

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУ
«Высокогорный геофизический
институт»



М.Ю. Беккиев

«20» мая 2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу **Попова Виктора Борисовича** «МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЛЕЙ ОСАДКОВ ПО НАЗЕМНЫМ И РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ДАННЫМ С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология.

Актуальность темы диссертации.

Диссертационная работа Попова Виктора Борисовича посвящена одной из наиболее важных задач прикладной радиолокационной метеорологии. В последние годы измерение осадков на больших площадях в реальном масштабе времени представляет собой научное направление, имеющее первостепенное практическое значение для многих отраслей человеческой деятельности. В особенной степени это относится к обеспечению нормального функционирования сложных многокомпонентных систем крупных городских агломераций, к числу которых относится Санкт-Петербург. Кроме того, оперативное получение полей осадков с высоким пространственно-временным разрешением позволяет решать задачи в сфере сельского хозяйства, гидрологии, штормооповещения, обеспечения безопасности полетов и т.д. Используемый в работе подход, основанный на сопоставительном анализе радиолокационных и наземных данных, существенно повышает точность и достоверность представляемой информации. Методы, разработанные автором для решения поставленных задач, имеют самостоятельное научное значение, и могут быть использованы при решении широкого круга задач радиолокационной метеорологии.

В связи с этим тема диссертационной работы Попова Виктора Борисовича является весьма актуальной, имеющей большую практическую направленность.

Структура диссертации включает в себя введение, пять глав, заключение, список сокращений и условных обозначений, список

используемых источников и три приложения. Общий объем работы составляет 130 страниц. Список литературы содержит 110 наименований.

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертации, формулируется цель исследования, и перечисляются задачи, поставленные и решенные автором в работе. Здесь же приводятся основные положения и результаты, выносимые на защиту, среди которых наибольший научный и практический интерес представляют следующие:

- выбор коэффициентов уравнения Маршалла–Пальмера для восстановления полей количества осадков радиолокационным методом;
- выбор метода и подбор параметров пространственной интерполяции количества осадков для сети АИС «Осадки»;
- выбор метода и подбор параметров пространственной интерполяции невязки количества осадков между радиолокационными и наземными данными;
- методика оценки полей интенсивности осадков на основе подбора коэффициентов уравнения Маршалла–Пальмера по радиолокационным и наземным измерениям.

Также во введении указывается личный вклад автора, который принимал непосредственное участие в подготовке и обработке исходных материалов, адаптации и разработке методик, анализе и обобщении полученных результатов, создании программного обеспечения и базы данных. Здесь же достаточно обоснованно и подробно раскрывается научная новизна работы. В этом плане следует отметить, что впервые для территории Санкт-Петербурга и ближайших пригородов был адаптирован метод восстановления полей количества часовых осадков с высоким пространственным разрешением на основе интерполяции разницы между радиолокационными и стационарными измерениями. Разработанная в работе новая методика восстановления полей интенсивности осадков на основе динамического подбора коэффициентов уравнения Маршалла–Пальмера, без сомнения найдет широкое применение при решении целого ряда задач при разработке методов параметризации полей жидких осадков.

Приведенные во введении данные об апробации работы, публикациях автора, наличие авторских свидетельств о регистрации интеллектуальной собственности в полной мере соответствуют требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. В плане использования результатов работы следует отметить, что адаптивный метод восстановления полей количества осадков за час по измерениям АИС «Осадки» и «ДМРЛ-С» был внедрен в опытную эксплуатацию Гидрометцентра Санкт-Петербургского ЦГМС-Р. Предложенная в диссертационной работе методика восстановления полей интенсивности осадков по измерениям АИС «Осадки» и «ДМРЛ-С» была использована при выполнении двух грантов РФФИ.

В **первой главе** диссертационной работы описываются атмосферные осадки, анализируются наземные и радиолокационные методы их измерения, а также методы восстановления полей жидких осадков, основанные на

комбинировании радиолокационных и наземных данных. Автором достаточно обоснованно формулируются преимущества и недостатки каждого из подходов, и описывается современное состояние методов восстановления полей осадков. Одним из основных выводов этой части работы является то, что метод среднего смещения поля не учитывает локальных особенностей осадков, и дважды учитывает радиолокационные данные, а значения количества осадков на станциях только один раз. Именно на основе этого для восстановления полей осадков по радиолокационным и наземным данным в работе выбран метод интерполяции невязки (разницы между радиолокационными и стационарными измерениями). Используя метод пространственной интерполяции, невязка воспроизводится в каждом пикселе радарной области и вычитается из поля радиолокационных оценок осадков. Фактически имеет место калибровка радиолокационного поля осадков по данным наземных датчиков осадков. Такой подход выглядит вполне оправданным, имеющим ряд очевидных преимуществ.

Вторая глава диссертации посвящена описанию физико-географических и климатических особенностей района исследования. Здесь же подробно рассматриваются экспериментальные данные и их первичная обработка. Следует отметить, что используемые в работе наземные датчики определяют количество выпавших осадков по их весу каждые 6 секунд. Эти 6-секундные значения добавляются к накопленной сумме осадков. Датчики работают в автоматическом режиме и обеспечивают получение информации о количестве атмосферных осадков один раз в пять минут. Для обработки и визуализации радиолокационной информации, используется программное обеспечение вторичной обработки «ГИМЕТ-2010», обеспечивающее получение метеорологических радиолокационных данных с пространственным разрешением до 1 км. Для получения часовых сумм осадков суммировались пятиминутные данные каждого наземного датчика осадков. Радиолокационное поле количества осадков за час, рассчитывалось на основе поля отражаемости ZI , измеренного при минимальном угле места. При этом отражаемость переводилась в интенсивность осадков по известному соотношению Маршалла-Пальмера. Затем, для каждого радиолокационного пикселя, количество осадков рассчитывалось путем накопления значений интенсивности в течение текущего часа. Такой подход обеспечивает хорошее пространственное разрешение данных об осадках, и позволяет сделать выводы об их структуре и временной изменчивости. В этом плане следует отметить таблицу 2.1, где на основе анализа статистических данных показано, что чаще всего выпадающие осадки имеют незначительную интенсивность. Около половины случаев выпадения осадков в Санкт-Петербурге приходится на морось.

Третья глава диссертации посвящена анализу различных методов восстановления полей осадков, и подбору оптимальных параметров для их практической реализации. Для оценки качества восстановления полей осадков в работе использовался метод перекрестной проверки. Автором используются несколько статистических показателей, среди которых

среднеквадратическое, среднее абсолютное и систематическое отклонения. Кроме этого автор использует коэффициенты модели линейной регрессии, их стандартные отклонения и коэффициент детерминации. В случае восстановления полей количества осадков по радиолокационным данным, в работе, кроме известного $Z-I$ -соотношения Маршалла-Пальмера, использовались аналогичные соотношения, полученные для северо-запада России. Тем не менее, приведенные на рис.3.1. графики показывают, что именно соотношение Маршалла-Пальмера дает наибольшее совпадение при сравнении стационарных и радиолокационных оценок количества осадков с разными комбинациями коэффициентов $Z-I$ соотношения. На этом основании коэффициенты именно этого соотношения будут использоваться в дальнейшем для восстановления полей количества осадков за час по радиолокационным данным.

Здесь же в третьей главе выполнена оценка возможности пространственной интерполяции количества осадков, и проведен анализ пространственной структуры этой характеристики. Показано, что среднее и стандартное отклонение для отдельных приборов меняется более чем на 20% относительно общего значения для всех станций. По имеющемуся набору стационарных измерений часовых сумм осадков была вычислена корреляционная функция для всех комбинаций пар станций. Были получены значения данной функции в зависимости от расстояния между станциями. Учитывая, что среднее расстояние между станциями наземной сети составляет 9,4 км, полученные значения корреляционной функции будут точно больше 0,5.

При описании методов пространственной интерполяции, которые использовались в работе, автор выделяет три, при которых восстановленные значения количества осадков оказались наиболее близкими к измеренным для всех видов осадков. Это метод Обратных расстояний и два метода Радиальных базисных функций. Анализ восстановленных и фактических данных по значениям количества осадков, полученных наземной сетью датчиков показал, что оптимальным является метод Радиальных базисных функций с обратной мультквадратической функцией и параметром сглаживания $R = 5,5$. Именно этот метод выбран в работе для восстановления осадков только по данным плевниографов. Аналогичным образом анализируется пространственная структура невязки радиолокационных и стационарных данных. Для этих полей был выбран метод Радиальных базисных функций с обратной мультквадратической функцией и параметром сглаживания $R = 3,5$.

Четвертая глава работы посвящена сравнительному анализу трех методов восстановления полей количества осадков за час. Рассматриваются результаты радиолокационного метода, метода пространственной интерполяции данных на наземных станциях и комбинированного метода радиолокационных и наземных измерений. Наиболее наглядно результаты, полученные по всем трем методам, представлены на рис. 4.1 и 4.2. Из этих графиков следует, что комбинированный метод оказался значительно лучше

радиолокационного и метода интерполяции данных наземных датчиков по всем показателям. При этом интересный результат получен, если сравнивать методы для различных интервалов количества осадков. Для осадков $<0,6$ мм метод интерполяции количества осадков по наземным данным работает лучше остальных, а начиная с интервалов $>0,6$ мм поля, восстановленные комбинированным методом, получаются наиболее качественными. Другими словами, преимущества комбинированного метода проявляются для осадков средней и высокой интенсивности, а для слабых осадков можно обойтись методом интерполяции количества осадков по данным наземных датчиков.

Здесь же приводится детальный анализ восстановления полей количества осадков за час тремя рассматриваемыми методами для различных синоптических ситуаций. Полученные в этой части работы выводы носят в основном рекомендательный характер, и направлены на уточнение возможностей методов при различных типах осадков.

В пятой главе диссертации приведены результаты исследования полей количества и интенсивности осадков. Поля количества осадков рассчитывались методом интерполяции невязки, а для восстановления полей интенсивности осадков была предложена новая методика подбора коэффициентов $Z-I$ соотношения. Очевидную практическую направленность имеет выполненное в этой главе исследование неоднородностей полей конвективных осадков. Автор использует термин «пятно осадков» для описания области с повышенным по отношению к окружающей территории количеством осадков. Статистический анализ полей осадков показал, что наибольший поток наблюдался в пятнах с уровнем изолинии 9 мм, при этом площадь таких пятен в 75% случаев меньше 7 км². Дополнение измерений плювиографов радиолокационными данными позволяет идентифицировать пятна осадков с площадью до 1 км².

Наиболее важной частью пятой главы является методика восстановления полей интенсивности осадков. Методика основывается на динамическом подборе коэффициентов $Z-I$ соотношения с наименьшей погрешностью восстановления полей по нескольким радиолокационным обзорам. Автор детально описывает пять последовательных этапов практической реализации данной методики в условиях 10-минутной дискретности получения карт радиолокационной отражаемости в приземном слое и 5-минутных измерений количества осадков на станциях. Здесь же описаны примеры использования такого подхода при анализе процесса слияния конвективных облаков.

Наиболее важными результатами диссертации, имеющими высокую степень новизны и научной значимости, являются:

1. Выбран метод интерполяции осадков, как наиболее подходящий для восстановления полей количества осадков за час на территории Санкт-Петербурга и ближайших пригородов по данным радиолокатора «ДМРЛ-С» и сети плювиографов АИС «Осадки». Метод заключается в динамической калибровке радиолокационного поля осадков по наземным измерениям.

2. Для радиолокатора «ДМРЛ-С» и сети плювиографов АИС «Осадки» подобраны параметры трех основных методов восстановления полей осадков: по радиолокационным данным, с помощью пространственной интерполяции измерений плювиографов и на основе комбинирования этих методов.
3. На основе сравнительного анализа трех методов восстановления полей часовых сумм осадков на территории СПб и ближайших пригородов показано, что метод интерполяции количества осадков лучше всего воспроизводит морозящие осадки. Обложные осадки с одним максимумом лучше воспроизводит метод комбинирования наземных и радиолокационных данных. Обложные осадки со сложной ячеистой структурой воспроизводятся всеми методами примерно одинаково. Преимущества комбинированного метода особо выражены при восстановлении полей конвективных осадков с одним максимумом или имеющего многоячеиковую структуру.
4. Разработана методика восстановления полей интенсивности осадков по результатам радиолокационных измерений.
5. Выявлены основные закономерности изменения максимальной интенсивности и потока осадков при слиянии мощных кучевых и кучево-дождевых облаков.

Практическая ценность результатов.

Все полученные в диссертационной работе результаты имеют практическую ценность, и могут быть использованы при решении различных задач прикладной радиолокационной метеорологии.

Получение полей осадков с высоким пространственно-временным разрешением позволяет в значительной степени облегчить решение целого ряда задач по жизнеобеспечению крупных городских образований. Достоверные данные о выпадающих осадках крайне необходимы в сельском хозяйстве, гидрологии, штормооповещении и т.д.

Радиолокационные методы измерения осадков над наземной сетью приборов широко используются в научных и оперативных проектах по исследованию облачных процессов, увеличению осадков и противоградовых работах.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

В диссертационной работе детально анализируются результаты предыдущих исследований по теме. Постановка задачи включает в себя оценку качества восстановленных полей апробированным методом перекрестной проверки, корректное использование радиолокационных и наземных данных для формирования исходной выборки. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами других независимых исследований по данной тематике.

Все вышеперечисленное позволяет полагать, что сделанные в диссертации выводы и рекомендации достаточно обоснованы.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций.

1. Для территории Санкт-Петербурга и ближайших пригородов впервые проанализирована пространственная структура количества осадков за час и невязок стационарных и радиолокационных измерений. Показана статистическая неоднородность этих характеристик и получены радиусы корреляции.
2. Впервые для данной территории был адаптирован метод восстановления полей количества часовых осадков с высоким пространственным разрешением на основе интерполяции разницы между радиолокационными и стационарными измерениями. Показаны преимущества и недостатки данного метода по сравнению с методом интерполяции осадков и радиолокационным методом.
3. Впервые проведено исследование неоднородностей количества конвективных осадков, выпавших за час на территории СПб и ближайших пригородов.
4. Разработана новая методика восстановления полей интенсивности осадков на основе динамического подбора коэффициентов уравнения Маршалла-Пальмера.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней.

Все авторские исследования, включенные в диссертацию, опубликованы в научной печати.

По теме диссертации опубликовано 3 научные работы в рецензируемых журналах из Перечня ВАК, а также приравняемые к публикациям 3 авторских свидетельства: одно на базу данных и два на программы для ЭВМ.

По своему содержанию и публикациям диссертация соответствует критериям, которым должны отвечать кандидатские диссертации на соискание ученых степеней (раздел II п. 9,10,11,13,14 «Положения о присуждении ученых степеней»).

Подтверждение личного вклада соискателя в разработку научной проблемы.

Автор принимал непосредственное участие в подготовке и обработке исходных материалов, адаптации и разработке методик, анализе и обобщении полученных результатов, создании программного обеспечения и базы данных.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность, подтверждение публикаций автора.

Диссертация полностью охватывает основные вопросы поставленной научной проблемы. Содержание работы соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается последовательностью плана исследования, непротиворечивостью методологической платформы. Порядок

изложения (последовательность глав работы) выглядит вполне логично, материалы, вынесенные в приложения, имеют важное значение для подтверждения достоверности полученных результатов.

Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание.

Замечания по диссертационной работе:

1. В разделе 1.3 при описании особенностей измерения осадков с применением радиолокатора автор выражает эффективную площадь рассеивания капель воды через радиолокационную отражаемость (соотношение 1.1, стр. 17). Более физически обоснованным выглядит обратное соотношение – радиолокационная отражаемость, как функция поперечного сечения обратного рассеяния. Опечатка, допущенная в тексте («капели»), в этом случае приобретает смысловой характер. Если автор имел в виду слово «капли», то соотношение 1.1 не имеет смысла, поскольку в соотношении 1.5. радиолокационная отражаемость выражена через интеграл от d_{\min} до d_{\max} . Если же это слово «капель», то должно быть указано - «..капель в единице облачного объема».
2. На стр. 20 автор указывает, что «Калибровка должна производиться путем сопоставления результатов зондирования МРЛ и густой осадкомерной сети...» Автор должен быть более точным. Возможно, он имел в виду относительную калибровку. Абсолютная калибровка проводится по стандартной мишени с целью определения константы радиолокатора.
3. В разделе 2.4. на стр. 42 приведена схема расположения наземных датчиков дождя и выделена область восстановления поля осадков в виде квадрата со стороной 74км. Однако северо-восточная и юго-западная периферии этой области не имеют ни одного датчика. Очевидно, что достоверные данные о полях осадков могут быть получены на значительно меньшей площади.
4. Раздел 5.2 диссертационной работы называется «Характеристики осадков при слиянии облаков». Однако именно в этом разделе представлен один из наиболее значимых результатов работы - новая методика восстановления полей интенсивности осадков. Использование этой методики и позволило выявить основные закономерности изменения максимальной интенсивности и потока осадков при слиянии мощных кучевых и кучево-дождевых облаков. Тема разработки данной методики могла бы быть отражена в названии раздела.
5. В работе отмечаются отдельные опечатки, не имеющие смыслового значения.

Заключение

Отмеченные недостатки не имеют принципиального значения, и не снижают ценности диссертационной работы.

Полученные теоретические и экспериментальные результаты, выполнены на высоком научном уровне, достоверны и обладают научной новизной. Практическая значимость работы не вызывает сомнений. В целом выполненная работа, представляющая собой самостоятельное законченное исследование, характеризует автора как сложившегося ученого, владеющего всем арсеналом современных средств научного и экспериментального исследования.

Все авторские исследования, включенные в диссертацию, опубликованы в научной печати. По теме диссертации опубликовано 3 научные работы в рецензируемых журналах из Перечня ВАК. Автором получены 3 авторских свидетельства, приравняемые к публикациям.

Научные результаты диссертации соответствуют пунктам 8, 13 и 15 Паспорта специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология.

Диссертационная работа Попова В.Б. «Метод восстановления полей осадков по наземным и радиолокационным данным с высоким пространственно-временным разрешением для территории Санкт-Петербурга» соответствует требованиям п. 9 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней». Соискатель Попов Виктор Борисович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология.

Ведущий научный сотрудник
отдела Активных воздействий ФГБУ «ВГИ»
кандидат физ.-мат. наук, СИС
Макитов Виктор Сафарович
vsmakitov@hotmail.com
360030, КБР
г. Нальчик, пр. Ленина, 2
тел. 8 (8662) 40-24-84

Макитов

ПОДПИСЬ *ВНС отдела АВ ФГБУ «ВГИ»,
к. ф.-м.н., доктора Макитова В.С.*
ЗАВЕРЯЮ. УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ФГБУ «ВГИ.
М.В. Фаренова (Фаренова М.В.)
М.В. 20 19 г.

