

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ВЕРСИЙ МЕТОДА РАСЧЕТА БАЛЛА ОБЛАЧНОСТИ ПО ВЫХОДНОЙ ПРОДУКЦИИ МОДЕЛИ WRF-ARW**

### **Введение**

В Вычислительном центре Регионального специализированного метеорологического центра Всемирной службы погоды в г. Хабаровске (РСМЦ Хабаровск) функционирует система численных прогнозов погоды (система ЧПП) на базе негидростатической модели Weather Research and Forecasting (WRF) с динамическим ядром Advanced Research WRF (WRF-ARW) [13] для территории Восточной Сибири и Дальнего Востока России (ДВ-регион) под названием «Хаб-15» [2], результаты испытаний которой рассмотрены Центральной методической комиссией по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета в 2015 году [3].

54

Согласно Плану испытаний новых и усовершенствованных методов (технологий) гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов Росгидромета на 2015–2016 гг., испытывались методы расчета балла облачности для территории Восточной Сибири и Дальнего Востока по выходной продукции региональной негидростатической мезомасштабной модели WRF-ARW «Хаб-15» с горизонтальным разрешением 15 км, разработанные в рамках НИР 1.1.1.5 Плана НИР Росгидромета на 2014 год. Период испытаний – с 1 апреля 2015 г. по 28 февраля 2016 года.

### **1. Компонента расчета балла облачности постпроцессинга оперативной версии модели WRF-ARW**

Компонента расчета балла облачности (полей и значений в пунктах) разработана по запросу Ситуационного центра Росгидромета и многочисленным просьбам синоптиков прогностических подразделений Росгидромета, расположенных на территории ответственности РСМЦ Хабаровск. Задача выпуска прогноза полей облачности была поставлена Ситуационным центром Росгидромета в ноябре 2012 г., куда поставляются поля приземного давления,

осадков и ветра по оперативной версии модели WRF-ARW «Хаб-15». Местоположение облачности используется синоптиками для уточнения положения приземных и высотных фронтов. Балл облачности в пунктах учитывается при составлении прогнозов приземной температуры, особенно суточных экстремумов.

В систему постпроцессинга Unified Post Processor (UPP) версии 2.2 (от 18 апреля 2014 г.), поставляемую с моделью WRF-ARW, входит блок расчета общего балла облачности и балла облачности по ярусам. Для определения балла облачности используется схема Жао-Карр-Морти [10, 14], которая оперирует следующими гидрометеорами: водяной пар, жидкие или твердые частицы воды. Данная схема позволяет определить облачность в ячейке с горизонтальными размерами, превышающими 10 км, и работает достаточно быстро.

В результате работы постпроцессинга (UPP) генерируются четыре поля: балл облачности верхнего, среднего и нижнего ярусов и общий балл облачности. Судя по тексту программы, каждое из этих полей рассчитывается отдельно. Результаты сохраняются в файлах формата GRIB. Для получения прогностической продукции эти поля используются в неизменном виде.

При построении совместных карт прогнозов облачности и осадков было замечено, что зоны осадков не всегда совпадают с положением облачности. Пример такого прогноза приведен на рис. 1. Причиной этого является несоответствие параметризации микрофизики Томпсона [11], используемой в первоначальной версии модели, и связанной с ней методики прогноза осадков с методологией определения облачности. Поэтому были выполнены работы по подбору параметризации микрофизики с целью согласования расположения зон облачности и осадков на рассматриваемой территории [4]. Тестировались схемы Томпсона, Феррьера и WRF Single Moment версий 5 (WSM5) и 6 (WSM6).

Прогнозы по схемам WSM5 и WSM6 [9] оказались близки: зоны расположения осадков и облачности практически согласованы между собой. Прогностическое положение зон облачности и осадков сравнивалось со спутниковыми данными (визуально). Пример сравнения представлен на рис. 2, где показано положение облачности, полученное со спутника для интервала времени около 3–6 ч ВСВ 4 июля 2014 г. На спутниковом снимке видна зона равной облачности около г. Читы, которая не была сгенерирована UPP по данным модели, использующей схему Томпсона, но получилась при использовании схем WSM5 и WSM6.

Таким образом по результатам визуального анализа соответствия положения зон облачности и осадков для разных параметризаций микрофизических процессов было решено использовать в оперативном варианте модели «Хаб-15» схему микрофизики WSM6.

Для оценки возможности использования прогноза балла облачности (полей и значений в пунктах) в оперативной практике УГМС Дальневосточного региона проводились оперативно-производственные испытания в течение 2015–2016 гг.



Оценка выполняется визуально в сравнении со спутниковыми снимками [8, 9, 12]. Числовых характеристик качества прогноза балла облачности в пунктах, за исключением работ [1, 7], нам найти не удалось.

Определенных требований к методологии и характеристикам оценок качества прогноза балла облачности в пунктах или по территории нет ни в Наставлении [5], ни в Методических указаниях [6]. Поэтому при испытаниях использовалась совокупность оценок, аналогичных характеристикам, применяемым при прогнозе осадков.

## 2. Анализ и сравнение данных наблюдений за баллом облачности от различных наблюдательных платформ

При проведении испытаний объектом моделирования является балл облачности в пункте. Поэтому данный раздел посвящен результатам анализа и исследования характерных особенностей моделируемого объекта над территорией Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Данные наблюдений о наличии и балле облачности поступают от станций наземных наблюдений в коде КН-01 (SYNOP) и от станций радиозондирования (нижний или средний ярус) в коде КН-04 (ТЕМР). Балл облачности передается в октетах, при расчете оценочных характеристик кодовая цифра 2 расценивалась как 2,5 (3) балла, а октет 6 – как 7,5 (8) баллов.

С целью анализа степени совпадения данных о наличии и балле облачности в заданном пункте, поступающих от различных наблюдательных платформ, было выполнено сравнение данных в кодовых формах КН-01 и КН-04. Результаты сравнения приведены в табл. 1, из данных которой видно, что полное совпадение наблюдается не более, чем в 33 % случаев, однако в 90 % случаев различие составляет не более 3 баллов.

**Таблица 1.** Сравнение данных о балле облачности от наблюдательных платформ КН-01 и КН-04

	Всего	$ \Delta N_h  = 0$	$ \Delta N_h  \leq 1$	$ \Delta N_h  \leq 2$	$ \Delta N_h  \leq 3$	$ \Delta N_h  \leq 4$	$ \Delta N_h  \leq 5$	$ \Delta N_h  > 5$
N	1377	456	935	1099	1237	1294	1334	43
%	100	33	68	80	90	94	97	3

*Примечание.* N – количество случаев, когда облачность была измерена обеими видами наблюдений;  $N_h$  – балл облачности (нижний или средний ярус),  $\Delta N_h = N_h(\text{КН-01}) - N_h(\text{КН-04})$ .

В синоптической практике применяются следующие термины для обозначения степени покрытия неба облаками [5]: ясно (до 3 баллов для облачности среднего и/или нижнего яруса или любое количество облаков верхнего яруса); облачно с прояснениями

(4–7 баллов для нижнего или среднего яруса или сочетание облаков среднего и нижнего ярусов общим количеством до 7 баллов); облачно (8–10 баллов для нижнего яруса или плотных непросвечивающих форм облаков среднего яруса). Опираясь на указанные выше термины, в работе рассматривались следующие категории облачности: ясно (до 3 баллов), переменная облачность (4–7 баллов) и облачно (8–10 баллов). Анализ распределения данных по категориям в испытываемой выборке приведен в табл. 2. Из табл. 2 следует, что в целом данные от разных наблюдательных платформ показывают различное распределение облачности по категориям.

По данным радиозондирования облачность среднего и нижнего ярусов распределена по категориям «ясно» и «переменная облачность» практически равномерно, а по данным наземных наблюдений частота категории «ясно» почти в два раза выше, чем частота категории «переменная облачность». Аналогичное распределение по категориям показывает и выборка, построенная по данным, когда категории КН-01 и КН-04 совпадают. Частота категории «облачно» по всем выборкам имеет примерно одинаковое соотношение по отношению к совокупности категорий «ясно» и «переменная облачность» и колеблется от 14 до 19 %.

**Таблица 2.** Анализ распределения данных наблюдений за баллом облачности по категориям

Выборка	Количество случаев	Ясно (0–3 балла)	Переменная облачность (4–7 баллов)	Облачно (8–10 баллов)	Ярус
Совпадение данных по КН-01 и КН-04	800	60 %	26 %	14 %	нижний или средний
КН-04	1377	42 %	39 %	19 %	
КН-01		56 %	29 %	15 %	общий
		<b>13 %</b>	<b>34 %</b>	<b>53 %</b>	
		<b>-43 %</b>	<b>+ 5 %</b>	<b>+ 38 %</b>	

*Примечание.*  $\Delta$  – разница между общим баллом облачности и нижним или средним ярусом по данным в коде КН-01.

Отметим, что для общего балла облачности по данным КН-01 частота категорий «ясно» и «облачно» практически поменялись местами, а частота категории «переменная облачность» увеличилась мало (на 5 %). Это говорит о том, что для рассматриваемой территории сплошную облачность (8–10 баллов) формируют в значительной степени облака верхнего яруса (38 %). Результаты сравнения категорий облачности, определенных по данным от различных наблюдательных платформ, приведены в табл. 3 и 4.

Обеспеченность  $U = (n_{11} + n_{22}) \cdot N^{-1}$  определения категорий по данным наблюдений от различных наблюдательных платформ составила 58 % по категориям в целом; 70 % для категории «ясно» и «переменная облачность и облачно»; 83 % для категории «ясно и переменная облачность» и «облачно»; 90 % в категории «ясно» и «облачно». Здесь  $n_{11}$  –

количество случаев, когда совпали категории, упомянутые первыми;  $n_{22}$  – количество случаев, когда совпали категории, упомянутые вторыми;  $N$  – общее количество случаев.

**Таблица 3.** Сравнение данных о балле облачности по категориям (по данным в кодах КН-01 и КН-04)

	Категории совпали				Категории не совпали
	Всего	Ясно	Переменная облачность	Облачно	
Количество случаев	800	475	211	114	557
%	58	60	26	14	42

**Таблица 4.** Сравнение распределения данных о балле облачности от различных наблюдательных платформ по категориям

КН-04	КН-01			
	Ясно	Переменная облачность	Облачно	Всего (КН-04)
Ясно	475 (61 %)	69 (17 %)	37 (18 %)	581 (42 %)
Переменная облачность	272 (35 %)	211 (53 %)	54 (2 %)	537 (39 %)
Облачно	28 (4 %)	117 (29 %)	114 (56 %)	259 (19 %)
Всего (КН-01)	775 (56 %)	397 (29 %)	205 (15 %)	1377

Обеспеченность определения категорий облачности в табл. 4 показывает, насколько можно определить категорию облачности в точке расположения одного вида наблюдений (метеорологической станции) по данным наблюдений второго вида (данным радиозондирования). При этом необходимо учитывать, что расстояние между точками наблюдений иногда составляет до 1–3 км. Но даже если пункты наблюдений различных наблюдательных платформ совпадают по местоположению, то все равно данные по облачности могут отличаться хотя бы в силу различия наблюдательных приборов и за счет перемещения зонда с попутным ветром. Тем не менее обеспеченность определения категорий облачности в 90 и 83 % можно считать удовлетворительной, и в любом случае следует ориентироваться на эти данные в совокупности с данными табл. 1 при оценке качества прогноза балла облачности в пункте по данным численного моделирования.

### 3. Анализ качества прогнозов балла облачности по встроенной компоненте пост-процессинга UPP модели WRF-ARW

В качестве прогностических значений балла облачности в пункте принимаются значения в близлежащем узле прогностической сетки, полученные при расчетах постпроцессора UPP версии 2.2 модели WRF-ARW. Следует отметить, что устойчивого различия в характе-

ристиках качества прогноза балла облачности в пункте для данных из ближайшего узла сетки и проинтерполированных в пункт из четырех близлежащих узлов для достаточно большой выборки не обнаружено.

Качество прогнозов оценивалось по следующим характеристикам:  $U_k$  – оправдываемость прогноза категорий облачности, %;  $U$  (категория) – оправдываемость прогноза указанной категории облачности (%);  $P$  (категория) – предупрежденность указанной категории облачности, %; TSS (категория 1 / категория 2) – критерий Пирси–Обухова;  $E_{ар}$  – средняя арифметическая ошибка прогноза (балл);  $E_{абс}$  – средняя абсолютная ошибка прогноза (балл).

В табл. 5 приведен аналог таблицы сопряженности принятых категорий облачности, определенных по прогностическим данным UPP для общего балла облачности. В качестве фактических использовались данные наземных наблюдений в кодовой форме КН-01.

**Таблица 5.** Качество прогноза общего балла облачности заблаговременностью 12 ч по данным постпроцессинга UPP версии 2.2 модели WRF-ARW

КН-01	UPP (12 ч)			
	Ясно	Переменная облачность	Облачно	Всего (КН-01)
Ясно	38	597	1447	2082 (22 %)
Переменная облачность	26	569	1438	2033 (21 %)
Облачно	24	755	4599	5378 (57 %)
Всего (UPP)	88 (1 %)	1921 (20 %)	7484 (79 %)	9493

В табл. 5 представлены прогнозы, рассчитанные с заблаговременностью 12 ч от сроков наблюдений, так как это первая прогностическая заблаговременность, доступная синоптикам УГМС ДВ-региона. Более ранние заблаговременности не актуальны в силу наличия сроков отсечения, затрат времени на получение исходных данных для модели WRF-ARW «Хаб-15», доступность которых для скачивания наступает не ранее, чем через 3–4 ч от сроков наблюдений. Скачивание исходных данных Global Forecasting Model (NCEP) занимает около 1 часа. Время расчета прогноза, подготовки и доставки выходной продукции потребителю составляет около 4 часов [2]. Более поздние заблаговременности не приводятся: при анализе данных о качестве прогнозов элементов по рассматриваемой модели [3] выявлено, что качество всех элементов и явлений погоды падает с ростом заблаговременности и имеет суточный ход. Для прогноза балла облачности суточный ход оценок заметен только в теплый период года на послеполуденных (по местному времени) сроках, когда значительный вклад в общий балл дает конвективная облачность. Это заблаговременности 15, 18 и 21 ч для старта модели от срока

12 ч ВСВ и 27, 30 и 33 ч для старта модели от 00 ч ВСВ. Заблаговременности 3, 6 и 9 ч не рассматриваются по вышеизложенным причинам.

Таким образом, в табл. 5 представлены результаты сравнения прогностических и фактических данных по не конвективной облачности. Отметим, что качество прогнозов для заблаговременностей 12, 24 и 36 ч практически одинаково. Ухудшение характеристик качества становится заметно для более поздних заблаговременностей (48 ч и более).

Данные табл. 5 показывают, что поля общего балла облачности, рассчитанные UPP, практически не дают категории «ясно», несколько занижают частоту категории «переменная облачность» и существенно завышают частоту категории «облачно», т. е. прогностические поля общего балла облачности UPP показывают существенно более полное покрытие рассматриваемой территории облаками, чем данные наблюдений.

Анализ прогностических данных по ярусам представлен в табл. 6. Данные табл. 6 показывают, что наиболее близкое к фактическому распределение облачности по категориям дает прогноз UPP нижнего яруса. Средний ярус по UPP показывает более низкую частоту категории «облачно» и несколько более высокую частоту категорий «ясно» и «переменная облачность». Прогноз облачности верхнего яруса по UPP дает распределение облачности по категориям, противоречащее фактическому распределению, полученному как по выборке для сравнения данных наблюдений (табл. 2), так и по прогностической выборке, представленной в табл. 5. Таким образом, методология расчета балла облачности по данным модели WRF-ARW, представленная в UPP, не вполне адекватно описывает распределение облачности по категориям и ее вертикальную структуру. Прогноз общего балла облачности существенно завышает частоту категории «облачно» и занижает частоту категории «ясно», и это происходит не за счет верхнего яруса облачности, как получено по данным наблюдений. Прогностическое распределение верхнего яруса облачности по категориям совсем не соответствует реальным данным.

**Таблица 6.** Прогноз балла облачности по ярусам заблаговременностью 12 ч по данным постпроцессинга UPP версии 2.2 модели WRF-ARW

КН-01	UPP (12 ч)								
	Верхний ярус			Средний ярус			Нижний ярус		
	Ясно	Пер. обл.	Обл.	Ясно	Пер. обл.	Обл.	Ясно	Пер. обл.	Обл.
Ясно	1305	380	397	942	582	558	562	500	1020
Пер. обл.	1034	431	568	603	591	839	725	488	820
Облачно	2529	960	1889	1156	1136	3086	942	1085	3351
Всего (UPP, %)	54 %	19 %	31 %	28 %	24 %	47 %	23 %	22 %	55 %

*Примечание.* Пер. обл. – переменная облачность; обл. – облачно.

Анализ данных табл. 6 и выполненные расчеты характеристик качества прогнозов показали, что прогнозы балла облачности нижнего и среднего ярусов по UPP дают довольно близкое распределение общего балла облачности по категориям. Но в прогнозах нижнего яруса довольно большая часть фактических случаев «ясно» попадает в категорию «облачно». В прогнозах среднего яруса таких ошибок в два раза меньше, но здесь не хватает прогнозов «облачно» – большая часть случаев, относящихся по данным наблюдений к категории «облачно», попадает в категорию «ясно». Этот недостаток существенно меньше в прогнозах верхнего яруса: они дают высокую частоту класса «ясно», лишние случаи которого могут быть восполнены прогнозами среднего яруса, если придумать правило сборки прогнозов среднего и верхнего ярусов в общий балл облачности. Такая схема под названием «UPP-мод.» представлена в табл. 7.

**Таблица 7.** Определение общего балла облачности по среднему и верхнему ярусам по данным постпроцессинга UPP версии 2.2 модели WRF-ARW (схема «UPP-мод.»)

Верхний	Средний										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0		2	3	4	5	6	7	8	9	10
1			2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10
3	3	3	4	4	5	6	8	8	10	10	10
4	4	4	5	5	6	7	8	8	10	10	10
5	5	5	6	7	7	7	8	9	10	10	10
6	6	6	7	8	8	8	8	9	10	10	10
7	7	7	8	8	8	9	9	9	10	10	10
8	8	8	9	10	10	10	10	10	10		
9	9	9	10	10	10	10	10	10			
10	10	10	10	10	10	10	10	10			

В табл. 8 представлены характеристики качества деления фактической и прогностической выборок на категории для сравнения данных наблюдений от различных наблюдательных платформ и прогнозов. В верхней части таблицы приведены значения числовых характеристик качества альтернативного прогноза для явлений, принятые в метеорологической практике: U – оправдываемость альтернативного прогноза и TSS – критерий Пирси-Обухова для прогноза наличия или отсутствия явления. Значения этих характеристик, рассчитанные по данным наблюдений от различных наблюдательных платформ, выполненных в одном и том же пункте за одни и те же сроки, показывают верхнюю границу характеристик качества, которую возможно получить для данного вида прогноза. В нижней части таблицы приведены значения характеристик, рассчитанные по прогностической выборке для прогнозов заблаговременностью 12 ч. Это прогнозы облачности на сроки 00 и 12 ч ВСВ, что соответствует

интервалам 8–12 и 20–24 ч местного времени для Восточной Сибири и Дальнего Востока России (таким образом наличие конвективной облачности практически исключено).

Данные в последней строке табл. 8 относятся к расчету общего балла облачности по схеме «UPP-мод.», представленной в табл. 7. Из табл. 8 видно, что распределение прогностических данных общего балла облачности по категориям для схемы «UPP-мод.» существенно приблизилось к фактическому выборочному распределению и является лучшим наряду с распределением облачности нижнего яруса. При этом, оправдываемость альтернативного прогноза по категориям в целом ( $U_k$ ) выше, чем для отдельных ярусов, хотя и несколько уступает аналогичному значению для общего балла облачности по методу, встроенному в UPP. То же показывают и остальные характеристики качества прогнозов. Хотя почти все оценки качества общего балла облачности по UPP несколько превышают или равны предложенному варианту «UPP-мод.», существенный перекося распределения прогнозов в сторону «облачно» за счет нижнего яруса нас не устраивает: по данным наблюдений не только частота категории «облачно» ниже, но и порядка 38 % случаев сплошной облачности формируется за счет верхнего яруса (согласно данным табл. 2).

**Таблица 8.** Характеристики качества разделения фактической и прогностической выборок с данными о балле облачности по категориям

Вид информации	Распределение по категориям (%)			Оправдываемость альтернативного прогноза ( $U$ , %)				Критерий Пирси-Обухова (TSS)		
	Ясно	Пер. обл.	Обл.	$U_k$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	TSS <sub>1</sub>	TSS <sub>2</sub>	TSS <sub>3</sub>
<b>Фактическая выборка</b>										
Факт (КН-04), ниж. или сред. ярус	42	39	19	58	70	83	90	0,44	0,43	0,70
Факт (КН-01), ниж. или сред. ярус	56	29	15							
Факт (КН-01) общий балл	17	30	53	–	–	–	–	–	–	–
<b>Прогностическая выборка (заблаговременность 12 ч)</b>										
Факт (КН-01) общий балл	22	21	57	–	–	–	–	–	–	–
UPP общий балл	1	20	79	55	78	61	79	0,21	0,23	0,37
UPP верх. ярус	54	19	31	38	54	52	52	0,10	0,14	0,17
UPP сред. ярус	28	24	47	49	69	61	70	0,18	0,23	0,30
UPP ниж. ярус	23	22	55	46	66	59	67	0,04	0,33	0,14
UPP-мод.	21	19	59	51	73	61	72	0,22	0,19	0,27

*Примечание.* Пер. обл. – переменная облачность, обл. – облачно, ниж., сред. и верх. ярусы – соответственно нижний, средний или верхний ярусы облачности, UPP-мод. – модифицированная схема расчета общего балла облачности в соответствии с табл. 7. Нижние индексы: k – по всем категориям в целом, 1 – по категориям «ясно и переменная облачность» и «облачно», 2 – по категориям «ясно» и «переменная облачность и облачно», 3 – по категориям «ясно» и «облачно».

Эффективность предложенного подхода показана в табл. 9, где представлены оценки качества прогнозов общего балла облачности по методу UPP и схеме «UPP-мод.» для заблаговременностей на первые сутки прогноза.

**Таблица 9.** Оценки качества прогноза общего балла облачности, осредненные по 328 пунктам (наблюдений) ДВ-региона, за весь период испытаний

Забл. (ч.)	Характеристики качества прогнозов													
	N	N <sub>я</sub>	N <sub>п</sub>	N <sub>о</sub>	U <sub>к</sub> (%)	U (%)			P (%)			TSS	В баллах	
						Я	П	О	Я	П	О		E <sub>ар</sub>	E <sub>абс</sub>
UPP (общий балл)														
06	9566	1173	2316	6075	62	39	25	69	2	30	86	0,12	0,9	2,0
12	9493	2082	2033	5378	55	56	24	65	2	28	86	0,21	1,7	2,7
18	9423	2402	1716	5305	53	45	20	62	1	25	86	0,11	2,1	3,0
24	9326	1380	1858	6088	62	46	25	68	2	33	85	0,10	1,0	2,1
UPP-мод. (общий балл)														
06	9566	1173	2316	6075	57	38	20	71	39	22	71	0,20	-1,1	2,8
12	9493	2082	2033	5378	51	49	21	65	36	24	68	0,22	-0,2	3,3
18	9423	2402	1716	5305	50	44	20	63	34	21	65	0,19	-0,1	3,6
24	9326	1380	1858	6088	55	46	21	62	44	23	64	0,21	-1,5	3,3

*Примечание.* Забл. – заблаговременность прогноза; TSS – критерий Пирси-Обухова для классов «ясно» и «переменная облачность и облачно»; N – количество случаев; U – оправдываемость; P – предупрежденность; E<sub>ар</sub>, E<sub>абс</sub> – арифметическая и абсолютная ошибки прогнозов; Я, П, О – соответственно, категории «ясно», «переменная облачность» и «облачно». Индекс «к» – по всем категориям в целом.

Из табл. 9 видно существенное повышение предупрежденности категории «ясно» и критерия Пирси-Обухова при разделении классов «ясно» и «переменная облачность и облачно». При этом оправдываемость прогнозов категорий «ясно» и «облачно» практически не меняется. Несколько снижается оправдываемость прогнозов категории «переменная облачность», но это снижение несущественно на фоне в целом низкого качества прогнозов этой категории. Заметно, что UPP имеет систематическую погрешность прогноза положительного знака и завышает значение общего балла облачности. У схемы «UPP-мод» арифметическая погрешность имеет преимущественно отрицательное значение (занижает общий балл) и в среднем ниже, чем по UPP. Средняя абсолютная погрешность несколько выше, чем по UPP, но находится в пределах 90 % обеспеченности различий в данных об облачности, полученных от различных наблюдательных платформ.

В табл. 10 и 11 представлена детализация оценок качества прогнозов общего балла облачности по сезонам года по двум схемам: встроенной в UPP и модифицированной.

**Таблица 10.** Среднесезонные оценки качества прогноза общего балла облачности по схеме UPP, осредненные по 328 пунктам наблюдений ДВ-региона

Забл. (ч)	UPP (общий балл облачности)										
	N	N <sub>я</sub>	N <sub>п</sub>	N <sub>о</sub>	U <sub>к</sub> (%)	U (%)			TSS	В баллах	
						Я	П	О		E <sub>ар</sub>	E <sub>абс</sub>
<b>ЗИМА</b>											
06	2311	544	597	1170	53	50	20	62	0,27	2,2	2,7
12	2328	790	448	1090	49	69	16	60	0,35	3,2	3,6
18	2276	912	342	1022	45	60	12	62	0,20	3,7	4,0
24	2055	518	448	1089	54	70	21	62	0,45	2,3	2,9
<b>ВЕСНА</b>											
06	2526	302	665	1559	62	41	21	67	0,29	1,1	2,0
12	2520	667	600	1253	50	56	21	62	0,30	2,3	3,1
18	2564	760	552	1252	48	44	18	61	0,14	2,8	3,4
24	2582	470	529	1583	61	43	23	65	0,25	1,5	2,3
<b>ЛЕТО</b>											
06	1964	81	503	1380	63	7	35	71	0,03	-0,3	1,8
12	2044	188	491	1365	61	15	35	66	0,06	0,1	2,0
18	1993	239	272	1381	62	13	30	58	0,19	0,3	2,2
24	2028	125	291	1512	67	13	40	73	0,07	-0,4	1,8
<b>ОСЕНЬ</b>											
06	2765	246	553	1966	70	24	27	78	0,16	0,6	1,6
12	2601	437	494	1670	63	48	26	71	0,32	1,1	2,1
18	2590	491	449	1650	61	33	26	65	0,15	1,3	2,4
24	2661	267	490	1904	69	18	26	76	0,08	0,6	1,7

*Примечание.* Забл. – заблаговременность прогноза; TSS – критерий Пирси-Обухова для классов «ясно» и «переменная облачность и облачно»; N – количество случаев; U – оправдываемость; E<sub>ар</sub>, E<sub>абс</sub> – арифметическая и абсолютная ошибки прогнозов; Я, П, О – соответственно. категории «ясно», «переменная облачность» и «облачно». Индекс «к» – по всем категориям в целом

Данные табл. 10 и 11 показывают выраженный сезонный ход значений оправдываемости прогноза категории «ясно» и критерия Пирси-Обухова при разделении категорий «ясно» и «переменная облачность и облачно»: более высокое качество наблюдается зимой, снижение характеристик качества происходит весной, минимальные значения – летом и последующий рост осенью. В то же время самое низкое качество деления выборки на категории наблюдается зимой, а самое высокое – летом и осенью, что связано с более низкой частотой

категории «ясно» в эти сезоны года. Средняя арифметическая и средняя абсолютная погрешности наиболее высоки зимой и минимальны летом. Заметен сезонный ход оправдываемости прогноза категории «переменная облачность»: он менее ярко выражен, но существен. Здесь минимальные значения оправдываемости наблюдаются зимой, а максимальные – летом. В любом случае значения оправдываемости прогнозов категорий коррелируют с частотой появления соответствующей категории в испытываемой выборке.

**Таблица 11.** Среднесезонные оценки качества прогноза общего балла облачности по модифицированной схеме UPP, осредненные по 328 пунктам наблюдений ДВ-региона

Забл. (ч)	UPP модифицированный (общий балл облачности)										
	N	N <sub>я</sub>	N <sub>п</sub>	N <sub>о</sub>	U <sub>к</sub> (%)	U (%)			TSS	В баллах	
						Я	П	О		E <sub>ар</sub>	E <sub>абс</sub>
<b>ЗИМА</b>											
06	2311	544	597	1170	51	48	16	62	0,32	-1,3	3,3
12	2328	790	448	1090	51	60	13	60	0,38	-0,1	3,5
18	2276	912	342	1022	53	61	11	62	0,32	0,6	3,6
24	2055	518	448	1089	48	69	18	52	0,30	-1,3	3,8
<b>ВЕСНА</b>											
06	2526	302	665	1559	52	43	15	67	0,32	-1,6	3,1
12	2520	667	600	1253	46	48	16	62	0,23	0,1	3,5
18	2564	760	552	1252	49	43	15	61	0,18	0,1	3,7
24	2582	470	529	1583	55	44	17	65	0,31	-1,3	3,1
<b>ЛЕТО</b>											
06	1964	81	503	1380	56	10	30	71	0,10	-0,9	2,5
12	2044	188	491	1365	50	10	31	66	0,17	-0,5	2,9
18	1993	239	373	1381	49	13	28	63	0,22	-0,8	3,5
24	2028	125	391	1512	52	12	36	61	0,16	-2,0	3,3
<b>ОСЕНЬ</b>											
06	2765	246	553	1966	62	22	21	78	0,20	-0,8	2,4
12	2601	437	494	1670	53	42	22	71	0,26	-0,2	3,3
18	2590	491	449	1650	49	32	21	65	0,23	-0,5	3,6
24	2661	267	490	1904	58	19	28	66	0,22	-1,4	2,9

*Примечание.* Забл. – заблаговременность прогноза; TSS – критерий Пирси-Обухова для классов «ясно» и «переменная облачность и облачно»; N – количество случаев; U – оправдываемость; E<sub>ар</sub>, E<sub>абс</sub> – арифметическая и абсолютная ошибки прогнозов; Я, П, О – соответственно, категории «ясно», «переменная облачность» и «облачно». Индекс «к» – по всем категориям в целом.

В целом данные, представленные в табл. 9–11, показывают определенное преимущество модифицированной схемы прогноза общего балла облачности в сравнении со встроенной в UPP схемой, особенно с учетом распределения наблюдаемых данных об облачности по высотам на рассматриваемой территории – существенным вкладом облачности верхнего яруса в категорию «облачно», которая сама по себе редко связана с осадками и мало влияет на радиационные процессы на территории Дальнего Востока, но при этом дает существенный вклад в данные наблюдений по общему баллу облачности.

В связи с вышеизложенным рекомендуется для прогноза общего балла облачности использовать модифицированную схему UPP.

Прогнозы балла облачности нижнего и среднего ярусов можно считать удовлетворительными.

Для построения карт полей облачности, особенно совмещенных с полями осадков, на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока рекомендуется использовать прогнозы облачности нижнего яруса по схеме UPP.

Для повышения качества прогнозов балла облачности необходим переход к более детальному пространственному разрешению и создание отдельного метода прогнозирования конвективной облачности.

#### **4. Решение ЦМКП Росгидромета**

ЦМКП одобрило работу ФГБУ «ДВНИГМИ» по разработке оперативной технологии расчета полей балла облачности по территории Восточной Сибири и Дальнего Востока по модели WRF-ARW с горизонтальным шагом 15 км и разработке технологии расчета оценок качества прогнозов и анализу особенностей распределения балла облачности по категориям и ярусам по данным от различных наблюдательных платформ. Рассмотрев результаты испытаний различных версий метода расчета балла облачности по выходной продукции модели WRF-ARW.

##### **ЦМКП рекомендовала:**

– прогнозы полей *общего балла* облачности по модифицированной схеме UPP и облачности *нижнего яруса* по встроенной схеме UPP, а также прогнозы общего балла облачности в пунктах рекомендовать к использованию в оперативной практике УГМС ДВ-региона России в качестве вспомогательного метода;

– прогнозы полей *среднего яруса* использовать в качестве консультативного материала;

– авторам учесть высказанные на заседании замечания и предложения, а также пожелания специалистов прогностических подразделений ФГБУ «Дальневосточное УГМС» по совершенствованию методов прогноза балла облачности в ДВ-регионе.

### Список литературы

1. *Вербицкая Е.М., Романский С.О.* Метод прогноза балла облачности в рамках региональной гидродинамической модели для территории Дальневосточного региона России // Труды ДВНИГМИ. – 2012. – Вып. 154. – С. 5-21.

2. *Вербицкая Е.М., Романский С.О.* Применение высокопроизводительных систем для численного прогноза погоды в Дальневосточном регионе России // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2015. – № 3. – С. 131-140.

3. *Вербицкая Е.М., Романский С.О.* Результаты испытаний краткосрочных оперативных прогнозов мезомасштабной модели WRF-ARW «Хаб-15» в пунктах Дальневосточного региона России // Информационный сборник № 43 «Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов». – 2016. – С. 32–62.

4. Конфигурация модели WRF-ARW для подготовки детализированных численных прогнозов погоды и опасных метеорологических явлений в Дальневосточном регионе. Отчет о НИР (заключ.): 1.1.1.6 / ДВНИГМИ ; рук. Е.М. Вербицкая; исполн.: С.О. Романский. – Хабаровск, 2013. – 73 с.

5. РД 52.88.629-2002. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2009. – 66 с.

6. РД 52.27.284–91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиофизических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 150 с.

7. Физико-статистические компоненты прогноза элементов и явлений погоды в пунктах и на территории Дальневосточного региона для двух версий региональной гидродинамической квазигидростатической модели краткосрочного прогноза полей метеоэлементов и осадков ГМЦ РФ (автор В.М. Лосев). Отчет о НИР (заключ.) : 1.2.1. п.5 / ДВНИГМИ; рук. Е. М. Вербицкая; исполн.: С.О. Романский, И.В. Бобрикова, Л.С. Мякина. – Хабаровск, 2010. – 94 с.

8. *Auligne T., Lorenc A., Michel Y., Montmerle T., Jones A., Hu M., Dudhia J.* Toward a new cloud analysis and prediction system // Bulletin of the American meteorological society – 2011. – No. 2. – P. 207–210.

9. *Hong S.-Y., Dudhia J., Chen S.-H.* A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation // *Mon. Wea. Rev.* – 2004. – Vol. 132. – P. 103-120.

10. *Moorthi S., Pan H.-L., Caplan P.* Changes to the 2001 NCEP operational MRF/AVN global analysis/forecast system // *NWS technical procedures bulletin.* – 2001. – No. 484. – 14 p. Режим доступа: <http://www.nws.noaa.gov/om/tpb/484.htm> (Дата обращения: 11.07.2017).

11. *Thompson G., Field P., Rasmussen R., Hall D.* Explicit forecasts of winter precipitation using an improved bulk microphysics scheme. Part II: implementation of a new snow parameterization // *Mon. Wea. Rev.* – 2008. – Vol. 136. – P. 5095-5115.

12. *Van der Veen S.H.* Improving NWP model cloud forecasts using Meteosat second-generation imagery // *Mon. Wea. Rev.* – 2013. – Vol. 141. – P. 1545-1957.

13. *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](http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3.4/ARWUsersGuideV3.4.pdf) (Дата обращения: 11.07.2017).

14. *Zhao Q., Carr F.H.* A prognostic cloud scheme for operational NWP models // *Mon. Wea. Rev.* – 1997. – Vol. 125. – P. 1931-1953.