

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУ «ГГО»,

доктор физ.-мат наук

В.М.Катцов



«26» марта 2018 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения

«Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова»

на диссертационную работу

«Статистическое моделирование экстремальных атмосферных осадков и региональный атмосферный цикл влаги»,

представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология

Диссертационная работа Золиной Ольги Геннадиевны посвящена **актуальной проблеме** оценивания климатических распределений атмосферных осадков с акцентом на анализ характеристик их экстремальности. Практическая значимость исследования вытекает из той огромной роли, которую режим атмосферных осадков играет для жизнедеятельности и, прежде всего, рисков, связанных с такими экстремальными явлениями как засухи и наводнения, формируемыми в условиях экстремальности осадков. Анализу экстремальности осадков, в том числе в связи с наблюдаемыми и сценарными оценками изменений климата, посвящено большое количество работ, результаты которых не всегда согласуются и часто несопоставимы, вследствие разнородности использованных данных и методов оценивания. Неопределенность оценок экстремальных осадков затрудняет получение согласованных характеристик гидрологического цикла в различных регионах.

Научная и практическая значимость работы состоит в разработке новых методов и алгоритмов для оценивания характеристик экстремальности осадков с использованием различных видов данных, включая анализ результатов моделирования общей циркуляции атмосферы и климата. Диссертационная работа является итогом исследований, выполнявшихся автором с 2002г., в рамках научных программ

Министерства образования и науки РФ, Федеральных целевых программ, инициативных проектов РФФИ, а также ряда международных проектов.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы из 216 наименований, в том числе 206 на иностранных языках. Объем диссертации составляет 332 страницы текста, включая 22 таблицы и 209 рисунков.

В первой главе рассмотрены основные методы наблюдений и массивы данных об атмосферных осадках (станционных, спутниковых, радарных), а также полученных из реанализов атмосферы и климатических моделей. Выполнен критический анализ данных с точки зрения их пространственно-временного разрешения, длительности временных рядов и возможностей использования для исследования климатических закономерностей параметров распределения осадков, включая характеристики экстремальных осадков. В качестве приоритетных определены наборы суточных данных станций. Подробно охарактеризованы три использованных в работе источника - архивы Королевского метеорологического института Нидерландов, Метеослужбы Германии и Росгидромета, покрывающие внетропическую часть Евразии. Рассмотрены также основные характеристики спутниковых данных об осадках и данных из реанализов, определены возможности их использования в работе.

Вторая глава посвящена обсуждению методологических вопросов статистического анализа характеристик экстремальности атмосферных осадков (индексов экстремальности количества осадков, интенсивности осадков, продолжительности сухих и влажных периодов и др.). Для оценивания относительной экстремальности осадков предложено новое вероятностное распределение - распределение частичного вклада (РЧВ) - и новый индекс относительной экстремальности. Предложен новый подход к оценке продолжительности влажных и сухих периодов и интенсивностей осадков, основанный на усеченном геометрическом распределении и связанном с ним распределением частичного вклада влажных и сухих периодов в общее количество влажных дней. Обоснованы эффективные алгоритмы оценивания параметров этих распределений и интегрирования функций плотности вероятности. Тестирование точности предложенных аппроксимаций выполнялось в рамках параметрических и непараметрических тестов Колмогорова-Смирнова и хи-квадрат.

В третьей главе рассмотрены климатические характеристики индексов экстремальности осадков, полученные с использованием предложенной методологии статистического оценивания на основе архивов станционных наблюдений ECA&D за период с 1950 по 2009 гг. и Росгидромета за период с 1966 по 2012 гг., проанализированы

их сезонные и пространственные особенности. По имеющейся сети станций для теплого и холодного сезонов построены карты экстремальных значений суточных сумм осадков, соответствующих 95%-квантилям аппроксимирующего гамма-распределения, индекса относительной экстремальности осадков (вклад 5% наиболее влажных дней в суммарное количество осадков, полученное исходя из аппроксимации РЧВ), средних и экстремальных продолжительностей влажных и сухих периодов, интенсивности осадков, связанных с дождливыми периодами. Выполнено сравнение оценок экстремальной продолжительности, исходя из 95%-го перцентиля аппроксимирующего усеченного геометрического распределения (УГР) и эмпирических оценок.

В четвертой главе сравниваются и обобщаются характеристики средних и экстремальных осадков, полученные по различным типам данным, имеющим различный масштаб пространственного осреднения (станционные данные, реанализы, спутниковые данные). Установлено, что реанализы существенно занижают значения абсолютных экстремальных осадков. Лучше других соответствуют станционным оценки экстремальных осадков по реанализу NCEP-R2, для которого характерно завышение средних осадков. Согласованность данных реанализов с наблюдениями на станциях существенно лучше зимой и ухудшается летом вследствие недостаточно точного моделирования преобладающих летом конвективных процессов. Относительно оценок экстремальных осадков по двум массивам спутниковых данных (PERSIAN-CDR и GPCP) получен вывод о существенном завышении спутниковых данных зимой и занижении летом. Важной частью является анализ статистической структуры осадков над Мировым океаном, который дополнен не проводившимися ранее оценками по данным с суточным разрешением. С использованием пяти реанализов и двух массивов спутниковых данных установлено, что различия в числе дней с осадками и интенсивности осадков существенно больше, чем в среднем количестве осадков, а межгодовая изменчивость средних осадков в реанализах сильно зависит от однородности объема и типов ассимилируемых данных.

Пятая глава посвящена исследованию климатической изменчивости и трендов характеристик осадков над континентами и Мировым океаном. Исследуется устойчивость оценок к наличию пропусков. Предложена процедура, позволяющая моделировать характеристики пропусков на основе метода Монте-Карло с сохранением статистических свойств исследуемых рядов. Значимость трендов оценивалась с использованием параметрических и непараметрических тестов. Рассматривались также оценки групповой значимости трендов, характеризующих изменения в больших регионах. Получен вывод об устойчивом росте зимних экстремальных осадков на всей территории Европы и России. 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). Летом в Центральной Европе выявлен отрицательный тренд экстремальных осадков (7% в десятилетие). Тренды индекса относительной экстремальности выражены слабее, вместе с тем выявлена устойчивая корреляция (до 0.73) этого индекса с Северо-Атлантическим колебанием. Обнаружена тенденция увеличения повторяемости длинных и уменьшения коротких периодов осадков. Вместе с тем, в рамках совместного анализа изменения длительности сухих и влажных периодов, впервые выявлены районы одновременного увеличения или сокращения продолжительности и влажных, и сухих периодов (риск одновременного увеличения продолжительных сильных дождей и возникновения засух). Выполнен сравнительный критический анализ оценок, полученных по станциям, данным реанализов и спутниковым данным. Впервые выполнен анализ изменчивости статистической структуры осадков над океаном, включающий рассмотрение числа дней с осадками и интенсивность осадков по данным реанализов и спутниковых наблюдений.

Шестая глава посвящена рассмотрению региональных влагопереносов в трех регионах – Арктике, Антарктике и районе Красного моря. Такой подход эффективен для оценки водного баланса в условиях слабой освещенности наблюдениями. Автором разработана основанная на эйлеровом подходе методология, учитывающая неопределенности расчетов переносов влаги в более ранних работах, и алгоритм, позволяющий уверенно разделять переносы влаги на компоненты, связанные со средним потоком, синоптическими вихрями, крупномасштабными горизонтальными и вертикальными ячейками циркуляции. С использованием данных семи современных реанализов и атмосферного зондирования IGRA получены и проанализированы оценки средних переносов за 1979 - 2013 гг. Сделан вывод о преимущественно локальном характере источника увеличения запаса влаги в атмосфере Арктики, связанного с увеличением испарения вследствие потепления Арктики.

На примере Красного моря решается задача интегрирования дивергенции влаги для контура с целью оценки роли моря в региональном гидрологическом цикле. Выявлено два основных механизма переноса влаги с акватории Красного моря: бризовая циркуляция до высоты 850 гПа и выше - взаимодействием Аравийского антициклона с внутритропической зоной конвергенции. Обнаруженная тенденция усиления влагопереноса с середины 1990-х гг., объясняется усилением циркуляции бризового типа в приземном слое, которая регулируется изменениями температуры поверхности Красного моря.

Научная новизна диссертации состоит в разработке и применении ряда новых подходов к статистическому анализу и моделированию характеристик экстремальности осадков. В частности, предложен индекс относительной экстремальности и новое вероятностное распределение для его оценки, разработаны алгоритмы определения параметров распределений для оценки абсолютной и относительной экстремальности осадков, предложен новый подход к статистическому моделированию продолжительности влажных и сухих периодов, а также уточненный подход к оценке трендов по неполным данным. Впервые выполнен анализ полученных автором оценок абсолютной и относительной экстремальности осадков за последние несколько десятилетий и оценены тренды их изменений во времени по различным типам данным. По спутниковым данным и реанализам впервые выполнен анализ осадков над Мировым океаном, включающий рассмотрение числа дней с осадками и интенсивность осадков.

Разработан новый алгоритм расчета адвекции влаги в атмосфере, учитывающий поверхностную топографию, и позволяющий уверенно разделять переносы влаги на компоненты, связанные со средним потоком, синоптическими вихрями, крупномасштабными горизонтальными и вертикальными ячейками циркуляции. На его основе получены новые оценки тенденций изменения компонентов влагопереноса для районов Арктики и Антарктики, района Красного моря.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений определяется использованием теоретически обоснованных подходов к статистическому анализу и моделированию экстремальных осадков и расчетам адвекции атмосферной влаги, а также использованием и сопоставлением оценок, полученных на основе практически всех доступных данных об осадках.

Ниже перечислены некоторые замечания к диссертации.

1. Центральное место в анализе экстремальности осадков отведено индексу относительной экстремальности, основанному на применении т.н. распределения частичного вклада, вид которого определяется при использовании предположения о независимости наблюдений в рассматриваемой однородной совокупности. Применение сильных упрощающих гипотез вызывает сомнения в эффективности предложенного индекса для адекватной интерпретации происходящих климатических изменений. Представляет интерес сравнение с индексами относительной экстремальности (например, используемыми в современной

системе мониторинга климата Западной Европы), которые основаны на других подходах к оценке вклада осадков высокой интенсивности.

2. Результаты тестирования распределений, используемых для расчетов оценок экстремальности и сравнения с эмпирическими данными, представленные в диссертации, выполнены преимущественно по данным нескольких европейских станций. Важно было бы показать применимость их для засушливых районов, а также районов, расположенных в муссонном климате с резко выраженным годовым ходом осадков.
3. Комментарии автора по поводу методологии анализа экстремальных осадков (п.2.2) едва ли можно считать ясными и аргументированными. Дается упрощенная и по сути искаженная трактовка теоремы «о трех типах». Не учитывается асимптотическая природа обобщенного распределения экстремальных значений, которая – в отличие от распределения Парето – никак не связана с пороговым уровнем превышения. Рис. 2.5, призванный продемонстрировать преимущество реализованного в работе подхода, на самом деле отражает некорректность выполненной идентификации распределения экстремальных значений и проведенного сравнения в целом.

Отрицание полезности применения теории экстремальных значений в анализе осадков является необоснованным и противоречащим мировой практике. Более продуктивным представляется четкое разделение двух задач, опирающихся на различные методы: 1) построение индексов экстремальности осадков для целей мониторинга климата (рассматривается в диссертации), и 2) оценка экстремальных значений осадков заданной обеспеченности (выходит за рамки данного исследования).

4. Обсуждение характеристик «абсолютной экстремальности осадков» (п.3.2), а также карты пространственного распределения «абсолютных экстремальных значений» осадков (рис.3.10-12), создают ложное представление о реально наблюдаемых экстремумах суточных сумм осадков. Судя по рисунку для территории России (рис.3.12, лето), рассчитанные величины оказываются даже меньше средних многолетних значений сезонных максимумов и могут

наблюдаться несколько раз в год. Называть эти величины «абсолютными экстремальными значениями» неправомерно.

5. Анализ «возвратных периодов» и «возвратных значений» (в русскоязычной традиции принято говорить о периодах повторяемости и соответствующих квантилях), относится к задачам климатологии, актуальность которых в современных условиях возрастает. Однако использование аппроксимации распределения всей совокупности суточных сумм осадков, характеризующейся внутрисезонной нестационарностью и высокой связностью, едва ли может быть полезным для решения этой задачи (см., например, табл.3.1).
6. Результаты, полученные в процессе анализа сухих и влажных периодов, в той или иной степени зависят от порогового значения, которое использовалось для определения дня с осадками (или без осадков). Различные сферы приложений ориентируются на разные критерии для определения понятия «эффективные» осадки. Практически важным является вопрос, не нашедший освещения в диссертации, о чувствительности результатов, касающихся тенденции изменения числа и длительности сухих/влажных дней, а также оценки интенсивности осадков, к выбору соответствующего порогового критерия.
7. Точность аппроксимации распределения длительности периодов с осадками и без осадков усеченным геометрическим распределением (рис.2.4) для нескольких европейских станций рассматривается по годовым рядам данных, нет сведений о точности аппроксимации для сезонов.
8. Представление данных о продолжительности сухих периодов (рис.3.29) нельзя признать удачным. Выбранная шкала соответствует дифференциации периодов в очень узком диапазоне. В одну группу объединены все станции с продолжительностью сухих периодов больше 3.8 дней, в то время как в засушливых районах на протяжении многих лет осадки могут отсутствовать в течение месяца.
9. Представляется неоправданным универсальное использование термина «изменчивость» (климатическая изменчивость, межгодовая изменчивость) во всех случаях, когда речь идет об изменении во времени каких-либо характеристик.

Указанные недостатки не умаляют значимости основных результатов диссертационной работы. Представленная диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании обобщения выполненных автором работ решена фундаментальная научная проблема – достоверное количественное описание климатических изменений характеристик экстремальности осадков на основе статистического анализа и моделирования и исследование роли экстремальных осадков в формировании регионального гидрологического цикла. Диссертация обобщает результаты исследований, проведенных автором лично, и коллективных работ, в которых вклад автора был ключевым на всех этапах от постановки задачи до ее решения.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. По теме диссертации опубликовано 20 статей в высокорейтинговых рецензируемых научных журналах и коллективных монографиях. Две статьи - в международных рецензируемых изданиях из списка, рекомендованного ВАК, находятся в печати.

На основании изложенного считаем, что представленная диссертационная работа и автореферат удовлетворяют всем требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (ред. от 28.08.2017), предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор Золина Ольга Геннадиевна заслуживает присуждения ей искомой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на семинаре ФГБУ «ГГО» 07.03.2018 г.

Отзыв подготовили:

Ведущий научный сотрудник ФГБУ «ГГО», кандидат географических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология и агрометеорология



Виктория Михайловна Мирвис

Адрес: Россия, 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7. Тел. (812)297-86-68, E-mail: mirvis@main.mgo.rssi.ru

Ведущий научный сотрудник ФГБУ «ГГО», кандидат физико-математических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология и агрометеорология

 Елена Ивановна Хлебникова

Адрес: Россия, 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7. Тел. (812) 297-21-02, E-mail: khlebnikova_e@mail.ru

Главный научный сотрудник ФГБУ «ГГО», доктор физико-математических наук по специальности 25.00.29 – геофизика

 Игорь Леонидович Кароль

Адрес: Россия, 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7. Тел. (812)297-86-68, E-mail: igor.l.karol.7@gmail.com

Главный научный сотрудник ФГБУ «ГГО», доктор физико-математических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология и агрометеорология

 Валентин Петрович Мелешко

Адрес: Россия, 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7. Тел. (812)297-43-90, E-mail: meleshko@main.mgo.rssi.ru