

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу

Золиной Ольги Геннадиевны «Статистическое моделирование экстремальных атмосферных осадков и региональный атмосферный цикл влаги», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.30 - Метеорология, климатология, агрометеорология.

Актуальность работы обусловлена тем фактом, что экстремальные осадки, равно как и полное отсутствие осадков приносят большие экономические убытки. Хотя в последнее время исследованию экстремальных осадков было посвящено много работ, однако до сих пор надежные оценки характеристик экстремальных осадков и параметров их климатической изменчивости отсутствуют. Причинами сильных неопределенностей являются несогласованность различных наборов данных (локальных и дистанционных наблюдений и моделирования) и недостаточная обоснованность применяемых методов статистического оценивания экстремальных осадков. Отмеченные неопределенности не позволяют получить взаимосогласованные характеристики гидрологического цикла для различных регионов. Поэтому задачи разработки физически обоснованных методов статистического моделирования абсолютной и относительной экстремальности атмосферных осадков; разработки нового подхода к статистическому моделированию совместных характеристик продолжительности и интенсивности осадков, получения достоверных оценок климатических характеристик экстремальных осадков и их климатической изменчивости на основе разработанных методов статистического моделирования и использования различных типов данных, разработки новых методов и численных алгоритмов для расчетов потоков влаги в атмосфере на основе реанализов и данных аэрологических зондирований, и получения достоверных оценок переносов влаги, для различных регионов, решению которых задач посвящена диссертация «Статистическое моделирование экстремальных атмосферных осадков и региональный атмосферный цикл влаги» являются актуальными и востребованными.

Целью диссертационной работы автор определяет достоверных количественных оценок экстремальных осадков на основе развития новых методов их статистического моделирования и установление роли экстремальных осадков в региональном атмосферном цикле влаги.

Достоверность результатов, приведенных в работе, не вызывает сомнений. В диссертации используются современные представления о статистиках экстремальных значений и хорошо теоретически обоснованные подходы к статистическому моделированию экстремальных осадков и расчетам атмосферной адвекции влаги на основе данных стационарных наблюдений, некоторых атмосферных реанализов, а также спутниковых измерений.

По теме представленной диссертации автором опубликовано 22 работы, в том числе, две главы в коллективных монографиях и семнадцать статей в авторитетных зарубежных журналах.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и исчерпывающего списка использованной литературы, включающего 216 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель, задачи и методы исследования, сформулированы девять положений, которые выносятся на защиту, отмечаются научная и практическая ценность полученных результатов, приводится информация об апробации на семинарах профильных организаций и крупных международных и национальных конференциях данной работы.

В первой главе приведены результаты критического анализа современных баз данных об осадках и определены три референтных массива данных: ECA&D, Метеослужбы Германии и Росгидромета, и предложены алгоритмы коррекции данных измерений

осадков на станциях, включающие учет влияния количества пропущенных значений. Проанализированы основные характеристики спутниковых наблюдений за осадками и данных об осадках в современных реанализах и определены возможности их дальнейшего использования в работе.

Вторая глава посвящена развитию новых методов статистического моделирования атмосферных осадков. В ней проанализированы возможности использования распределения начальных значений и распределения экстремальных значений для оценивания абсолютной экстремальности осадков. Даны количественные оценки области применения различных распределений и обоснована необходимость рассмотрения длительностей влажных периодов и интенсивностей связанных с ними осадков. Следует особенно отметить предложенный метод оценивания относительной экстремальности осадков (вероятностное распределение частичного вклада), разработанный алгоритм его вычисления и новый индекс относительной экстремальности $R95_{tt}$, который уже включен в индексы экстремальности МГЭИК.

В третьей главе, посвященной анализу климатического распределения характеристик средних и экстремальных осадков по данным измерений на станциях диссертантом получены климатические распределения абсолютных экстремальных значений осадков на территории Евразии, определенных для различных процентилей гамма-распределения, по данным станционных наблюдений, за период последних десятилетий. Показано, что наибольшие значения индекса относительной экстремальности обнаруживаются в районах с горным рельефом и составляют более 23%. Значения индекса относительной экстремальности летом, в среднем, на 30% выше, чем зимой. Выполнены оценки продолжительности влажных и сухих периодов, их числа и интенсивности осадков, связанных с дождливыми периодами.

В четвертой главе анализируются основные закономерности климатического распределения характеристик средних и экстремальных осадков по данным моделирования (реанализам) и данным спутниковых наблюдений. На основе методологии оценены возможности разных реанализов воспроизводить экстремальные осадки. Показано, что реанализы существенно занижают значения абсолютных экстремальных осадков, и то, что зимой согласованность между данными реанализов и наблюдениями на станциях существенно лучше, чем летом, что связано с недостаточно точным описанием конвективных процессов в моделях, преобладающих в осадкообразовании в летний период. Проведено сравнение характеристик экстремальных осадков по спутниковым массивам данных с характеристиками, рассчитанными по данным наблюдений на станциях. Показано, что зимой спутниковые данные существенно завышают значения экстремальных осадков, а летом – очень сильно занижают. Из двух анализируемых массивов спутниковых данных набор PERSIAN-CDR показывает лучшее совпадение с данными станций, чем GPCP.

В пятой главе приведены результаты исследований основных закономерности климатической изменчивости атмосферных осадков на территории Евразии за последние десятилетия. Показано, что максимальное увеличение экстремальных осадков наблюдается в районе Альп, в северных районах европейской части России и в южной части Дальневосточного округа в бассейне реки Амур (более 8% в десятилетие). Анализ групповой значимости показал устойчивый рост экстремальных осадков на всей территории Европы и России на уровне более 98% в зимний период. В то же время, в Центральной Европе летом обнаружен устойчивый кластер отрицательных трендов экстремальных осадков (7% в десятилетие), что свидетельствует о наличии сезонности в трендовых изменениях экстремальных осадков. Детальный анализ сезонности в Центральной Европе показал, что в областях с выраженной сезонностью трендовых изменений экстремальных осадков зимний рост происходит за счет изменения формы функции распределения (увеличение сильных осадков и уменьшение слабых), тогда как летнее уменьшение связано с уменьшением средней интенсивности при относительно

неизменной форме распределения. Показано, что в течение последних десятилетий существенно изменилась временная структура осадков – дни с осадками консолидировались в более продолжительные периоды, длительность которых увеличивалась на 4-8% в десятилетие. Увеличение общего количества осадков за последние 60 лет происходило за счет осадков, выпавших в течение более длинных периодов. При этом происходила перестройка функции распределения длин влажных периодов: увеличение количества длинных периодов с осадками сопровождалось уменьшением числа коротких периодов. Совместное исследование динамики сухих и влажных периодов позволило впервые выявить феномен одновременного увеличения или сокращения продолжительности и влажных, и сухих периодов. Особенно следует отметить предложенную концептуальную модель, иллюстрируемую перераспределением фиксированного числа бус на нитке, показывающую как увеличение длительности влажных периодов приводит к одновременному увеличению длительности сухих периодов. Валидация характеристик изменчивости экстремальных осадков по данным реанализов показала, что зимой реанализы показывают наилучшую согласованность между собой и со стационарными измерениями, а существенное рассогласование между реанализами отмечается летом, когда в осадкообразовании преобладают мезомасштабные конвективные процессы, плохо параметризуемые в моделях. Анализ характеристик изменчивости осадков по спутниковым данным и по данным измерений на станциях показал, что данные GPCP потенциально могут быть использованы для оценки изменчивости экстремальных осадков.

Шестая глава посвящена анализу связи динамики осадков с атмосферным влагопереносом и испарением. Оценки переносов влаги были выполнены на основе модифицированного и адаптированного к использованию данных (на модельных и на гибридных уровнях Эйлера подхода. При этом были учтены переносы синоптическими и мезомасштабными вихрями, стационарными вихрями, вертикальными круговоротами (ячейками Гадлея, Ферреля и полярными вертикальными ячейками) и средним движением. Впервые получены на основе семи современных реанализов и данных атмосферного зондирования IGRA согласованные оценки среднеклиматических переносов влаги в Арктике и Антарктике и их межгодовой изменчивости за период с 1979 по 2013 гг. Впервые показано, что потоки влаги могут проникать вглубь Антарктического континента в районе Антарктического полуострова и ледника Росса. Транспорт влаги в Арктику в основном осуществляется синоптическими вихрями, ответственными за 88-95% общего потока на 70°с.ш., в то время как в Антарктике 90% общего переноса влаги, направленного вглубь континента, обеспечивается синоптическими вихрями. Анализ межгодовой изменчивости переносов влаги показал уменьшение переноса влаги в Арктику в течение периода 1979-2013 гг.. При этом влагозапас Арктической атмосферы существенно увеличивался от 1.5 до 1.9% в десятилетие, что говорит о том, что источники увеличения запаса влаги в Арктике преимущественно локальные и связаны в первую очередь, с изменениями неадиабатического испарения и относительно небольшим увеличением осадков, не компенсирующим эффект испарения. При этом адвективные процессы, связанные с переносами влаги атмосферными циклонами, играют второстепенную роль.

В Заключение диссертации приведены основные выводы по результатам проведенных исследований, из которых следует отметить следующие результаты:

1. Предложены новые метрики для статистического моделирования абсолютной и относительной экстремальности осадков, в частности новое вероятностное распределение частичного вклада для оценки относительной экстремальности, что позволило предложить новый индекс относительной экстремальности $R95_{tt}$, существенно более устойчивый, чем ранее использованные.
2. На основании использования новых метрик выполнены оценки абсолютной и относительной экстремальности осадков на Евразийском континенте за последние

несколько десятилетий по данным наиболее полных измерений на осадкомерных постах, реанализам спутниковым измерениям. Показано, что реанализы существенно занижают оценки экстремальных осадков, а спутниковые данные зимой завышают значения экстремальных осадков, а летом – занижают.

3. Получены оценки межгодовой изменчивости абсолютной и относительной экстремальности осадков в Евразии по данным станционных наблюдений, реанализов и спутниковых измерений. Показано, что за период с 1960 по 2012 гг. на большей части территории Европы и России наблюдается увеличение, как абсолютной (до 8% в десятилетие), так и относительной экстремальности (до 5% в десятилетие). Оценки межгодовой изменчивости, полученные по данным реанализов и спутниковым данным, очень сильно отличаются от оценок, полученных по данным наблюдений на станциях. Для многих районов были получены тренды противоположных знаков.

4. Для статистического моделирования продолжительности влажных и сухих периодов (включая их совместные распределения) предложен новый подход, основанный на усеченном геометрическом распределении и связанном с ним распределении частичного вклада влажных и сухих периодов в общее количество влажных дней.

5. Построены устойчивые оценки продолжительности влажных и сухих периодов на Евроазиатском континенте и исследована межгодовая динамика влажных и сухих периодов. Показано что, увеличение продолжительности влажных периодов (4-8% в десятилетие) связано с увеличением интенсивности экстремальных осадков (6-8% в десятилетие), а также что продолжительность влажных и сухих периодов на Европейском континенте может как одновременно возрастать, так и одновременно уменьшаться.

6. Выполнен анализ статистической структуры осадков над Мировым океаном, включающий рассмотрение числа дней с осадками и интенсивность осадков, по данным реанализов и спутниковых данных. Установлено, что различия в числе влажных дней и интенсивности осадков существенно больше, чем в среднем количестве осадков. Показано, что межгодовая изменчивость средних осадков в реанализах сильно зависит от однородности объема и типов ассимилируемых данных.

7. Разработан новый алгоритм расчета адвекции влаги в атмосфере, основанный на численной схеме, учитывающей топографию поверхности, и позволяющий уверенно разделять переносы влаги на компоненты, связанные со средним потоком, синоптическими вихрями, крупномасштабными горизонтальными и вертикальными ячейками циркуляции.

8. По данным семи доступных реанализов и данных аэрологических зондирований IGRA оценены различные компоненты переноса влаги для Арктики и Антарктики. Показано, что транспорт влаги в Арктику на разных высотах в основном осуществляется синоптическими и мезомасштабными вихрями, ответственными за 88-95% общего потока. Обнаружено что при уменьшении и слабой изменчивости суммарного переноса, относительная роль вихревого переноса для Арктики возрастает от 80% в 1980-е гг. до 95% в 2010-е гг.. Показано, что источники увеличения запаса влаги в атмосфере Арктики носят преимущественно локальный характер и связаны с изменениями неадиабатического испарения, связанного с потеплением Арктики.

9. Выполнено исследование динамики цикла переноса влаги над Красным морем. Показано, что перенос влаги с акватории Красного моря осуществляется двумя основными механизмами: циркуляцией бризового типа в нижней тропосфере и региональной циркуляцией, связанной с динамикой Аравийского антициклона и его взаимодействия с внутритропической зоной конвергенции в верхней тропосфере.

Полученные результаты свидетельствуют о современном уровне диссертационной работы, которая содержит физический анализ явлений, разработку статистических методов анализа, их программную реализацию и выполненную на этой основе физическую интерпретацию процессов. В целом, работа написана на хорошем научном языке. Однако, в ней встречаются и вызывающие изумления «перлы», примером которых

может служить описание радара, который, по мнению автора, есть «высокочастотный излучатель коротких интенсивных импульсов энергии, которая фокусируется в узкий луч невидимой энергии вращающейся принимающей антенны». Встречаются и пропуски в тексте, так на стр. 315 предложение незакончено.

Есть и некоторые замечания к работе.

1. В работе, в основном, используются данные Реанализов 1 и второго поколения, с присущими им недостатками (низкое пространственное разрешение, устаревшие системы усвоения и т.п.). Полагаю, использование реанализов последнего поколения могло бы существенно увеличить углубить анализ.

2. В диссертации отсутствует анализ вклада в исследуемые процессы такого популярного в последнее время явления, как атмосферные реки, которое, по некоторым оценкам, вносит значительный вклад в экстремальные осадки и в перенос влаги в атмосфере.

3. Результаты могли бы иметь и практические приложения, но не создан доступный для заинтересованных потребителей архив файлов с результатами анализа. Отмеченные недостатки не снижают общую высокую оценку работы. Она выполнена на высоком научном уровне, хорошо оформлена. Автореферат отражает основные положения диссертационной работы, материалы диссертации достаточно полно освещены в публикациях автора и докладывались на многих конференциях высокого уровня.

В целом диссертационная работа Золиной О.Г. «Статистическое моделирование экстремальных атмосферных осадков и региональный атмосферный цикл влаги» представляет собой целостную научную работу, в которой автором решена фундаментальная научная проблема: получены достоверные оценки характеристик экстремальных осадков и их климатической изменчивости на основе статистического моделирования и исследование роли экстремальных осадков в формировании регионального гидрологического цикла.

Считаю, что диссертационная работа Золиной О.Г. «Статистическое моделирование экстремальных атмосферных осадков и региональный атмосферный цикл влаги», соответствует «Положению о порядке присуждения ученых степеней». Автор работы Золина Ольга Геннадиевна достойна присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.30 - Метеорология, климатология, агрометеорология».

Официальный оппонент,
главный научный сотрудник ИМ КЭС СО РАН,
доктор физико-математических наук,
профессор

Е.П. Гордов

