

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ МЕТОДА КРАТКОСРОЧНОГО
(до 48 ч) ПРОГНОЗА ЗНАЧЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ, ПРИВЕДЕННОГО
К УРОВНЮ МОРЯ ПО СТАНДАРТНОЙ АТМОСФЕРЕ,
В ПУНКТАХ И ПО ТЕРРИТОРИИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО
РЕГИОНА РОССИИ ПО ДАННЫМ МОДЕЛИ
WRF-ARW С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ 15 км**

Введение

В связи с введением в действие новой редакции Федеральных авиационных правил «Предоставление метеорологической информации для обеспечения полетов воздушных судов» [4] (далее ФАП-60), прогнозы погоды и сводки о погоде в аэропортах должны содержать информацию о давлении, приведенном к уровню моря по стандартной атмосфере.

Для обозначения давления, приведенного к уровню моря по стандартной атмосфере, в авиации применяется аббревиатура QNH (Question Nautical Height = Вопрос Морская Высота). Значения QNH аэродрома, полученные от наземной диспетчерской службы, используются экипажем воздушного судна для установки барометрического высотомера, который позволяет определять высоту полета в зависимости от величины приземного атмосферного давления.

С мая 2015 года в качестве экспериментальной продукции для метеорологического обслуживания авиации на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока России выполняются расчеты полей QNH по данным мезомасштабной негидростатической модели WRF-ARW (Weather Research and Forecasting – Advanced) [7] с горизонтальным разрешением 15 км и 31 уровнем по вертикали (версия «Хаб-15»). Описание используемой версии модели подробно представлено в [1].

Область прогноза составляет 7500 км на 6000 км с центром в г. Хабаровске и охватывает всю территорию ответственности РСМЦ Хабаровск (рис. 1). Расчеты выполняются два раза в сутки от 00 и 12 ч ВСВ. Прогнозы с заблаговременностью 48 ч готовы к 6.30 и 18.30 ч ВСВ соответственно.

Зона ответственности РСМЦ Хабаровск составляет обширную часть территории северо-восточной Азии и прилегающих морей северо-западной части Тихого океана. В нее входят территории с различными климатическими и физико-географическими условиями. Климат юго-востока, омываемого относительно теплыми морями, характеризуется восточным муссоном. Климат северо-восточной части определяется холодными водами морей, морскими и океаническими течениями северо-западной части Тихого океана. Северные территории включают арктическую зону. Северо-западная и центральная части имеют резко-континентальный климат с обширной территорией вечной мерзлоты. Юго-западная часть характеризуется резко-континентальным климатом, обусловленным влиянием высоких гор и полупустынных районов Монголии и северо-востока Китая.

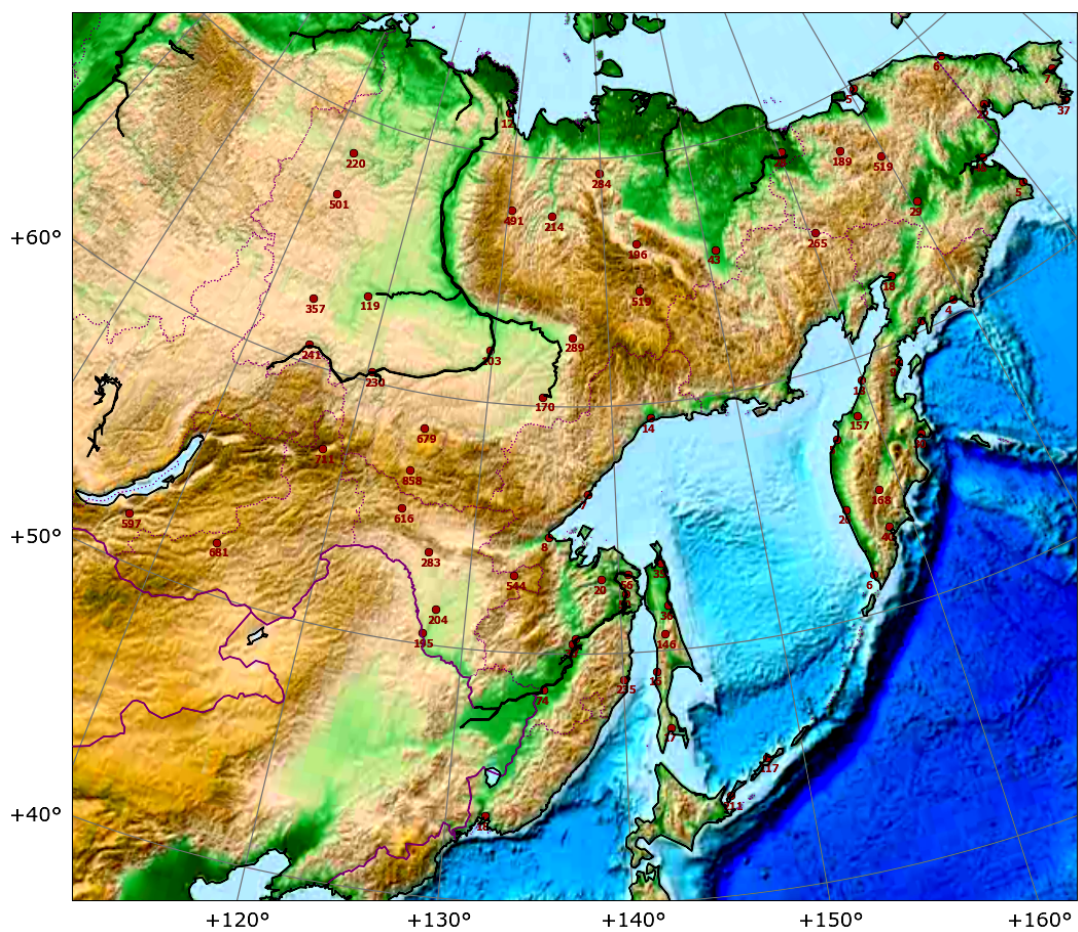


Рис. 1. Территория ответственности РСМЦ Хабаровск.

1. Способ расчета QNH в узлах прогностической сетки

Давление, приведенное к уровню моря по стандартной атмосфере, рассчитывается по модельным значениям давления на уровне подстилающей поверхности p_s в узлах прогностической сетки по классической формуле, приведенной в документации ВМО [6], в рамках собственного постпроцессинга.

$$QNH = p_s \left(1 + \frac{\gamma z}{T_0 \left(\frac{p_s}{p_0} \right)^{\frac{\gamma R_d}{g}}} \right)^{\frac{g}{\gamma R_d}}, \quad (1)$$

где z – высота точки расчета, м; $T_0 = 288,15$ К; $p_0 = 1013,25$ гПа; $g = 9,80665$ м/с; $R_d = 287,05$ Дж/(кг·К), $\gamma = 0,0065$ К/м.

Результаты расчета представляются в виде цифровых полей с наноской значений через 90 км и таблиц QNH в пунктах прогноза. Пример поля представлен на рис. 2.

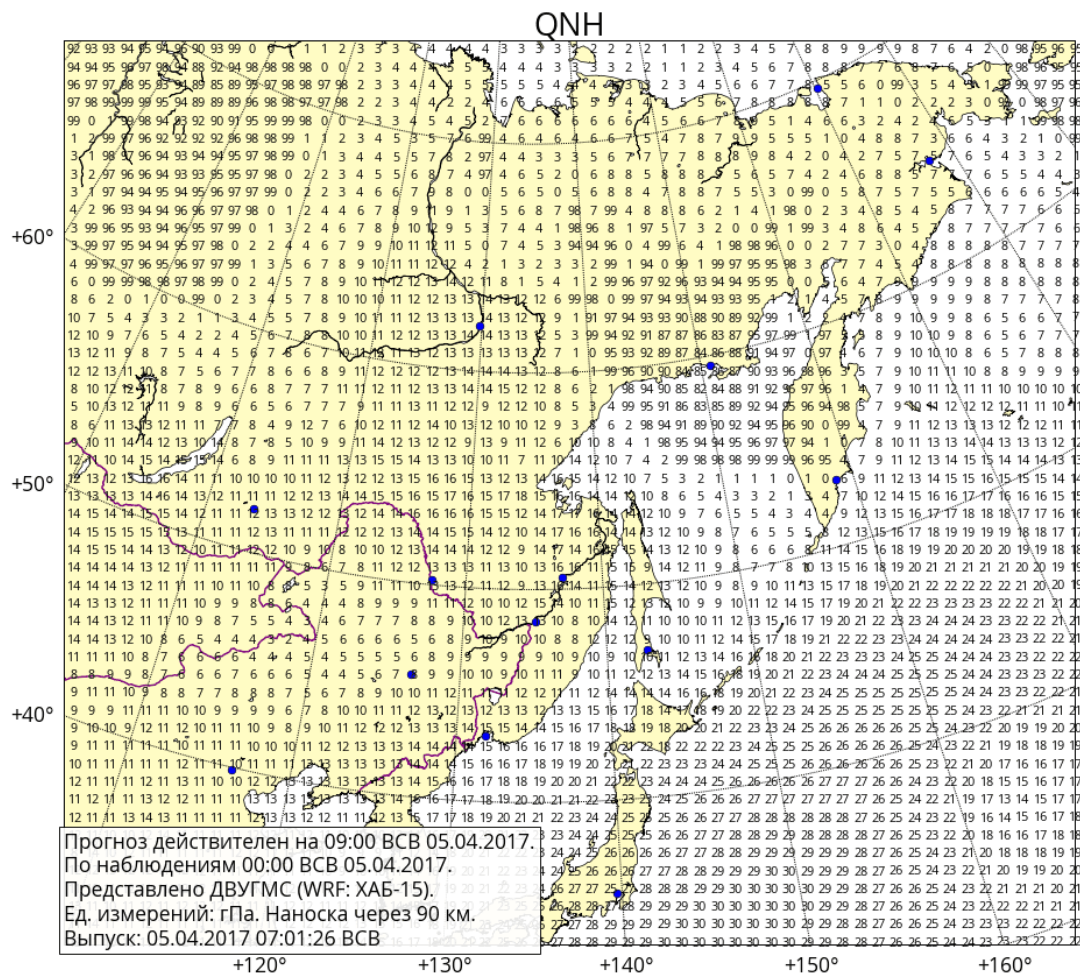


Рис. 2. Пример слайда с прогнозом QNH по модели WRF-ARW «Хаб-15».

2. Цель испытаний

Целью испытаний является определение степени прогностической ценности рассчитываемых прогнозов для применения в производственной практике подразделений Росгидромета, занимающихся метеорологическим обслуживанием авиации на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока России.

Испытания проводились согласно Плану испытаний новых и усовершенствованных методов (технологий) гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов Росгидромета на 2016–2017 гг. Плановый период испытаний: 1 сентября 2016 г. – 28 февраля 2017 года.

3. Порядок проведения испытаний

Для проведения испытаний в рамках НИР 1.1.1.5 в 2016 г. отделом гидрометеорологических исследований и прогнозов ФГБУ «ДВНИГМИ» разработана оперативная технология расчета прогнозов QNH по модели WRF-ARW с горизонтальным шагом 15 км («Хаб-15»). Технология установлена и внедрена в производственную эксплуатацию вычислительного центра ФГБУ «Дальневосточное УГМС» в I квартале 2016 года.

Расчеты прогнозов выполняются два раза в сутки от 00 и 12 ч ВСВ под методическим сопровождением специалистов отдела гидрометеорологических исследований и прогнозов ФГБУ «ДВНИГМИ». Для проведения испытаний прогностическая продукция модели в форме цифровых карт QNH и текстовых таблиц (значения QNH в аэропортах ДВ-региона) фиксировалась на сервере в ФГБУ «Дальневосточное УГМС» и предоставлялась участникам испытаний от ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» через специализированную страницу сайта Дальневосточного УГМС. Якутскому УГМС прогнозы передавались через АСПД, Забайкальскому УГМС – электронной почтой.

Для удобства проведения испытаний всем участникам предоставлялись ежемесячные таблицы данных фактических и прогностических значений QNH в формате Excel со встроенными макросами для автоматического расчета оценок. Для сравнения с продукцией, выпускаемой Гидрометцентром России (ГМЦ) по глобальной спектральной модели T169L31 (единственной доступной авиационным синоптикам ДВ-региона продукции ЧПП в период испытаний), в таблицах оценок качества прогнозов QNH были выделены столбцы для прогнозов по модели ГМЦ, представляемых на сайте ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» в формате цифровых полей. Значения QNH в аэропортах для верификации снимались специалистами испытывающих организаций с указанных карт.

В таблицах оценок прогнозы представляются целыми частями рассчитанного значения в соответствии с кодом METAR [4], и для каждого аэропорта и каждого срока наблюдений рассчитываются следующие характеристики:

- арифметическая и абсолютная погрешности: $E_{ар} = QNH(\text{прогноз}) - QNH(\text{METAR})$, $E_{абс} = |E_{ар}|$;
- знаками «+» отмечаются случаи, когда $-1 \text{ гПа} \leq E_{ар} \leq 1 \text{ гПа}$;
- знаками «-» отмечаются все остальные случаи.

В нижней строке таблицы приводятся среднемесячные значения E_{ap} , $E_{абс}$ и значение обеспеченности различий между QNH (прогноз) и QNH (METAR) не более, чем в 1 гПа (обозначается как P_1).

4. Методика испытаний и числовые характеристики оценок качества прогноза

Согласно ФАП-60 [4], прогнозы погоды для аэронавигации должны содержать информацию о минимальном значении QNH в пределах заданного района, а сводки о погоде в аэропортах, передаваемые в кодовой форме METAR, должны содержать информацию об округленных к низу значениях QNH, вычисленных по фактическому измеренному атмосферному давлению.

Пример деления территории Дальнего Востока на районы приведен на рис. 3.

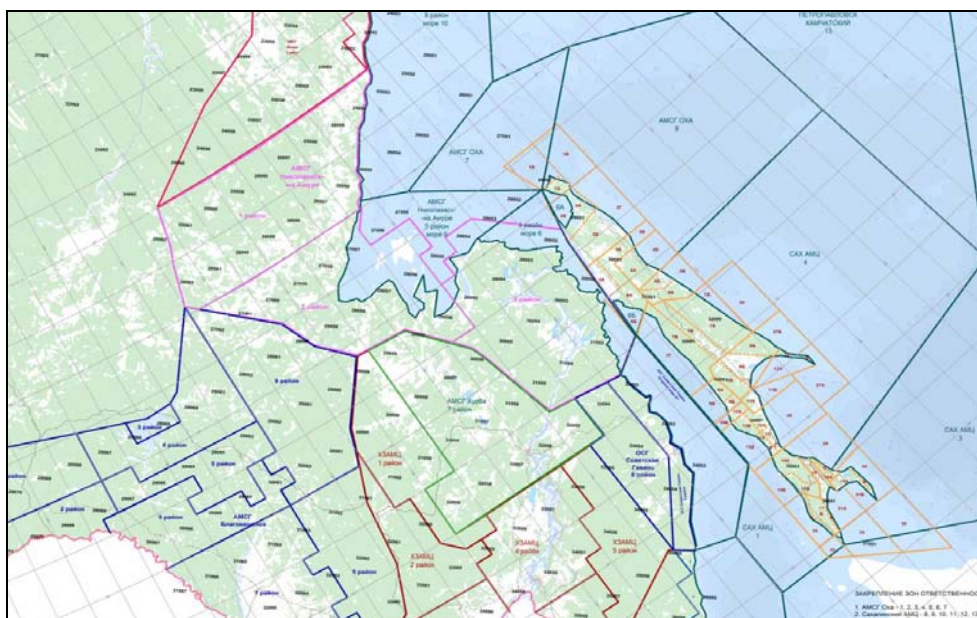


Рис. 3. Пример деления территории ДВ-региона на районы обслуживания.

Вполне очевидно, что оценить фактическое минимальное значение QNH в пределах заданного района по данным METAR невозможно: не в каждом из районов есть аэропорты (пункты наблюдений), а там, где они есть, на каждый район приходится не более 1–2 аэропортов.

Ранее в отечественной практике аэронавигации применялось минимальное значение приземного давления в заданном районе обслуживания, которое снималось с метеорологических карт приземного давления, приведенного к уровню моря по фактической погоде. Источники такой информации регламентировались, задача оценки качества прогнозов не ставилась.

При использовании QNH необходимо решить не только задачу расчета полей значений QNH в узлах прогностической сетки, но и разработать методологию оценки качества прогнозов для практического применения в аэронавигации. Здесь можно предложить два подхода. С одной стороны, поскольку фактическая информация, передаваемая в коде METAR, относится к пунктам (аэропортам), то логично оценивать качество прогнозов в пункте. Для этого необходимо определить прогнозируемое значение QNH в пункте наблюдений по данным в узлах прогностической сетки. С другой стороны, поскольку на практике применяется прогноз минимального значения QNH по районам, то необходимо иметь оценку поля QNH в целом по рассматриваемому региону. При этом следует учитывать, что критерии оценки качества (оправдываемости) прогнозов QNH, приведенные в ФАП-60, относятся к «прогнозам для взлета», то есть к аэропортам (пунктам взлета).

Для реализации первого подхода рассчитывались значения QNH в пунктах (аэропортах ДВ-региона) и передавались участникам испытаний в форме таблиц. Значения QNH в пунктах рассчитывались по модельным значениям давления на высоте пункта прогноза (p_z), которое вычислялось по барометрической формуле [3]:

$$p_z = p_s \cdot \left(1 + \frac{\gamma(h-z)}{T_2(1+0,607q_2)} \right)^{\frac{g_\varphi}{\gamma R_d}}, \quad (2)$$

$$g_\varphi = 9,80616 \cdot (1 - 0,0026373 \cos 2\varphi + 0,0000059 \cos^2 2\varphi),$$

где h – высота узла сетки; z – высота пункта прогноза (аэропорта); p_s , T_2 , q_2 – прогностические приземные атмосферное давление, температура воздуха и фактическое влагосодержание в узле сетки вблизи пункта прогноза, g_φ – ускорение свободного падения на широте φ пункта.

В качестве пунктов прогноза при испытаниях использовались аэропорты, расположенные на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока России, поскольку только в этих пунктах определяются фактические значения QNH инструментальным или методическим способом и передаются по каналам связи в коде METAR. При таком подходе в ошибку прогноза входит совокупность погрешностей модельных прогнозов T_z , q_z , p_z , горизонтальная изменчивость прогнозируемой величины на расстоянии от узла сетки до пункта прогноза и отличие реального значения вертикального градиента температуры от стандартного ($\gamma = 0,0065$ К/м).

Оценку качества прогнозов полей QNH (значений в узлах прогностической сетки) по данным метеорологической сети наблюдений можно выполнить, сравнивая прогностические

значения QNH со значениями, рассчитанными по формуле (1) по наблюдаемым значениям приземного давления, поступающим по каналам связи в коде КН-01. Пунктов наземных наблюдений существенно больше, чем аэропортов, что дает возможность набрать более полную статистику. При таком подходе в ошибку прогноза войдет только совокупность погрешностей прогноза QNH в узле модельной сетки, пространственной изменчивости QNH на расстоянии от пункта наблюдения до узла сетки и отличие реального значения вертикального градиента температуры от стандартного. Правомочность предложенного подхода необходимо утвердить через решение Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета. Поэтому в процессе испытаний использовался стандартный подход к расчету оценок качества прогнозов в пунктах наблюдений (аэропортах) с применением критериев качества прогнозов, приведенных в [5] и с учетом требований Приложения 1 и данных о точности измерений QNH, приведенных в Приложении 2, ФАП-60 [4].

Прогнозы QNH оценивались по 66 аэропортам Восточной Сибири и Дальнего Востока России, расположенным в различных физико-географических условиях и климатических зонах: 11 пунктов на территории Чукотки; 12 пунктов на территории Камчатki; 16 пунктов на территории Хабаровского края, Амурской области и ЕАО; 7 пунктов на территории Сахалинской области; 18 пунктов на территории Республики Саха (Якутия); 2 аэропорта на территории Забайкалья. Схема расположения аэропортов на рассматриваемой территории приведена на рис. 4.



Рис. 4. Схема расположения аэропортов на территории ДВ-региона России.

5. Числовые характеристики для оценки качества прогнозов

Качество прогнозов QNH оценивалось по обеспеченности ошибки в заданных градациях 1, 2 и 3 гПа, соответственно, обозначаемых P_1 , P_2 и P_3 , средней арифметической ($E_{ар}$) и средней абсолютной ($E_{абс}$) ошибкам:

$$E_{ар} = QNH(\pi) - QNH(\phi), \quad E_{абс} = |E_{ар}|, \quad (3)$$

где « π » обозначает прогноз, а « ϕ » соответствует факту (по данным в кодовой форме METAR).

В ФАП-60 приведены критерии качества прогнозов QNH «для взлета»: обеспеченность ошибки прогноза QNH в градации 1 гПа должна составлять не менее 90 %. Несложно показать, что это требование соответствует точному совпадению фактического (без округления книзу) и прогностического значений QNH (без округления книзу):

$$[QNH(\pi)] - [QNH(\phi)] = QNH(\pi) - QNH(\phi) - (\Delta(\pi) - \Delta(\phi)), \quad (4)$$

где $[\cdot]$ – операция взятия целой части числа.

Тогда требованиям ФАП-60 соответствует неравенство:

$$-1 \text{ гПа} \leq QNH(\pi) - QNH(\phi) - (\Delta(\pi) - \Delta(\phi)) \leq +1 \text{ гПа}$$

$$\text{или } 0 \leq QNH(\pi) - QNH(\phi) \leq 0.$$

Таким образом, приемлемым качеством прогноза QNH для аэронавигации, согласно ФАП-60, следует считать различия целых частей прогностического и фактического значений QNH не более 2 гПа в 90 % случаев.

6. Результаты испытаний

В процессе анализа и обобщения результатов испытаний все перечисленные характеристики качества осреднялись ежемесячно и посезонно для каждого аэропорта, территории ответственности каждого из участников испытаний и физико-географического положения пунктов прогноза для заблаговременностей +15, +18, +21 и +24 ч.

Для анализа по каждой территории выделялось три варианта физико-географического положения пунктов прогноза с выделением одного специфического аэропорта, качество прогнозов в котором имело самое низкое значение и существенно отличалось от остальных пунктов.

На территории Чукотки выделялись северное побережье (аэропорты Певек и Мыс Шмидта), восточное побережье (аэропорты Залив Лаврентия, Бухта Проведения, Залив Креста, Анадырь, Беринговская) и континентальная часть (Кепервеем, Купол, Марково,

Омолон). Особым пунктом считался аэропорт Омолон, расположенный в удалении от остальных пунктов, практически на границе с Магаданской областью.

Территория Камчатки делилась на восточное побережье (Манилы, Палана, Усть-Хайрюзово, Соболево, Озерная), западное побережье (Пахачи, Тилички, Оссора, Усть-Камчатск) и континентальная часть (Тигиль, Мильково, Елизово). К особым пунктам отнесен аэропорт Мильково, расположенный в континентальной части полуострова в долине между горными хребтами.

На территории ответственности Дальневосточного филиала ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» выделялись морское побережье (Охотск, Аян, Николаевск, Сов. Гавань, Артем), долина Амура (Херпучи, Богородское, Дземги, Хурба, Хабаровск, Благовещенск) и внутриконтинентальные аэропорты (Экимчан, Тында, Зeya, Свободный). В качестве особого пункта принят аэропорт Чумикан, расположенный в устье реки Уды вблизи побережья Охотского моря (около 5 км до побережья).

Территория республики Саха (Якутия) делилась на западную часть (к западу от р. Лена: Полярный, Мирный, Нюрба, Якутск), восточную часть (к востоку от р. Лена: Теплый Ключ, Депутатский, Батагай, Усть-Мома, Усть-Нера, Зырянка, Черский, Тикси) и южную часть (Ленск, Олекминск, Усть-Мая, Алдан, Чульман). В качестве особого пункта рассматривался аэропорт Усть-Нера. Отметим, что по поведению оценок качества прогнозов аэропорт Усть-Мома мало отличается от Усть-Неры.

На территории Сахалинской области рассматривались аэропорты Оха, Ноглики, Зональное, Шахтерск, Итуруп, Менделеево без выделения районов и особого пункта. Также в целом рассматривалась территория Забайкалья, на которой функционируют (выпускаются телеграммы в коде METAR) только два аэропорта: Чита и Улан-Удэ.

Результаты испытаний показывают, что качество прогнозов QNH различно для различных территорий и аэропортов, сезонов и месяцев года. В теплый период года качество прогнозов высокое и удовлетворяет требованиям ФАП-60 практически во всех аэропортах и в среднем по территориям. В холодный период года (особенно зимой) значения P_2 падают до 80 % и ниже и вновь начинают возрастать весной.

Известно, что качество прогнозов падает с заблаговременностью. Каждая заблаговременность прогноза соответствует определенному стандартному метеорологическому сроку. Рассматриваемая территория занимает пять часовых поясов, и каждый стандартный срок по ВСВ соответствует различному времени суток в аэропортах, расположенных в различных часовых поясах. В табл. 1 представлено соответствие между стандартными сроками суток, сроками старта модели, заблаговременностями прогнозов и местным временем. Данные табл. 1 показывают, что на каждый срок прогноза в течение суток приходится одна заблаго-

временность в интервале от +15 до +24 ч. В табл. 1 представлены только те заблаговременности прогнозов, которые возможно получить в настоящее время к указанному сроку не позднее, чем за 2 ч до его наступления, но не более 30 ч, поскольку прогнозы большей заблаговременности не используются в авиационной практике.

Таблица 1. Соотношение между стандартными сроками по ВСВ, сроками старта модели, заблаговременностями прогнозов и местным временем суток

Срок	ВСВ		Местное время				
	Заблаговременность при старте		Чукотка, Камчатка	Сахалин	Хабаровск	Якутия, Забайкалье	Улан-Удэ
	от 12 ч	от 00 ч					
00	+12	+24	12	11	10	09	08
03	+15	+27	15	14	13	12	11
06	+18	+30	18	17	16	15	14
09	+21	+09	21	20	19	18	17
12	+24	+12	00	23	22	21	20
15	+27	+15	03	02	01	00	23
18	+30	+18	06	05	04	03	02
21	+09	+21	09	08	07	06	05

Известно и подробно представлено в [2], что качество численных прогнозов приземных характеристик погоды имеет выраженный сезонный ход на рассматриваемой территории и менее выраженный суточный ход. Данные табл. 2 иллюстрируют суточный и сезонный ход обеспеченности прогнозов QNH с точностью до 2 гПа (P_2). В табл. 2 данные расположены по срокам (времени суток). Заблаговременности представлены в левом крайнем столбце, нижний индекс указывает срок старта модели.

Соотношения между различными заблаговременностями проиллюстрировано графиками на рис. 5. Из приведенных данных видно, что для одного и того же периода осреднения (месяц, сезон) качество прогнозов на различные сроки предстоящих суток различно. Оно зависит от заблаговременности прогноза и местного времени суток. Снижение качества прогнозов с заблаговременностью может в ряде случаев нивелироваться суточным ходом прогнозируемой величины, так что прогнозы большей заблаговременности могут иметь более высокие значения характеристик качества, чем прогнозы, рассчитанные с меньшей заблаговременностью.

Соотношение между характеристиками P_1 , P_2 , P_3 представлено на рис. 6. Графики рис. 6 показывают, что значение P_1 имеет сезонный ход, идентичный P_2 . Значения P_1 редко превышают уровень 90 %. Уровень обеспеченности прогнозов с погрешностью не более 1 гПа наблюдается летом и осенью в основном в прибрежных пунктах, иногда в континентальной части Амурской области и Якутии.

Таблица 2. Среднесезонные значения обеспеченности прогноза QNH с точностью до 2 гПа (P₂) по модели WRF-ARW «Хаб-15»

Период		Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В
Заб.ср.ст.	срок	Чукотка				Северный берег				Восточный берег				Континент				Омолон			
+21 ₀₀	09	98	90	80	91	98	97	88	93	97	93	81	93	98	80	77	86	100	71	59	84
+2400	12	96	88	77	84	95	96	77	89	96	91	80	88	95	80	73	76	95	67	59	79
+1512	15	99	92	83	89	98	97	79	88	99	92	85	92	98	89	83	85	100	84	75	82
+1812	18	99	91	87	88	100	89	82	91	100	93	89	88	97	90	85	85	100	84	-	88
Заб.ср.ст.	срок	Камчатка				Западный берег				Восточный берег				Континент				Мильково			
+2100	09	89	84	71	82	81	84	79	85	97	84	71	85	92	83	62	76	93	79	21	72
+2400	12	87	81	70	78	78	81	78	82	97	78	73	82	89	83	61	73	86	77	28	72
+1512	15	92	88	82	88	81	88	89	95	100	89	81	95	97	88	75	82	93	90	62	80
+1812	18	93	86	74	82	86	92	100	91	100	94	91	78	93	84	73	82	79	85	56	76
Заб.ср.ст.	срок	ДВ-филиал				Побережье				Долина Амура				Континент				Сахалинская обл.			
+2400	10	96	88	77	74	98	90	74	77	96	87	78	71	92	90	79	74	99	86	75	80
+1512	13	98	94	83	85	99	92	82	87	98	94	87	84	96	97	92	82	100	95	87	89
+1812	16	97	91	82	77	99	90	77	81	98	89	83	76	94	96	89	73	99	90	85	86
+2112	19	97	88	81	72	98	89	77	79	96	87	84	68	100	100	-	68	98	88	77	82
Заб.ср.ст.	срок	Якутия				Западнее Лены				Восточнее Лены				Южная Якутия				Забайкалье			
+2400	09	91	87	78	75	96	96	87	78	87	78	71	75	90	90	78	72	83	90	71	-
+1512	12	97	94	85	84	99	98	94	85	94	87	73	85	98	97	89	81	93	94	78	72
+1812	15	94	92	84	80	99	97	90	80	90	84	75	84	96	96	87	74	94	95	77	-
+2112	18	93	90	81	76	98	96	88	81	91	83	72	77	90	93	83	68	83	90	74	-

Примечание. В таблице приняты следующие обозначения: Л – лето, О – осень, З – зима, В – весна; ———
Заб.ср.ст. – заблаговременность прогноза от указанного в нижнем индексе срока старта.

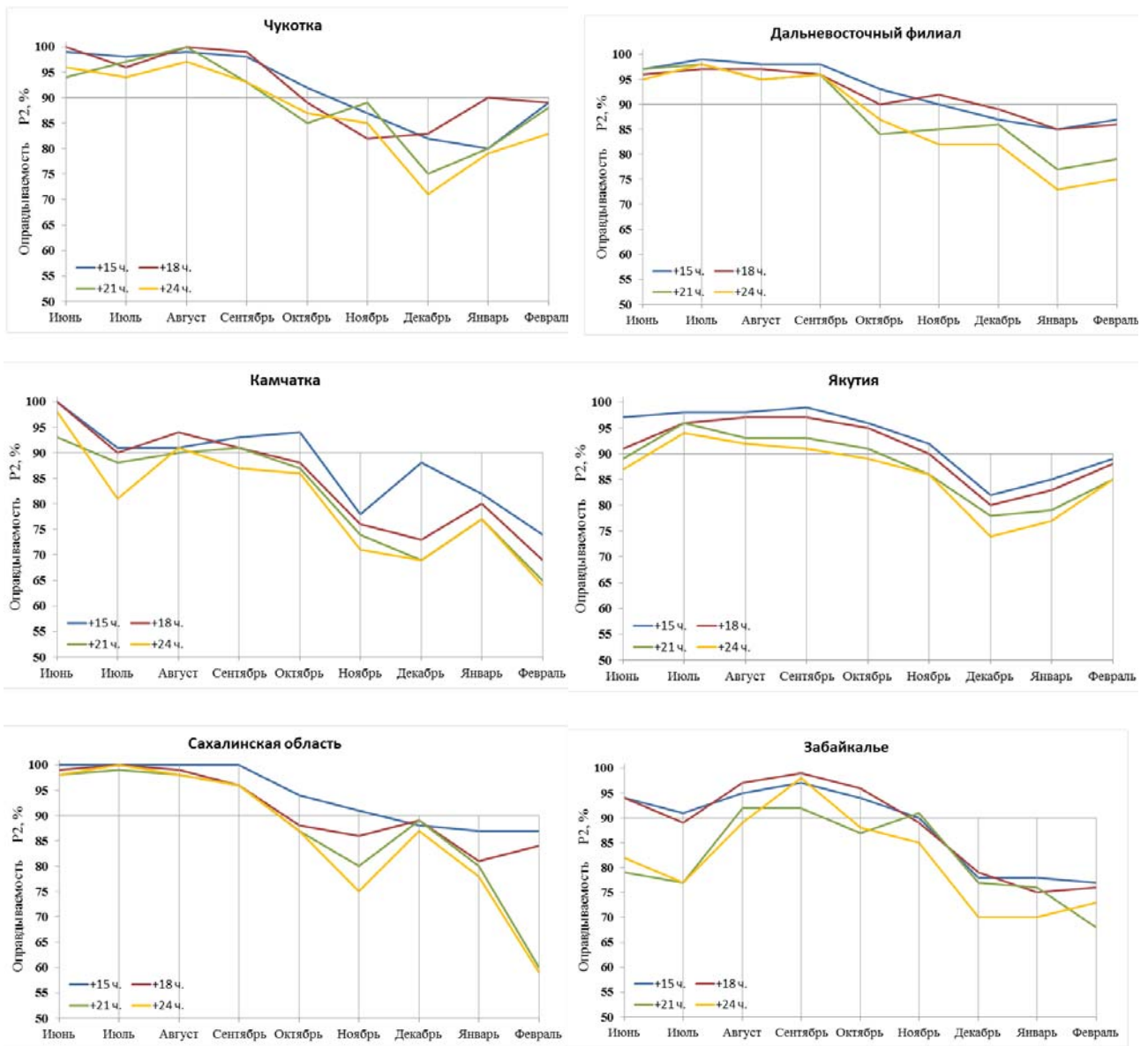


Рис. 5. Сравнение значений P_2 по заблаговременностям.

На рис. 7 представлено сравнение временного хода P_1 и P_2 для различных территорий, видно, что отклонение прогностического значения QNH от фактического на величину, более чем 1 гПа, наблюдается на территории Забайкалья (2 пункта) и Камчатки, а наименьшее – на территории Сахалинской области, что вполне соответствует особенностям географического положения пунктов прогноза и рельефу местности.

Величина P_2 имеет минимальное значение на территории Камчатки практически на всем периоде испытаний. Забайкальская кривая P_2 располагается выше Камчатской вплоть до декабря и опять поднимается в феврале. Сахалинская кривая P_1 держится на самом высоком уровне в период июнь – сентябрь и резко падает с октября по декабрь, опускаясь ниже Забайкальской, Хабаровской и Якутской, а Сахалинская кривая P_2 держится на самом высоком уровне весь период испытаний.

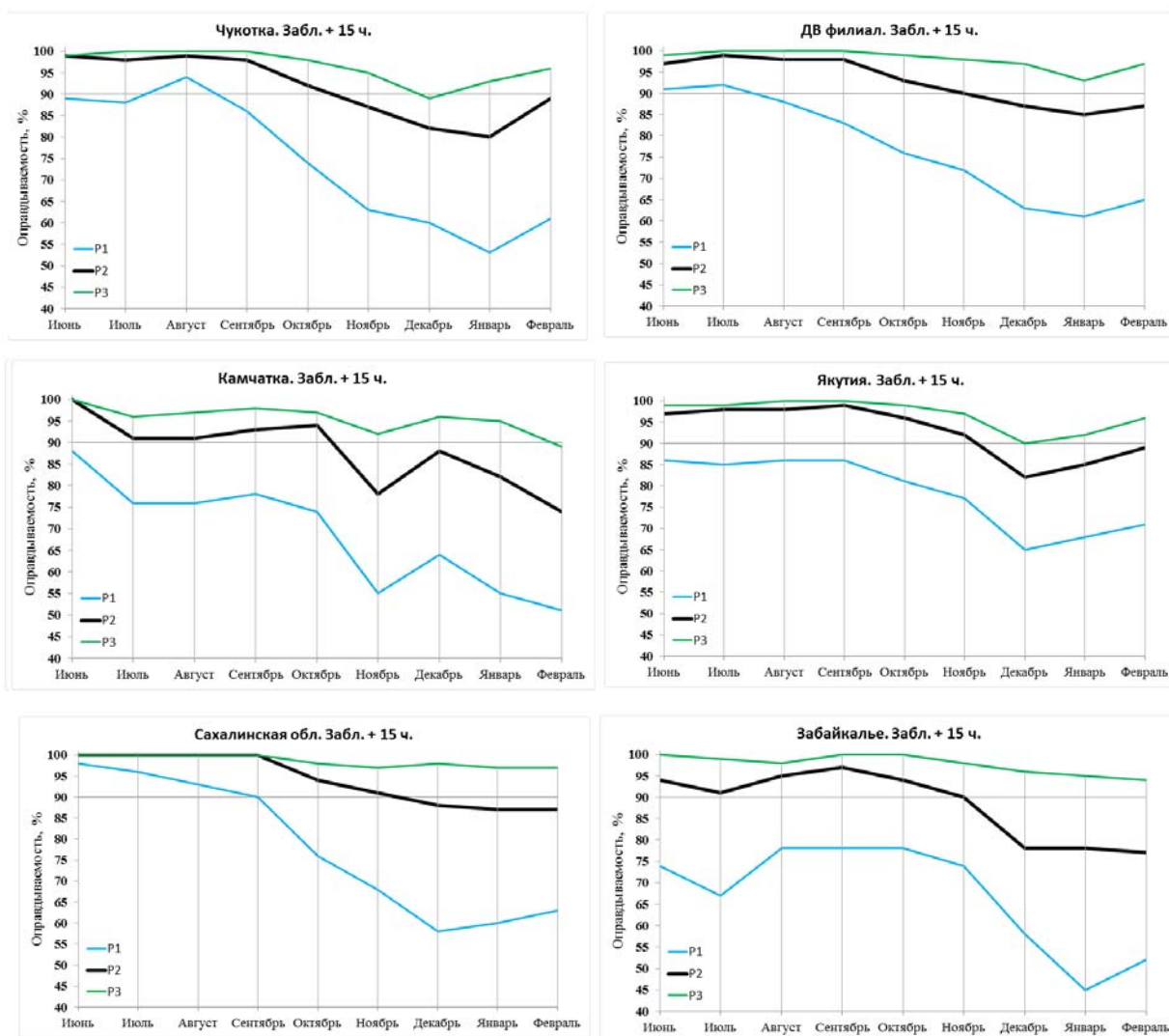


Рис. 6. Временной ход P_1 , P_2 , P_3 для различных территорий.

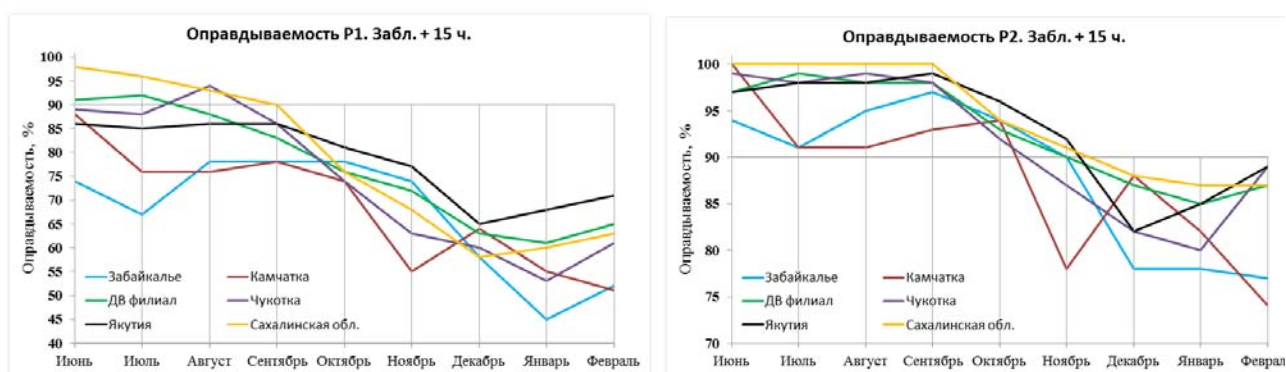


Рис. 7. Сравнение временного хода P_1 , P_2 для различных территорий.

Характеристика P_3 представлена на графиках рис. 8 для иллюстрации процента ошибок, больше либо равных 3 гПа. Из графиков видно, что значения P_3 колеблются в интервале 95–100 %, однако в декабре опускаются до 90 % на территории Якутии и Чукотки.

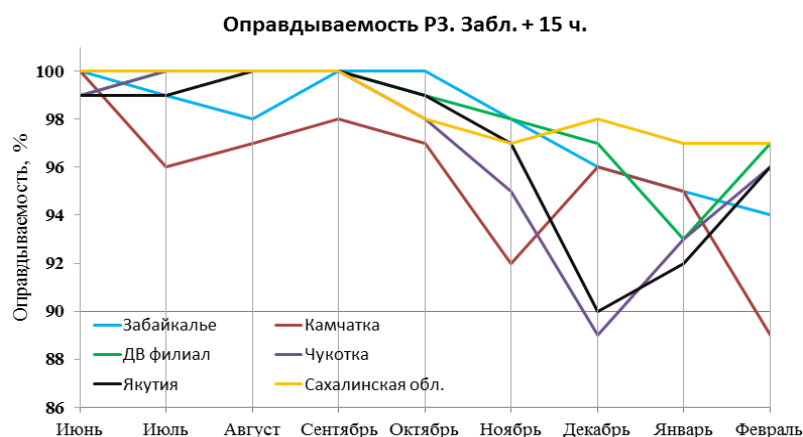


Рис. 8. Процент ошибок более 3 гПа для различных территорий и месяцев года.

На графиках рис. 8 видно, что количество ошибок более 3 гПа резко возросло в феврале для станций, расположенных на территории Камчатки – начались весенние перестройки.

Ситуации и пункты прогнозов, в которых наблюдается слишком большое количество ошибок, превышающих 3 гПа, анализировались отдельно для выявления причин их возникновения. Ошибки в координатах пунктов прогноза были выявлены в процессе испытаний по пунктам Чукотки (станция Беринговская – ошибка в положении около 90 км, Залив Лаврентия – ошибка в положении около 150 км). Ошибки в высоте пункта замечены в процессе испытаний в аэропорту Палана. Кроме того, были замечены неточности описания береговой линии в модели в районе расположения пунктов Чумикан и Николаевск-на-Амуре – береговая линия сливается с о. Сахалин как единое пространство суши.

Существенное влияние на значения характеристик качества прогнозов могут оказывать погрешности прогноза приземной температуры и влажности в зимний период в узлах сетки, расположенных на внутриконтинентальной территории Восточной Сибири и Дальнего Востока России (Восточная Якутия, Забайкалье, Магаданская область) [2].

Для иллюстрации вышеизложенного на рис. 9 представлен временной ход P_2 по каждой территории с детализацией по физико-географическому положению аэропортов и выделением «особых» пунктов с наиболее низким качеством прогнозов.

На территории Чукотки мы выделили аэропорт Омолон, который входит в группу внутриконтинентальных станций. Омолон расположен на границе с Магаданской областью вдали от остальных континентальных пунктов Чукотки в небольшом распадке между сопками на высоте 265 м. Расстояние до ближайшего узла, высота которого 271 м, составляет около 3 км. Судя по физико-географическому положению, узел сетки попадает на склон сопки через распадок. Здесь важно выяснить ориентацию склонов (юг, север и т. д.) и попытаться найти узел сетки, более близкий по физико-географическому положению к расположению

аэропорта. При горизонтальном разрешении модели в 15 км такой узел может и не найтись, и повысить качество прогнозов можно будет только статистическим способом. При повышении горизонтального разрешения модели задача может решиться сама собой.

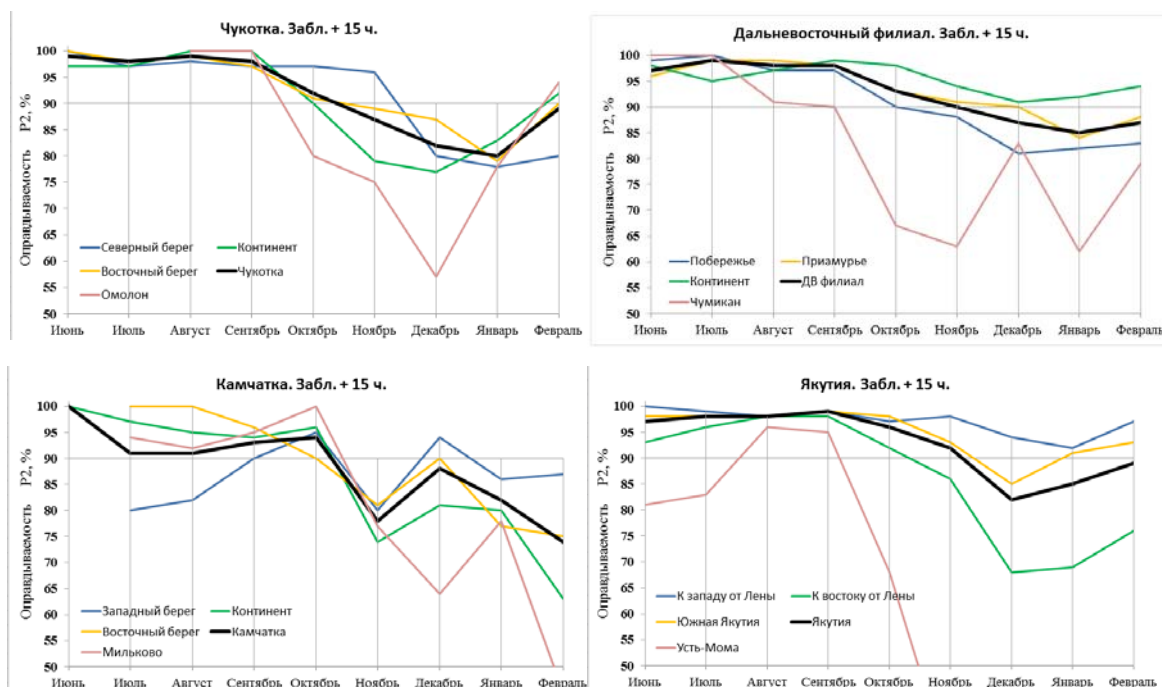


Рис. 9. Сравнение P_2 для различных территорий, физико-географических районов и особых станций.

На территории Камчатки выделен аэропорт Мильково, расположенный в долине между двумя горными хребтами практически у подножья сопки. Его высота составляет 125 м, расстояние до узла около 3 км, высота узла 153 м. Судя по поведению характеристик качества прогнозов, проблема та же, что и для пункта Омолон – узел сетки попадает на склон сопки с другой географической ориентацией.

Аэропорт Чумикан Хабаровского края расположен вблизи побережья Охотского моря, высота над уровнем моря составляет 8 м, расстояние до узла сетки около 7 км, высота узла 17 м. Разность высот в 9 м может давать погрешность чуть больше 1 гПа. Процедура приведения приземного давления в узле сетки к уровню пункта прогноза зимой может вносить существенные ошибки за счет погрешностей прогноза температуры и влажности.

На территории Якутии в качестве особого пункта прогноза выбран аэропорт Усть-Мома: высота 196 м, расстояние до узла около 5 км, высота узла 437 м. Этот пункт также расположен в предгорьях (узкой долине) на юго-западном склоне, а ближайший узел – выше в горах. Здесь, вероятнее всего, существенную ошибку вносит процедура приведения приземного давления к высоте аэропорта по температурному градиенту стандартной атмосферы в холодный период года. Аналогичное поведение оценок наблюдается и в аэропорту Усть-Нера, расположенном в горной местности на высоте 519 м. Расстояние до ближайшего

узла составляет всего 1 км, но высота узла 860 м. Очевидно, что в высокогорье приведение приземного давления от уровня узла к уровню аэропорта по температурному градиенту для стандартной атмосферы вносит существенные ошибки. Кроме того, прогностические значения приземной температуры и влажности на территории Якутии к востоку от р. Лены имеют наибольшие погрешности в холодный период года [2].

Анализ значений средней арифметической и средней абсолютной ошибок прогнозов QNH показывает, что большие значения $E_{абс}$ (не менее 2,5 гПа) приходится на зимний период. На Чукотке это северный берег (+18 ч) и континент (+24 ч), при этом систематической погрешности не наблюдается (значения $E_{ар}$ невелики). На Камчатке это восточный берег (+21 и +24 ч) и континент (+24 ч), при этом наблюдается заметная отрицательная систематическая ошибка, то есть прогнозируемое значение давления в среднем по территории ниже фактического. Большие значения $E_{абс}$ наблюдаются зимой на территории Восточной Якутии по всем заблаговременностям с наличием существенной систематической погрешности отрицательного знака. На других территориях среднесезонные значения $E_{абс}$ выше 2 гПа не наблюдается.

По данным, представленным участниками испытаний, проводилось сравнение прогнозов QNH по модели WRF-ARW («Хаб-15») с прогнозами по глобальной спектральной модели Гидрометцентра России T169L31. Результаты сравнения представлены в табл 3 и 4. Здесь приводятся осредненные по выделенным физико-географическим районам среднесезонные значения разностей P_1 , P_2 , P_3 и $E_{абс}$ методического (по модели WRF-ARW «Хаб-15») и верификационного (по модели Гидрометцентра России T169L31 (ГМЦ)) прогнозов. Разности берутся так, чтобы положительное значение показывало преимущество испытываемой модели над верификационной, а отрицательное значение разности показывало преимущество верификационной модели (ГМЦ) над испытываемой, то есть $\Delta P = P(WRF) - P(ГМЦ)$, $\Delta E_{абс} = E_{абс}(WRF) - E_{абс}(ГМЦ)$. Значения N в таблицах указывают количество случаев в выборке, по которому можно определить степень статистической обеспеченности приведенных результатов сравнения.

В табл. 3 представлены разности оценочных характеристик по территориям Чукотки (зона ответственности Северо-восточного филиала ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета») и Камчатки (зона ответственности Камчатского филиала ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета»). Эти филиалы выполняли верификацию в период с 1 сентября 2016 г. по 28 февраля 2017 г. в соответствии с Планом испытаний Росгидромета на 2016–2017 гг., поэтому данные сравнения приведены только за осень 2016 г. и зиму 2016–2017 годов.

Таблица 3. Сравнение качества прогнозов QNH по испытываемой модели «Хаб-15» с верификационной T169L31 (ГМЦ)

Сравнение WRF – ГМЦ	ОСЕНЬ					ЗИМА					ОСЕНЬ					ЗИМА				
	N	ΔP_1	ΔP_2	ΔP_3	ΔE_{abc}	N	ΔP_1	ΔP_2	ΔP_3	ΔE_{abc}	N	ΔP_1	ΔP_2	ΔP_3	ΔE_{abc}	N	ΔP_1	ΔP_2	ΔP_3	ΔE_{abc}
	+15 ч										+18 ч									
Чукотка	601	19	17	13	0.9	206	9	12	5	1.4	186	30	20	18	1.3	68	22	33	31	1.9
Северный берег	107	22	20	9	0,7	38	21	19	16	0.9	10	30	11	0	0.6	4	0	25	50	2.0
Восточный берег	278	12	8	4	0.3	85	11	13	-1	0.3	64	19	8	6	0.7	28	18	32	18	0.7
Континент	216	26	28	27	1.6	83	2	7	5	2.8	112	36	27	27	1.7	36	28	34	39	2.8
	+21 ч										+24 ч									
Чукотка	587	24	24	16	1.1	243	21	26	20	1.4	584	23	23	18	1.1	244	19	27	25	1.1
Северный берег	103	36	23	11	1.1	42	33	50	31	1.4	104	31	26	10	0.9	42	14	31	30	1.1
Восточный берег	273	18	15	6	0.4	114	9	10	7	0.4	270	19	14	10	0.5	112	9	16	15	0.5
Континент	211	27	35	32	2.1	87	30	35	32	2.7	210	23	32	33	2.1	90	34	38	36	2.1
	+15 ч										+18 ч									
Камчатка	661	20	17	12	0,8	661	18	22	19	1,0	255	19	17	13	1,0	227	34	38	32	1,9
Западный берег	243	21	14	9	0,8	245	19	12	7	0,5	12	16	25	9	0,5	4	50	25	25	1,2
Восточный берег	148	21	8	5	0,6	135	7	19	18	0,6	32	16	5	1	0,3	11	9	27	18	0,7
Континент	270	18	25	18	0,9	281	23	31	31	1,7	211	20	18	15	1,1	212	35	39	33	2,0
	+21 ч										+24 ч									
Камчатка	788	22	22	18	1,1	856	17	17	17	1,1	767	18	20	16	1,0	820	13	18	18	1,1
Западный берег	279	21	19	14	0,8	307	14	14	10	0,6	272	22	15	13	0,9	302	7	13	11	0,5
Восточный берег	214	21	19	13	0,9	247	8	7	9	0,5	213	12	12	10	0,8	229	9	15	12	0,7
Континент	295	24	26	25	1,4	302	26	28	30	2,1	282	18	30	24	1,3	289	23	26	31	2,1

Данные табл. 3 показывают уверенное преимущество прогнозов QNH по испытываемой модели над прогнозами по верификационной модели. Основной причиной такого преимущества является, безусловно, горизонтальное разрешение модели «Хаб-15» в 15 км в сравнении с данными модели ГМЦ, рассчитанными с горизонтальным разрешением $1,25^\circ$ (т. е. около 130 км по 60-ой параллели).

Максимальное преимущество модели «Хаб-15» наблюдается для внутриконтинентальных аэропортов, минимальное – по восточному побережью, что естественно с физико-географической точки зрения. Малое преимущество прогнозов по северному берегу Чукотского полуострова с заблаговременностью +18 ч статистически не обеспечено (10 случаев осенью и 4 зимой). Отрицательное значение ΔP (+15 ч) зимой по восточному берегу Чукотки, как и в целом наименьшее преимущество «Хаб-15» над T169L31 (ГМЦ) для этой территории, обусловлено ошибками в координатах аэропортов Залив Лаврентия и Беринговская, указанных выше. После внесения исправлений качество прогнозов по этим пунктам существенно возросло.

В любом случае, минимальное преимущество над прогнозами T169L31 (ГМЦ) на восточном побережье Чукотки и Камчатки обусловлено небольшими высотами пунктов прогноза и гладкой поверхностью моря, на которое попадают узлы сетки модели ГМЦ.

В табл. 4 приведены разности оценочных характеристик по территории ответственности Дальневосточного филиала ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета», включающей на начало периода испытаний Хабаровский край, Амурскую область, Еврейскую автономную область и Приморский край. Сахалинская область была присоединена к ДВ-филиалу с 1 января 2017 г. и в процессе верификации не учувствовала, поэтому данных сравнения по аэропортам, расположенным на о. Сахалин и Курильских островах нет.

Специалисты ДВ-филиала «Авиаметтелеком Росгидромета» начали верификацию с июня 2016 г., так что по территории их ответственности есть данные за летние месяцы. Максимальное и весьма существенное преимущество (до 50 %) прогнозов по испытываемой модели над верификационной наблюдается летом в пунктах, расположенных по долине Амура.

Осенью это преимущество снижается до 35 % и постепенно перемещается к континентальным аэропортам. Зимой максимальное преимущество качества испытываемых прогнозов над верификационными переходит к континентальным пунктам и составляет весьма существенную величину (по P_1 от 29 % для заблаговременности +24 ч до 49 % для заблаговременности +15 ч). Для P_2 это преимущество достигает 53–55 % для прогнозов +18 и +15 ч.

Минимальное преимущество по аэропортам ДВ-филиала наблюдается в прибрежных пунктах, при этом оно существенно летом (до 33 % по P_1), снижается осенью (до 13–18 % по

R₁) и теряется зимой по всем заблаговременностям, кроме +24 ч. Для остальных заблаговременностей (сроков) прогноза в среднем по побережью в зимний период года наблюдается преимущество прогнозов T169L31 (ГМЦ). Этот факт привел нас к выводу о необходимости проверить адекватность описания береговой линии в модели «Хаб-15». Как выяснилось, пункты Аян, Чумикан, Николаевск, Богородское оказались в несоответствующих физико-географических условиях.

Таблица 4. Сравнение качества прогнозов QNH по испытываемой модели «Хаб-15» с верификационной T169L31 (ГМЦ) по территории ДВ-филиала «Авиаметтелеком»

Сравнение WRF – ГМЦ	Лето					Осень					Зима				
	N	ΔP ₁	ΔP ₂	ΔP ₃	ΔE _{абс}	N	ΔP ₁	ΔP ₂	ΔP ₃	ΔE _{абс}	N	ΔP ₁	ΔP ₂	ΔP ₃	ΔE _{абс}
	+15 ч														
ДВ-филиал	1571	39	22	8	1,1	1560	24	22	12	0,8	1366	18	20	15	1,0
Побережье	533	30	8	2	0,7	527	13	15	8	0,4	438	-6	-4	-1	-0,1
Долина Амура	800	48	33	12	1,4	784	28	26	14	1,0	690	22	23	14	0,7
Континент	238	29	18	10	0,9	249	35	24	12	1,1	238	49	55	48	3,9
+18 ч															
ДВ-филиал	1534	48	30	13	1,4	1531	24	67	11	0,9	1402	11	15	13	0,9
Побережье	514	36	20	6	0,9	510	17	15	6	0,5	473	-12	-8	0	-0,1
Долина Амура	796	58	39	17	1,8	775	26	115	15	1,2	691	16	17	11	0,7
Континент	224	40	25	13	1,1	246	31	24	11	0,9	238	38	53	44	3,6
+21 ч															
ДВ-филиал	1281	41	27	9	1,2	1293	23	22	12	0,9	1083	8	11	7	0,4
Побережье	477	30	16	4	0,6	517	15	17	8	0,6	438	-6	-4	-1	0,0
Долина Амура	804	48	33	12	1,5	776	28	25	14	1,1	645	18	20	13	0,6
Континент	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
+24 ч															
ДВ-филиал	1548	42	29	14	1,1	1584	25	21	9	0,9	1456	19	17	13	1,1
Побережье	538	33	24	15	0,6	542	18	14	10	0,7	516	13	4	2	0,4
Долина Амура	783	51	33	12	1,4	787	30	25	5	0,9	700	20	17	11	0,6
Континент	227	32	27	23	1,3	255	23	24	17	1,1	240	29	44	43	3,7

Для завершенности исследования рассчитывались оценки качества инерционного прогноза. К сожалению, для ряда пунктов и заблаговременностей данных для оценки слишком мало. Во избежание статистической необеспеченности оценок в табл. 5 и 6 приведены только те данные, которые рассчитаны по выборкам длиной не менее 10 случаев.

В табл 5 приведены среднесезонные значения R₂ инерционного прогноза для заблаговременностей от +09 до +24 ч. Расчеты показывают существенно более низкое качество инерционных прогнозов рассматриваемых заблаговременностей в сравнении с модельными прогнозами и систематическое падение качества инерционных прогнозов с заблаговременностью, в отличие от модельных.

Таблица 5. Сезонные значения P_2 инерционного прогноза QNH

Забл.	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В
	Чукотка				Северный берег				Вост. берег				Континент				Омолон			
+09	58	74	54	74	-	73	-	75	-	-	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-
+12	-	54	48	65	-	55	-	65	-	-	49	-	-	-	-	-	-	-	-	-
+15	-	50	39	50	-	45	-	50	-	-	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-
+18	-	50	34	50	-	-	-	50	-	-	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
+21	37	33	32	52	33	33	45	47	38	29	27	54	38	38	35	48	31	34	32	35
+24	36	30	29	49	31	31	39	39	33	29	24	32	43	29	34	45	47	27	35	34
Забл.	Камчатка				Западный берег				Вост. берег				Континент				Мильково			
	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В
+09	81	49	51	58	-	-	-	-	-	-	-	-	79	51	51	57	44	91	-	-
+12	68	38	33	50	-	-	-	-	-	-	-	-	68	38	33	50	-	-	-	-
+15	59	32	31	44	-	-	-	-	-	-	-	-	59	32	31	44	-	-	-	-
+18	48	32	27	42	-	-	-	-	-	-	-	-	48	32	27	42	-	-	-	-
+21	46	25	30	41	42	28	31	46	40	23	44	39	47	24	28	38	35	24	36	42
+24	40	25	28	38	42	29	32	45	36	26	30	36	42	22	25	32	47	24	29	35
Забл.	ДВ-филиал				Побережье				Долина Амура				Континент				Сахалинская обл.			
	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В
+09	74	66	64	60	77	68	62	64	71	65	66	59	40	-	-	51	83	58	57	62
+12	73	59	54	54	74	59	51	57	73	59	56	54	-	-	-	36	75	44	45	55
+15	68	54	46	47	67	55	45	48	68	53	47	48	-	-	-	29	68	37	40	45
+18	61	44	39	40	59	46	37	43	62	43	40	39	-	-	-	30	58	34	39	44
+21	57	40	37	39	55	42	35	43	57	39	39	38	61	-	-	26	53	33	34	36
+24	52	38	36	38	53	38	32	42	53	36	36	38	48	40	44	28	51	32	30	35
Забл.	Якутия				Западнее Лены				Восточнее Лены				Южная Якутия				Забайкалье			
	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В
+09	64	76	61	54	70	80	59	50	54	76	69	60	64	73	57	55	54	64	61	47
+12	57	69	51	43	59	71	50	41	48	70	59	48	60	65	46	43	52	56	54	46
+15	53	62	43	37	54	64	42	35	45	62	51	42	57	57	41	37	55	51	46	43
+18	49	55	36	32	50	60	35	30	42	53	44	33	52	51	33	35	55	45	45	38
+21	42	51	34	31	46	55	33	31	35	48	39	34	46	49	30	32	49	41	41	33
+24	38	47	32	28	38	50	31	27	34	45	36	31	43	47	28	29	44	37	36	32

Расчет оценок инерционного прогноза на близлежащие сроки (до +06 ч) выполнялся с целью оценки периода времени, на который можно использовать инерционный прогноз в практических целях. Результаты расчета представлены в табл. 6, из которой видно, что инерционным прогнозом можно пользоваться на ближайшие 3 ч от сроков наблюдений практически на всей территории Дальнего Востока России за исключением Камчатки, для аэропортов которой P_2 инерционного прогноза не ниже 90 % гарантировано только на ближайшие 2 часа.

Выводы

Полученные результаты показывают, что прогнозы значений QNH в аэропортах, расположенных на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока России, по модели «Хаб-15» в целом успешны в летние месяцы года и имеют более низкое качество зимой. В переходные сезоны года качество прогнозов различно для различных физико-географических районов и конкретных аэропортов.

Таблица 6. Сезонные значения P_2 инерционного прогноза QNH для малых заблаговременностей

Период	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В
Забл.	Чукотка				Северный берег				Восточный берег				Континент				Омолон			
+01	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100	99	99	100	100	100	100
+02	99	99	97	100	98	99	98	100	100	99	96	100	99	98	97	99	100	98	96	98
+03	97	94	91	99	93	96	92	99	100	94	90	99	92	93	94	98	90	94	94	93
+04	90	88	86	97	87	92	89	96	95	86	85	98	79	88	87	93	65	90	87	85
+05	81	82	81	93	72	85	83	91	89	80	77	95	71	83	85	89	60	79	87	83
+06	72	80	75	92	69	90	73	96	76	78	73	94	64	77	81	89	53	76	-	89
Забл.	Камчатка				Западный берег				Восточный берег				Континент				Мильково			
+01	100	99	99	100	100	99	99	100	100	100	99	100	100	99	99	100	100	100	99	100
+02	100	94	93	98	100	96	93	99	99	93	93	98	100	95	92	98	100	98	88	97
+03	98	88	84	93	100	91	89	97	91	84	85	94	99	88	81	90	91	88	73	87
+04	93	80	78	87	100	88	87	96	83	78	79	89	93	78	73	82	75	76	58	77
+05	88	73	71	78	96	82	85	92	78	77	71	84	87	70	69	73	68	74	60	72
+06	84	63	63	72	-	-	-	-	-	-	-	-	83	62	62	71	57	73	59	73
Забл.	ДВ филиал				Побережье				Долина Амура				Континент				Сахалинская обл.			
+01	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
+02	99	99	99	99	99	99	99	99	100	99	99	98	99	100	99	98	99	99	98	98
+03	98	96	95	94	98	95	93	98	99	96	95	93	94	97	98	92	97	93	92	94
+04	95	89	88	87	96	87	86	96	96	89	89	86	91	90	93	83	95	84	81	83
+05	90	81	81	78	91	79	77	91	91	82	82	79	83	83	86	71	90	79	74	76
+06	86	77	76	71	87	76	73	87	86	77	75	72	87	76	84	65	87	74	70	70
Забл.	Якутия				Западнее Лены				Восточнее Лены				Южная Якутия				Забайкалье			
+01	100	100	100	99	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100	100
+02	99	99	99	97	99	99	99	97	99	99	99	99	99	100	98	96	99	99	99	98
+03	96	98	95	92	98	98	95	91	94	98	95	95	96	98	94	91	98	98	97	92
+04	91	96	89	84	95	96	90	83	85	94	92	87	92	96	87	84	93	93	92	83
+05	85	91	84	75	90	92	83	75	76	89	88	76	86	93	81	72	86	87	85	76
+06	79	88	77	68	84	89	77	67	70	85	83	69	81	88	73	68	60	81	78	68

Рекомендации авторов по применению прогнозов QNH по модели «Хаб-15» по территориям ответственности подразделений Росгидромета, занимающихся метеорологическим обслуживанием авиации на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока России, приведены в табл. 7. Для каждого аэропорта следует пользоваться среднемесячными данными оценок качества прогнозов, полученных в период испытаний, и текущих данных, располагаемых на сайте ФГБУ «Дальневосточное УГМС».

Таблица 7. Рекомендации авторов по использованию прогнозов QNH по модели WRF-ARW («Хаб-15») по районам ДВ-региона России

УГМС	Лето	Осень	Зима	Весна
Чукотка (11)	Основной	Основной	Вспомогательный	Основной
Северный берег (2)	Основной	Основной	Вспомогательный	Основной
Восточный берег (5)	Основной	Основной	Вспомогательный	Основной
Континент (4)	Основной	Основной	Вспомогательный	Вспомогательный
Камчатка (12)	Основной	Основной	Вспомогательный	Вспомогательный
Западный берег (5)	Основной	Основной	Вспомогательный	Основной
Восточный берег (4)	Основной	Основной	Вспомогательный	Вспомогательный
Континент (3)	Основной	Основной	Консультативно	Консультативно
Сахалин (7)	Основной	Основной	Вспомогательный	Вспомогательный
ДВ-филиал (17)	Основной	Основной	Вспомогательный	Вспомогательный
Побережье (7)	Основной	Основной	Вспомогательный	Вспомогательный
Долина Амура (6)	Основной	Основной	Вспомогательный	Вспомогательный
Континент (4)	Основной	Основной	Вспомогательный	Вспомогательный
Якутия (17)	Основной	Основной	Вспомогательный	Вспомогательный
К западу от Лены (4)	Основной	Основной	Основной	Вспомогательный
К востоку от Лены (8)	Основной	Основной	Консультативно	Вспомогательный
Ю,жная Якутия (5)	Основной	Основной	Вспомогательный	Вспомогательный
Забайкалье (2)	Основной	Основной	Консультативно	Консультативно

Решение ЦМКП Росгидромета: ЦМКП одобрила работу ФГБУ «ДВНИГМИ» по разработке метода и оперативной технологии расчета прогнозов приземного давления, приведенного к уровню моря по стандартной атмосфере (QNH) по данным модели WRF-ARW с горизонтальным разрешением 15 км.

ЦМКП рекомендовала:

– метод краткосрочного (до 48 ч) прогноза значений давления, приведенного к уровню моря по стандартной атмосфере (QNH) по данным модели WRF-ARW с горизонтальным разрешением 15 км, внедрить в оперативную практику ФГБУ «Дальневосточное УГМС» в качестве вспомогательного;

– подразделениям, осуществляющим метеорологическое обслуживание авиации на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока России использовать результаты расчетов QNH в качестве вспомогательного материала;

– авторам учесть высказанные на заседании ЦМКП предложения и пожелания специалистов прогностических подразделений Росгидромета, отвечающих за метеорологическое обслуживание авиации в ДВ-регионе, по совершенствованию качества прогнозов QNH на рассматриваемой территории с учетом физико-географических и климатических особенностей каждой из территорий и пунктов прогноза (действующих аэропортов). Обратить особое внимание на пункты, расположенные в сложных физико-географических условиях, определяющих существенные систематические ошибки прогноза в холодный период года.

Список литературы

1. *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.

2. *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.

3. Методические указания по приведению атмосферного давления к уровню моря и вычислению высот изобарических поверхностей на метеорологических станциях. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 11 с.

4. Приказ Минтранса России от 03.03.2014 № 60 «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Предоставление метеорологической информации для обеспечения полетов воздушных судов». – Режим доступа:

http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_169199/ (дата обращения 30.04.2017).

5. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиофизических прогнозов. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1991. – 77 с.

6. CIMO/ET-Stand-1/Doc. 10 Pressure reduction formula. – Geneva: WMO, 2012. – 32p. – Режим доступа: https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/meetings/SI/ET-Stand-1/Doc-10_Pressure-red.pdf (дата обращения 30.04.2017).

7. 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: 01.05.2017).