

### Отзыв о диссертации

Ольги Геннадиевны Золиной на тему « Статистическое моделирование экстремальных осадков и региональный атмосферный цикл влаги»,

представленной на соискание ученой степени доктора физико–математических наук по специальности 25.00.30.- метеорология, климатология, агрометеорология .

**Цель работы** — построение достоверных количественных оценок экстремальных осадков на основе развития новых методов их статистического моделирования и установление роли экстремальных осадков в гидрологическом цикле.

Экстремальные или особо сильные осадки имеют принципиальное значение для возникновения экстремальных гидрологических явлений, в первую очередь наводнений, приносящих большие экономические убытки. Существующие оценки экстремальных осадков характеризуются сильными неопределенностями, что также справедливо и для прогностических климатических оценок, основанных на сценарных расчетах с помощью климатических моделей .

Это обосновывает **актуальность** данного исследования.

На защиту выносятся следующие положения.

- Предложены новые вероятностные распределения и разработаны алгоритмы оценки их параметров для статистического моделирования абсолютной и относительной экстремальности осадков.
- Выполнены оценки абсолютной и относительной экстремальности осадков по различным типам данным.
- Разработан новый подход к статистическому моделированию продолжительности влажных и сухих периодов (включая их совместные распределения) и интенсивностей осадков, связанных с периодами разной продолжительности, основанный на усеченном геометрическом распределении и связанным с ним распределением частичного вклада влажных и сухих периодов в общее количество влажных дней.
- Построены устойчивые оценки продолжительности влажных и сухих периодов и исследована их межгодовая динамика.

- Предложена концептуальная модель совместной изменчивости влажных и сухих периодов.
- Разработан новый алгоритм расчета адвекции влаги в атмосфере, основанный на численной схеме, учитывающей поверхностную топографию, и позволяющий уверенно разделять переносы влаги на компоненты, связанные со средним потоком, синоптическими вихрями, крупномасштабными горизонтальными и вертикальными ячейками циркуляции.
- Оценены различные компоненты переноса влаги на основании реанализов и данных аэрологических зондирований для Арктики и Антарктики.
- Выполнен анализ атмосферного гидрологического цикла и исследована роль потоков в пограничном слое и в свободной тропосфере в динамике влагопереноса на примере Красного моря.

Все положения обоснованы в диссертации, наиболее значимые результаты, обладающие **новизной**, опубликованы в виде научных статей в отечественных и зарубежных журналах.

К ним относятся следующие результаты.

1. В работе использованы четыре типа данных: прямые измерения осадков на станциях с суточным разрешением, данные глобальных реанализов, спутниковые массивы данных и данные высотного зондирования атмосферы. В качестве базовых использовались три разных массива данных стационарных наблюдений, являющихся наиболее точными из всех доступных данных об осадках. В их числе Архив Королевского Метеорологического Института Нидерландов, включающий 4727 синоптических станций, которые имеют временную длительность от 2-х десятилетий до более чем 100 лет.

Обновленный архив суточных измерений осадков на осадкомерных станциях Немецкого Метеорологического агентства из 11617 станций

Массив данных измерений ВНИИГМИ-МЦД из 1579 станций на территории России за период с 1881 года по настоящее время.



Три разных массива данных, основанных на измерениях со спутников: GPCP1DD (Global Precipitation Climatology Project) (*Huffman et al., 2001*), PERSIANN-CDR (*Ashouri et al., 2015*) и TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) (*Bauer 2001, Chambon et al. 2013*).

Девять разных массивов реанализов для характеристик осадков и адвективных переносов влаги в атмосфере.

Все эти данные были сопоставлены между собой, проконтролированы и проанализированы автором диссертации.

Для валидации характеристик переносов влаги, полученных по данным реанализов, в работе были использованы данные высотного зондирования атмосферы из Объединенного Архива Радиозондирования (IGRA, Integrated Global Radiosonde Archive, *Durre et al. (2006)*). Для района севернее 60°с.ш., использовано 63 станции. В Антарктиде было проанализировано 10 станций. Измерения покрывают период с 1979 года по настоящее время и представлены на стандартных уровнях: 1000, 850, 700, 500, 400, 300, 250 and 200 гПа.

2. Предложены новые метрики для статистического моделирования абсолютной и относительной экстремальности осадков и их новое вероятностное распределение.

Это позволило предложить новый индекс относительной экстремальности  $R95tt$ , существенно более устойчивый, чем ранее использованные.

3. 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 и спутниковым измерениям. Максимальные величины экстремальных осадков (95%-ный перцентиль) отмечаются в Скандинавии, в южных районах Европы и на Дальнем Востоке и составляют более 26 мм/день. 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. Реанализы, существенно занижают оценки экстремальных осадков. Спутниковые данные зимой завышают значения экстремальных осадков, а летом – занижают.

4. Получены оценки межгодовой изменчивости абсолютной и относительной экстремальности осадков в Евразии по данным стационарных наблюдений, реанализов и спутниковых измерений. Показано, что за период с 1960 по 2012 годы на большей части территории Европы и России наблюдается увеличение, как абсолютной (до 8% в десятилетие), так и относительной экстремальности (до 5% в десятилетие). В Центральной Европе наблюдается сильная сезонность с увеличением экстремальных осадков зимой и уменьшением их значений летом на 7% в десятилетие.



5. Для статистического моделирования продолжительности влажных и сухих периодов (включая их совместные распределения) и интенсивностей осадков, связанных с периодами разной продолжительности предложен новый подход, основанный на усеченном геометрическом распределении и связанным с ним распределением частичного вклада влажных и сухих периодов в общее количество влажных дней. Для этих распределений разработаны эффективные алгоритмы для оценивания параметров и интегрирования функций плотности вероятности.

6. Построены устойчивые оценки продолжительности влажных и сухих периодов на Евразийском 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. Предложена концептуальная модель совместной изменчивости влажных и сухих периодов.

7. Выполнен анализ статистической структуры осадков над Мировым океаном, включающий рассмотрение числа дней с осадками и интенсивность осадков, по данным реанализов и спутниковых данных. Получено, 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.

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

9. 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 годы до 95% в 2010-е годы. Показано, что источники увеличения запаса влаги в Арктике носят преимущественно локальный характер и связаны с изменениями испарения, связанного с потеплением Арктики.

10. Выполнено исследование динамики гидрологического цикла над Красным морем и 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.

Показано, что перенос влаги с акватории Красного моря осуществляется в нижней тропосфере (до уровня 850гПа) циркуляцией бризового типа, а в слое выше 850гПа управляется динамикой Аравийского антициклона и его взаимодействием с Внутритропической Зоной Конвергенции. С начала 90-х до 2010 года происходило резкое увеличение (примерно на 40%) экспорта влаги с акватории моря, что связано с усилением циркуляции бризового типа в приземном слое в значительной степени модулируемого сигналом в поверхностной температуре воды.

**Достоверность полученных результатов** определяется использованием наиболее современных представлений о статистиках экстремальных значений .

**Научная и практическая значимость** работы состоит в использовании разработанных алгоритмов для оценивания характеристик экстремальных осадков для любых существующих видов данных, включая анализ результатов моделирования общей циркуляции атмосферы и климата.

Полученный в работе новый индекс относительной экстремальности осадков используется группой экспертов по оценке изменений климата

в качестве стандартной диагностики для следующего оценочного доклада МГЭИК. Климатологии характеристик экстремальных осадков используются для валидации региональных климатических моделей, в частности COSMO в Метеослужбе Германии и ALADIN в метеослужбе Франции, а также для анализа характеристик осадков в Национальном Центре Климатических Данных NCDC/NOAA США. Оценки характеристик экстремальных осадков по спутниковым данным, а также разработанные алгоритмы для их расчета используются Европейским космическим агентством , а также Космическим агентством Германии . Развитые в работе методы диагноза адвективных переносов влаги используются в качестве



базовой диагностики в ряде крупных исследовательских проектов, финансируемых Европейским Союзом, ANR и CNRS, а сами оценки используются для анализа качества реанализов и моделей в NOAA.

По работе можно сделать следующие замечания.

1. При статистическом моделировании экстремальных осадков не учитывается их возможная зависимость по времени и по пространству, т.е. применяется только модель случайной величины, а не случайной функции.

2. При анализе натуральных данных не сделана оценка марковости составляющих гидрологического цикла и факторов их определяющих.

3. Для предложенных автором модификаций ранее принятых вероятностных распределений не оценена значимость параметра усечения распределений, хотя этот параметр необходим при статистическом моделировании.

4. Авторский выбор трех районов недостаточен для иллюстрации региональных различий гидрологического цикла.

Оценивая работу в целом, следует отметить, что она является итогом исследований, выполнявшихся автором с 2002 года, в рамках научных программ Министерства образования и науки РФ, Федеральных целевых программ, инициативных проектов РФФИ, а также ряда международных проектов.

Диссертация удовлетворяет требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, ее автор Ольга Геннадиевна Золина, заслуживает присуждения ей ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.30- метеорология, климатология, агрометеорология.

Официальный оппонент

Рожков В.А.

1.03.2018.

Подпись В.А. Рожкова удостоверяю

*Специалист по кадрам*  
*В.А. Рожков*

