

Е.М. Вербицкая, С.О. Романский

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ КРАТКОСРОЧНЫХ ОПЕРАТИВНЫХ ПРОГНОЗОВ МЕЗОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ WRF-ARW «ХАБ-15» В ПУНКТАХ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА РОССИИ

Введение

В Вычислительном центре Регионального специализированного метеорологического центра Всемирной службы погоды в г. Хабаровске (ПСМЦ Хабаровск) на высокопроизводительной платформе SGI Altix 4700 функционирует система численных прогнозов погоды на базе негидростатической модели Weather Research and Forecasting с динамическим ядром Advanced Research WRF (WRF-ARW) [4, 5] для территории Дальнего Востока России [3].

Согласно Плана испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиофизических прогнозов Росгидромета на 2014–2015 гг., испытывались методы краткосрочного (до 72 часов) прогноза элементов погоды (экстремальных и срочных значений температуры воздуха у Земли, скорости и направления приземного ветра, полусуточных сумм осадков) в пунктах Дальневосточного региона России (всего 333 пункта) по данным модели WRF-ARW с горизонтальным разрешением 15 км (условное название «Хаб-15»). Испытания проходили в период с 1 января по 31 декабря 2014 года.

1. Система численных прогнозов погоды на базе модели WRF-ARW для Дальневосточного региона России

Модель WRF-ARW разработана и развивается сообществом исследовательских организаций США, в том числе Национальным

центром исследований атмосферы (NCAR), группой Национальных центров прогнозирования состояния окружающей среды (NCEP) и др.

Вычислительное ядро ARW основано на негидростатических уравнениях для сжимаемой жидкости, записанных в декартовых координатах по горизонтали и с использованием специальной вертикальной орографической координаты η , которая определяется через гидростатическую составляющую давления. Система уравнений, записанная для возмущений метеорологических величин, включает эволюционные уравнения для расчета трех компонент вектора ветра, геопотенциала, потенциальной температуры, уравнение баланса массы и ряд дополнительных диагностических соотношений [4]. Уравнения модели рассчитываются численно с использованием модифицированного метода Рунге–Кутты. Исходный код модели свободно распространяется и обновляется примерно два раза в год. В работе испытывалась модель версии 3.4.1.

Модель инициализируется и использует в качестве граничных данных прогнозы модели Global Forecasting System с разрешением $0,5^\circ$ (NCEP). По вертикали от уровня Земли до изобарической поверхности 50 гПа задана неравномерная сетка из 31 уровня с наиболее подробным разрешением в пограничном слое атмосферы. Область расчета модели состоит из одного домена. Он покрывает территорию примерно ограниченную $30\text{--}70^\circ$ с. ш. и $100\text{--}170^\circ$ в. д. сеткой, включающей 501 на 401 точек с шагом по горизонтали в 15 км. Центральная точка сетки находится в Хабаровске. Область расчета выбрана так, чтобы покрыть основные регионы, оказывающие влияние на атмосферные процессы Дальнего Востока России. Шаг по времени составляет 60 с. Время одного расчета составляет порядка четырех часов на суперкомпьютере SGI Altix 4700 производительностью 0,6 ТФлопс.

Параметризации различных процессов для модели WRF-ARW были подобраны ранее на анализе и сравнении расчетов за 2011–2012 гг. [3]. Схема конвекции Betts-Miller-Janjic выбрана потому, что она была протестирована во многих других работах. Параметризация почвы и подстилающей поверхности NOAH – наиболее универсальная параметризация такого типа в модели WRF. Эта схема согласуется со схемой параметризации пограничного слоя Yonsei University и схемой

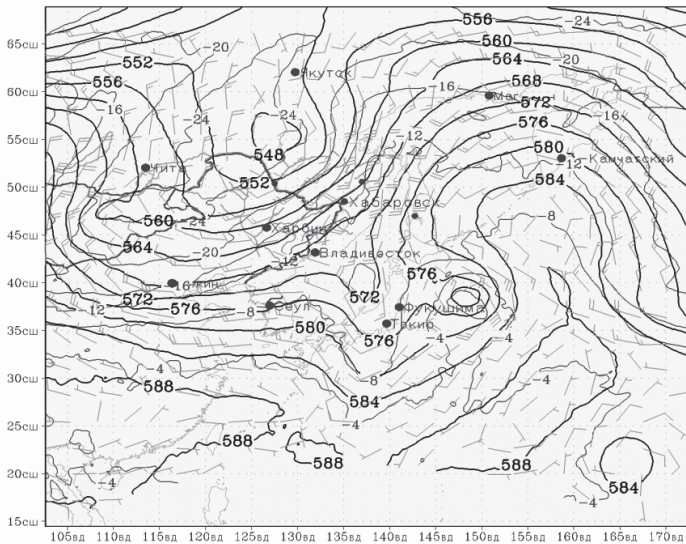
подобия приземного слоя MM5. Параметризации коротковолновой радиации Dudhia и Rapid Radiative Transfer Model выбраны потому, что они реализованы во многих моделях прогноза погоды и протестированы для различных случаев. Параметризация микрофизики WRF Single-Moment 5-class подходит для применения на сетках с шагом более 10 км.

Расчеты прогнозов выполнялись на вычислительных ресурсах РСМЦ Хабаровск один раз в сутки от 00 ч ВСВ в течение 2014 г. под методическим сопровождением специалистов отдела гидрометеорологических исследований и прогнозов ФГБУ «ДВНИГМИ». Для проведения испытаний выходная прогностическая информация фиксировалась на серверах РСМЦ Хабаровск. По полному списку станций прогнозы передавались на сайт ДВНИГМИ. По станциям зоны обслуживания Дальневосточного УГМС прогнозы выкладывались на сервер общего пользования для синоптиков отдела краткосрочных прогнозов Гидрометцентра ФГБУ «Дальневосточное УГМС».

Выходная продукция модели представлена картами-слайдами, на которые нанесены метеорологические поля, информационными метеограммами и прогностическими таблицами по перечню пунктов прогноза. Встроенный в модель WRF постпроцессор Unified Post Processor практически не используется, выходная продукция генерируется программами, созданными сотрудниками отдела гидрометеорологических исследований и прогнозов ДВНИГМИ.

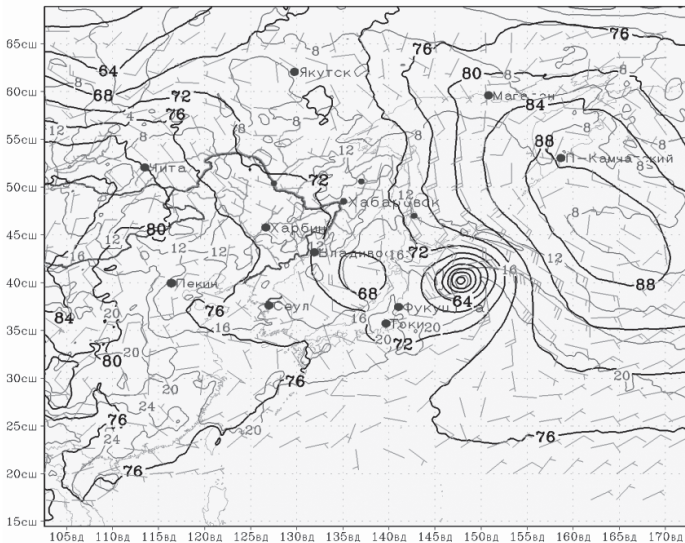
Перечень выходной продукции отличается для УГМС региона в связи со спецификой их деятельности и физико-географическими особенностями территории обслуживания. Срочные карты-слайды по высотам включают карты с наноской полей геопотенциала, ветра и температуры на стандартных изобарических поверхностях. На приземные карты наносятся, как правило, поля трехчасовых сумм осадков, облачности по ярусам или общего балла облачности, приземного ветра, температуры у Земли, давления на уровне моря, зон сильного ветра у Земли. Строятся также карты-слайды давления на уровне моря и накопленных сумм осадков, карты индекса грозовой активности и ряд других карт специализированных прогнозов. Примеры карт приведены на рис. 1. На метеограммы наносится прогностическая информация в пунктах с заблаговременностью до 72 часов.

Геопотенциал, температура и ветер на 500 гПа



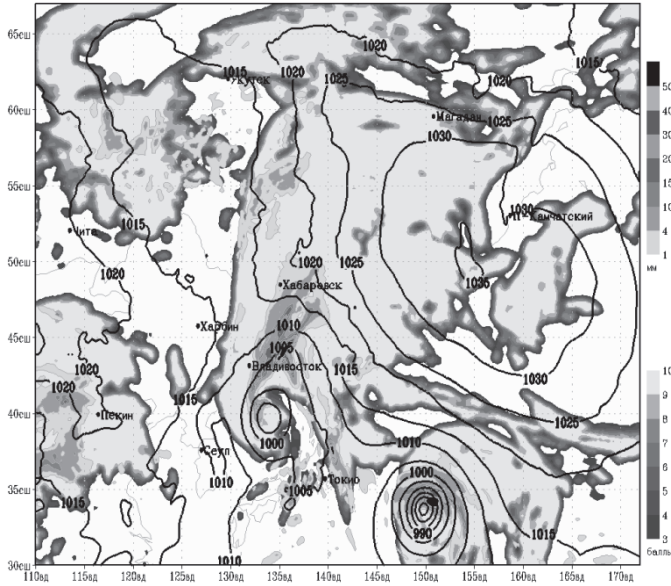
1а

Геопотенциал, температура и ветер на 925 гПа



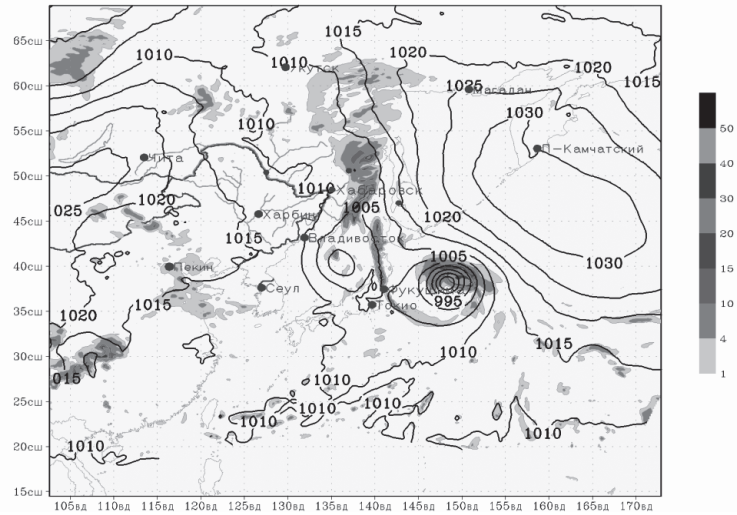
1б

Осадки за 3ч. Давление на ур. моря. Облачность

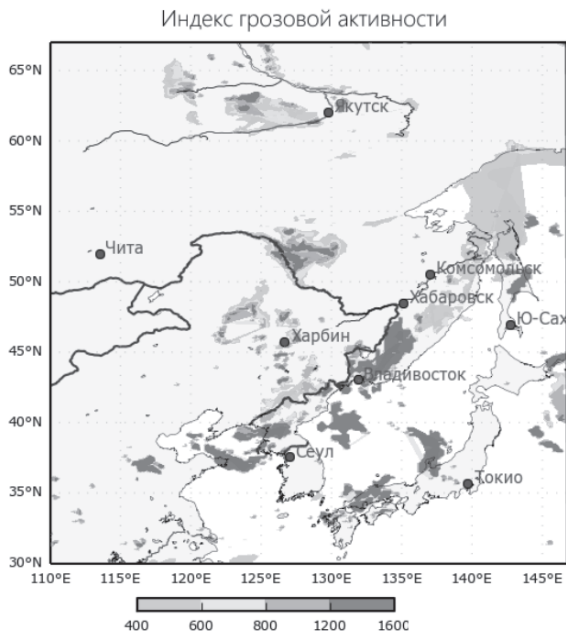


1в

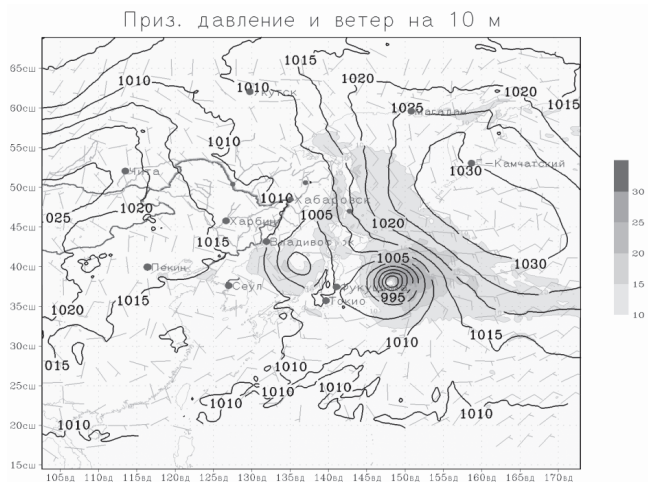
Приз. давление и осадки



1г



1д



1е

**Рис. 1. Образцы карт-слайдов модели WRF-ARW «Хаб-15»
(выпускаются в цветном виде).**

Метеограмма имеет модульную структуру и состоит из четырех блоков (рис. 2).

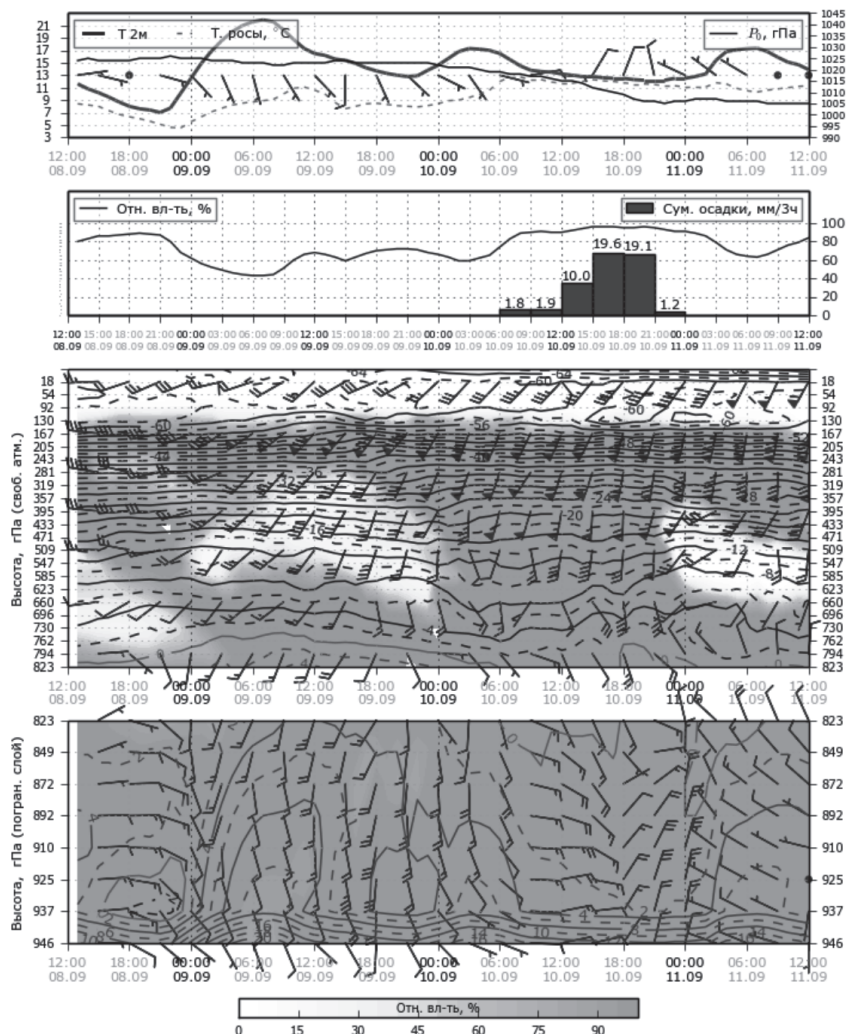


Рис. 2. Пример метеограммы в пункте, построенной по данным модели WRF-ARW «Хаб-15» (выпускаются в цветном виде).

На первом блоке нанесена приземная информация – температура и точка росы на высоте 2 м, ветер на высоте 10 м (перьями) и давление на уровне моря; на втором – информация об осадках, облачности и относительной влажности на высоте 2 м; третий и четвертый блоки представляют собой вертикальный разрез атмосферы (приземный слой и свободная атмосфера) в точке, развернутый во времени, на котором представлена информация на модельных уровнях о температуре, ветре и относительной влажности. Текстовые таблицы содержат прогнозы срочных значений скорости и направлении ветра на высоте 10 м, давления на уровне моря, срочной и экстремальной температуры воздуха у Земли, полусуточных и шестичасовых сумм осадков в пунктах.

В Дальневосточное, Якутское, Забайкальское, Сахалинское и Приморское УГМС, Ситуационный центр Росгидромета и другим потребителям поступают указанные образцы продукции и специализированные прогнозы по данным модели «Хаб-15». Возможна передача результатов работы модели в цифровом коде GRIB на стандартных изобарических поверхностях и вблизи Земли. В частности, такая продукция используется в геоинформационной системе «МЕТЕО ДВ», предназначенной для мониторинга и прогнозирования погоды на территории Дальнего Востока России. Прогнозы в виде карт-слайдов и прогностических таблиц в оперативном режиме представлены на сайте ДВНИГМИ (ferhri.org).

2. Результаты оперативных испытаний

На территории Дальневосточного региона России расположено восемь УГМС Росгидромета, обслуживающих закрепленную за ними территорию: Дальневосточное УГМС – зона обслуживания охватывает территории Хабаровского края, Еврейской автономной области и Амурской области, для испытаний выбрано 77 станций; Забайкальское УГМС – зона обслуживания охватывает территории Забайкальского края и Республики Бурятия (93 станции); Камчатское УГМС – зона обслуживания Камчатский край (23 станции); Колымское УГМС – зона обслуживания Магаданская область (32 станции); Приморское УГМС – зона обслуживания Приморский край (43 станции); Сахалинское УГМС – зона обслуживания Сахалинская область (о. Сахалин и Курильские острова) (12 станций); Чукотское УГМС – зона обслуживания

Чукотский автономный округ (24 станции); Якутское УГМС – зона обслуживания территории республики Саха (Якутия) (29 станций).

Качество прогнозов оценивалось по совокупности числовых характеристик, рекомендованных РД 52.27.284-91 [1]. Оценивалось также значение общей оправдываемости прогнозов в пункте согласно РД 52.27.724-2009 [2] и ряд дополнительных характеристик.

Целью испытаний является определение степени прогностической ценности рассчитываемых прогнозов по модели WRF-ARW «Хаб-15» для возможности их применения в производственной практике УГМС Дальневосточного региона России.

2.1. Прогноз срочных значений температуры воздуха у Земли

Качество прогноза приземной температуры оценивалось по характеристикам обеспеченности ошибки прогноза в заданных градациях: P_1 , P_2 , P_5 – обеспеченность ошибки прогноза в градациях 1, 2, 5 °С; P_n – оправдываемость прогноза по Наставлению [2]; E_{ap} , E_{abc} – соответственно, средняя арифметическая (систематическая, из прогноза вычитается факт) и средняя абсолютная ошибки прогноза. Оценки качества прогнозов срочных значений температуры воздуха у Земли, осредненные по 333 станциям, расположенным на территории Дальнего Востока России, представлены в табл. 1.

Анализ оценок показывает, что среднегодовая оправдываемость прогнозов по Наставлению [2] находится в пределах 68–58 %, снижаясь по мере увеличения заблаговременности прогнозов. Среднегодовой процент прогнозов с ошибкой менее 5 °С (P_5), приемлемой для прогноза температуры воздуха у Земли по территории, изменяется в пределах от 81 до 74 %, также снижаясь с увеличением заблаговременности, и имеет минимальное значение на срок 16 ч по хабаровскому времени (+10 ч ВСВ) на третьи сутки прогноза.

Для всех заблаговременностей оценки имеют ярко выраженный сезонный ход с максимумом летом: от $P_n=87$ % (заблаговременность 42 ч, на срок 4 ч хабаровского времени) и $P_5=95$ % (на тот же срок и заблаговременность) до $P_n=72$ % (заблаговременность 24 ч, на срок 10 ч хабаровского времени) и $P_5=85$ % (на тот же срок и заблаговременность). Минимальные значения оценок наблюдаются зимой: $\min(P_n)=46$ %, $\min(P_5)=61$ % на срок 16 ч хабаровского времени, заблаговременность 54 часа.

Таблица 1

**Оценки качества прогноза срочных значений температуры воздуха у Земли,
осредненные по 333 станциям Дальнего Востока России,
по модели WRF-ARW «Хаб-15»**

(в скобках указано местное время по Хабаровскому часовому поясу)

Заблаго- временность	Период	Характеристики							
		N	P ₁	P ₂	P _n	P ₅	P>5	E _{ар}	E _{абс}
24 (10 ч)	Зима	13200	21	37	58	73	27	1,0	3,9
	Весна	10727	31	50	72	85	15	0,5	2,8
	Лето	10786	31	51	72	85	15	1,8	2,8
	Осень	12085	29	49	69	81	19	1,3	3,2
	Год	46798	28	46	67	81	19	1,1	3,2
30 (16 ч)	Зима	13111	18	31	49	66	34	-2,1	4,3
	Весна	10645	21	38	58	76	24	-2,8	3,5
	Лето	10712	39	62	84	93	7	-0,5	2,2
	Осень	11988	26	46	71	86	14	-1,8	2,9
	Год	46459	26	44	65	80	20	-1,8	3,3
36 (22 ч)	Зима	13007	18	33	51	65	35	-0,8	4,5
	Весна	10615	26	43	63	77	23	-2,3	3,5
	Лето	10704	37	61	82	93	7	-1,3	2,2
	Осень	11900	32	52	74	86	14	0,1	2,9
	Год	46226	28	47	67	80	20	-1,0	3,3
42 (04 ч)	Зима	12787	19	33	51	66	34	0,7	4,6
	Весна	10687	28	47	67	81	19	-0,2	3,2
	Лето	10521	42	67	87	95	5	-0,1	1,9
	Осень	11708	27	44	64	78	22	1,5	3,5
	Год	45703	28	47	67	79	21	0,5	3,4
48 (10 ч)	Зима	13221	20	34	51	66	34	1,1	4,6
	Весна	10957	25	44	66	82	18	-1,3	3,2
	Лето	10756	35	57	79	91	9	0,2	2,4
	Осень	12077	28	47	66	79	21	1,1	3,4
	Год	470011	26	45	65	79	21	0,3	3,4

Таблица 1 (окончание)

Заблаго- временность	Период	Характеристики							
		N	P ₁	P ₂	P _n	P ₅	P>5	E _{ар}	E _{абс}
54 (16 ч)	Зима	13096	16	29	46	61	39	-1,9	4,8
	Весна	10904	16	30	48	65	35	-3,7	4,3
	Лето	10728	32	53	77	90	10	-1,2	2,5
	Осень	12031	25	42	65	81	19	-1,6	3,3
	Год	46759	22	38	58	74	26	-2,1	3,8
60 (22 ч)	Зима	13023	17	30	47	61	39	-0,6	5,0
	Весна	10809	23	39	58	72	28	-2,9	3,9
	Лето	10679	33	54	78	90	10	-1,7	2,5
	Осень	11874	29	48	69	82	18	0,3	3,2
	Год	46385	25	42	62	76	25	-1,2	3,7
72 (10 ч)	Зима	12739	18	31	48	62	38	1,3	5,0
	Весна	10970	24	40	62	78	22	-1,7	3,4
	Лето	10549	32	53	76	89	11	-0,3	2,6
	Осень	12079	26	43	63	76	24	1,3	3,7
	Год	46337	25	41	62	76	24	0,2	3,8

Следует отметить, что рассматриваемая территория включает в себя четыре часовых пояса по настоящему регламенту для территории России. По солнечному времени различия для станций достигают шесть часов. При анализе оценок для территорий каждого УГМС заметен суточный ход оценочных характеристик, он наиболее ярко выражен на внутриконтинентальных территориях, где сроки прогноза близки ко времени формирования суточных экстремумов температуры воздуха у Земли и времени наступления заката и рассвета, когда на внутриконтинентальных станциях наблюдается максимальная скорость изменения приземной температуры.

Наиболее низкие оценки получены для территории Якутского и Забайкальского УГМС. Самые высокие оценки получены на территории Сахалинской области. Для всех территорий наиболее низкое качество

прогнозов наблюдается зимой, повышается весной и имеет максимум летом, снижаясь осенью. По самым восточным территориям (Чукотка, Камчатка, Сахалин) качество прогнозов осенью практически сравнимо с летними прогнозами, а на Сахалине даже превышает летние показатели. Аналогичными свойствами обладают и стартовые поля температуры воздуха у Земли (NCEP, 00 ч ВСВ), но летом испытываемая модель заметно улучшает качество приземных температур, а зимой, наоборот, быстро ухудшает. Это свидетельствует о некоторой неадекватности параметризации радиационных процессов (особенно коротковолновой радиации) для рассматриваемой территории в холодный период года. Модель не показывает реального прогрева воздуха в дневное время зимой, а в летний период этот прогрев прогнозируется хорошо. Модель не показывает скорость изменения приземной температуры при восходе и закате Солнца, которая велика для внутриконтинентальных станций. В целом радиационные параметризации модели WRF-ARW вполне адекватно работают в теплых влажных воздушных массах над достаточно прогретой подстилающей поверхностью и совсем плохо в сухих и холодных воздушных массах над подстилающей поверхностью с низкими отрицательными температурами.

Качество прогнозов в городах, являющихся административными центрами, как правило, выше, чем в среднем по территориям. Это особенно заметно для Хабаровска, Петропавловска-Камчатского, Магадана и Владивостока и объясняется расположением крупных городов в наиболее благоприятных географических условиях в сравнении с другими пунктами территории. Исключения составляют Чита и Южно-Сахалинск. Анализ данных табл. 2 позволяет выделить территории, города и сезоны года, для которых продукция испытываемой модели имеет прогностическую ценность и может использоваться в оперативной практике. Здесь в каждой ячейке (через тире) приведены максимальные и минимальные значения P_3 и P_5 для территорий каждого УГМС Дальневосточного региона России в верхнем блоке таблицы и значения P_3 и E_{abc} для административных центров в нижней части таблицы. Рекомендации по использованию прогнозов срочных значений температуры воздуха у Земли представлены в табл. 3.

Таблица 2

Интервалы изменений (макс–мин) основных оценок качества прогнозов
срочных значений температуры воздуха у Земли по модели WRF-ARW «Хаб–15»
по территориям и административным центрам Дальнего Востока России

УГМС	Т срочные (P ₃ , %)					Т срочные (P ₅ , %)				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
	Дальневосточное (77)	58–35	73–45	91–79	78–65	68–55	75–49	87–60	98–91	89–79
Забайкальское (93)	53–39	64–41	86–54	72–42	69–51	69–52	87–60	96–71	87–57	80–68
Якутское (29)	55–42	70–41	85–64	70–55	64–52	69–56	83–57	96–71	82–69	78–68
Кольмское (32)	54–46	67–40	89–73	70–59	68–56	69–58	84–60	96–88	80–71	81–72
Чукотское (24)	59–52	76–62	82–74	81–68	73–64	80–69	88–77	96–86	90–80	84–78
Камчатское (23)	67–55	83–62	92–71	81–76	77–69	72–66	94–80	98–86	92–84	84–78
Сахалинское (12)	79–65	83–72	93–81	94–83	85–77	88–76	97–85	98–92	98–92	94–89
Приморское (24)	61–38	81–50	87–72	87–72	72–58	76–52	81–66	96–87	87–78	86–70
ДВ-регион (333)	58–47	72–48	87–76	71–64	67–58	73–61	85–65	95–89	86–76	81–74
Административный центр	Т срочные (P ₃ , %)					Т срочные (P ₅ , %)				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
	Хабаровск	62–36	84–61	100–91	92–78	81–67	3,2–5,7	2,0–3,8	1,2–1,7	2,0–3,2
Чита	48–27	74–44	91–35	78–51	67–36	3,9–6,4	2,8–5,7	1,5–5,6	2,4–4,1	3,2–4,5
Якутск	73–41	78–41	96–74	84–55	81–60	3,0–4,5	2,9–4,9	1,3–2,5	2,0–3,9	2,6–3,9
Магадан	89–77	89–75	100–89	98–76	91–80	1,8–2,5	1,7–3,1	0,9–2,0	1,3–2,9	1,7–2,3
Анадырь	70–62	89–72	95–72	90–74	81–74	2,2–3,4	2,0–3,1	1,7–2,7	1,5–2,4	2,3–2,7
Петропавловск	100–89	98–80	94–78	100–94	94–88	1,6–2,2	1,5–2,3	1,4–2,7	1,2–1,6	1,5–2,0
Южно-Сахалинск	76–48	91–93	96–72	94–74	83–65	2,8–4,2	1,8–3,4	1,7–2,8	1,7–3,0	2,2–2,5
Владивосток	89–70	91–63	96–74	94–74	83–65	1,9–2,9	1,8–2,7	1,1–2,1	1,4–2,5	1,8–2,2

Таблица 3

Рекомендации по использованию прогнозов срочных значений температуры воздуха у Земли по модели WRF-ARW «Хаб-15» по территориям и административным центрам Дальнего Востока России

УГМС	Зима	Весна	Лето	Осень
Дальневосточное	—	—	консультат.	—
Забайкальское	—	—	консультат.	—
Якутское	—	—	консультат.	—
Чукотское	—	—	консультат.	консультат.
Колымское	—	—	консультат.	—
Камчатское	—	консультат.	вспомогат. до 48ч	консультат.
Сахалинское	консультат.	вспомогат.	вспомогат.	вспомогат.
Приморское	—	консультат.	вспомогат. до 48ч	—
Административный центр	Зима	Весна	Лето	Осень
Хабаровск	консультат.	консультат.	основной	консультат.
Чита	—	—	консультат.	—
Якутск	—	—	вспомогат.	консультат.
Анадырь	—	консультат.	вспомогат.	вспомогат. до 48ч
Магадан	консультат.	вспомогат.	основной	основной до 48ч
Петропавловск	основной	основной	основной	основной
Южно-Сахалинск	—	консультат.	вспомогат.	вспомогат.
Владивосток	консультат.	консультат.	основной	основной

Примечание. Знаком «тире» отмечены территории и сезоны года, в которых модельные прогнозы использовать не рекомендуется.

В заключение заметим, что наиболее низкие значения оценок наблюдаются на третьи сутки прогноза, причем для станций Забайкальского УГМС в среднем это срок 21 ч местного времени (м. вр.), по отдельным станциям — 9 ч м. вр. Для внутриконтинентальных станций остальной территории Дальневосточного региона России это обычно срок, наиболее близкий к суточному максимуму (15–17 ч м. вр.). Для территорий и пунктов прибрежной зоны Дальнего Востока наихудшее качество прогнозов приходится на последнюю заблаговременность (72 часа).

2.2. Прогноз суточных экстремумов температуры воздуха у Земли

Анализ оценок качества прогнозов суточных экстремумов температуры воздуха у Земли, осредненных по станциям каждого УГМС и в целом по 333 станциям Дальнего Востока России, показывает, что оценки качества суточных экстремумов температуры воздуха у Земли как в среднем по территории Дальневосточного региона России, так и по отдельным УГМС и административным центрам имеют те же особенности, что и оценки прогнозов срочных значений температуры. В среднем значения оценок несколько ниже, чем для срочных температур, что естественно. Качество прогнозов по административным центрам выше, чем в среднем по территориям УГМС.

В табл. 4 приведены оценки только в тех ситуациях, когда модельные прогнозы могут рассматриваться как имеющие некоторую прогностическую ценность. Результаты всестороннего анализа этих ситуаций с учетом значений P_3 и P_5 , E_{ap} и E_{abc} сведены в табл. 5 в форме рекомендаций по возможности использования прогнозов в оперативной практике УГМС. При этом в качестве консультативного метод рекомендован в случае, если средняя по заблаговременностям обеспеченность прогнозов в трехградусном интервале (P_3) составляла от 80 до 85 %. В качестве вспомогательного прогноз рекомендован при $85 < P_3 < 95$ %. В качестве основного прогнозы рекомендованы в случае, когда $P_3 > 95$ % по обеим заблаговременностям.

Таблица 4

Интервалы изменений (макс–мин) основных оценок качества прогнозов суточных экстремумов температуры воздуха у Земли по модели WRF-ARW «Хаб-15» по территориям и административным центрам Дальнего Востока России

УГМС	Т _{мин} (P_3 , %)				Т _{макс} (P_5 , %)			
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
Дальневосточное	–	–	88	–	–	–	–	–
Забайкальское	–	–	80–78	–	–	–	79–82	–
Якутское	–	–	85–80	–	–	–	81–79	–
Колымское	–	–	–	–	–	–	–	–
Чукотское	–	–	81–82	–	–	–	–	–
Камчатское	–	–	90–89	–	–	–	77–83	86–83

Таблица 4 (окончание)

УГМС	Т _{мин} (P ₃ , %)				Т _{макс} (P ₅ , %)			
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
Сахалинское	–	85	89–88	79–80	74–80	75	82–79	94
Приморское	–	–	87–84	–	–	–	–	–
ДВ-регион	48–64	60–85	75–90	44–80	47–80	39–75	63–83	63–94
Административный центр	Т _{мин} (P ₃ , %)				Т _{макс} (P ₅ , %)			
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
Хабаровск	–	–	96–98	79– 85	–	–	98	88–77
Чита	–	–	96–93	–	–	–	–	–
Якутск	–	–	89	–	–	–	94	–
Магадан	–	–	89	–	77–80	–	87	84–69
Анадырь	–	91	97–100	–	87–79	80	85	84–66
Петропавловск	–	96–98	98–93	86–82	95–96	87	86	100–97
Южно-Сахалинск	–	84– 85	91	–	73– 100	–	76	84–75
Владивосток	86–87	93	96	84– 88	–	82	91	94–91
P (%)	36–87	54–98	89–100	57–88	43– 100	36– 87	61– 98	63– 100

Примечание. Знаком «тире» отмечены территории и сезоны года, в которых модельные прогнозы использовать не рекомендуется.

2.3. Прогноз срочных значений скорости и направления ветра на высоте 10 м

Качество прогноза приземного ветра оценивалось по следующим характеристикам: $E_{\text{абсV}}$ – средняя абсолютная ошибка вектора ветра; SKV – среднеквадратическая ошибка вектора ветра; $E_{\text{ар}}$ – средняя арифметическая (систематическая) ошибка скорости ветра (из прогноза вычитаем факт); $E_{\text{абс}}$ – средняя абсолютная ошибка прогноза скорости ветра и средняя абсолютная ошибка прогноза направления ветра; $P_{\text{н}}$ – оправдываемость прогноза скорости ветра по Наставлению [2]; P_{DD} – оправдываемость прогноза направления ветра – частота случаев с ошибкой в направлении ветра, не превышающей 1 румб (22,5°).

Оценки качества прогнозов срочных значений скорости и направления ветра, осредненные по 333 станциям территории Дальнего Востока России,

Таблица 5

Рекомендации по использованию прогнозов суточных экстремумов температуры воздуха у Земли по модели WRF-ARW «Хаб-15» по территориям и административным центрам Дальнего Востока России

УГМС	Т мин					Т макс						
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
	Дальневосточное	—	—	вспомог.	—	—	—	—	—	—	—	—
Забайкальское	—	—	—	—	—	—	консулт.	—	—	—	консулт.	—
Якутское	—	—	консулт.	—	—	—	консулт.	—	—	—	консулт.	—
Колымское	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Чукотское	—	—	консулт.	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Камчатское	—	—	вспомог.	—	—	—	—	—	—	—	консулт.	консулт.
Сахалинское	—	консулт.	вспомог.	консулт.	—	—	—	—	—	—	консулт.	вспомог.
Приморское	—	—	вспомог.	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Административный центр	Т мин					Т макс						
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
Хабаровск	—	—	основной	консулт.	—	—	основной	консулт.	—	—	основной	консулт.
Чита	—	—	основной	—	—	—	основной	—	—	—	основной	—
Якутск	—	—	консулт.	—	—	—	консулт.	—	—	—	основной	—
Магадан	—	—	консулт.	—	—	—	консулт.	—	—	—	консулт.	консулт.
Анадырь	—	вспомог.	основной	—	консулт.	консулт.	основной	—	консулт.	консулт.	консулт.	консулт.
Петропавловск	—	основной	основной	консулт.	основной	основной	консулт.	консулт.	основной	консулт.	консулт.	основной
Южно-Сахалинск	—	консулт.	вспомог.	—	вспомог.	—	—	—	вспомог.	—	—	консулт.
Владивосток	консулт.	вспомог.	основной	консулт.	—	—	основной	консулт.	—	консулт.	вспомог.	вспомог.

представлены в табл. 6. Оценки качества прогнозов направления ветра считались только для случаев, когда скорость ветра была не менее 5 м/с. В таблице под значением заблаговременности указан срок, на который дается прогноз по хабаровскому времени.

Таблица 6

Оценки качества прогноза срочных значений температуры воздуха у Земли, осредненные по 333 станциям Дальнего Востока России, по модели WRF-ARW «Хаб-15»

Заблаговременность (м. вр)	Период	Характеристики								
		Количество		Вектор		Скорость			Направление	
		N	N>5*	E _{abc}	SKV	E _{ap}	E _{abc}	P _n	E _{ap}	P _{DD}
24 (10 ч)	Зима	13180	1406	2,4	3,0	0,9	1,7	97	20	75
	Весна	10718	995	2,4	2,9	0,5	1,5	97	21	78
	Лето	10774	631	2,2	2,7	0,3	1,2	98	23	76
	Осень	12082	1128	2,3	2,9	0,7	1,5	97	21	80
	Год	46754	4160	2,3	2,9	0,6	1,5	97	21	77
30 (16 ч)	Зима	13095	1614	2,8	3,6	1,2	1,9	94	22	76
	Весна	10631	1607	2,9	3,6	0,6	1,7	94	23	76
	Лето	10697	929	2,8	3,3	0,6	1,6	97	27	71
	Осень	11981	1441	2,7	3,4	0,9	1,7	95	20	80
	Год	46404	5591	2,8	3,5	0,8	1,7	95	23	76
36 (22 ч)	Зима	12996	1381	3,0	3,8	1,7	2,2	93	24	75
	Весна	10601	751	2,8	3,3	1,2	1,9	96	17	70
	Лето	10688	456	2,4	2,9	0,8	1,6	98	31	68
	Осень	11888	1050	2,9	3,5	1,4	2,0	95	23	76
	Год	46173	3638	2,8	3,4	1,3	1,9	95	25	73
42 (04 ч)	Зима	12780	1316	3,1	3,9	1,8	2,3	92	25	74
	Весна	10678	606	2,8	3,4	1,5	2,0	96	24	73
	Лето	10510	391	2,4	2,9	1,1	1,7	98	28	71
	Осень	11704	1020	3,0	3,6	1,6	2,1	94	25	75
	Год	45672	3333	2,8	3,5	1,5	2,0	95	25	74

Таблица 6 (окончание)

Заблаговременность (м. вр)	Период	Характеристики								
		Количество		Вектор		Скорость			Направление	
		N	N>5*	E _{abc}	SKV	E _{ар}	E _{abc}	P _n	E _{ар}	P _{DD}
48 (10 ч)	Зима	13208	1410	3,2	4,0	1,9	2,4	92	24	75
	Весна	10946	974	3,0	3,6	1,3	2,0	94	24	76
	Лето	10732	578	2,6	3,1	0,8	1,6	98	27	72
	Осень	12077	1176	3,1	3,6	1,6	2,2	93	24	77
	Год	46963	4138	3,0	3,6	1,4	2,1	94	24	75
54 (16 ч)	Зима	13076	1582	3,0	3,9	1,4	2,1	92	24	74
	Весна	10893	1551	3,2	3,8	0,8	1,9	93	27	72
	Лето	10705	921	3,0	3,6	0,7	1,7	96	30	68
	Осень	12027	1499	3,1	3,8	1,3	2,0	93	25	74
	Год	46701	5553	3,1	3,8	1,1	1,9	93	26	72
60 (22 ч)	Зима	13002	1306	3,3	4,2	1,9	2,5	91	27	70
	Весна	10799	650	3,0	3,6	1,3	2,0	95	29	70
	Лето	10666	470	2,6	3,2	1,0	1,7	97	34	65
	Осень	11854	1035	3,2	3,9	1,8	2,3	92	26	72
	Год	46321	3461	3,1	3,8	1,5	2,2	94	28	70
72 (10 ч)	Зима	12719	1298	3,4	4,2	2,0	2,5	91	28	69
	Весна	10960	984	3,4	4,1	1,5	2,2	92	29	68
	Лето	10538	609	2,8	3,4	0,9	1,7	97	32	66
	Осень	12075	1138	3,4	4,2	1,8	2,4	92	27	72
	Год	46292	4029	3,2	4,0	1,6	2,2	93	29	69

Примечание. В таблице в столбце N>5 приведено количество случаев, когда наблюдался ветер со скоростью более 5 м/с. Направление оценивалось только для этих случаев.

Анализ оценочных характеристик показывает следующее. На территории Дальнего Востока России в среднем слабый ветер (со скоростями, не превышающими 5 м/с) наблюдался в 86–96 % случаев. Все

характеристики ухудшаются с ростом заблаговременности прогноза и имеют некоторый сезонный ход. Наилучшее качество прогнозов скорости ветра наблюдается летом, а направления – осенью. Наиболее низкое качество прогнозов скорости ветра имеет место зимой. Наблюдается некоторый слабо выраженный суточный ход оценок: они несколько выше в среднем для срока 21 час и ниже для срока 9 часов.

Средняя арифметическая ошибка прогноза всегда положительна (для всех сезонов, сроков и заблаговременностей) и составляет от 0,3 м/с для заблаговременности 24 ч летом до 2,0 м/с для заблаговременности 72 ч зимой, что говорит о некотором завышении в среднем скорости приземного ветра моделью. Этот факт объясняется слишком большим процентом слабых ветров (штилей) в испытываемой выборке. Модель, как правило, несколько завышает значения скорости ветра при штилях и слабых ветрах, а такой ветер имеет преимущественную частоту на рассматриваемой территории. Средняя абсолютная ошибка прогноза меняется от 1,2 м/с (заблаговременность 24 ч летом) до 2,5 м/с (заблаговременность 60 и 72 ч зимой). Оправдываемость прогноза скорости ветра по Наставлению [2] составляет от 91 % зимой для заблаговременностей 60 и 72 ч, до 98 % летом для заблаговременностей 24–48 ч (табл. 7).

Качество прогнозов направления ветра по средней абсолютной ошибке колеблется от 17° весной для заблаговременности 36 ч до 34° летом для заблаговременности 60 ч. Расчет оправдываемости прогнозов направления ветра по Наставлению [2] не предусмотрен. Для испытаний разработчики предложили расчет характеристики P_{DD} , равной проценту случаев с отклонением прогностического ветра от фактически наблюдавшегося не более чем на 22,5° для случаев скоростью ветра ≥ 5 м/с. Как видно из табл. 8, эта характеристика имеет наименьшие значения весной и летом (от 65 % летом для заблаговременности 60 ч до 76–78 % для заблаговременности 24 ч). Наибольшие значения P_{DD} наблюдаются осенью: от 80 % для заблаговременностей 24–36 ч до 72 % для заблаговременностей 60–72 ч. Таким образом, анализ осредненных оценок показывает достаточно высокую оправдываемость прогнозов скорости ветра за весь период испытаний, и такие модельные прогнозы могут быть использованы

Таблица 7

Максимальные и минимальные значения оценок качества прогнозов скорости ветра на высоте 10 м по модели WRF-ARW «Хаб-15» по территориям и административным центрам Дальнего Востока России

УГМС	P _{шт} , % (макс–мин)					E _{абс} (мин–макс)						
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
Дальневосточное	98–94	99–94	99–98	99–92	1,4–2,2	1,3–2,2	1,0–1,7	1,3–2,3	1,4–2,2	1,3–2,2	1,0–1,7	1,3–2,3
Забайкальское	99–97	98–95	100–97	99–95	1,6–2,2	1,5–2,3	1,3–1,7	1,4–2,1	1,6–2,2	1,5–2,3	1,3–1,7	1,4–2,1
Якутское	99–98	99–97	100–98	99–97	1,2–1,6	1,3–1,7	1,1–1,5	1,2–1,8	1,2–1,6	1,3–1,7	1,1–1,5	1,2–1,8
Кольмское	93–89	94–90	95–91	94–87	2,0–2,7	1,8–2,3	1,8–2,1	1,6–2,6	2,0–2,7	1,8–2,3	1,8–2,1	1,6–2,6
Чукотское	95–86	96–91	97–95	96–88	1,9–3,0	1,5–2,3	1,4–2,0	1,7–2,6	1,9–3,0	1,5–2,3	1,4–2,0	1,7–2,6
Камчатское	96–89	97–93	99–96	94–88	1,6–2,5	1,3–2,0	1,1–1,6	1,7–2,6	1,6–2,5	1,3–2,0	1,1–1,6	1,7–2,6
Сахалинское	93–82	92–86	97–94	96–85	2,1–3,1	1,8–2,5	1,4–1,9	1,9–2,8	2,1–3,1	1,8–2,5	1,4–1,9	1,9–2,8
Приморское	93–76	94–84	98–93	95–86	2,1–3,8	1,7–2,9	1,2–2,2	1,7–3,0	2,1–3,8	1,7–2,9	1,2–2,2	1,7–3,0
ДВ-регион	97–91	97–92	98–96	97–92	1,7–2,5	1,5–2,2	1,2–1,8	1,5–2,4	1,7–2,5	1,5–2,2	1,2–1,8	1,5–2,4
Административный центр	P _{шт} , % (макс–мин)					E _{абс} (мин–макс)						
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
Хабаровск	96–82	98–87	100–96	100–84	1,4–2,3	1,5–2,4	1,2–1,5	1,5–2,4	1,4–2,3	1,5–2,4	1,2–1,5	1,5–2,4
Чита	100–98	100–94	100–96	100–94	1,3–2,0	1,1–2,4	0,9–1,7	0,9–1,9	1,3–2,0	1,1–2,4	0,9–1,7	0,9–1,9
Якутск	100	100–98	100–94	100	0,9–1,5	1,1–1,6	0,8–1,7	0,9–1,5	0,9–1,5	1,1–1,6	0,8–1,7	0,9–1,5
Магадан	91–57	98–74	98–78	98–43	2,0–4,8	1,2–3,5	1,3–2,5	1,8–5,1	2,0–4,8	1,2–3,5	1,3–2,5	1,8–5,1
Анадырь	91–81	96–82	96–82	100–82	3,0–3,7	1,8–3,3	2,1–3,2	1,6–2,7	3,0–3,7	1,8–3,3	2,1–3,2	1,6–2,7
Петропавловск	93–71	93–72	100–93	90–74	2,0–3,4	1,7–3,2	1,3–2,1	2,6–3,7	2,0–3,4	1,7–3,2	1,3–2,1	2,6–3,7
Южно-Сахалинск	98–99	100–89	98–94	100–94	1,3–3,1	1,3–2,3	1,1–1,5	1,3–2,1	1,3–3,1	1,3–2,3	1,1–1,5	1,3–2,1
Владивосток	100–96	94–80	91–80	94–78	1,8–3,8	2,0–3,0	1,8–2,7	1,7–3,2	1,8–3,8	2,0–3,0	1,8–2,7	1,7–3,2

Максимальные и минимальные значения оценок качества прогнозов направления ветра на высоте 10 м* по модели WRF-ARW («Хаб-15») по территориям и административным центрам Дальнего Востока России

УГМС	P _{вд} , % (макс–мин)				E _{абс} (мин–макс)			
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
Дальневосточное	86–74	87–67	85–66	85–72	19–28	17–34	19–34	18–27
Забайкальское	78–71	72–44	79–45	76–65	20–31	25–53	23–56	23–29
Якутское	84–66	80–64	81–56	87–66	19–34	20–33	19–38	14–31
Кольмское	80–64	94–90	95–91	81–68	20–32	22–32	21–31	20–30
Чукотское	77–67	96–91	65–54	78–62	22–27	25–34	33–45	21–35
Камчатское	71–62	81–67	82–63	80–63	24–33	20–29	20–34	21–32
Сахалинское	88–75	87–73	78–61	89–72	14–27	16–24	20–30	15–24
Приморское	77–63	78–58	84–66	81–69	20–30	21–28	16–36	19–28
ДВ-регион	75–69	78–64	76–64	80–67	22–28	21–33	23–34	20–30
Административный центр	P _{вд} , % (макс–мин)				E _{абс} (мин–макс)			
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
Хабаровск	94–67	92–67	100–70	100–73	10–28	10–23	10–23	8–23
Чита	–	–	–	–	–	–	–	–
Якутск	–	–	–	–	–	–	–	–
Магадан	76–53	75–46	75–54	84–60	20–38	19–43	23–41	14–38
Анadyрь	89–73	100–67	–	100–75	15–36	6–31	–	7–19
Петропавловск	73–43	79–44	–	83–55	22–39	19–53	–	–
Южно-Сахалинск	–	–	–	–	7–43	27–49	31–54	–
Владивосток	96–86	94–80	91–80	94–78	8–15	18–31	14–36	15–29

Примечание. * – оценки направления ветра приводятся только для ситуаций, в которых было не менее 10 случаев со скоростью ветра ≥ 5 м/с.

в оперативной практике УГМС Дальнего Востока России в качестве основного метода прогноза скорости приземного ветра. Прогноз направления ветра имеет достаточно надежные характеристики качества зимой, весной и осенью и может использоваться в эти сезоны года в качестве вспомогательного материала на первые-вторые сутки, а летом и на третьи сутки – консультативно.

2.4. Прогноз полусуточных сумм осадков

Качество прогнозов полусуточных сумм осадков оценивалось по следующим характеристикам:

N – общее количество прогнозов, $N = \sum_{i=1}^k m_i$, m_i – количество прогнозов на i -той станции; k – количество станций;

N_{11} – количество случаев, когда осадки прогнозировались и наблюдались;

N_{21} – количество случаев, когда осадки наблюдались, но не прогнозировались;

N_{12} – количество случаев, когда осадки прогнозировались, но не наблюдались;

N_{22} – количество случаев, когда осадки не прогнозировались и не наблюдались;

U – оправдываемость альтернативного прогноза;

U_{oc} – оправдываемость в классе осадков;

U_{60} – оправдываемость в классе без осадков;

P_n – оправдываемость прогноза по наставлению [5];

P_{oc} – предупрежденность класса осадков;

P_{60} – предупрежденность класса без осадков;

TSS – критерий Пирси–Обухова;

HSS – критерий Хейдке–Багрова;

E_{ap} – средняя арифметическая ошибка прогноза;

E_{abc} – средняя абсолютная ошибка прогноза;

BIAS – отношение количества случаев прогноза осадков к фактически наблюдававшемуся количеству случаев с осадками, т. е. $BIAS = (N_{11} + N_{12}) / (N_{11} + N_{21})$.

Оценки качества прогнозов факта наличия и количества осадков, осредненные по 333 станциям Дальнего Востока России, представлены в табл. 9. Приведены характеристики испытываемой выборки по факту:

$N_{oc} (\%) = 100 \cdot (N_{11} + N_{21}) / N$ – фактическая (наблюденная) частота класса осадков;

$N_{60} (\%) = 100 \cdot (N_{12} + N_{22}) / N$ – фактическая (наблюденная) частота класса без осадков;

Данные о частоте ложных прогнозов и пропущенных фактов явления в прогностической выборке:

$PC (\%) = 100 \cdot N_{21} / N$ – процент случаев, когда осадки наблюдались, но не прогнозировались («пропуск цели»);

$LT (\%) = 100 \cdot N_{12} / N$ – частота (процент) случаев, когда осадки прогнозировались, но не наблюдались («ложные тревоги»).

При расчете оценок качества прогнозов за факт осадков принимались: по данным наблюдений – все случаи с осадками, в том числе осадки в количестве 0,00 мм («следы»), по расчетам – значения, превышающие 0,09 мм (уровень отсечения). Данные табл. 9 показывают, что частота класса осадков на рассматриваемой территории существенно меньше частоты класса «без осадков» и находятся преимущественно в соотношении 30 на 70. При этом соотношение частот имеет выраженный сезонный ход: максимальная частота класса осадков наблюдается летом (до 39 % в среднем по территории), минимальная – весной (24–26 %).

Согласно данным табл. 9, в среднем оправдываемость альтернативного прогноза (U) составляет от 81 % (зимой и весной для заблаговременности 12 ч) до 69 % (лето, заблаговременность 60 ч). Среднегодовые характеристики составляют 80, 77, 77, 74, 77 и 73 % по заблаговременностям соответственно. Оправдываемость прогноза по Наставлению [2] меняется от 90 % (зимой и осенью, заблаговременность 12 ч) до 76 % (летом, заблаговременность 72 ч) и для среднегодовых значений составляет 87, 83, 83, 81, 82 и 80 %.

Предупрежденность класса осадков меняется от 71 % (летом, заблаговременность 36 ч) до 57 % (летом, заблаговременность 24, 48 ч). Среднегодовые характеристики составляют 63, 65, 69, 64, 65, 63 % соответственно заблаговременностям прогноза.

Таблица 9

Оценки качества прогноза полусуточных сумм осадков, осредненных по 333 станциям Дальнего Востока России, по модели WRF-ARW «Хаб-15»

Заблаговременность	Период	Характеристики							
		N	N _{oc}	N ₆₀	PC	LT	U%	U _{oc} %	U ₆₀ %
12 ч	Зима	3832	30	70	12	7	81	73	84
	Весна	3061	24	76	8	11	81	58	88
	Лето	3145	39	61	13	13	74	67	79
	Осень	3487	32	68	12	5	83	79	83
	Год	13525	31	69	11	9	80	69	84
24 ч	Зима	13704	32	68	11	11	78	65	84
	Весна	11067	25	75	8	19	73	48	87
	Лето	11253	33	67	14	11	75	62	80
	Осень	12548	31	69	10	10	80	66	85
	Год	48572	30	70	10	13	77	60	84
36 ч	Зима	13734	33	67	11	9	80	70	83
	Весна	11276	26	74	8	13	78	57	87
	Лето	11274	35	65	10	20	70	56	82
	Осень	12594	33	67	10	9	81	72	85
	Год	48878	32	68	10	13	77	63	84
48 ч	Зима	13236	32	68	11	13	76	61	82
	Весна	11345	25	75	8	20	72	45	87
	Лето	11036	32	68	14	15	71	54	79
	Осень	12470	32	68	10	12	77	63	84
	Год	48087	30	70	11	15	74	56	83
60 ч	Зима	6142	36	64	14	11	75	67	78
	Весна	—	—	—	—	—	—	—	—
	Лето	493	39	61	13	18	69	58	76
	Осень	8156	35	65	11	11	77	67	82
	Год	14791	36	64	12	11	77	67	80
72 ч	Зима	6142	35	65	14	14	72	60	79
	Весна	—	—	—	—	—	—	—	—
	Лето	490	33	67	13	13	74	59	80
	Осень	7879	35	65	12	14	74	61	80
	Год	14511	35	65	13	14	73	61	79

Таблица 9 (окончание)

Заблаговременность	Период	Характеристики							
		P _н %	P _{ос} %	P ₆₀ %	TSS	HSS	E _{ар}	E _{абс}	BIAS
12 ч	Зима	90	61	90	0,52	0,55	0,0	0,1	0,84
	Весна	87	64	86	0,51	0,49	0,1	0,4	1,45
	Лето	79	66	79	0,46	0,46	-0,2	1,3	0,99
	Осень	90	61	92	0,54	0,54	0,0	0,3	0,77
	Год	87	63	87	0,51	0,51	0,0	0,5	0,91
24 ч	Зима	85	67	82	0,51	0,50	0,1	0,4	1,03
	Весна	81	69	74	0,44	0,39	0,2	0,7	1,45
	Лето	81	57	83	0,41	0,41	-0,3	1,4	0,92
	Осень	85	67	84	0,53	0,52	0,1	0,6	1,02
	Год	83	65	81	0,47	0,46	0,0	0,7	1,08
36 ч	Зима	86	66	86	0,53	0,54	0,2	0,4	0,95
	Весна	84	68	82	0,50	0,47	0,2	0,6	1,19
	Лето	74	71	69	0,42	0,39	0,2	1,8	1,28
	Осень	86	70	86	0,57	0,57	0,2	0,7	0,97
	Год	83	69	81	0,51	0,50	0,2	0,8	1,08
48 ч	Зима	84	63	81	0,45	0,45	0,2	0,4	1,03
	Весна	79	68	72	0,42	0,36	0,3	0,8	1,52
	Лето	77	57	77	0,35	0,35	-0,1	1,6	1,05
	Осень	82	67	82	0,50	0,49	0,2	0,8	1,06
	Год	81	64	78	0,43	0,41	0,1	0,9	1,14
60 ч	Зима	83	61	82	0,44	0,45	0,2	0,5	0,92
	Весна	—	—	—	—	—	—	—	—
	Лето	74	65	71	0,37	0,36	0,3	1,5	1,11
	Осень	82	68	82	0,51	0,51	0,2	0,8	1,01
	Год	82	65	82	0,48	0,48	0,2	0,7	0,97
72 ч	Зима	81	60	78	0,39	0,39	0,2	0,6	1,01
	Весна	—	—	—	—	—	—	—	—
	Лето	76	60	80	0,41	0,40	0,1	1,6	1,02
	Осень	79	65	77	0,43	0,43	0,4	1,0	1,06
	Год	80	63	78	0,42	0,41	0,3	0,8	1,04

Предупрежденность класса «без осадков» колеблется в пределах от 90 % (зимой, заблаговременность 12 ч) до 69 % (летом, заблаговременность 36 ч). Среднегодовая предупрежденность составляет 87, 81, 81, 78, 82, 78 % соответственно.

Оправдываемость прогноза наличия осадков изменяется от 79 % (летом, заблаговременность 12 ч) до 45 % (весной, заблаговременность 48 ч). Среднегодовая оправдываемость прогнозов в классе осадков составляет 69, 60, 63, 56, 67, 61 % по заблаговременностям 12, 24, 36, 48, 60, 72 ч соответственно. Оправдываемость прогноза отсутствия осадков составляет от 88 % (весной, заблаговременность 12 ч) до 76% (летом, заблаговременность 60 ч). Среднегодовая оправдываемость прогноза отсутствия осадков составляет 84, 84, 84, 83, 80 и 79 % по заблаговременностям соответственно.

Критерий Пирси—Обухова изменяется в пределах от 0,57 (осень, заблаговременность 36 ч) до 0,35 (летом, заблаговременность 48 ч). Среднегодовые значения составляют 0,51; 0,47; 0,51; 0,43; 0,48 и 0,42 по заблаговременностям соответственно.

Данные о проценте не предсказанных (РС) и «лишних» (ЛТ) фактах осадков представлены в левой части табл. 9. Среднегодовые значения не предсказанных осадков составляют от 10 до 13 %, «лишних» осадков — от 9 до 15 %.

В табл. 10 представлено распределение средней абсолютной ошибки прогноза по классам и градациям. Колонка $E_{N_{11}}$ показывает величину средней абсолютной ошибки прогноза количества осадков в выборке «осадки наблюдались и прогнозировались», колонка $E_{N_{21}}$ показывает величину средней абсолютной ошибки в выборке пропущенных осадков, колонка $E_{N_{12}}$ показывает среднюю абсолютную ошибку прогноза в выборке «лишних» осадков. Следующие четыре колонки представляют распределение (%) ошибок прогноза по градациям: соответственно менее 3 мм, от 3 до 5 мм, от 5 до 10 мм и более 10 мм.

Как видно из табл. 10, ошибки менее 3 мм составляют от 100 % (зимой, заблаговременность 12 ч) до 83 % (летом, заблаговременность 36 ч). Все характеристики качества убывают с заблаговременностью прогноза и имеют сезонный ход.

Распределение средней абсолютной ошибки по классам и градациям
 E (мм) и P (%), осредненных по 333 пунктам Дальнего Востока России,
 по модели WRF-ARW «Хаб-15»

Заблаговременность	Период	Характеристики						
		E _{N11}	E _{N21}	E _{N12}	P≤3	3<P≤5	5<P≤10	P>10
12 ч	Зима	0,5	0,2	0,4	100	—	—	—
	Весна	1,5	0,5	0,8	97	2	1	—
	Лето	3,4	1,6	1,6	87	6	5	2
	Осень	0,9	0,3	0,7	99	1	—	—
	Год	1,6	0,6	1,0	96	2	2	—
24 ч	Зима	1,4	0,4	0,5	97	2	1	—
	Весна	2,3	0,9	0,9	94	3	2	1
	Лето	4,5	2,3	2,0	88	4	4	3
	Осень	2,1	0,9	1,1	95	3	2	—
	Год	2,4	1,2	1,0	94	3	2	1
36 ч	Зима	1,5	0,3	0,6	96	2	2	—
	Весна	2,4	0,7	1	94	3	2	1
	Лето	4,7	1,8	2,1	83	7	6	4
	Осень	2,3	0,6	1,1	94	3	2	1
	Год	2,7	0,8	1,3	92	4	3	1
48 ч	Зима	1,5	0,5	0,7	97	2	1	—
	Весна	2,5	1,2	1,2	93	3	3	1
	Лето	4,9	2,8	2,1	87	4	5	4
	Осень	2,4	0,8	1,4	93	3	3	1
	Год	2,7	1,4	1,3	93	3	3	1
60 ч	Зима	1,7	0,5	0,7	96	2	1	1
	Весна	—	—	—	—	—	—	—
	Лето	3,2	1,6	2,5	85	7	7	1
	Осень	2,4	0,6	1,2	93	3	3	1
	Год	2,1	0,6	1,0	94	3	2	1
72 ч	Зима	1,8	0,5	0,9	95	2	2	1
	Весна	—	—	—	—	—	—	—
	Лето	4,6	2,9	2,3	82	8	6	4
	Осень	2,8	0,9	1,4	92	3	3	2
	Год	2,5	0,8	1,2	93	3	3	1

В табл. 11 приводится детализация основных оценочных характеристик качества прогноза осадков по территориям каждого УГМС и административным центрам Дальневосточного региона России.

Данные табл. 11 показывают, что оценочные характеристики неравномерно распределены по территории региона и сезонам года. Наиболее высокие оценки получены для осени, чуть ниже, но вполне сравнимые – для зимы и весны. Наиболее низкие оценки получены летом. В целом за год наиболее высокие значения критерия Пирси–Обухова получены на территории Приморского УГМС (0,62–0,52), чуть ниже – на территории Дальневосточного УГМС (0,57–0,41). Далее идет Сахалинское, Камчатское и Забайкальское УГМС (0,54–0,51 на первые-вторые сутки прогноза и 0,40–0,32 на третьи сутки). Для территорий Якутского, Колымского и Чукотского УГМС среднегодовые значения критерия Пирси–Обухова несколько ниже, но на первые-вторые сутки находятся на уровне прогностической значимости (0,48–0,40).

По административным центрам наиболее высокие значения критерия Пирси–Обухова получены для городов Владивосток, Петропавловск-Камчатский, Хабаровск и Чита.

В целом по территории Дальнего Востока России прогноз посуточных сумм осадков в пунктах может использоваться в качестве вспомогательного материала на первые-вторые сутки.

3. Решение ЦМКП Росгидромета

ЦМКП одобрила работу ФГБУ «ДВНИГМИ» по разработке оперативной технологии расчета прогнозов по модели WRF-ARW с горизонтальным шагом 15 км, расчету прогнозов элементов погоды по данным модели, разработке технологии расчета оценок качества прогнозов. Рассмотрев результаты испытаний методов прогноза элементов погоды в пунктах, расположенных на территории Дальнего Востока России, по модели WRF-ARW с горизонтальным разрешением 15 км («Хаб-15»)

ЦМКП рекомендовала:

– ФГБУ «ДВНИГМИ» довести до сведения УГМС ДВ-региона результаты испытаний и рекомендации по использованию прогнозов в оперативной практике;

Детализация оценочных характеристик качества прогноза полусуточных сумм осадков по модели WRF-ARW «Хаб-15» по УГМС и административным центрам Дальнего Востока России

УГМС	R _н , (%)					Критерий Пирси-Обухова (TSS)				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Дальневосточное	90-80	87-81	87-72	88-79	88-79	0,57-0,42	0,54-0,40	0,44-0,34	0,67-0,42	0,57-0,41
Забайкальское	92-85	89-82	84-70	93-91	89-85	0,52-0,31	0,50-0,25	0,50-0,28	0,56-0,32	0,54-0,33
Якутское	88-84	84-73	83-78	85-78	85-79	0,53-0,35	0,48-0,28	0,41-0,29	0,52-0,33	0,48-0,34
Кольмское	86-83	83-78	88-79	80-72	82-77	0,52-0,41	0,42-0,41	0,51-0,36	0,49-0,35	0,48-0,40
Чукотское	83-80	82-77	80-75	80-78	81-78	0,48-0,41	0,45-0,42	0,47-0,39	0,48-0,36	0,46-0,32
Камчатское	78-70	81-76	81-79	80-75	80-72	0,53-0,36	0,55-0,44	0,48-0,39	0,59-0,39	0,52-0,37
Сахалинское	75-67	80-79	80-75	81-74	78-71	0,57-0,49	0,56-0,47	0,38-0,35	0,58-0,43	0,51-0,46
Приморское	88-83	85-81	81-73	92-81	86-82	0,70-0,59	0,59-0,48	0,45-0,36	0,71-0,56	0,62-0,52
ДВ-регион	90-81	87-79	81-74	90-79	87-80	0,53-0,44	0,51-0,42	0,46-0,35	0,57-0,43	0,51-0,43
Административный центр	R _н , (%)					Критерий Пирси-Обухова (TSS)				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Хабаровск	80-74	88-84	80-69	91-82	82-79	0,54-0,34	0,61-0,34	0,65-0,33	0,85-0,54	0,57-0,50
Чита	92-90	92-81	83-73	97-93	89-86	0,45-0,23	0,44-0,36	0,51-0,22	0,53-0,21	0,50-0,26
Якутск	93-80	87-73	90-78	89-75	87-82	0,49-0,28	0,57-0,27	0,44-0,42	0,44-0,30	0,43-0,30
Магадан	94-84	87-80	82-72	89-79	90-80	0,48-0,44	0,57-0,30	0,51-0,20	0,48-0,35	0,48-0,37
Анадырь	92-81	78-76	83-71	78-67	80-76	0,56-0,42	0,48-0,26	0,43-0,04	0,53-0,25	0,45-0,32
Петропавловск	82-72	90-79	89-80	87-82	84-72	0,70-0,43	0,77-0,52	0,50-0,22	0,75-0,42	0,60-0,53
Южно-Сахалинск	86-68	84-78	83-74	87-80	83-75	0,57-0,49	0,60-0,45	0,33-0,17	0,49-0,36	0,49-0,34
Владивосток	96-87	86-85	79-73	97-89	91-84	0,86-0,50	0,56-0,34	0,27-0,07	0,71-0,79	0,60-0,47

– УГМС ДВ-региона принять за основу рекомендуемые ФГБУ «ДВНИГМИ» и Техническим советом Дальневосточного УГМС статусы внедрения прогнозов элементов погоды по разработанной технологии на базе модели WRF-ARW;

– авторам продолжить работу по совершенствованию технологии прогноза элементов и явлений погоды на территории Дальнего Востока России с учетом физико-географических и климатических особенностей.

Список литературы

1. РД 52.27.284–91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – С. 31–40.

2. РД 52.27.724-2009. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. – М.; Обнинск: ИГ–СОЦИН, 2009.

3. Романский С.О., Вербицкая Е.М. Краткосрочный численный прогноз погоды высокого пространственного разрешения по Владивостоку на базе модели WRF-ARW // Вестник ДВО РАН. – 2014. – № 5. – С. 48–57.

4 Skamarock W., Klemp J. A Time-split Nonhydrostatic Atmospheric Model for Weather Research and Forecasting Applications // J. Comp. Phys. – 2008. – Vol. 227 (7). – P. 3465–3485.

5. WRF–ARW User’s Guide v. 3.4. – Boulder: NCAR, 2013. – 384 p. – Режим доступа: http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3.4/ARWUsersGuideV3.4.pdf (Дата обращения: 01.09.2015).