалов с грозами. Наибольшее значение V_{\max} составило 33,3 м/с в штате Гуджарат 13 марта 2015 г. Ещё только четыре раза, в апреле 2013 и мае 2014 г., V_{\max} превысил 30 м/с, и ещё восемь раз – 25 м/с. Шквалы в Индии отмечаются лишь в предмуссонный период с середины марта до конца июня, тогда как в Московском регионе границы этого явления во времени шире: по данным последних 35 лет – с конца апреля до конца июля, но возможны в течение всего тёплого сезона. В суточном ходе повторяемость шквалов и в Индии, и в России наименьшая утром, а наибольшая – во второй половине дня или вечером вследствие наиболее сильной в это время термической конвекции. Таким образом, основные различия в условиях Московского региона и Индии заключены в календарных границах этого явления в годовом ходе, тогда как в значениях V_{\max} при шквалах очевидных различий не видно: случаи 30 м/с и более крайне редки.

Городской «остров тепла» Бангалора выражен слабо. Интенсивность его в поле минимальной температуры воздуха ΔT_{\min} по данным двух станций, центра города и старого аэро-

порта на окраине, в среднем за 1975–2003 гг. составляет лишь 0,4 °C (в Москве $\sim 1,5 \pm 2,0$ °C). В годовом ходе «остров тепла» Бангалора почти не проявляется во время летнего муссона с июня по август ($\Delta T_{\min} < 0,1$ °C); затем его интенсивность устойчиво растёт вплоть до марта (1,1 °C), после чего резко уменьшается к июню. С 1975 до 2003 гг. «остров тепла» Бангалора усилился: среднегодовое значение ΔT_{\min} устойчиво росло со средней скоростью 0,01 °C/год. В поле максимальной температуры T_{\max} по данным 8 станций (4 городских и 4 сельских) «остров тепла» не выражен: напротив, в среднем T_{\max} обычно больше за городом – возможно, вследствие городской дымки, экранирующей солнечную радиацию; статистически достоверных изменений ΔT_{\max} в годовом ходе нет. Данные спутников Terra и Aqua о температуре поверхности в пределах города и в окружающей местности (область сравнения задана прямоугольником с центром в Бангалоре площадью 10000 км²) доступны лишь с октября по март, когда облачность мала. Согласно этим данным, «остров тепла» в поле температуры поверхности T_n во время пролётов спутников (перед полуднем) слабо проявляется лишь по окончании муссона в октябре. В ноябре ΔT_n близка к нулю, а с декабря по март отрицательная ($-2 \div -3$ °C), что означает «остров холода» в поле T_n . Возможными причинами слабо выраженного «острова тепла» Бангалора служат его возвышенное положение по сравнению с окружающей местностью, значительное озеленение города, а также плотная застройка в пригородной зоне.

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ № 18–55–45012 и РНФ № 16–17–10275.

Исследование влияния Эль-Ниньо на стратосферу Арктики

Варгин П.Н.¹
Коленникова М.А.²

¹ Центральная аэрологическая обсерватория,
Долгопрудный, Россия

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

Климатическое явление Эль-Ниньо влияет на циркуляцию атмосферы, океана, тропическую и внетропическую стратосферу (Domeisen и др., 2018). Так как период регулярных наблюдений ограничен 50-60 годами, а Эль-Ниньо наблюдается нерегулярно, использование расчетов климатических моделей позволяет значительно расширить период исследований.

Влияние теплой и холодной фазы Эль-Ниньо на стратосферу Арктики в зимний период анализировалось с использованием пяти 50-летних расчетов 5-й версии совместной климатической модели ИВМ РАН, имеющей улучшенное вертикальное разрешение в верхней стратосфере и нижней мезосфере: 73 вертикальных уровня от поверхности до 0,2 гПа (Володин и др., 2017). Анализируемые периоды с 1965 по 2014 г. завершают расчеты для исторического климата с 1850 г., проведенные согласно требованиям CMIP6. Анализ композитов показывает, что в период теплой фазы Эль-Ниньо температура стратосферы Арктики теплее, стратосферный полярный вихрь слабее, амплитуда волны с зональным числом $k=1$ больше, а $k=2$ меньше, чем во время холодной фазы Ла-Нинья, что соответствует оценкам, выявленным с использованием данных реанализа (Ермакова и др., 2019; Domeisen и др. 2019).

Далее анализировались различия влияния Восточно-Тихоокеанского (ВТ) и Центрально-Тихоокеанского Эль-Ниньо (Модоки) на стратосферу Арктики с использованием расчетов для периода с 1950 по 2005 г. шести совместных климатических моделей

(MRI-CGCM3, CNRM-CM5, IPSL, CMCC-CMS, CCSM4, MIROC5) проекта CMIP5 и отобранных, как хорошо воспроизводящие эти две теплые фазы Эль-Ниньо.

С использованием регрессионного анализа среднемесячных аномалий геопотенциала на уровне давления 70 гПа на индексы E и C, рассчитанные из временных коэффициентов ЭОФ 1-2 аномалий температуры поверхности тропического Тихого океана согласно Takahashi и др., (2011), выявлены особенности отклика нижней стратосферы Арктики на два типа теплой фазы Эль-Ниньо.

Анализ композитов, составленных из событий ВТ и Эль-Ниньо Модоки, показал, что:

1. В нижней – средней стратосфере Арктики в первой половине зимы температура выше на несколько градусов, а скорость среднезонального ветра слабее в сезоны ВТ Эль-Ниньо по сравнению с сезонами Эль-Ниньо Модоки. Соответствующее различие в данных реанализа NCEP имеет сравнимый характер, однако выражено сильнее.

2. Амплитуда волны с зональным числом $k=1$ в средней – нижней стратосфере Арктики в сезоны ВТ Эль-Ниньо немного больше, чем во время Эль-Ниньо Модоки в декабре-январе, но меньше в феврале-марте. Амплитуда волны $k=2$ в средней - нижней стратосфере Арктики во время ВТ Эль-Ниньо больше, чем во время Эль-Ниньо Модоки в январе. В данных реанализа различие в амплитудах волн $k=1-2$ между ВТ и Эль-Ниньо Модоки со сравнимыми значениями наблюдается в декабре.

Литература

1. Володин Е.М. и др. Воспроизведение современного климата в новой версии модели климатической системы ИВМ РАН. Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2017.
2. Domeisen D. и др. The Teleconnection of El-Nino Southern Oscillation to the Stratosphere. Review of Geophysics, 2018.
3. Eрмакова Т. и др. Simulation of the ENSO influence on the extra-tropical middle atmosphere. Earth, Planets and Space, 2019.
4. Takahashi K. и др. ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño. GRL, 2011.

Многолетняя изменчивость коротковолновой солнечной радиации на территории Северной Евразии

Вольперт Е.В.¹
Чубарова Н.Е.¹
Галин В.Я.²
Смышляев С.П.³

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
² Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия
³ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия
elena.volpert@yandex.ru

Солнечная коротковолновая радиация (КР) играет немаловажную роль в формировании условий существования человека и окружающей его среды. Для изучения многолетней изменчивости КР и вклада различных факторов в ее вариации с середины XX века на территории Северной Евразии, ограниченной 40-й параллелью, использовались данные спутниковых [1] и наземных [2] наблюдений, модель реконструкции КР, основанная на принципе, изложенном в [3], а также результаты моделирования с использованием химико-климатической модели, разработанной совместно ИВМ и РГГМУ (ХКМ ИВМ-РГГМУ) [4].

Сравнение среднего облачного пропускания КР, полученного по ХКМ ИВМ-РГГМУ, показало в целом удовлетворительное согласие с данными модели реконструкции и наземными измерениями. В то же время вы-

делен регион морских акваторий, который характеризовался некоторым занижением значений по ХКМ ИВМ-РГГМУ примерно на -9%.

Было получено, что превалирующую роль в формировании трендов КР играет облачный фактор, однако в ряде регионов Западной Сибири и Монголии вклад аэрозольного фактора преобладает. Главным образом, это происходит за счет массовых лесных пожаров и пыльных бурь.

В теплый период года выявлен общий тренд КР для большей территории Северной Евразии, характеризующийся увеличением приходящей КР, начиная с 1980-х гг., за исключением северо-запада Европы. Обсуждаются различия в многолетней изменчивости облачного пропускания КР по данным измерений и моделирования.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-05-00700.

Литература

1. Архив срочных наблюдений NOAA NCEI (National Centers for Environmental Information) <https://www.ncdc.noaa.gov/isd>.
2. Спутниковых измерений аэрозольной оптической толщины на длине волны 550 нм MODIS (collection 6.1) с 1° разрешением <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/>.
3. Chubarova N. Y. UV variability in Moscow according to long-term UV measurements and reconstruction model // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2008. – Vol. 8, no. 12. – P. 3025-3031.
4. Galin V. Ya, Smyshlyaev S. P., Volodin E. M. Combined chemistry-climate model of the atmosphere // Izv. Atmospheric and Oceanic Physics. – 2008. – Vol. 43, no. 4. – p. 399.

Долгопериодная изменчивость атмосферы средних широт: связь с межгодовыми климатическими модами

Гаврилов А.С.¹
Мухин Д.Н.¹
Лоскутов Е.М.¹
Фейгин А.М.¹

¹ Институт прикладной физики РАН,
Нижний Новгород, Россия
gavrilov@ipfran.ru

Выявление механизмов долгопериодной изменчивости атмосферы является одной из важных проблем в изучении климата средних широт. В настоящей работе проводится анализ связи атмосферы с главными межгодовыми и декадными климатическими модами, извлеченными из данных глобальной температуры поверхности океана (ТПО). Данный анализ состоит из двух этапов. Во-первых, к ежемесячным временным рядам аномалий ТПО на интервале с 1960 по 2014 год применяется метод разложения на оптимальные линейные динамические моды [1, 2]. При этом в процессе разложения учитывается отдельно вклад двух внешних воздействий: тренда глобальной концентрации углекислого газа в атмосфере и временных рядов количества солнечных пятен, характеризующего солнечную активность. Показано, что данное разложение эффективно выделяет временные масштабы, доминирующие в динамике ТПО: одна часть

полученных мод описывает, главным образом, декадную изменчивость, связанную с Тихоокеанским Декадным Колебанием, другая – межгодовую изменчивость Эль-Ниньо – Южного Колебания и его дальних связей с Индийским и Атлантическим океанами. Во-вторых, исследуется связь полученных климатических мод непосредственно с изменчивостью атмосферы. Для этого используется регрессия полей различных атмосферных характеристик (геопотенциальных высот на различных уровнях в тропосфере, приземной температуры и т.д.) на сдвинутые по времени относительно этих полей ряды найденных климатических мод. Выявленные в результате связи атмосферы с данными модами и их возможные приложения к прогнозу межгодовой изменчивости климата обсуждаются в работе.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 19-02-00502.

Литература

1. Gavrilov, A., Mukhin, D., Loskutov, E., Volodin, E., Feigin, A., & Kurths, J. (2016). Method for reconstructing nonlinear modes with adaptive structure from multidimensional data. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 26(12), 123101.
2. Gavrilov, A., Seleznev, A., Mukhin, D., Loskutov, E., Feigin, A., & Kurths, J. (2019). Linear dynamical modes as new variables for data-driven ENSO forecast. *Climate Dynamics*, 52(3–4), 2199–2216.

Оценка будущих климатических изменений с учетом влияния естественных факторов

Кононова Н.К.¹
Морозова С.В.²
Полянская Е.А.²

¹ Институт географии РАН, Москва, Россия
² Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н.Г. Чернышевского,
Саратов, Россия
swetwl@yandex.ru

В настоящее время перед исследователями в области климата остро стоят вопросы: как будут развиваться процессы в земной климатической системе (ЗКС) и окажутся ли эти изменения необратимыми? Однозначных ответов на них нет. Ожидаемые климатические изменения, регулярно публикуемые в ИРСС, указывают на дальнейший рост температуры [1]. Наиболее вероятный ход температуры оценивается по разным моделям (ансамблевый прогноз) при различных сценариях роста парниковых газов. Особенностью модельных расчетов является то, что они показывают монотонное изменение температуры.

На самом же деле изменения температуры (глобальной, полусферной и т.п.) происходят циклически. Очевидно, цикличность формируется под действием естественных факторов. Оценить влияние их исключительно сложно. В настоящем исследовании приводится попытка рассмотреть действие одного естественного фактора и его влияние на климатические процессы. В качестве такого фактора выбран структурный элемент общей циркуляции атмосферы глобального масштаба – планетарная высотная фронтальная зона (ПВФЗ) и две ее характеристики – площадь и интенсивность. Рассматривалось сечение ПВФЗ на среднем уровне тропосферы.

Роль ПВФЗ в климатических процессах заключается в том, что она разделяет околополярные холодные области с отрицательными аномалиями среднеполусферной температуры от более южных районов с положительными аномалиями и сглаживает контрасты температу-

р между высокими и низкими широтами. Оказывается интересным посмотреть, реагирует ли этот глобальный объект циркуляции на изменения, происходящие в (ЗКС). Для исследования такого влияния рассматривались выбранные характеристики ПВФЗ в два естественных климатических периода состояния ЗКС – период стабилизации и вторая волна глобального потепления. Ранее авторами настоящего исследования были выделены естественные климатические периоды состояния ЗКС и показана статистическая значимость этих изменений [2].

Анализ характеристик ПВФЗ в эти климатические периоды позволил установить, что климатическое изменение интенсивности ПВФЗ аналогично сезонному: в теплый период (сезон) ее интенсивность ослабевает, в холодный – возрастает. Климатическое изменение площади ПВФЗ противоположно сезонной динамике. Если от лета к зиме ПВФЗ продвигается к северу и площадь ее сокращается, то от периода стабилизации ко второй волне глобального потепления наблюдается расширение площади ПВФЗ. Таким образом, климатическую динамику ПВФЗ можно рассматривать как естественный фактор, действующий в противовес наблюдаемым климатическим тенденциям. На фоне роста температуры продвижение ПВФЗ в более южные широты способствует расширению области отрицательных аномалий температур. Выявленную климатическую динамику ПВФЗ можно рассматривать как отрицательную обратную связь, действующую в земной климатической системе.

Литература

1. Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate change 2013: The physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
2. Morozova SV et al. Variability of the circulation processes in the Lower Volga Region on the background of global climate trends // IOP Conference Series: Earth and Environmental. 2018. Volume 107. 2018. P.1-8.

Вклад различных типов синоптических процессов в формирование погодно-климатической изменчивости на внутрисезонных масштабах времени (на примере юго-востока ЕТР)

Кононова Н.К.¹
Морозова С.В.²
Полянская Е.А.²

¹ Институт географии РАН, Москва, Россия
² Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия
swetwl@yandex.ru

Глобальные климатические тенденции по-разному проявляются в различных регионах и в различные сезоны [3, 4]. В связи с этим становится необходимым исследовать климатические изменения на внутрисезонных масштабах времени [2]. Региональные и внутрисезонные особенности погодно-климатических условий формируются режимом общей циркуляции атмосферы (ОЦА). Для выявления особенностей (ОЦА) использовалась региональная типизация [1].

Исследовалась повторяемость синоптических процессов в месяцы зимнего и летнего сезонов. Исследование проводилось для двух климатических периодов – стабилизации (первый) и второй волны глобального потепления (второй) [5].

Для обоих сезонов от периода стабилизации ко второй волне глобального потепления наблюдается увеличение повторяемости процессов циклонической деятельности на арктическом фронте и увеличение числа случаев присутствия в регионе малоградиентных и деформационных полей. Также в оба сезона от первого климатического периода ко второму уменьшается число циклонов, развитых на полярном фронте и частота воздействия отрогов субтропического максимума.

Сезонные различия заключаются в том, что летом от периода стабилизации ко второй волне глобального потепления наблюдается рост вторжения в регион арктических ядер. Зимой, наоборот, от первого периода ко второму повторяемость этого типа процесса падает.

Внутри сезонов изменение повторяемости типов синоптических процессов от одного периода к другому происходит неоднозначно, особенно зимой. Так характер изменения повторяемости синоптических процессов от первого климатического периода ко второму в декабре существенно отличается от характера изменения из повторяемости в январе и феврале. Если в январе и феврале от периода стабилизации ко второй волне глобального потепления происходит уменьшение повторяемости воздействия арктических антициклонов, то в декабре, наоборот, проявилась тенденция их роста. Для января и февраля от периода стабилизации ко второй волне глобального потепления характерен рост частоты воздействия на регион циклонов, развитых на арктическом фронте и западной периферии зимнего азиатского антициклона, то в декабре наблюдается противоположная тенденция. Выявленные внутрисезонные различия могут послужить уточняющими моментами при региональной детализации долгосрочных прогнозов.

Литература

1. Архангельский В.Л. Региональная синоптика Нижнего Поволжья..Саратов.1968.208 с.
2. Крыжов В.Н. Региональная коррекция для Северной Евразии глобальных сезонных прогнозов Гидрометцентра России // Метеорология и гидрология, 2012.С.5-14.
3. Морозова С.В. Физико-статистический анализ современных климатических изменений в Атлантико-Евразийском секторе зимой (на примере января)//Тр. ГМЦ РФ.Москва,2015.Вып.358. С.88-98.
4. Морозова С.В. Исследование циркуляции атмосферы в Атлантико-Евразийском секторе полушария на фоне настоящих климатических изменений летом/ Изв. Сарат. ун-та. Серия: Науки о земле. 2015. В.2.С.21-24.
5. Morozova SV et al. Variability of the circulation processes in the Lower Volga Region on the background of global climate trends // IOP Conference Series: Earth and Environmental. 2018. Volume 107. 2018. P. 1-8.

Создание базы данных параметров термического комфорта для населения Северной Евразии высокого пространственного и временного разрешения

Константинов П.И.¹

Варенцов М.И.¹

Шартова Н.В.¹

Грищенко М.Ю.¹

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

kostadini@mail.ru

В связи с наблюдаемыми климатическими изменениями, ростом числа экстремальных погодных явлений особую актуальность приобретают вопросы изменения биоклиматической обстановки для здоровья и жизнедеятельности населения как во времени, так и в пространстве. Не менее важным является вопрос получения информации о пространственном распределении показателей биоклиматической комфортности на глобальном/национальном уровне по данным реанализа (сеточных метеорологических данных с глобальным покрытием). В полной мере данный вопрос актуален и для территории Северной Евразии, а значит и Российской Федерации как ее важной составной части.

Для оценки изменения биоклиматической комфортности на территории России (для неё база была создана в первую очередь) были выбраны индексы, основанные на уравнении теплового баланса человека Physiologically Equivalent Temperature (PET) и Universal Thermal Comfort Index (UTCI). В настоящее время это одни из самых распространенных в мировой практике индексов, позволяющие оценить как условия теплового, так и холодового стресса. В качестве исходных данных для расчета индексов биоклиматической комфортности были использованы данные реанализа ERA-Interim с горизонтальным разрешением $0.75 \times 0.75^\circ$ и временным разрешением 3 часа для территории тестового региона (ограниченного координатами 20° в.д. – 170° з.д., $40 - 80^\circ$ с.ш.). Данные использованы для периода с 1 января 1981 по 31 декабря 2010 г. (30 лет), что соответствует стандарту Всемирной метеорологической организации (ВМО) при определении параметров современного климата.

На основе применения разработанной технологии получено пространственное распределение статистических показателей трендов биоклиматических индексов PET и UTCI как для средних значений, так и для повторяемости дней с различным уровнем теплового или холодового стресса по различным месяцам и сезонам года

Согласно UTCI сильный холодовой стресс в зимний период наблюдается на всей территории страны, а высокая повторяемость экстремальных значений ($>70\%$) – только на севере Сибири и Дальнего Востока. Для высоких и экстремальных градаций теплового стресса большую пространственную неоднородность из всех индексов демонстрирует физиологически-эквивалентная температура (PET). Карты повторяемости дней без стресса (как холодового, так и теплового) по градациям UTCI показывают неожиданный результат: максимум таких «безопасных дней» приходится на юг Дальнего Востока (Приморский край и Амурская область).

Пространственная неоднородность трендов изменения значений температуры воздуха, PET и UTCI показывает, что наиболее сильные изменения характерны для летнего периода. В зимний период наблюдается отрицательный тренд условий сильного холодового стресса на западных рубежах России (от северных до южных широт), а тренд повторяемости экстремального холодового стресса (по UTCI) растет в центральных и южных районах Сибири и Дальнего Востока. В дальнейшем подобные данные могут быть использованы для более тщательного анализа влияния климатических изменений на жизнедеятельность человека в различных природных зонах.

Создание сети UHIARC как инструмента исследования городского климата в Арктических широтах

Константинов П.И.¹

Варенцов М.И.^{1,2}

Репина И.А.²

Шувалов С.В.¹

Самсонов Т.Е.¹

Грищенко М.Ю.¹

Езау И.Н.³

Бакланов А.А.⁴

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

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

³ Центр ДЗЗ и изучения окружающей среды им. Ф. Нансена, Берген, Норвегия

⁴ Всемирная метеорологическая организация, Женева, Швейцария
kostadini@mail.ru

К настоящему моменту современная климатология обладает крайне скудной информацией о микроклиматических особенностях городов, расположенных за полярным кругом. До начала XXI века имелись лишь единичные исследования, проведенных на Аляске и показавших существование в зимнее время мощных островов тепла в относительно небольших городах Барроу и Фэрбанксе. Можно ожидать, что в более крупных городах с более плотной застройкой данный эффект будет значительно сильнее. В связи с этим была сформирована основная задача проекта UHIARC (Urban Heat Island Arctic Research Campaign): провести подробное исследование микроклимата в крупных городах севера России (к текущему моменту имеются измерения в Апатитах, Воркуте, Мурманске, Норильске, Надыме, Салехарде и Новом Уренгое), а также установить постоянные системы наблюдений для сбора климатологической информации о городском острове тепла, повторяемости приземных инверсий и их пространственной неоднородности.

Данные работы продолжаются с 2013 г., к настоящему моменту уже получены первые результаты. К 2018 году впервые в истории всех вышеупомянутых городов были измерены пространственные характеристики городского острова тепла. Так в Норильске и в Апатитах разница температур между центром города и окрестностями доходит до 5-8 градусов, в Надыме и Салехарде различия получились более сглаженными.

Более подробный анализ термической неоднородности в Апатитах с привлечением результатов численных экспериментов, проведенных с использованием региональной климатической модели COSMO-CLM, сопряженной со специализированной субмоделью городской подстилающей поверхности, показал приблизительно равный вклад влияния рельефа и городского острова тепла в формирование зимней температурной аномалии. Согласно предварительным результатам, подобные фундаментальные исследования теоретически могут иметь и прикладной эффект.

С 2015 г. в Апатитах, Надыме и Салехарде проводится пилотный эксперимент по непрерывному измерению характеристик городского острова тепла, итогом которого уже стали данные о сезонной климатологии явления. Среднее значение термической аномалии в зимний период, например в Надыме составляет порядка 1°C. В зимнем сезоне 2018/2019 гг. в Апатитах и Надыме сеть была укомплектована комплектом датчиков для регистрации мощности приземных температурных инверсий, а также были впервые проведено зондирование нижнего 100-метрового слоя атмосферы с помощью измерительной системы, установленной на квадрокоптере. Предварительные результаты показали в районе г. Апатиты пространственную неоднородность мощности инверсии, по-видимому, в основном связанную с влиянием города (отепляющего влияния городской застройки: острова тепла).

Изменчивость приповерхностной температуры на территории суши и акваториях океанов за период современного глобального потепления

Корнева И.А.¹

Щенин М.В.¹

Ранькова Э.Я.^{1,2}

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

² Институт географии РАН, Москва, Россия
comissa@igce.ru

В работе приводятся оценки изменчивости приповерхностной температуры на территории суши и акваториях океанов в глобальном и региональном масштабах. Для анализа использованы следующие данные (в виде аномалий относительно 1981-2010 гг.):

- SAT – температура приземного воздуха; ряды получены осреднением данных наблюдений на 3288 станциях (массив T3288) по методике ФГБУ «ИГКЭ»; для сравнения приводятся также данные CRUTEM 4.6.0.0 (MetOffice: <http://www.MetOffice.gov.uk>)

- SST – температура поверхностного слоя воды; ряды скачаны с сайта MetOffice, версия NadSST 3.1.1.0.

По данным о приповерхностной температуре за весь период измерений самым теплым на сегодняшний день остается 2016 год, за ним – 2015 и 2017 (в Южном полушарии – 1998), а период 2015-2018 гг. стал самым теплым 4-летним периодом с начала инструментальных наблюдений.

Современное потепление происходит с разной интенсивностью над континентами и на поверхности океанов: в среднем за год потепление на суше и в Северном и в Южном полушариях происходит примерно в 2 раза быстрее, чем на поверхности океанов. Максимальная скорость потепления на суше в Северном полушарии происходит весной (+0,36-0,37 °C/10 лет), а в Южном – осенью (+0,20 °C/10 лет); на поверхности океанов максимум в Северном полушарии приходится на лето (+0,22 °C/10 лет), а в Южном – на весенний сезон (+0,12 °C/10 лет).

Оценки интенсивности потепления в разных факторных подгруппах показывают, что:

- скорость современного потепления у поверхности суши выше, чем на поверхности оке-

анов в 1,2-2,4 раза, в зависимости от сезона и полушария.

- Современное потепление на суше протекает в Северном полушарии в 1,7-2,6 раза быстрее, чем в Южном.

- Современное потепление (1976-2018) ускорилося в 1,2-3,5 раза по сравнению с потеплением столетия (1919-2018).

Пространственное распределение локальных оценок трендов среднегодовой приповерхностной температуры за период 1976-2018 гг. показывает, что на территории Земного шара практически повсеместно наблюдается потепление.

При сезонных оценках количество областей с тенденцией к похолоданию возрастает, а именно, кроме областей похолодания в Антарктиде и Южном океане, наблюдаются еще и области практически нулевого или слабо отрицательного тренда на континентах Северного полушария.

Отмечаются некоторые общие тенденции, характерные для всех месяцев года при таких оценках пространственного распределения коэффициентов тренда в динамике:

- Потепление не проявляется повсеместно в каждой точке географической сетки на протяжении всего года. Во все месяцы наблюдаются крупные области отрицательных трендов на континентах Северного полушария, а иногда и Южного полушария.

- При оценках за периоды с конечным годом после 2000 г. локальные величины как положительных, так и отрицательных коэффициентов тренда уменьшаются, области похолодания становятся меньше как по площади, так и по интенсивности.

Исследование ветровой, термической и турбулентной структуры нижней тропосферы Московского региона по данным радиозондирования и акустического зондирования

Локощенко М.А.^{1,2}

Бойко А.П.¹

Фоменко Л.В.³

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

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

³ Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный, Россия
loko@geogr.msu.ru

По данным акустического зондирования содарами «ЭХО-1» и «MODOS» в Метеорологической обсерватории МГУ и радиозондирования в Долгопрудном последних лет исследованы показатели ветрового режима, термической стратификации, а также турбулентной структуры нижнего километрового слоя воздуха в середине ночи. Получены уточнённые данные с высоким пространственным разрешением о годовом ходе сдвига ветра и величине вертикального градиента температуры γ . Так, наибольшие по абсолютной величине ночные значения γ в приземном слое воздуха наблюдаются весной и летом (с апреля по август) вследствие более частых и более интенсивных в это время приземных инверсий.

Отдельной задачей явился анализ градиентного числа Ричардсона (Ri) и его критического значения. По данным ночных выпусков радиозондов рассчитаны высотные профили Ri в среднем за отдельные месяцы и годы. При отсутствии в отдельных 100-метровых расчётных слоях сдвига ветра и устремлении Ri к бесконечности значение скорости ветра V на верхней границе такого слоя условно считалось равным $(V+0,1)$ м/с, что позволило произвести расчёты Ri с получением его средних значений за продолжительные промежутки времени. Данный подход методически оправдан с учётом реальной погрешности измерений радиозондами $V: \pm 1$ м/с.

Значения Ri в целом растут с высотой, однако эта функция немонотонна: на высотах 300–400 м обычно наблюдается локальный максимум Ri , предположительно связанный с вершиной приземных инверсий. Получено, что в нижнем 200-метровом слое воздуха средние значения Ri весной и летом больше, чем осенью и зимой (видимо, вследствие более интенсивных весной и летом приземных инверсий), а выше 200 м это соотношение обратное (вероятная причина – более мощные приземные инверсии осенью и зимой).

Анализ реальных критических значений Ri проведён путём сравнения его рассчитанных профилей за каждую отдельную ночь с данными зондирования содаром «ЭХО-1» в МГУ, показывающими фактический предел развития по высоте мелкомасштабной термической турбулентности. По результатам сравнения оказалось, что вплоть до значений Ri порядка нескольких десятков мелкомасштабная турбулентность ещё существует. Пороговое значение числа Ричардсона, при котором турбулентность по содарным данным сходит на нет (эхо-сигнал на содарной записи отсутствует), составляет около 100. Методической проблемой остаётся значительная удалённость пунктов наблюдений друг от друга: 24 км. Однако пригородное положение Долгопрудного и неплотная городская застройка в районе МГУ позволяют предположить, что условия наблюдений в этих местах в целом близки.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 16–17–10275.

Влияние приподнятых инверсий по содарным данным на состав воздуха в Москве

Локощенко М.А.^{1,2}
Богданович А.Ю.¹
Еланский Н.Ф.²

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

² Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН,
Москва, Россия
loko@geogr.msu.ru

В Метеорологической обсерватории МГУ проводится акустическое зондирование атмосферы содарами «ЭХО-1» (с 1988 г.) и «MODOS» (с 2004 г.). Здесь же, в 80-90 м от обоих содаров, в 2002-2014 гг. работала совместная Экологическая станция ИФА и МГУ, а с 2003 г. и поныне работает одна из 56 автоматических станций контроля загрязнения атмосферы сети ГПБУ «Мосэкомониторинг». Измерения приземного содержания основных газовых примесей на Экологической станции были ежеминутными, на станции сети «Мосэкомониторинг» они производятся в среднем за каждые 20 мин. Накопленные данные позволяют подробно исследовать влияние стратификации (в аспекте наличия задерживающих слоёв приподнятых инверсий) на приземное содержание озона и двуокиси азота. Отдельно рассмотрены два вида приподнятых инверсий, турбулентные структуры которых хорошо прослеживаются на содарной записи (высотно-временной развёртке эхо-сигнала): утренние, или инерционные инверсии (остатки приземных ночных) и долгоживущие инверсии оседания. На примере данных лета 2016 г. получено, что утренние инверсии отмечаются более чем в половине всех дней (в 51 из 92) и существуют в среднем 3 ч; самая долгая такая инверсия отмечалась 6 ч 20 мин 25 июня. Общая продолжительность утренних инверсий составила с июня по август 153 ч из 329 ч с любыми приподнятыми инверсиями, т.е. почти половину времени в общей их выборке. С моментом разрушения утренней инверсии связано резкое ускорение роста приземного O_3 . До разрушения инверсии в среднем по выборке из 46 её эпизодов скорость роста озона составляла $+0,2 \times 10^{-3}$ мг/(м³×мин), а в следующий час возросла до $+0,5 \times 10^{-3}$ мг/(м³×мин). Само по себе разрушение инверсии происхо-

дило в разные дни в промежутке от 07.11 до 11.47, но анализ произведён нами в условном времени с нормированием всех рядов данных на этот момент. С разрушением утренней инверсии связано и скачкообразное уменьшение уровней NO_2 . Оба эффекта отражают усиление вертикального турбулентного обмена.

Напротив, в условиях долгоживущих приподнятых инверсий не выявлено достоверных изменений в приземном содержании обеих этих примесей (исследовано 40 случаев инверсий продолжительностью ≥ 20 ч). Таким образом, само по себе существование инверсии, взятое в отрыве от других факторов (скорости ветра V , растворения в осадках и др.) не приводит ни к устойчивому накоплению NO_2 , ни к устойчивому уменьшению O_3 вследствие его поглощения поверхностью. Следует также учесть ослабление влияния инверсии на больших высотах или при очень малой её мощности. Привлечение к анализу данных содара «MODOS» о V в слое от 40 до 200 м частично объясняет изменения в динамике обеих примесей.

Сверхдолгие приподнятые инверсии обычно наблюдаются в Москве с ноября по февраль и существуют в нижнем 800-метровом слое до пяти дней подряд (рекорд – 119 ч). Отметим также бимодальный вид распределений высот обеих границ приподнятых инверсий, что отражает разное их происхождение: нижняя мода (от 150 до 200 м) в основном представлена сравнительно невысокими утренними инверсиями, тогда как верхняя мода (от 300 до 350 м) отражает инверсии оседания в общей выборке приподнятых инверсий.

Работа выполнена при поддержке РФФ, проект № 16–17–10275. Авторы благодарят Е.А. Лезину за любезно предоставленные данные ГПБУ «Мосэкомониторинг».

Остров тепла в Москве на разных высотах, глубинах и поверхности

Локощенко М.А.^{1,2}
Корнева И.А.³
Енукова Е.А.⁴

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

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

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

⁴ Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия
loko@geogr.msu.su

Городской «остров тепла» – явление, хорошо изученное применительно ко многим крупным городам, особенно в умеренных широтах. Москва является почти идеальным объектом для исследований этого явления благодаря своей простой геометрической форме (близкой к эллипсу в её традиционных границах), плоскому рельефу и отсутствию больших водоёмов. Вековые изменения интенсивности «острова тепла» Москвы по данным наземной сети можно проследить, начиная с 1879 г., когда начались одновременные измерения на двух станциях в её центре (Межевой институт) и в пригороде (Петровско-Разумовское). Традиционная максимальная интенсивность ΔT_{\max} (разность среднегодовой температуры воздуха T в центре города и за его пределами) составляла в Москве почти $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в конце XIX века; $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 1910-х гг., $1,5\div 1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ в середине и в конце XX-го века, и $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в последние годы. Средняя по площади города интенсивность ΔT_{cp} (разность между данными всех городских и сельских станций) составляла $0,7\div 0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ во второй половине XX века и возросла до $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 2010-е годы. Вероятно, стабилизация обоих показателей в период с 1950-х по 1990-е годы была связана с экстенсивным в это время ростом столицы (массовым переселением жителей из перенаселенного центра на новую городскую периферию с 1960-х годов). Новое увеличение интенсивности

отражает возобновление интенсивного роста города в начале XXI века.

Явление «острова тепла» трёхмерное и обладает как высотной, так и глубинной протяжённостью. Высотная его протяжённость исследована по многолетним данным измерений T на телебашне Останкино в Москве, радиозондами в Долгопрудном (ближнем пригороде) и на высотной мачте в Обнинске (в условиях, близких к фоновым). Подтверждено существование связанной с городом устойчивой тепловой аномалии в приземном слое воздуха в любое время суток, а также поверх него «слоя холода» на высотах выше 100 м в ночные часы. В среднем за сутки высотная протяжённость «острова тепла» составляет около 300 м.

Определить экспериментально глубинную протяжённость не представляется возможным, поскольку стационарные измерения температуры на метеорологических станциях производятся вплоть до глубины 320 см, а тепловая аномалия в почве под городом («подземный остров тепла») отчётливо выражена во всём этом слое. На глубинах 120 и 160 см $\Delta T_{\max} = 1,6\div 1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Многолетние данные радиометрических измерений спутников Aqua и Terra показывают устойчивый «поверхностный остров тепла» и в поле температуры поверхности над столицей; в среднем за год $\Delta T_{\text{cp}} = 2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 16–17–10275.

Литература

1. Lokoshchenko M.A. Urban 'heat island' in Moscow. Urban Climate, 2014, Vol.10, 3, 550-562.
2. Lokoshchenko M.A., Korneva I.A. Underground urban heat island below Moscow city. Urban Climate, 2015, 13, 1-13.
3. Локощенко М.А., Корнева И.А. и др. О высотной протяжённости городского острова тепла над Москвой. Доклады Академии наук, Геофизика, 2016, том 466, № 2, 213-217.

Проявление изменений климата во внутренних областях континентов (на примере Азии)

Маммедов С.А.¹
Лобанов В.А.¹

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия
sap9292@mail.ru

Региональные климатические особенности внутренних областей континентов состоят в том, что в них имеет место внутренний влагооборот и океанические воздушные массы достигают этих территорий крайне редко. Наглядным примером такого континентального климата являются внутренние области самого большого азиатского континента, включающие пустыни Средней Азии и сухие иранские нагорья. Для оценки влияния современного изменения климата в этом районе рассматриваются многолетние ряды среднемесячных температур воздуха и сумм месячных и годовых осадков.

Для выявления долгопериодных изменений климата оценивалась эффективность моделей нестационарного среднего двух видов: линейного тренда и ступенчатых изменений по отношению к базовой стационарной модели. Получено, что области нестационарности постепенно увеличиваются в размере от прошлого к настоящему. Если рассматривать ряды наблюдений с конца XIX века, то области нестационарности выявляются только в отдельных центральных, юго-западных и северо-западных частях Ирана. Затем при смещении даты начала наблюдений к 1940 и 1960 годам отдельные области нестационарности в Иране объединяются уже в одну большую, занимающую всю территорию Ирана за исключением севера, а также появляются и на юге Туркменистана и на большей части Узбекистана и занимают примерно 70% всей территории.

В целом анализ пространственных распределений показателей нестационарности за последний период времени (1960-2017 гг.) и за разные месяцы позволил выявить, что имеет место сезонный ход с отсутствием нестационарных моделей зимой и максимумом нестационарности в августе, когда нестационарные модели охватывают

всю территорию. В месяцы переходного периода года (апрель и октябрь) территория разделена примерно на две равные части: стационарную северную и нестационарную южную (Иран).

При исследовании климатических изменений в многолетних рядах осадков, прежде всего, были рассчитаны их климатические внутригодовые распределения. Установлено, что практически на всей рассматриваемой территории максимум осадков приходится на март, а сезон осадков длится с декабря по май. Летом же с июня по сентябрь осадков практически не выпадает. Разделение осадков на два периода: влажный и сухой методически обосновано разными подходами их моделирования: или на основе модели временного ряда или оценка частоты эпизодических осадков.

Установлено, что в месяцы влажного периода года происходит в основном уменьшение осадков, причем ступенчато в начале 1980-х годов, а в месяцы сухого периода для эпизодически выпадающих осадков наблюдается некоторое их увеличение, но в среднем всего на 0,3 мм с максимумами на 1-2 мм. Полученные карты разностей норм осадков за год и месяцы влажного периода показывают, что с 1982 г. нормы годовых осадков уменьшились в среднем на 14%, наибольшее уменьшение осадков на 20% имеет место в апреле и на 14-17% в феврале и марте. Территориально области существенного уменьшения норм осадков относятся к южным границам пустынь, что вполне может быть связано с будущим опустыниванием в этом направлении. Также имеют место и области роста осадков на 15-20% на юго-востоке Узбекистана и на севере рассматриваемой территории в зоне влияния Каспия, а также вблизи Персидского залива, что возможно связано с ростом испарения с этих акваторий.

Особенности изменения климата и его влияние на ледовый режим Каспийского моря

Наурызбаева Ж.К.¹
Лобанов В.А.¹

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия
naurozbaeva.zhanar@mail.ru

Каспийское море находится в числе тех морей, которые покрываются частично льдом в холодный период времени года. В холодное полугодие район Северного Каспия находится под воздействием отрогов Сибирского антициклона и ветров восточных румбов. К востоку от Северного Каспия расположены быстро охлаждающиеся осенью полупустыни и степи Казахстана, где зимой отмечаются резкие и сильные морозы, поэтому в Северном Каспии ежегодно устанавливается мощный, устойчивый ледяной покров, отличающийся большой динамичностью, который воздействует на судоходство, способствует разрушению береговых гидротехнических сооружений. Современное потепление климата проявляется во многих природных факторах, в том числе и в инерционных характеристиках криосферы, к которым относятся морской и речной лед.

В связи с тем, что ледовый покров отличается большой динамичностью и наблюдается преимущественно в северной части моря, использовались данные по ледовому режиму, собранные за многолетний период на семи гидрометеорологических станциях на севе-

ре и в центральной части Каспийского моря (Атырау, Пешной, о. Кулалы, Форт-Шевченко, о. Тюлений, о. Искусственный, Лагань) и на одной станции в г. Астрахани (ледовый режим в устье Волги). Помимо данных о максимальной толщине льда, во всех этих пунктах наблюдений (за исключением пункта о. Искусственный) имелись многолетние ряды среднемесячных значений температуры воздуха за холодный период (с октября по март) по 29 станциям Казахстана и России

Собрана единая база данных, восстановлены пропуски, проведен анализ корреляционной зависимости между среднесуточной температурой воздуха, суммой отрицательных температур и суточной толщиной льда, проанализирован временной ход ледового периода, его продолжительность, изменения основных дат ледового режима.

В результате были получены выводы о сокращении продолжительности ледового периода и смещение основных дат ледового режима, корреляционной зависимости температур и толщины льда при нарастании льда, наблюдается уменьшение сумм отрицательных температур.

Изучение особенностей изменчивости режима увлажнения (на примере оценки характеристик режима осадков, определённых по нескольким критериям) как индикатора региональных климатических изменений, с помощью создания специализированных массивов их данных, для юго-востока Западной Сибири

Немировская Л. Г.¹

¹ Сибирский научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Новосибирск, Россия
nemirov@sibnigmi.ru

Ввиду неоднородности изменений климата как в межполушарном, широтно-долготном, так и в региональном масштабах, а также разнообразия на территории России природно-климатических и других условий, целесообразно изучение указанных проявлений для контрастных регионов. Основа для их изучения, наряду с данными Государственного фонда ВНИИГМИ МЦД, – создание специализированных баз климатических данных, сформированных для конкретных регионов и задач, зачастую содержащих нестандартные характеристики метеорежима.

В СибНИГМИ с 2007 г. выполняются исследования по оценке изменчивости регионального климата для Урала, с 2011 г. – для Западной Сибири. Параметр исследования – непрерывные периоды наличия и отсутствия осадков, информативные для предпосылок к неблагоприятным гидрометусловиям. Выполнен цикл исследований на основе критерия, близкого к стандартам «Климсправочника» (нижний предел осадков 0,1), названный в работе «обобщённый». На его основе созданы [1] «Банки данных изучаемых периодов...», а также «Банки данных площадных характеристик» – «Календари» дат одновременного охвата изучаемым периодом определённого количества станций, размещённые на сайте СибНИГМИ (<http://sibnigmi.ru>) в разделе «Продукция», а результаты расчётов по ним показателей оценки изменчивости режима увлажнения – в разделе «Исследования».

С 2017 г. для изучения периодов недостаточного увлажнения применяется [1] критерий «длительность «сухого периода», прерываемого

только осадками, эффективными для вегетации растений». Создан «Специализированный банк данных периодов недостаточного увлажнения» (определённых по «специальному» критерию) для 61 станции региона, отдельно – «Банк данных о периодах недостаточного увлажнения с экстремальными температурно-влажностными условиями».

Статистическое обобщение изучаемых характеристик (на основе полученных банков данных) выявило ряд региональных особенностей на юго-востоке Западной Сибири – преимущество весенних месяцев в сезонном распределении изучаемых периодов и др. Рассмотрение температурно-влажностных условий также иллюстрирует повышенную повторяемость неблагоприятных условий режима осадков в весенние месяцы и является важным аспектом исследования. Определены тенденции межгодовых изменений ряда характеристик периодов для анализа их региональных климатических изменений. Для изучения одновременного охвата периодами определённого числа станций, по специальным методике и алгоритмам созданы «Банки данных об изучаемых периодах в соответствии с площадными характеристиками». Расчёт процентов охвата в соответствии с длительностью распространения выявляет ситуации с экстремальными параметрами.

Все представленные материалы получены впервые для данного региона, имеют методическое значение, уточняют региональные особенности климатических изменений, оценку возможного наличия гидрометусловий, опасных для ряда отраслей.

Литература

1. Немировская Л.Г. Специализированные массивы данных определённых характеристик увлажнения по юго-востоку Западной Сибири, как информационная база для изучения региональных климатических изменений. Тезисы докладов на второй научно-практической конференции «Современные информационные технологии в гидрометеорологии и смежных с ней областях». г. Обнинск, 21-23 ноября 2017 г., с. 69-71.

Оценка качества воспроизведения современными реанализами экстремальных метеорологических характеристик в регионе Карского моря

Платонов В.С.¹
Новикова Е.В.¹

¹ Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
vplatonov86@gmail.com

В работе проведена оценка воспроизведения экстремумов распределения основных метеорологических величин для региона Карского моря, отличающимся своеобразным климатом и волновым режимом, по данным современных глобальных реанализов – ERA-Interim и ставшего доступным недавно реанализом последнего поколения ERA5.

Для сравнения были выбраны данные метеорологических станций на Карском море по температуре воздуха на 2 м, давлению на уровне моря и скорости ветра на 10 м за период 1987-2017 гг. Для расчётов экстремальных значений метеорологических показателей использовались следующие квантильные значения для станций и ближайших к ним узлов реанализов: скорости ветра – 90, 95, 99, 99,9%; температуры воздуха – 1, 5, 10, 95%; давления – 5 и 95% квантили.

Анализ показал, что ERA-Interim в целом завывает температуру воздуха (средние ошибки 0,8 °С, СКО 2 – 2,5 °С). При этом реанализ сглаживает экстремальные значения температуры, особенно завываются минимальные температуры. Наибольшие ошибки (от 0,2 до 6,1 °С) возникают при анализе 1-процентных квантилей, причем реанализ хуже воспроизводит экстремальные похолодания, чем потепления.

Давление воспроизводится реанализом лучше, чем температура (средние ошибки -0,01, СКО 0,77). Разброс ошибок 5-процентных квантилей составляет от -0,08 до 0,34 гПа, т.е. реанализ сглаживает сильные циклоны, «уменьшая» их глубину.

Средние ошибки и СКО для скорости ветра невелики (0,44 и 2,06), коэффициенты корреляции составляют в среднем 0,81. Реанализ в общем завывает средние скорости ветра, но экстремальные значения на большей части станций занижаются. Средние по всем станци-

ям ошибки квантилей 90, 95, 99 и 99,9% увеличиваются при возрастании квантиля от -0,17 до -1,3 м/с соответственно.

Результаты сравнения с реанализом ERA5 не продемонстрировали значимого улучшения воспроизведения экстремумов метеорологических величин, а в некоторых случаях статистические показатели даже оказались хуже ERA-Interim. Так, по температуре средняя ошибка и СКО увеличились, а коэффициент корреляции стал немного ниже, разницы 1-процентных и 5-процентных квантилей уменьшилась, а 10-процентных и 95-процентных – увеличилась. По сравнению с Era Interim резко возросли и стали положительными средние ошибки по давлению по всем станциям (в среднем 0,41), а СКО немного уменьшилось. Скорость ветра в целом реанализом ERA5 стала воспроизводиться лучше: средние ошибки и СКО уменьшились (в среднем 0,32 и 1,78), коэффициент корреляции возрос до 0,86.

Была проведена оценка климатических трендов по температуре, скорости ветра и давлению по станционным данным и по данным реанализа ERA-Interim. Тренды всех характеристик реанализы воспроизводят удовлетворительно, но значимыми оказались только тренды по температуре, которые реанализ немного завывает.

В итоге реанализ ERA5 лучше воспроизводит среднюю многолетнюю изменчивость, чем Era Interim, уо при этом экстремумы чаще всего воспроизводятся им хуже. ERA5 лучше воспроизводит скорость ветра, и хуже – приземное давление, а температуру воспроизводит примерно на том же уровне, что и реанализ Era Interim.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60147.

Создание многолетнего архива гидрометеорологической информации высокого разрешения для российской Арктики: методология, первые результаты и перспективы применения

Платонов В.С.¹
Варенцов М.И.¹

¹ Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
vplatonov86@gmail.com

В условиях роста числа опасных явлений в Арктике и перспектив хозяйственного освоения арктического побережья и Северного морского пути особую актуальность приобретает задача обеспечения региона детализированной гидрометеорологической и климатической информацией с горизонтальным разрешением по крайней мере в несколько километров. В качестве инструмента решения этой задачи в данной работе используется региональное климатическое моделирование в Арктике за период 35 лет (1980-2016 гг.) с разрешением менее 5 км на основе модели COSMO-CLM. Это позволит получить новые, более подробные и обоснованные оценки происходящих в Арктике региональных и мезомасштабных климатических изменений, а также экстремальных явлений погоды.

На данном этапе работы была проведена серия тестовых экспериментов с различными конфигурациями модели (включая различные версии, использование «спектрального наджинга», настройки турбулентной схемы, время старта экспериментов и др.), для определения оптимальной для арктического региона.

Схема тестовых экспериментов выглядит следующим образом. Для запуска региональной модели COSMO-CLM в качестве граничных условий использовался один из глобальных реанализов ERA-Interim или ERA5 за период 1980-2016 гг. Модельный расчёт проводился для области с самым грубым разрешением (с шагом сетки около 15 км, «базовый домен»), охватывающим большую часть Российской Арктики для зимнего и летнего периодов (август-сентябрь 2015 г., декабрь-январь 2012-2013 гг.). Тестовые эксперименты

прошли верификацию по нескольким сотням метеорологических станций.

Стандартная версия модели без «спектрального наджинга» показала худшие результаты – средние ошибки по температуре достигают около 1 °С, СКО до 3,5-4 °С. Особенно большие ошибки характерны для зимних условий материковых станций Восточной Сибири, располагающихся в низинах. Это обусловлено недооценкой мощности приземных инверсий в модели, т.е. особенностями параметризации турбулентности. В то же время, только по прибрежным станциям ошибки уже значительно меньше. Использование спектрального наджинга, а также более новой версии модели позволило немного уменьшить эти ошибки. Однако наиболее существенного прогресса удалось добиться, применив другие параметры турбулентной схемы (в частности, tkhmin и tkmmn, отвечающие за минимальные коэффициенты диффузии потоков тепла и момента в условиях устойчивой стратификации). В результате средние по домену ошибки стали даже слабо отрицательными (~-0.5 °С), а СКО сократилось до ~2.5 °С для прибрежных районов и ~3 °С для внутриматериковых. Схожие относительные результаты экспериментов получились для скорости ветра, однако величины ошибок меньше. Сравнение экспериментов с различными граничными условиями – ERA-Interim и ERA5 – показало незначительные различия в ошибках, поэтому было решено в дальнейших основных экспериментах остановиться на реанализе Era-Interim из-за значительно меньшего объёма необходимой информации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00604.

Структура многолетней климатической изменчивости в эпоху современного глобального потепления

Попова В.В.¹

¹ Институт географии РАН, Москва, Россия
valeria_popova@mail.ru

Эпоха современного глобального потепления сопровождается существенным изменением подстилающей поверхности, в их числе – сокращение площади арктического морского льда, повышение температуры верхних слоев океана и ее перераспределение у поверхности. Это может приводить не только к усилению одних и ослаблению других ЦДА, но и к их смещению в пространстве, то есть к изменениям структуры крупномасштабной циркуляции. Ниже приводятся результаты анализа изменчивости высоты геопотенциала 500 гПа внетропической зоны СП и ее роли в формировании температурных аномалий за два периода: 1968-1997 г., отмеченного потеплением умеренных широт СП, и 1988-2017 г., отличительной особенностью которого является резкое потепление Арктики. Цель исследования состоит в изучении значимых для Арктики режимов крупномасштабной атмосферной циркуляции и их роли в формировании аномалий температуры зимнего сезона на севере Евразии и прилегающих морях Северного Ледовитого океана (СЛО).

Анализ изменчивости полей высоты геопотенциала 500 гПа внетропической зоны Северного полушария (NCEP-NCAR Reanalysis <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/reanalysis.shtml>) для периодов 1968-1997 и 1988-2017 гг., сравнение полей и величин вклада первых пяти ЭОФ в общую изменчивость высоты геопотенциала для этих периодов указывает на существенные изменения в структуре циркуляции в конце XX – начале XXI вв.:

- увеличение роли региональных мод (ЭОФ 3-5) в общей изменчивости, за счет сокращения глобальных, главным образом, ЭОФ2 (соответствующей PNA), а также ЭОФ1 (соответствующей NAO/AO);

- преобладание повторяемости аномалий ЦДА в отрицательной фазе для всех рассмотренных ЭОФ;

- усиление и расширение положительных (антициклонических) аномалий в очагах ЭОФ, в том числе, в приполярной и арктической зонах;

- усиление субтропического пояса высокого давления, особенно в Атлантическом секторе, рост и расширение антициклонической аномалии на всю полярную область СЛО, значительный рост высоты геопотенциала на западе Европы и Северной Америки.

Наиболее протяженные по площади положительные аномалии приповерхностной температуры, распространяющиеся на полярную зону евразийского сектора и северо-восток Атлантики и отрицательные аномалии на востоке Северной Евразии связаны с ЭОФ3, соответствующей и ее вектором разложения, ГК3.

В 1988-2017 гг. эта циркуляционная мода приобретает ряд особенностей, которые способствуют интенсивному закачиванию субтропического воздуха в полярную область: помимо устойчивой отрицательной фазы, центр характерного для Pol очага в приполярной области смещается на побережье Карского моря, а сам очаг сливается с субтропическим поясом высокого давления. В свою очередь, изменения давления в этой зоне, в том числе рост высоты геопотенциала, тесно связаны с тропической циркуляцией. Обнаружена корреляция между индексами Pol (в январе) и PDO, 0,48 ($p=0,01$). Это позволяет рассматривать описанный циркуляционный механизм как возможное связующее звено между субтропическим поясом и Арктикой. Ранее (Screen, Francis, 2016) было показано, что потепление в Арктике усиливается (ослабляется) в период отрицательной (положительной) фазы PDO, но механизмы этой связи не исследовались.

Высотные фронтальные зоны Северного полушария и роль потоков тепла от океана в их формировании

Разоренова О.А.¹
Шабанов П.А.¹

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Москва, Россия
olgar@sail.msk.ru

Впервые проведено детальное исследование распределения высотных фронтальных зон (ВФЗ) в средней тропосфере для различных сезонов и выявлены межгодовые изменения в их положении и интенсивности. Объективная процедура определения ВФЗ включала в себя расчёт среднемесячных полей модуля горизонтального градиента геопотенциала по данным реанализа с помощью аппроксимации производных методом центральных разностей. Исходя из полученных полей градиентов геопотенциала, были выделены локальные максимумы и определено положение осевых линий высотных фронтальных зон.

Были определены положения восьми ВФЗ: 1) Азиатско-тихоокеанская, 2) Североатлантическая, 3) Североамериканская, 4) Скандинавская, 5) Европейско-сибирская, 6) Восточноарктическая, 7) Гренландская, 8) Афро-южноазиатская.

Сезонные изменения термического режима и барической топографии приводят к сезонному смещению ВФЗ и соответствующих им тропосферных фронтов, а также к их трансформации. Рассмотрено положение ВФЗ при преобладании меридиональных и зональных процессов. Показано, что высотные фронтальные зоны могут быть успешно использованы при диагнозе современных климатических колебаний над различными регионами земного шара.

Рассчитанное семейство высотных фронтальных зон дает возможность исследовать отклик атмосферной циркуляции на сигналы Мирового океана. Пранализирована связь тур-

булентных потоков тепла из океана с полем пространственных градиентов геопотенциала в средней тропосфере в зимний период. Корреляционный анализ показал, что усиление потока тепла из океана в Северной Атлантике четко связано с усилением термобарических контрастов в средней тропосфере и, следовательно, способствует интенсификации североатлантической ветви ВФЗ. Влияние теплоотдачи океана в Ньюфаундлендской ЭАЗО на динамику поля градиента геопотенциала в средней тропосфере соответствует классической схеме развития Североатлантического колебания. Противоположную картину демонстрирует распределение коэффициентов корреляции для Норвежской ЭАЗО. При усилении теплоотдачи в этом районе Атлантики происходит ослабление североамериканской, североатлантической и скандинавской ВФЗ, зональный перенос становится менее интенсивным и увеличивается частота возникновения меридиональных режимов в атмосфере. Анализ распределения коэффициентов корреляции показал, что значимая статистическая связь между океаническим потоком тепла и градиентами геопотенциала в средней тропосфере отмечается именно в областях формирования высотных фронтальных зон. Расчет канонических корреляций определил максимально связанные линейные структуры полей горизонтальных градиентов геопотенциала в средней тропосфере и полей потоков тепла от океана и позволил интерпретировать их с точки зрения развития различных режимов циркуляции.

Литература

1. Погосян Х.П. Планетарные высотные фронтальные зоны в Северном и Южном полушариях. Л., Гидрометеоздат, 1955, 59 с.
2. Разоренова О.А. Климатология высотных фронтальных зон Северного полушария в зимний период. Метеорология и гидрология, 2016, № 1, с. 5–16.
3. Разоренова О.А. Крупномасштабное взаимодействие океана и атмосферы в Северной Атлантике. I часть. Метеорология и гидрология. 1998. № 9. С.77-86. II часть. Метеорология и гидрология. 1998. № 10. С.69-80

Приложение искусственных нейронных сетей к анализу атмосферной динамики в средних широтах

Селезнев А.Ф.¹
Гаврилов А.С.¹
Мухин Д.Н.¹
Лоскутов Е.М.¹
Фейгин А.М.¹

¹ Институт прикладной физики РАН,
Нижний Новгород, Россия
aseleznev@ipfran.ru

Доклад посвящен исследованию атмосферной динамики в средних широтах на основе данных трехуровневой квазигеострофической модели атмосферы с естественной орографией (QG3). В качестве инструмента исследования использовалась рекуррентная искусственная нейронная сеть (РИНС) со специальной структурой. Данная сеть обучалась по данным, основанным на 1024-мерном временном ряде функции тока на уровне 500 ГПа в северном полушарии. Было показано, что полученная

низкоразмерная модель в форме РИНС способна хорошо описывать низкочастотную изменчивость модели QG3. В частности, модель воспроизводит наиболее часто посещаемые состояния в фазовом пространстве модели QG3, соответствующие хорошо известным модам атмосферной циркуляции в северном полушарии.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 19-02-00502.

Редки ли смерчи в Московской агломерации?

Чернокульский А.В.¹

¹ Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН,
Москва, Россия
a.chernokulsky@ifaran.ru

Смерч – одно из наиболее опасных гидрометеорологических явлений конвективного характера. При этом, в России как у общества, так и у профессиональных метеорологов присутствует недооценка угрозы смерчей. На основе новой базы данных смерчей (собранной по различным данным для регионов Северной Евразии [1-3]) показано, что смерчи в Средней полосе России в целом и в Московской агломерации в частности не являются редким событием. Показано, что в Москве и Московской области с 2005 по 2016 г. (наиболее обеспеченные данными годы) прошло 34 смерча. Таким образом, в регионе образуется в среднем 3 смерча за 1 год. Плотность смерчей составляет 4 смерча на 10000 км².

Всего в новой базе содержится информация о 59 смерчах высокой достоверности за период с начала 20 века (и ещё о нескольких де-

сятках событий меньшей достоверности с XII века). Из 59 смерчей 23 имели интенсивность F0 (по шкале Фудзиты) или неопределенную категорию, 25 – интенсивность F1, шесть – интенсивность F2, четыре – интенсивность F3 (в 1904, 1945, 2009 и 2016 гг.), один – интенсивность F4 (в 1904 году). Основное направление движения смерчей в Московской агломерации – с юго-востока на северо-запад.

Учитывая достаточно частое образование смерчей в Московской агломерации (и в целом на большей части Европейской территории, юге Сибири и юге Дальнего Востока) и ожидаемый рост риска возникновения смерчей в XXI веке в условиях глобального потепления [4] целесообразным представляется внедрять прогноз возникновения подобных явлений в практику оперативного прогнозирования структурами Росгидромета.

Литература

1. Чернокульский А.В., Курганский М.В., Мохов И.И., Шихов А.Н. Смерчи в Северной Евразии: современная климатология и риски формирования в контексте глобального потепления // Труды международной конференции «Турбулентность, динамика атмосферы и климата» (под ред. Голицына Г.С., Мохова И.И., Куличкова С.Н., Курганского М.В., Репиной И.А., Чхетиани О.Г.), – М.: Физматкнига. 572 с. ISBN – 978-5-89155-312-5. С.281–290.
2. Chernokulsky A.V., Shikhov A.N. 1984 Ivanovo tornado outbreak: determination of actual tornado tracks with satellite data // Atmospheric Research, 2018, V. 207, P.111–121. DOI: 10.1016/j.atmosres.2018.02.011.
3. Shikhov A.N., Chernokulsky A.V. A satellite-derived climatology of unreported tornadoes in forested regions of northeast Europe // Remote Sensing of Environment, 2018, V. 204, P.553–567. DOI: 10.1016/j.rse.2017.10.002.
4. Чернокульский А.В., Курганский М.В., Мохов И.И. Анализ изменений условий смерчегенеза в Северной Евразии с использованием простого индекса конвективной неустойчивости атмосферы // Доклады Академии наук, 2017, Т. 477. № 6, 722–727. DOI: 10.7868/S0869565217360208.

СОДЕРЖАНИЕ

Добролюбов С.А., Кислов А.В. Концепция гидрометеорологического образования в России.....	2
Богуш А.И., Мамаева М.А. Сетевое международное междууниверситетское сотрудничество как инструмент интернационализации метеорологического образования.....	3
Гледко Ю.А., Лопух П.С. Опыт подготовки специалистов по гидрометеорологии в Белорусском государственном университете.....	4
Платонов В.С., Константинов П.И., Суркова Г.В. Концепция современной метеорологической практики для географических факультетов.....	5
Зайцева Н.А. Вклад М.А. Петросянца в ПИГАП (Программа исследования глобальных атмосферных процессов – Global Atmospheric Research Program).....	6
Левина Г.В., Яровая Д.А. От теории к практике: ранняя диагностика тропического и квазитропического циклогенеза на основе концепции турбулентного вихревого динамо.....	7
Гушина Д.Ю. Школа тропической метеорологии МГУ: прошлое, настоящее и будущее.....	8
Гавриков А.В., Разоренова О.А. Влияние прохождения холодного фронта через Мозамбикский пролив на начало Индийского муссона по данным реанализов и высокоразрешающего моделирования.....	9
Коленикова М.А., Гушина Д.Ю. Изменение взаимосвязей между Эль-Ниньо и Арктической осцилляцией в условиях меняющегося климата.....	10
Ольчев А.В., Гушина Д.Ю., Хаймш Ф., Осипов А.М., Крейлейн Х., Панферов О., Кноль А. Влияние экстремального Эль-Ниньо 2015/16 года на радиационный баланс, испарение и потоки диоксида углерода влажного тропического леса в Индонезии.....	11
Вильфанд Р.М., Хан В.М., Тищенко В.А., Круглова Е.Н., Куликова И.А. Выпуск долгосрочных метеорологических прогнозов в рамках деятельности Северо-Евразийского климатического центра (СЕАКЦ).....	12
Киктёв Д.Б., Муравьев А.В., Смирнов А.В. Технология наукастинга осадков в Гидрометцентре России.....	13
Ривин Г.С., Розинкина И.А. COSMO-Ru – оперативная система краткосрочного прогноза погоды Гидрометцентра России.....	14
Багров А.Н., Быков Ф.Л., Гордин В.А. Оперативный комплексный прогноз приземных метеозлементов: температуры и влажности воздуха, ветра и количества осадков с заблаговременностью 6-144 ч по городам России, Беларуси и республик Средней Азии.....	15
Фролов А.В. Может ли квантовый компьютер быть применен для численного прогноза погоды?.....	16
Астахова Е.Д., Бундель А.Ю., Алферов Д.Ю., Гайфулин Д.Р., Цырульников М.Д., Розинкина И.А., Ривин Г.С. Ансамблевый прогноз погоды в Гидрометцентре России.....	17
Беззубцев А.С., Быков Ф.Л., Гордин В.А. Диагноз и прогноз атмосферных фронтов. 2D, 3D, 4D версии.....	18
Калмыкова О.В., Новицкий М.А., Шершаков В.М., Шмерлин Б.Я. Краткосрочный прогноз смерчей на Европейской территории России.....	19
Пищальникова Е.В., Калинин Н.А., Быков А.В. Изучение условий образования гололедных отложений на Урале по данным наземных наблюдений и гидродинамического моделирования.....	20
Гаврилов А.С., Селезнев А.Ф., Мухин Д.Н., Лоскутов Е.М., Куртц Ю., Фейгин А.М. Новый подход к эмпирическому моделированию и прогнозу явления Эль-Ниньо.....	21
Быков Ф.Л., Василенко Е.В., Гордин В.А., Тарасова Л.Л. Объективный анализ влажности почвы на основе полей относительной влажности верхнего слоя почвы по данным с прибора ASCAT (ИСЗ MetOp-A и MetOp-B) и запасов продуктивной влаги в верхнем 10-сантиметровом и пахотном слоях почвы.....	22
Кононова Н.К., Морозова С.В., Полянская Е.А. Долгосрочный прогноз степени засушливости вегетационного сезона для Саратовской области.....	23
Коротеев А.В. Метеообеспечение горного курорта «Роза Хутор». Опыт коммерческой метеослужбы.....	24
Хлестова Ю.О., Шатунова М.В., Чубарова Н.Е. Прогноз микрофизических и оптических характеристик крупномасштабной облачности и ее радиационного воздействия с помощью мезомасштабной модели численного прогноза погоды COSMO.....	25
Мохов И.И. Естественные и антропогенные причины региональных и глобальных климатических аномалий и трендов.....	26
Кричак С.О. Выявление роли глобального потепления в наблюдаемом тренде к увеличению количества экстремальных осадков в Средиземноморском регионе и его окрестностях с использованием данных реанализа.....	27

СОДЕРЖАНИЕ

Лобанов В.А., Маммедов С.А., Наурызбаева Ж.К., Фань Сяо Цинь. Статистическое моделирование региональных изменений климата.....	28
Переvedенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Шерстюков Б.Г., Гурьянов В.В., Николаев А.А. Мониторинг и прогноз изменений климата в Приволжском федеральном округе	29
Смышляев С.П., Погорельцев А.И., Ермакова Т.С., Яковлев А.Р., Галин В.Я. Численное моделирование влияния глобальных периодических колебаний на состав и структуру арктической стратосферы	30
Горбаренко Е.В. Радиационный климат Москвы	31
Воропай Н.Н., Рязанова А.А., Дюкарев Е.А. Атмосферные засухи на юге Сибири	32
Локощенко М.А., Алексеева Л.И., Еланский Н.Ф., Енукова Е.А., Богданович А.Ю., Гоуда К.Ч. Опасные погодные явления и «острова тепла» в крупнейших городах Индии и России.....	33
Варгин П.Н., Коленикова М.А. Исследование влияния Эль-Ниньо на стратосферу Арктики.....	34
Вольперт Е.В., Чубарова Н.Е., Галин В.Я., Смышляев С.П. Многолетняя изменчивость коротковолновой солнечной радиации на территории Северной Евразии.....	35
Гаврилов А.С., Мухин Д.Н., Лоскутов Е.М., Фейгин А.М. Долгопериодная изменчивость атмосферы средних широт: связь с межгодовыми климатическими модами.....	36
Кононова Н.К., Морозова С.В., Полянская Е.А. Оценка будущих климатических изменений с учетом влияния естественных факторов.....	37
Кононова Н.К., Морозова С.В., Полянская Е.А. Вклад различных типов синоптических процессов в формирование погодно-климатической изменчивости на внутрисезонных масштабах времени (на примере юго-востока ЕТР).....	38
Константинов П.И., Варенцов М.И., Шартова Н.В., Грищенко М.Ю. Создание базы данных параметров термического комфорта для населения Северной Евразии высокого пространственного и временного разрешения	39
Константинов П.И., Варенцов М.И., Репина И.А., Шувалов С.В., Самсонов Т.Е., Грищенко М.Ю., Езау И.Н., Бакланов А.А. Создание сети UHIARC как инструмента исследования городского климата в Арктических широтах.....	40
Корнева И.А., Щенин М.В., Ранькова Э.Я. Изменчивость приповерхностной температуры на территории суши и акваториях океанов за период современного глобального потепления.....	41
Локощенко М.А., Бойко А.П., Фоменко Л.В. Исследование ветровой, термической и турбулентной структуры нижней тропосферы Московского региона по данным радиозондирования и акустического зондирования	42
Локощенко М.А., Богданович А.Ю., Еланский Н.Ф. Влияние приподнятых инверсий по содарным данным на состав воздуха в Москве	43
Локощенко М.А., Корнева И.А., Енукова Е.А. Остров тепла в Москве на разных высотах, глубинах и поверхности.....	44
Маммедов С.А., Лобанов В.А. Проявление изменений климата во внутренних областях континентов (на примере Азии).....	45
Наурызбаева Ж.К., Лобанов В.А. Особенности изменения климата и его влияние на ледовый режим Каспийского моря	46
Немировская Л.Г. Изучение особенностей изменчивости режима увлажнения (на примере оценки характеристик режима осадков, определенных по нескольким критериям) как индикатора региональных климатических изменений, с помощью создания специализированных массивов их данных, для юго-востока Западной Сибири	47
Платонов В.С., Новикова Е.В. Оценка качества воспроизведения современными реанализами экстремальных метеорологических характеристик в регионе Карского моря	48
Платонов В.С., Варенцов М.И. Создание многолетнего архива гидрометеорологической информации высокого разрешения для российской Арктики: методология, первые результаты и перспективы применения	49
Попова В.В. Структура многолетней климатической изменчивости в эпоху современного глобального потепления	50
Разоренова О.А., Шабанов П.А. Высотные фронтальные зоны Северного полушария и роль потоков тепла от океана в их формировании.....	51
Селзнев А.Ф., Гаврилов А.С., Мухин Д.Н., Лоскутов Е.М., Фейгин А.М. Приложение искусственных нейронных сетей к анализу атмосферной динамики в средних широтах.....	52
Чернукульский А.В. Редки ли смерчи в Московской агломерации?.....	53