

Прогноз осадков в районе аэропорта Богашево с использованием модели WRF

Л.И. Кижнер, Н.К. Барашкова, А.С. Ахметшина,
А.А. Барт, А.В. Старченко*

*Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36*

Поступила в редакцию 1.04.2013 г.

Представлены результаты численного моделирования метеорологических условий в районе аэропорта Богашево и г. Томска, полученные с помощью мезомасштабной прогностической системы Weather Research & Forecasting (WRF). Основное внимание уделено выбору параметризации микрофизических процессов, адекватной для условий Западной Сибири, с целью получения достоверного прогноза интенсивных дождевых осадков. Выполнено сравнение прогностических и фактических данных по осадкам и облачности, которое продемонстрировало хорошие возможности модели для прогноза осадков и опасных для авиации явлений. Лучшие результаты дало применение параметризации микрофизики ETA.

Ключевые слова: авиация, осадки, облачность, модель WRF, прогноз, параметризации микрофизических процессов; aviation, precipitation, cloud, model WRF, forecast, parameterization of microphysical processes.

Введение

Воздушный транспорт относится к наиболее зависимой от погодных условий отрасли экономики, поэтому для обеспечения его безопасной и эффективной работы требуется информация о фактических и ожидаемых метеоусловиях. Сведения о погоде должны предоставляться оперативно, в полном объеме и с высоким временным и пространственным разрешением. Для этого необходима информация об облачности, видимости, осадках, возможности обледенения воздушного судна, появлении струйных течений, турбулентности, распределении ветра и температуры [1, 2], полученная на уровне земли и до высот эшелон полета (10–12 км и более).

В проводимых в последнее время исследованиях большое внимание уделяется возможности усовершенствования прогноза осадков, так как они прежде всего вызывают ухудшение горизонтальной и вертикальной дальности видимости (в холодный период – снегопады, туманы, в теплый – дожди, дымки, туманы) [3]. Кроме того, с облаками, вызывающими осадки, связаны возникновение зон турбулентности, болтанки, обледенения и электризация летательных аппаратов. Прогноз указанных явлений требует качественного анализа вида, интенсивности и продолжительности осадков. Усовершенствование прогнозов погоды, в том числе специализированных авиацион-

ных, возможно с использованием существующих гидродинамических моделей, например модели Weather Research & Forecasting (WRF) [4]. При этом основную роль в улучшении прогноза осадков играет применение соответствующих параметризаций микрофизических процессов.

Цель нашей работы заключалась в проведении численных экспериментов с моделью WRF для оценки качества ее микрофизического блока, отвечающего за прогноз облачности и осадков, и выработке стратегии использования выходной продукции модели для прогноза осадков в районе аэропорта Богашево.

1. Основные теоретические положения исследования

Основная трудность гидродинамического прогноза заключается в моделировании сложных связей внутриоблачных физических процессов, определяющих осадкообразование, эволюции полей температуры, влажности, ветра, вертикальных движений. Формирование осадков в облаках происходит исключительно благодаря внутриоблачным процессам, характер и интенсивность которых развиваются на фоне общего макрофизического атмосферного процесса.

Описание микрофизики облаков и осадков

Процессы облако- и осадкообразования, имеющие масштаб много меньше пространственного разрешения гидродинамических моделей, подвергаются параметризации с различной степенью детальности.

* Любовь Ильинична Кижнер (kdm@mail.tsu.ru); Надежда Константиновна Барашкова (meteo@ggf.tsu.ru); Анна Сергеевна Ахметшина; Андрей Андреевич Барт; Александр Васильевич Старченко (starch@math.tsu.ru).

Под параметризацией внутриоблачных физических процессов понимается описание процессов масштабов облачной частицы и процессов, охватывающих области коллективного взаимодействия облачных частиц, через переменные синоптического масштаба с целью определения суммарного действия процессов микро- и макромасштабов в образовании и развитии облаков и связанных с ними явлений погоды. Параметризация внутриоблачных процессов основана на кинетической теории фазовых переходов воды в атмосфере и базируется на физико-статистических связях, построенных по данным экспериментальных наблюдений за осадками и комплексом термодинамических параметров атмосферы.

Теоретические схемы фазовых превращений воды в атмосфере, в том числе описывающие образование осадков, представляют собой решение задач роста частиц облака. Для того чтобы из облака выпадали осадки, облачные элементы должны вырасти до такого размера, при котором скорость их падения была бы больше скорости восходящих потоков воздуха и падающие частицы, проходя слой воздуха от нижнего основания облака до земли, не испарялись бы полностью. При этом число быстрорастущих облачных элементов в каждый момент времени должно быть достаточным для создания заметного эффекта выпадающих осадков. Скорость роста падающих облачных частиц обуславливается размером капель, водностью облака, характером распределения в нем капель по размерам, фазовой структурой, температурой облака, величиной вертикальных движений в облаке и др.

Необходим учет следующих процессов фазовых переходов влаги: водяной пар–вода (конденсация), водяной пар–лед (сублимация), вода–пар (испарение), лед–пар (возгонка), лед–вода (таяние), вода–лед (замерзание). Вид осадков зависит также от процессов коагуляционного роста облачных частиц – укрупнения их за счет слияния, слипания или сцепления. Рассматривают коагуляцию гравитационную, броуновскую, турбулентную, электростатическую (в современной литературе синонимами коагуляции являются обзертание, аккреция) [4, 5].

Гидродинамическая модель WRF: блок микрофизики процессов облако- и осадкообразования

В работе использовалась прогностическая система WRF (версии 3.4.1), которая широко применяется в научных центрах и метеослужбах многих стран для оценки физического состояния атмосферы и прогнозирования погодных условий. Модель основана на численном решении системы уравнений гидротермодинамики атмосферы с учетом тепломассообменных процессов, протекающих в верхнем слое суши или воды. Модель содержит большое количество параметризаций подсеточного масштаба, в том числе параметризации микрофизических процессов в облаках; облачной конвекции; переносов коротко- и длинноволновой радиации; состояния поверхностного слоя

и тепловлагообмена между атмосферой и подстилающей поверхностью; планетарного пограничного слоя. Микрофизические процессы в облаках ответственны за эволюцию водяного пара и прогноз облаков и осадков.

В настоящей статье рассматриваются атмосферные мезомасштабные процессы над областями, размеры которых позволяют явно рассчитывать процессы образования облачности и осадков (в [4, 6] рекомендуется использовать параметризации образования конвективной облачности для расчетов на разностной сетке, горизонтальный шаг которой более 10 км).

Современные прогностические модели, в том числе и модель WRF, предлагают разнообразные схемы параметризации микрофизических процессов влаги, в той или иной степени отражающие реальные процессы облако- и осадкообразования. Наибольшее распространение получили представленные ниже схемы, которые и были использованы нами.

Схема Lin [4, 6]. Усложненная схема микрофизики влаги с учетом образования льда, снега и града, подходящая для моделирования с высокой точностью для реальных погодных условий. Включает дополнительное уравнение для прогноза генерации крупных частиц града. В схему входят 6 классов гидрометеоров: водяной пар, облачная вода, дождь, ледяные кристаллы, снег в облаках и смешанные осадки. Является наиболее подходящей для использования в научных исследованиях.

WSM5. Схема WRF с 5 классами. Моделирует образование облаков, состоящих из смешанных фаз воды; учитывает 5 категорий гидрометеоров: водяной пар, дождь, снег, ледяные частицы в облаках и облачную воду. Схема позволяет моделировать переохлажденную воду и постепенное таяние снега [6]. Схема эффективна в промежуточных масштабах между мезо- и микромасштабами.

Схема ETA. Схема представляет изменения, происходящие в облаках, имеющих жидкое, твердое и смешанное состояния влаги, а также в осадках [4]. В качестве переменных выступают водяной пар и конденсат в виде водности и ледности облаков, дождя и осаждающегося льда (снега/граупелей/снега с дождем). Учитывает адвекцию водяного пара и конденсата. Смешанная фаза в микрофизических процессах рассматривается при температуре выше -30°C , ледяная – при более низких температурах.

WSM6. Схема WRF с 6 классами, в которой рассматриваются лед, снег и град. В этой параметризации учитывается 6 типов гидрометеоров: присутствующие в параметризации WSM5 и дополнительно град (крупа). Поведение схем WSM5 и WSM6 мало отличается для мезомасштабной сетки, но WSM6 наиболее эффективна для моделирования с высоким разрешением (сравнимого с размерами облаков, примерно 5 км и более) [6]. Схема может быть применена для зимних облаков и фронтальной конвекции. Учитывает разности скоростей падения облачных элементов и тем самым позволяет моделировать рост капель или кристаллов за счет их захвата и слияния.

Схема Thompson. Новая схема со льдом, снегом и градовыми процессами подходит для моделирования с высоким разрешением. В ней шесть переменных, описывающих гидрометеоры, так же как и в параметризации WSM6. В качестве прогностических переменных используются удельная влажность, водность, ледность облаков, водность дождя, ледность снега и твердых осадков (граупелей) и концентрация облачных кристаллов. Дополнительно учитывается концентрация ледяных частиц. Усовершенствование схемы состоит в том, что вместо экспоненциального закона распределения граупелей по размерам используется гамма-распределение, поэтому распределение твердых осадков по размерам не постоянно и зависит от влажности и температуры в облаке. Рост твердых частиц в облаке превышает в 3 раза рост частиц за счет сублимации водяного пара. Распределение частиц снега по размерам зависит от температуры. Распределение капель дождя по размерам не является постоянным, поэтому имеется возможность моделировать скорость оседания как капель дождя, так и мороси [6].

2. Экспериментальная часть исследования

В ходе эксперимента рассмотрены метеорологические условия в районе аэропорта Богашево (г. Томск) с 18:00 15 июня до 12:00 17 июня 2012 г. (здесь и далее используется время ВСВ). Используются данные стандартных восьмисрочных метеонаблюдений на гидрометеорологической станции Томск (ГМС, координаты 56,5° с.ш., 85° в.д.) [7] и в аэропорту Богашево на авиационной метеорологической станции гражданской (АМСГ) (56,4° с.ш., 85° в.д.), полученные с использованием аэродромной метеорологической информационно-измерительной системы АМИС-РФ.

Наблюдаемые характеристики метеорологических условий были сопоставлены с результатами прогноза по модели WRF, рассчитанного с применением кластера ТГУ (СКИФ Cyberia).

В качестве начальных и граничных условий для модели WRF использовались результаты расчетов по глобальной модели ГУ Гидрометцентра России ПЛАВ [8]. Выходная продукция – прогностические данные полей метеовеличин – выдавалась ежечасно. Исследование проводилось путем многократного запуска моделирующей системы WRF с изменением параметризации микрофизики влаги, в то время как параметризации пограничного слоя, радиации, подстилающей поверхности оставались одинаковыми. Расчеты выполнялись на трех вложенных областях с общим центром в 56,5° с.ш., 85° в.д. (г. Томск). Размер наибольшей области – 450 × 450 км, шаг сетки – 9 км, второй вложенной области – 150 × 150 км, шаг сетки – 3 км, третьей – 50 × 50 км, шаг сетки – 1 км [9, 10]. Для большей области учитывалось образование конвективных осадков по параметризации облачности по схеме Betts–Miller–Janjic. Во все три

области вошли аэропорт Богашево, Томская гидрометеорологическая станция и ТОР-станция ИОА СО РАН, выполняющие метеорологические наблюдения и наблюдения за составом атмосферного воздуха (восточная часть г. Томска). Рассчитывался слой атмосферы от поверхности земли до высоты 30 км, в котором использовалась неравномерная вертикальная сетка из 34 уровней, сгущающихся к земной поверхности.

Синоптическая ситуация, или общий макрофизический атмосферный процесс, проанализирована с помощью набора синоптических и аэрологических карт за соответствующие сроки. В период с 15 по 17 июня 2012 г. Томская область находилась под влиянием высотной ложбины с циклоническим центром на АТ-500 юго-западнее Новосибирска, прослеживавшимся до уровня 200 гПа. Воздушная масса над территорией была достаточно увлажненная, от поверхности земли и до уровня 700 гПа дефициты были в пределах 1–2 °С, что при сильном дневном прогреве до 28 °С способствовало возникновению условий для образования мощной кучевой облачности, а в ночные и утренние часы – дымок и туманов. Барическое поле у земли характеризовалось как малоградиентное циклоническое. По западной части области проходила полярно-фронтальная окклюзия, а с юга шло надвигание теплого участка вторичного фронта. Для фронта имелась ложбина холода на АТ-850. По синоптическим данным ливневой дождь в Томске был отмечен 16 июня в 00:00. В 03:00 ливень еще продолжался, а между этими часами была отмечена гроза. Таким образом, оба явления можно объяснить близостью фронтов (размытого полярного и окклюзии).

Анализ результатов численного моделирования

Режим осадков. Рассматриваемый случай выпадения осадков на АМСГ развивался в следующей последовательности. Начало осадков отмечено 15 июня в 20:00, ливневые осадки продолжались до 03:30 16 июня, в период с 03:30 до 04:30 они закончились. Вновь ливень отмечен 16 июня в 04:30 и продолжался примерно в течение 30 мин. После 05:00 16 июня в течение примерно суток наблюдались туман или дымок. Последняя порция дождя зафиксирована в 10:20 17 июня. В результате на АМСГ (Богашево) в срок 00:00 16 июня отмечено 15,2 мм, что, по принятой в Гидрометеослужбе классификации [11], соответствует градации «сильный дождь», а после 00:00 зафиксировано 2,6 мм («дождь»).

На рис. 1 представлена временная картина выпадения осадков по результатам моделирования с разными параметризациями микрофизики.

Расчеты осадков по модели WRF указывают, что формирование их началось после 23:00 15 июня. Первый, отчетливо выраженный, максимум осадков зафиксирован в 00:00 16 июня. Интенсивность осадков по разным параметризациям существенно отличается – от 5 до 38 мм/ч. Интенсивные осадки выпадали на протяжении 2–3 ч – с 23:00 до 01:00–02:00.

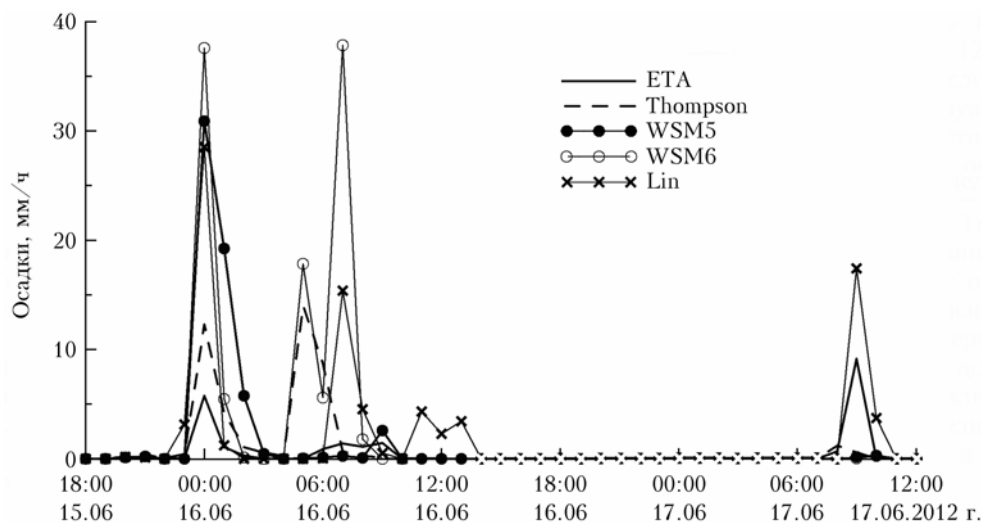


Рис. 1. Количество выпавших осадков (мм/ч) с использованием разных параметризаций микрофизики влаги

Второй максимум осадков зафиксирован с 5:00 до 9:00 16 июня, продолжительность его составила от 3 до 5 ч. Интенсивность осадков, в зависимости от схем параметризации, составила от 2 до 38 мм/ч. По результатам расчетов к 10:00 16 июня осадки прекратились. Параметризации ETA и Lin дали осадки и значительно позже – 17 июня с 08:00 до 10:00.

Сравнивая расчетные и фактические данные, можно отметить, что по результатам моделирования первая фаза дождя началась позже на 3 ч, закончилась в момент окончания фактических осадков. Вторая порция дождя смоделирована успешно по времени начала и окончания. По интенсивности (и количеству) осадков разные параметризации дали различающиеся значения – от 2 (ETA) до 38 мм/ч (WSM6). Последняя порция дождя, наблюдавшаяся 17 июня, по времени успешно предсказана моделью ETA и Lin.

Таким образом, время начала, окончания и длительность дождя по всем параметризациям хорошо согласуются между собой и с фактическими данными, а разброс в его интенсивности достаточно большой: минимальная интенсивность дается параметризацией ETA, максимальная – WSM6. Существенно различаются в зависимости от выбора параметризации и суммы осадков за 12-часовые интервалы (табл. 1).

При стандартных метеонаблюдениях количество выпавших осадков измеряют 2 раза в сутки. Используемые при моделировании параметризации (WSM5, WSM6, Lin) в наибольшей степени завязали интенсивность и количество осадков (по количеству осадков за 12 ч – до 2,5 раза на первые 12 ч и до 25 раз – на следующий период).

Согласно существующим регламентам [11] по оценке оправдываемости осадков градация «сильный дождь» включает осадки с интенсивностью от 15 до 49 мм за 12 ч, следовательно прогноз осадков по параметризациям Thompson, WSM5, WSM6, Lin на вторую половину суток 15 июня, несмотря на превышение, имеет оправдываемость 100%. Использование параметризации ETA получило оправдываемость 50%. На первую половину суток 16 июня, когда фактически дождевые осадки по количеству классифицировались как «дождь», одна параметризация смоделировала аналогичное количество осадков (ETA) и оправдалась на 100%. Параметризации Thompson, WSM5 и Lin оправдались на 50%. Прогноз с использованием параметризации WSM6 не оправдался. На 00:00 17.06.2012 все расчеты оправдались на 100%, за исключением параметризации Lin (50%). На 12:00 17.06.2012 параметризации ETA,

Таблица 1

Данные по количеству фактически выпавших и рассчитанных по модели осадков, мм/12 ч

Метод определения (измерения) осадков	На 00:00	На 12:00	На 00:00	На 12:00	Общая сумма, мм
	16.06.2012		17.06.2012		
Параметризация ETA	6,1	6,3	0,0	9,8	22,2
Параметризация Thompson	13,3	29,8	0,1	1,8	45,0
Параметризация WSM5	31,3	28,5	0,1	0,4	60,3
Параметризация WSM6	37,9	68,1	0,0	0,3	106,3
Параметризация Lin	31,9	28,4	3,4	18,1	81,8
АМСГ Томск	15,2	2,6	0,0	0,0	17,8
ГМС Томск	13,0	2	0,0	0,0	15,0

Прогноз осадков в районе аэропорта Богашево с использованием модели WRF

Thompson, WSM5, WSM6 – на 50%. Расчет с использованием параметризации Lin не оправдался.

Таким образом, все параметризации (табл. 1) предсказали завышенное количество осадков; худшей по этому критерию является WSM6. Наиболее точной по количеству выпавших осадков, времени их выпадения оказалась параметризация ETA.

Облачность. Облачность и высота ее нижней границы являются одними из важнейших факторов, влияющих на взлет и посадку самолетов. Процесс эволюции облачности определялся наличием циклонического барического поля, приближением и прохождением атмосферного фронта (табл. 2).

В начале периода (18:00 15 июня) облачность представлялась в виде *Cb*, *Ac*, *Ci* с нижней границей от 1000 м. Период с фактическими осадками сопровождался появлением *Frb* и снижением нижней границы облачности с 800–1000 до 240 м (21:00 15 июня – 04:00 16 июня). После окончания осадков с 17:00 16 июня и до 02:00 17 июня отмечались дымка или туман с вертикальной видимостью 50–80 м. С 03:00 17 июня нижняя граница облачности среднего яруса располагалась на высоте 900 м, а с высоты ~7 км отмечались облака верхнего яруса (*Ci*).

Модель WRF оценивала общее количество облачности (балл) в зависимости от высоты над поверхностью земли. Рассчитанные вертикальные токи и балл облачности, а также их динамика во времени представлены на рис. 2. Смоделированный режим облачности (балл, расположение нижней и верхней границ, мощность) в целом соответствует реальным процессам конденсации влаги и образования осадков.

Все параметризации дают мощную облачность и относительно небольшую высоту нижней границы в период развития процессов, перед началом осадков, в 18:00 15 июня; наиболее мощную и низкую облачность в 00:00 16 июня, в период выпадения интенсивных осадков; более высокую и менее мощную облачность через 12 ч после прекращения осадков; дальнейшее развитие облаков через 12 и 24 ч, обусловившее последнюю порцию осадков утром 17 июня. Высоты верхней границы облачности все параметризации рассчитывают приблизительно одинаковыми,

от 10 до 12–13 км, что является вполне реальным (кучево-дождевые облака могут располагаться до высот 10–12 км и более). Высоты нижней границы облаков для разных параметризаций в момент наиболее интенсивных осадков составили от 1 до 3 км с возрастанием в дальнейшем до 5–7 км.

Отметим, что изменения относительной влажности приземного воздуха за период численного эксперимента, представленные на рис. 3, находятся в хорошем согласии с режимом выпадения фактических осадков. Относительная влажность для всех параметризаций в периоды выпадения осадков (с 20:00 15 июня до 04:00 16 июня) и наличия тумана (с 16:00 16 июня до 01:00 17 июня) была близка к 100%. В периоды отсутствия осадков (утро – день 16 июня и ночь – раннее утро 17 июня) воздух был далек от насыщения. Таким образом, фактическая и смоделированная картины распределения облачности, осадков и относительной влажности воздуха взаимно дополняют и физически согласуются между собой.

Вертикальные токи. Роль упорядоченных вертикальных движений в формировании и эволюции крупномасштабных полей облачности и осадков велика, несмотря на небольшие значения скоростей (от 0,1 до 10 см/с). Восходящие движения (положительные в расчетах) способствуют образованию облаков и осадков, нисходящие (отрицательные) – их размыванию.

Для разных параметризаций картина вертикальных движений несколько изменяется (см. рис. 2). Общим является то, что рассчитанные вертикальные токи указывают на отсутствие сильных восходящих и нисходящих движений в периоды отсутствия осадков. В момент активного процесса развития облачности и осадков (00:00 16 июня) модели дают достаточно интенсивные нисходящие токи под облаками или в нижней их части и восходящие движения в облаках. На верхней границе облаков вертикальные движения существенно уменьшаются, а выше 14–15 км движения становятся преимущественно нисходящими. Наибольшие вертикальные токи в верхней части облаков дает модель WSM6. В целом режим развития облачности и выпадения осадков хорошо согласуется с рассчитанными значениями вертикальных токов.

Таблица 2

Фактические данные по облачности (АМСГ Томск)

Характеристика облачности		Дата, время				
		15.06, 18:00	16.06, 00:00	16.06, 12:00	17.06, 00:00	17.06, 12:00
ВНГО, м	1	1000	240	800	60	900
	2	2000	800	2000		2000
	3	6900	2000	6900		6900
Форма облачности, явления	1	<i>Cb</i> , дымка	<i>Frb</i> , дымка, ливень	<i>Cb</i>	туман	<i>Cb</i>
	2	<i>Ac</i>	<i>Cb</i>	<i>Ac</i>		<i>Ac</i>
	3	<i>Ci</i>	<i>Ac</i>	<i>Ci</i>		<i>Ci</i>

Примечание. ВНГО – высота нижней границы облачности; *Cb* – кучево-дождевые облака; *Ac* – высоко-кучевые; *Ci* – перистые; *Frb* – разорванно-дождевые; 1, 2, 3 – нумерация нижних границ облачных слоев.

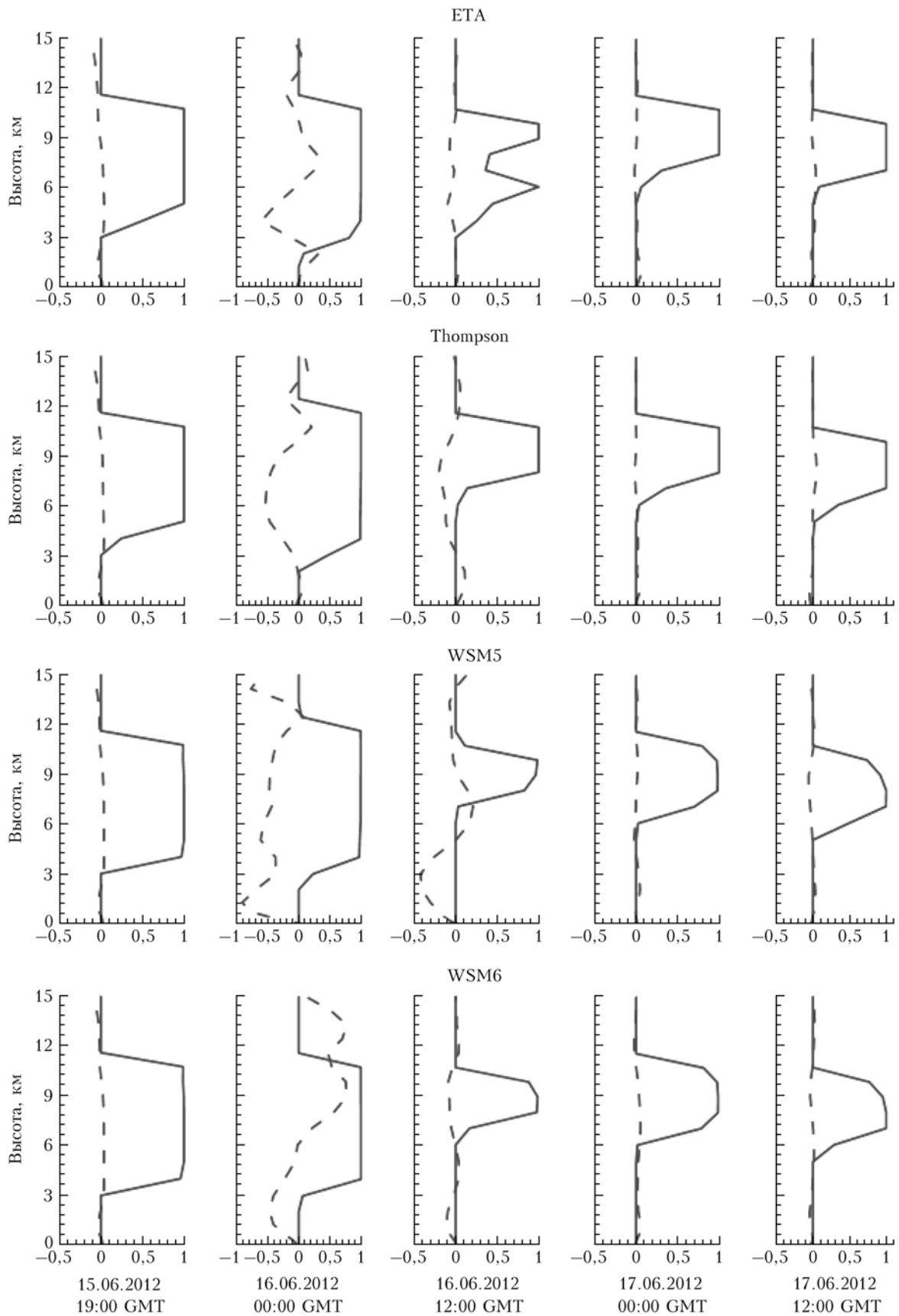


Рис. 2. Облачность и вертикальные токи по разным параметризациям. Сплошная линия – доля облачности (от 0 до 1); штриховая – вертикальная скорость, м/с

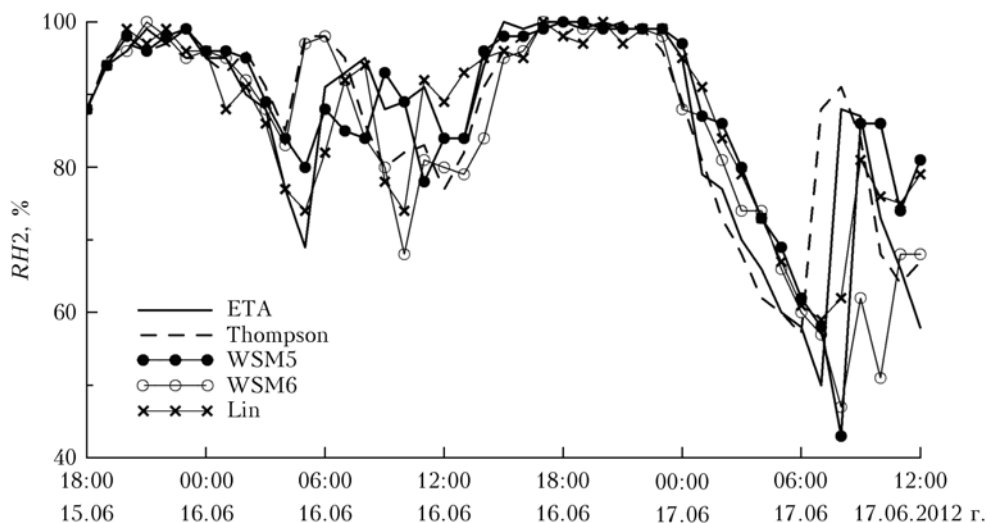


Рис. 3. Относительная влажность (RH_2) на высоте 2 м, рассчитанная с использованием разных параметризаций микрофизики влаги

Заключение

При прогнозе факта наличия осадков все параметризации оправдались на 100%.

Использование разных параметризаций микрофизических процессов дает существенную разницу в прогностическом количестве осадков. По суммам осадков за весь период их выпадения лучшие результаты дала параметризация ETA, отклонения рассчитанных сумм осадков от фактически измеренных для нее составили всего 25%. Параметризации Thompson, WSM5, Lin и в особенности WSM6 завысили их количество.

Предсказанное время начала осадков в модели перенесено на более позднее время, примерно на 3 ч, но продолжительность дождя и периоды его интенсификации и отсутствия были рассчитаны достаточно точно.

Высота нижней границы облаков в модели была завышена на 1–2 км. Однако привлечение данных по влажности воздуха позволяет идентифицировать высокую относительную влажность (более 90%) как низкие облака и/или туман. В целом требуется бо́льшая дискретизация модельных параметров по облачности для нижнего 1–2-км слоя, который является особенно важным при взлете и посадке воздушных судов.

Таким образом, результаты расчетов осадков, облачности, вертикальных токов и режима влажности с использованием модели WRF продемонстрировали хорошие возможности ее использования для прогноза осадков и сопутствующих опасных для авиации явлений в исследуемом районе.

Комплексный анализ рассчитанных характеристик позволяет достаточно точно оценивать возможность возникновения опасных явлений в районе аэропорта Богашево, г. Томска и ближайших приго-

родов и оказать существенную помощь прогнозисту-синоптику.

Для рассмотренного района рекомендуется использовать параметризацию микрофизики ETA, которая показала лучшие результаты по времени начала, окончания осадков и по оценке их количества.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (соглашение № 14.В37.21.0667) и гранта РФФИ № 12-01-00433а.

1. Инструкция по метеорологическому обеспечению полетов воздушных судов на аэродроме. Томск, 2001. 24 с.
2. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России (НМО ГА-95). М.: Росгидрометеоздат, 1995. 156 с.
3. Акимов В.И. Распределение относительной повторяемости видимости в осадках на территории СССР // Труды ВНИГМИ МЦД. 1983. Вып. 107. С. 37–45.
4. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Duda M.G., Huang X., Wang W., Powers J.G. A Description of the Advanced Research WRF Version 3 // NCAR Technical Note. 2008. June. NCAR/TN–475+STR. 125 p.
5. Мазин И.П., Шметер С.М. Облака, строение и физика образования. Л.: ГМИ, 1983. 279 с.
6. ARW Version 3 Modeling System User's Guide // NCAR. Mesoscale & Microscale Meteorology Division. National Center of Atmospheric Research. January 2010. 312 p. [Electronic resource]. URL: http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v3.pdf
7. Погода в России и мире, прогноз погоды от Метеоцентра [Электронный ресурс]. URL: www.meteocenter.net
8. Толстых М.А., Булдовский Г.С. Усовершенствованный вариант глобальной полулагранжевой модели прогноза полей метеозлементов в версии с постоянным разрешением заблаговременностью до 10 сут и результаты его оперативных испытаний // Фундаментальные и прикладные гидрометеорологические исследования. СПб.: Гидрометеоздат, 2003. С. 24–47.

9. *Старченко А.В., Беликов Д.А., Вражнов Д.А., Есаулов А.О.* Применение мезомасштабных моделей MM5 и WRF к исследованию атмосферных процессов // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18, № 5–6. С. 455–461.
10. *Барт А.А., Старченко А.В., Фазлиев А.З.* Информационно-вычислительная система для краткосрочного прогноза качества воздуха над территорией г. Томска // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 7. С. 594–601.
11. *Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. Руководящий документ РД52.27.724-2009.* Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2009. 50 с.

L.I. Kizhner, N.K. Barashkova, A.S. Akhmetshina, A.A. Bart, A.V. Starchenko. **Forecast of precipitations near airport Bogashevo using the WRF model.**

The results of numerical modeling of meteorological conditions in the vicinity of the airport Bogashevo and the city of Tomsk were obtained with the help of the Mesoscale Prediction System Weather Research & Forecasting (WRF). Main attention is paid to the choice of the parameterization of microphysical processes, which is adequate for the condition of the Western Siberia, in order to obtain a reliable forecast of the intense rainfall. Comparisons of the prognostic and the actual data on the precipitates and the cloudiness were performed. It has demonstrated good capabilities of the model to forecast rainfall and aviation hazards. The best results were obtained by the use of microphysics parameterization ETA.