

*Ю.В. Любичкий, Е.М. Вербицкая, С.О. Романский,
Л.П. Кравчук, О.И. Новикова, В.Б. Тюрнин, М.Е. Кузнецов*

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ
МЕТОДА КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА
ИЗМЕНЕНИЙ СУММАРНОГО УРОВНЯ МОРЯ
НА ПОБЕРЕЖЬЕ ОХОТСКОГО МОРЯ,
ТАТАРСКОГО ПРОЛИВА, ТИХООКЕАНСКОМ
ПОБЕРЕЖЬЕ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ
И ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА**

Введение

Информация об ожидаемых изменениях уровня моря необходима для обслуживания навигации, эксплуатации гидротехнических сооружений и транспортных коммуникаций, расположенных в прибрежной зоне, обеспечения безопасности населения, проживающего на побережье.

Тем не менее следует отметить, что в настоящее время в практике прогностических подразделений дальневосточных УГМС Росгидромета используются только технологии расчета приливной составляющей уровня моря и физико-статистические методы прогноза штормовых нагонов в отдельных немногочисленных береговых пунктах. При этом прогнозы штормовых нагонов обычно ограничиваются оценкой максимальной высоты нагона и времени ее формирования [10].

Метод прогноза, разработанный в ФГБУ «ДВНИГМИ», предусматривает расчет ожидаемых изменений суммарного уровня моря, включающего приливную, сгонно-нагонную и фоновую составляющие. Пространственно-временные изменения сгонно-нагонной составляющей уровня моря в пределах всего объекта вычисляются с помощью двумерной гидродинамической модели. Это дает возможность

(в отличие от физико-статистических методов) рассчитывать прогноз даже для тех пунктов, в которых не производились длительные наблюдения над уровнем моря [1, 3, 6, 7]. Приливная составляющая уровня моря рассчитывается только для береговых пунктов по гармоническим постоянным основным волн прилива. Для большинства пунктов учитываются изменения среднего (фонового) уровня моря.

На основе аналогичных принципов (для расчета сгонно-нагонной составляющей уровня моря применяется двумерная гидродинамическая модель, прилив рассчитывается только в береговых пунктах) разработаны методы краткосрочного прогноза уровня моря, применяемые в оперативной работе Национальной службы погоды США [13] и Японского метеорологического агентства (JMA) [14].

Основные характеристики метода прогноза

Прогноз рассчитывается на вычислителе G-Scale S4700 ФГБУ «Дальневосточное УГМС» два раза в сутки (в сроки от 00 и 12 ч ВСВ). Заблаговременность прогнозов составляет 48 часов.

Технологическая линия прогноза практически полностью работает в автоматическом режиме – вручную только формируется и два раза в неделю обновляется файл с информацией о состоянии ледяного покрова в пределах области расчета. Для создания этого файла используются карты-схемы ледовой обстановки по акваториям ДВ морей, составленные на основе данных ИСЗ «TERRA» в ДЦ ФГБУ «НИЦ «ПЛАНЕТА»» (ДВ РЦПОД), и карты распределения ледяного покрова на акватории дальневосточных морей Японского метеорологического агентства (http://goos.kishou.go.jp/rtrdb/seaice_reg.html).

Ядром метода прогноза является двумерная нелинейная численная гидродинамическая модель, построенная в рамках теории мелкой воды [4].

Численная аппроксимация уравнений движения и неразрывности выполнена по явной конечно-разностной схеме, в соответствии с которой пространственные и временные производные заменяются центральными разностями (используется сетка С. Аракавы).

Так как компоненты скорости течения и отклонение поверхности моря от невозмущенного (среднего) уровня в начальный момент времени принимаются нулевыми, для формирования более корректных

начальных условий расчет полей компонентов скорости течений и непериодической составляющей уровня моря начинается по метеорологическим данным за 24 часа, предшествующие моменту выпуска прогноза. При этом в качестве исходной информации используются поля ветра и приземного атмосферного давления, рассчитанные в рамках двух предыдущих сеансов численного метеорологического прогноза (в обоих случаях используются данные для заблаговременностей 6 и 12 часов).

На твердых границах сеточной области модели нормальные к ним компоненты скорости течения принимаются равными нулю (условие непротекания). Перемещение уреза воды в горизонтальном направлении не учитывается, но это не приводит к заметным ошибкам, т. к. зоны осушки и затопления побережья в исследуемых районах невелики и сопоставимы с пространственным шагом сетки.

На жидких границах области расчета используется сочетание условий гидростатического изменения уровня моря по «закону обратного барометра» под влиянием вариаций приземного атмосферного давления и излучения – выхода свободной прогрессивной волны из области расчета.

Пространственный шаг сетки модели составляет 10 км, шаг по времени – 90 секунд.

Сетка модели для расчета сгонно-нагонной составляющей уровня моря совмещена с сеткой региональной 22-уровневой гидродинамической модели прогноза полей метеорологических элементов в σ -системе координат (региональная модель Гидрометцентра России, автор – В.М. Лосев) с горизонтальным разрешением 50 км (MLs 22-50).

Для расчета приливов в береговых пунктах используются опубликованные или полученные впервые гармонические постоянные основных волн прилива (от 8 до 32 волн). Для всех пунктов, исключая расположенные на побережье полуострова Камчатка, в первом приближении учитываются изменения фонового (среднего) уровня моря. Для этого используются сведения о среднем за многолетний период времени годовом ходе уровня моря в данных или расположенных поблизости от них пунктах.

Значения суммарного уровня моря вычисляются с помощью суперпозиции его отдельных составляющих, следовательно, нелинейное

взаимодействие этих составляющих не учитывается. Тем не менее известно, что нелинейное взаимодействие составляющих суммарного уровня моря является практически значимым только в очень мелководных районах значительной протяженности [5].

Прогнозируемые характеристики уровня моря в береговых пунктах, в которых выполнялись длительные наблюдения над уровнем моря, приводятся к принятым нулям постов, что позволяет оценивать возможность превышения уровнем моря критических отметок.

Выходная продукция метода прогноза

Прогноз рассчитывается для 38 береговых пунктов (рис. 1). В ФГБУ «Камчатское», «Колымское», «Дальневосточное» и «Сахалинское» УГМС Росгидромета в автоматическом режиме по электронной почте передаются текстовые файлы с информацией об ожидаемых ежечасных изменениях суммарного уровня моря и его сгонно-нагонной и приливной составляющих в пунктах, расположенных в пределах зоны ответственности каждого управления.

Сведения о составленных прогнозах

Оперативные испытания метода прогноза проводились с 1 января по 31 декабря 2013 года. Из 730 возможных сеансов прогнозов не были рассчитаны по техническим причинам (возникла вычислительная неустойчивость при работе региональной модели прогноза метеорологических полей) 117 сеансов, что составило 16 % от общего числа случаев. К сожалению, сбои в основном возникали во время выхода на территорию Дальнего Востока глубоких циклонов, формирующих сгонно-нагонные явления на побережье объектов, для которых рассчитывается прогноз.

Материалы наблюдений, использованные для оценки качества прогнозов

Количество пунктов, выполнявших наблюдения над уровнем моря в 2013 г. на побережье Охотского моря и Татарского пролива, тихоокеанском побережье Камчатки и Курильских островов невелико (табл. 1).



Рис. 1. Схема расположения пунктов, для которых рассчитывается прогноз суммарных уровней моря. Рамка рисунка соответствует границам сеточной области гидродинамической модели для расчета неперiodической составляющей уровня моря.

1 – Крабзаводск; 2 – Малокурильское; 3 – Южно-Курильск; 4 – Буревестник; 5 – Курильск; 6 – Рейдово; 7 – Советская Гавань; 8 – б. Ванина; 9 – Де-Кастри; 10 – Александровск-Сахалинский; 11 – Углегорск; 12 – Чехов; 13 – Холмск; 14 – Невельск; 15 – Горнозаводск; 16 – Шебунино; 17 – Корсаков; 18 – Стародубское; 19 – Взморье; 20 – Макаров; 21 – Поронайск; 22 – Владимирово; 23 – Москальво; 24 – Рыбновск; 25 – о. Байдукова; 26 – Аян; 27 – Охотск; 28 – б. Нагаева; 29 – Усть-Хайрюзово; 30 – Ича; 31 – Кировский; 32 – Октябрьский; 33 – Озерновский; 34 – Северо-Курильск; 35 – Петропавловск-Камчатский; 36 – Усть-Камчатск; 37 – Оссора; 38 – Корф.

В основном точность прогнозов оценивалась по данным измерений автоматизированных постов (АП) службы цунами Росгидромета (табл. 1). Поэтому следует отметить, что к полученным статистическим

оценкам качества прогноза уровня моря необходимо относиться достаточно осторожно, т. к. высокое качество наблюдений обеспечивают только самописцы уровня моря, установленные в бухте Нагаева и Петропавловске-Камчатском.

Таблица 1

**Сведения о наблюдениях над уровнем моря,
использованных для оценки качества прогнозов в 2013 г.**

Пункт	Способ измерений	Дискретность наблюдений, ч	Период наблюдений
Курильск	АП	1	1.01–4.07, 21.07–25.08
Советская Гавань	АП	1	30.01–31.12
Углегорск	АП	1	15.01–3.08
Холмск	АП	1	1.01–9.05, 23.05–23.08, 5.09–31.12
Невельск	АП	1	14.06–24.08, 12.09–13.10, 25.10–9.11
Корсаков	АП	1	30.01–3.09
Стародубское	АП	1	1.01–16.04, 26.04–4.05, 20.05–28.12
Поронайск	АП	1	1.01–14.08.08, 20.08–28.12
Аян	Водомерные рейки	6	1.07–30.09
б. Нагаева	СУМ	1	1.01–31.12
Петропавловск-Камчатский	СУМ, АП	1	1.01–31.12
Оссора	АП	1	28.08–1.12
Корф	АП	1	8.09–8.11, 14.11–31.12

Примечания. 1. Пропуски в наблюдениях продолжительностью менее 5 дней не указаны. 2. АП – автоматизированный пост службы цунами, СУМ – самописец уровня моря.

Данные наблюдений АП прошли детальный критический контроль и были обработаны с помощью методов и технологий, рассмотренных в работе [9].

Результаты испытаний метода

Качество прогнозов оценивалось с помощью критериев, установленных действующими нормативными документами Росгидромета [11, 12].

Для пунктов Курильск, Советская Гавань, Углегорск, Холмск, Невельск, Корсаков, Стародубское, Поронайск, Аян и б. Нагаева прогнозируемые значения уровня моря сравнивались с наблюдаемыми уровнями, приведенными к условным нулям постов этих пунктов. Поэтому полученные ошибки включают не только погрешности расчета приливной и сгонно-нагонной составляющих суммарного уровня моря, но и фонового (среднего) уровня.

Для пунктов Петропавловск-Камчатский, Оссора и Корф точность прогнозов оценивалась относительно средних месячных значений уровня моря, полученных по наблюдениям. При этом средние месячные характеристики рассчитывались только по данным за сутки, в которых не было пропусков в наблюдениях.

Действующее Наставление по службе морских гидрологических прогнозов [12] предписывает применять для оценки эффективности всех методов краткосрочных прогнозов морских гидрометеорологических явлений, повторяющихся систематически (в том числе и уровня моря), сравнение результатов прогнозов не с природной обеспеченностью, а с обеспеченностью инерционных прогнозов.

Представляется, что данное положение, справедливое для неприливных морей (например, Каспийского моря), нельзя использовать для оценки качества прогноза суммарных уровней приливных морей, в частности морей, омывающих побережье Дальнего Востока России, т. к. в интервал времени, соответствующий максимальной заблаговременности краткосрочного прогноза (72 часа), формируется несколько приливных циклов. Это приводит к искажению оценок точности рассчитанных прогнозов [8]. Поэтому качество рассчитанных прогнозов суммарных уровней моря за весь период наблюдений оценивалось с помощью общепринятых статистических критериев.

При оценке точности прогнозов уровня приливных морей возникает проблема корректного определения величины допустимой ошибки $\delta_{дон}$, которая обычно рассчитывается по формуле $\delta_{дон} = \pm 0,674\sigma_x$, где σ_x –

среднеквадратическая изменчивость прогнозируемой величины, рассчитанная по данным наблюдений.

Для пунктов с большими приливами (например, б. Нагаева и Аян) значение $0,674 \sigma_x$ имеет очень большую величину (табл. 2). Очевидно, что точность прогнозов с такой погрешностью неприемлема для решения прикладных задач, например обслуживания судоходства. Поэтому выбор для таких пунктов максимальной величины допустимой ошибки должен определяться потребностями практики. Следует отметить, что этот выбор отчасти имеет субъективный характер (табл. 2).

Таблица 2

Статистические характеристики для оценки качества прогнозов суммарных уровней моря, рассчитанные по данным наблюдений

Пункт	σ_x , см	$0,674 \sigma_x$, см	$\delta_{доп}$, см
Курильск	27,3	18,4	18
Советская Гавань	18,9	12,7	13
Углегорск	23,4	15,8	16
Холмск	11,9	8,0	8
Невельск	10,1	6,8	7
Корсаков	27,8	18,7	19
Стародубское	30,2	20,4	20
Поронайск	29,7	20,0	20
Аян	87,9	59,2	25
б. Нагаева	102,6	69,2	25
Петропавловск-Камчатский	42,5	28,6	20
Оссора	48,6	32,8	30
Корф	45,6	30,7	30

Примечание. $\delta_{доп}$ – принятое значение допустимой ошибки.

При оценке качества прогнозов суммарных уровней моря за весь период наблюдений сравнивались измеренные значения уровня моря в сроки 00 и 12 ч ВСВ и соответствующие им прогнозируемые значения уровня независимо от заблаговременности (12, 24, 36 и 48 ч).

Установлено, что качество прогноза суммарных уровней моря во всех береговых пунктах в соответствии с используемыми статистическими критериями достаточно хорошее (табл. 3, рис. 2). Оправдываемость прогнозов при принятых значениях допустимой ошибки (табл. 2) выше 79 %, значение критерия S/σ_x во всех случаях меньше его порогового значения, равного 0,67 при количестве проверочных прогнозов большем или равном 25 [12] (табл. 3).

Таблица 3

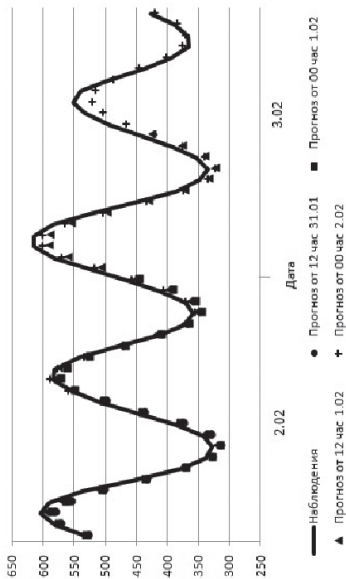
Характеристики качества прогнозов суммарных уровней моря за весь период испытаний метода

Пункт	N	$\hat{\delta}$, см	δ , см	S , см	$\hat{\sigma}$, см	S/σ_x	P , %
Курильск	1428	-2,7	6,7	8,6	8,1	0,32	95,7
Советская Гавань	2139	0,0	6,7	8,7	8,7	0,46	88,9
Углегорск	1316	0,9	7,3	13,8	13,7	0,59	92,9
Холмск	2226	0,7	5,0	6,3	6,3	0,53	80,2
Невельск	574	0,6	3,6	4,8	4,8	0,48	87,1
Корсаков	1415	-1,0	9,3	12,1	12,0	0,44	88,8
Стародубское	2205	-4,2	10,0	13,1	12,4	0,43	88,0
Поронайск	2241	-4,8	12,6	16,5	15,8	0,56	79,5
Аян	384	3,7	11,5	14,8	14,3	0,17	91,7
б. Нагаева	2440	-1,7	16,0	19,8	19,7	0,19	79,3
Петропавловск-Камчатский	2422	0,7	7,5	9,8	9,7	0,23	98,1
Оссора	542	-4,1	14,2	24,2	23,9	0,50	91,1
Корф	688	-10,4	20,2	26,2	24,1	0,53	80,3

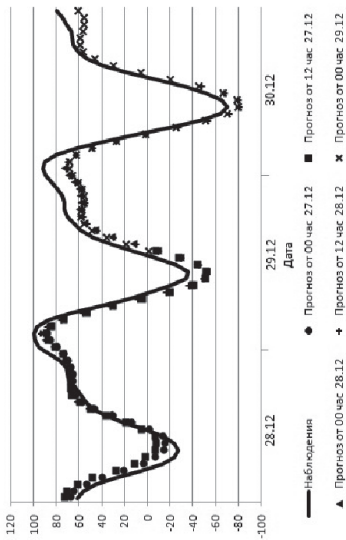
Примечание. N – число случаев; $\hat{\delta}$ – средняя арифметическая (систематическая) ошибка прогноза; δ – средняя абсолютная ошибка прогноза; S – средняя квадратическая ошибка прогноза; $\hat{\sigma}$ – среднее квадратическое отклонение ошибки прогноза (стандартная ошибка); σ_x – среднее квадратическое отклонение значений суммарного уровня моря по данным наблюдений; P – оправдываемость метода прогноза.

Представляется, что полученные результаты недостаточно объективно характеризуют качество разработанного метода прогноза, т. к. основной вклад в изменения суммарного уровня моря вносит

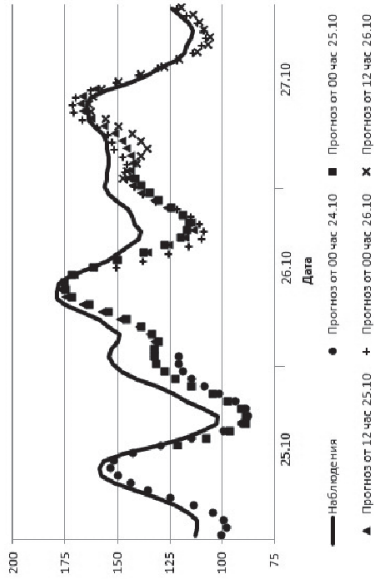
б. Нагаева, 2-3 февраля 2013 г.



Петропавловск-Камчатский, 28-30 декабря 2013 г.



Стародубское, 25-27 октября 2013 г.



Советская Гавань, 24-26 ноября 2013 г.

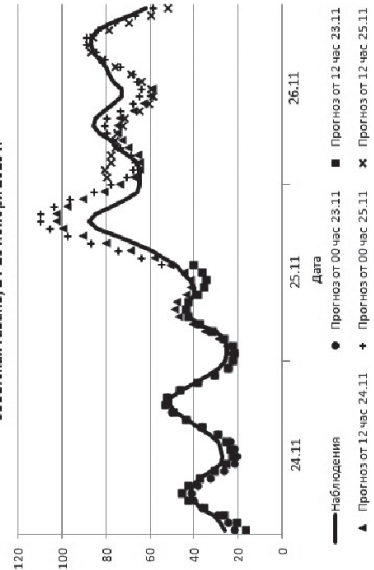


Рис. 2. Изменения суммарного уровня моря во время штормовых нагонов в пунктах, см.

практически детерминированная приливная составляющая (вариации фонового (среднего) уровня моря обычно невелики, значительные сгонно-нагонные колебания уровня моря возникают относительно редко).

Тем не менее, рассчитанные оценки позволяют сделать общее заключение о надежности метода прогноза и определить возможные направления его дальнейшего усовершенствования. Например, очевидно, что недостаточно высокой является точность расчета приливов в пунктах Оссора, Корф, б. Нагаева и Поронайск (табл. 3).

Так как разработанный метод прогноза фактически ориентирован на уточнение характеристик суммарного уровня моря относительно предвычисленного прилива с помощью учета изменений сгонно-нагонной и фоновой (средней) составляющих суммарного уровня моря, более объективной оценкой качества работы метода является сравнение полученных в его рамках результатов с предвычисленным приливом.

Такое сравнение было выполнено для интервалов времени, в которые наблюдались сгонно-нагонные явления с максимальной величиной, превышающей некоторое пороговое значение (30 или 40 см в зависимости от интенсивности нагонов и сгонов, зарегистрированных в рассматриваемом пункте). В качестве моментов начала и окончания нагона (сгона) принималось время устойчивого перехода сгонно-нагонной составляющей уровня моря через отметку 20 см по абсолютной величине.

Для увеличения длины анализируемых рядов оценивалась точность прогнозов уровня моря в четыре срока – 00, 06, 12, 18 ч ВСВ. В соответствии с рекомендациями [11], в расчетах дополнительно учитывались сгонно-нагонные ситуации, идентифицированные при авторских испытаниях метода прогноза в период времени с 18 октября по 31 декабря 2012 г. Статистические критерии S / σ_x и P (оправдываемость метода) вычислялись по значениям σ_x и $\delta_{дон}$, рассчитанным по данным наблюдений во время рассматриваемых нагонов и сгонов.

Практически все полученные значения статистических критериев свидетельствуют, что, за исключением Оссора, разработанный метод позволяет существенно повысить качество прогноза изменений суммарного уровня моря по сравнению с предвычислением прилива (табл. 4).

Тем не менее для некоторых пунктов (Стародубское, Поронайск и Советская Гавань) величина критерия S / σ_x превышает пороговое

Таблица 4

Характеристики качества прогнозов суммарных уровней моря для интервалов времени со стонно-нагонными явлениями

Пункт	Количество		N	$\hat{\delta}, \text{ см}$			$\delta, \text{ см}$			S, см			$\hat{\sigma}, \text{ см}$			S / σ_x			P, %		
	нагонов	стонов		М	ПП	М	М	ПП	М	М	ПП	М	М	ПП	М	М	ПП	М	М	ПП	
Курильск	5	—	87	-5,1	-27,6	10,4	27,6	12,9	28,8	11,8	7,8	0,62	1,38	70,1	0,0						
Советская Гавань	3	—	48	-8,2	-27,9	11,5	27,9	15,7	28,9	13,3	6,3	0,94	1,73	49,7	0,0						
Углегорск	5	—	59	-8,0	-21,4	9,4	21,4	11,9	22,2	8,7	5,1	0,64	1,19	74,6	6,8						
Холмск	5	1	73	-2,5	-14,7	9,9	24,9	11,9	25,7	11,7	21,0	0,58	1,25	68,5	0,0						
Корсаков	2	—	41	-8,1	-20,2	14,9	20,2	16,8	20,8	14,7	3,9	0,61	0,76	73,2	48,8						
Стародубское	9	1	189	-13,9	-34,4	19,1	38,3	23,0	41,2	18,3	22,5	0,72	1,30	62,4	10,1						
Поронайск	8	—	89	0,0	-37,0	15,5	37,0	21,0	39,9	21,0	14,4	0,74	1,41	70,8	10,1						
Аян	3	—	42	10,2	-28,0	15,7	28,1	22,9	31,7	20,1	14,0	0,34	0,47	90,5	88,1						
б. Нагаева	9	2	252	-9,5	-25,4	18,8	32,0	24,3	36,5	22,3	26,1	0,25	0,38	99,6	96,0						
Петропавловск-Камчатский	4	—	65	-12,7	-38,6	14,2	38,6	16,5	40,0	10,5	9,3	0,42	1,03	92,3	0,0						
Оссора	4	1	99	6,1	-17,9	29,3	38,4	41,4	40,7	41,0	36,5	0,58	0,57	74,8	76,8						
Корф	3	2	127	-18,9	-21,8	22,8	31,6	26,9	32,7	19,0	24,2	0,63	0,76	69,3	43,3						

Примечания: 1. М — методические прогнозы, ПП — предвычисленный прилив. 2. Для пунктов Курильск, Советская Гавань, Углегорск, Холмск, Корсаков, Корф рассматривались нагоны и стоны с максимальной величиной более 30 см, для пунктов Стародубское, Поронайск, Аян, б. Нагаева, Петропавловск-Камчатский, Оссора — более 40 см. 3. В Невельске нагонов и стонов величиной более 30 см не было. Остальные обозначения такие же, как в табл. 3.

значение 0,67, в Стародубском и Советской Гавани оправдываемость метода составила менее 68 % (табл. 4).

В качестве примера успешного прогноза изменений суммарного уровня моря во время возникновения штормовых условий, рассмотрим ситуацию подтопления порта Москальво, расположенного в Сахалинском заливе Охотского моря, во время штормового нагона 19–21 ноября 2012 г.

Прогнозы о возникновении опасного явления, как по времени формирования явления, так и по его величине, полностью оправдались. В рамках трех сеансов прогнозов (впервые с заблаговременностью 36 часов) было получено, что ожидается превышение уровнем моря критической отметки в 22 часа местного времени 19 ноября, т. е. в первую половину ночи, согласно [12] (рис. 3). По прогнозу с заблаговременностью 24 часа, максимальная величина суммарного уровня моря должна была составить 375 см над условным нулем поста (рис. 3). По сведениям, поступившим из ФГБУ «Сахалинское УГМС», по данным наблюдений эта величина была равна 380 см, подтопление порта произошло в ночь с 19 на 20 ноября.

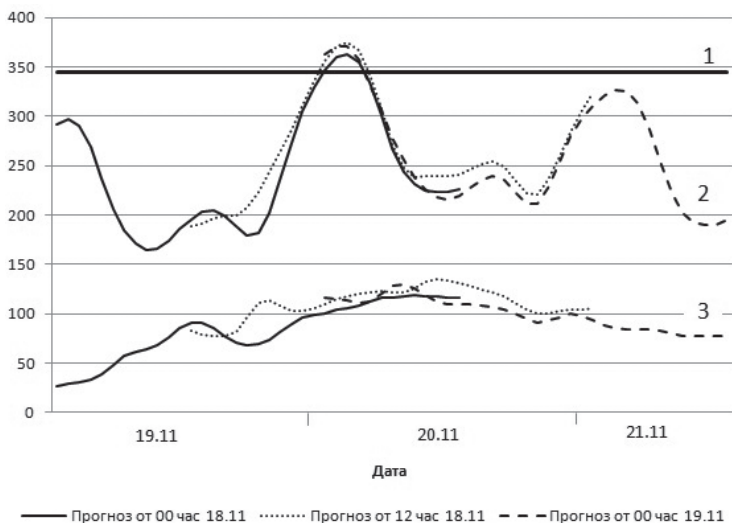


Рис. 3. Прогнозируемые изменения уровня моря во время штормового нагона 19–21 ноября 2012 г. в порту Москальво, см.

1 — значение уровня моря, соответствующее критической отметке; 2 — суммарный уровень моря; 3 — штормовой нагон.

Точность прогноза суммарного уровня приливного моря зависит от качества расчета всех его составляющих. Тем не менее, т. к. прилив представляет собой практически детерминированный процесс, а изменения среднего (фонового) уровня моря относительно невелики, точность прогнозов суммарного уровня моря в основном зависит от надежности расчета его сгонно-нагонной составляющей.

При этом следует иметь в виду, что данная составляющая не измеряется непосредственно – для ее определения из наблюдаемых уровней моря вычитаются предвычисленный прилив и средний уровень моря. В результате полученная по наблюдениям сгонно-нагонная составляющая суммарного уровня моря включает погрешности расчета прилива и среднего уровня моря, что в некоторой степени затрудняет получение объективной оценки качества ее прогноза.

Исследование точности прогнозов сгонно-нагонной составляющей уровня моря в рамках разработанного метода выполнено на основе принципов, сформулированных в ФГБУ «Гидрометцентр России» при оценке качества краткосрочного гидродинамического прогноза уровня моря в северной части Каспийского моря [3]:

1. Сравняются результаты методических и инерционных прогнозов [12].

2. Рассматриваются только хорошо выраженные сгонно-нагонные ситуации (количественные критерии выбора таких ситуаций были приведены ранее).

Установлено, что практически для всех пунктов (исключая Оссору и Корф) качество методических прогнозов выше, чем инерционных прогнозов (табл. 5). Оправдываемость прогнозов для этих пунктов находится в пределах 71–94 %, что соответствует требованиям [12].

В большинстве случаев достаточно успешно прогнозируются не только величина и время формирования максимума нагона (сгона), но и изменения непериодической составляющей суммарного уровня моря во времени (рис. 4).

Относительно низкая точность прогнозов в Оссоре и Корфе (табл. 5), по-видимому, в основном объясняется близостью этих пунктов к границам сеточных областей гидродинамических моделей, используемых для расчета полей метеорологических элементов и пространственно-временных изменений сгонно-нагонной составляющей

Таблица 5

Характеристики качества прогнозов стонно-нагонной составляющей суммарного уровня моря

Пункт	$\hat{\delta}$, см		ε	δ , см		S , см		$\hat{\sigma}$, см		r_T	P , %	
	М	И		М	И	М	И	М	И		М	И
Курильск	-5,2	-20,5	0,45	10,5	23,1	13,0	27,3	11,9	17,8	0,83	87,4	47,1
Советская Гавань	-7,0	-19,6	0,60	12,8	21,5	17,4	21,5	15,9	15,3	0,75	75,0	45,8
Углегорск	-8,1	-24,1	0,38	9,5	24,8	12,1	27,2	8,9	12,1	0,77	86,4	28,8
Холмск	-2,7	-19,9	0,42	10,1	23,9	12,4	27,2	12,1	18,4	0,76	82,2	37,0
Корсаков	-7,9	-16,2	0,82	14,8	18,1	16,7	23,4	14,6	16,7	0,86	73,2	56,1
Стародубское	-13,9	-18,8	0,70	19,1	27,3	23,0	33,2	18,3	27,3	0,76	71,4	51,9
Поронайск	0,0	-33,8	0,45	15,5	34,8	21,0	38,7	21,0	18,5	0,51	75,3	25,8
Аян	6,5	-16,0	0,70	12,6	18,0	17,7	22,8	16,5	16,0	0,82	85,7	71,4
б. Нагаева	-8,1	-10,9	0,82	16,7	20,3	20,5	24,8	18,9	22,3	0,65	76,2	58,7
Петропавловск-Камчатский	-12,7	-16,3	0,57	14,2	25,1	16,6	29,9	10,5	25,0	0,93	93,8	55,4
Оссора	6,1	-12,5	1,25	29,3	23,5	41,4	28,5	41,0	25,6	0,17	57,6	63,6
Корф	-19,0	-6,8	1,34	22,9	17,1	27,0	21,4	19,1	20,3	0,65	49,6	74,0

Примечания: 1. М – методические прогнозы, И – инерционные прогнозы. 2. Количество нагонов и стонов, число случаев соответствуют их значениям, указанным в табл. 4. Остальные обозначения такие же, как в табл. 3.

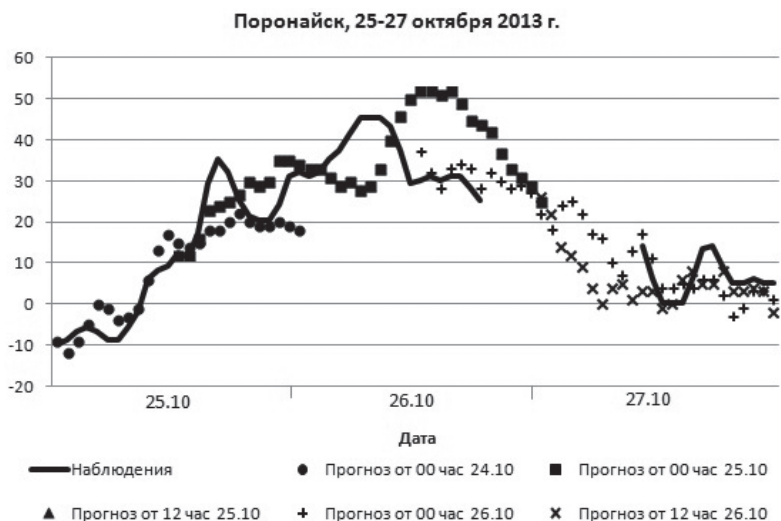
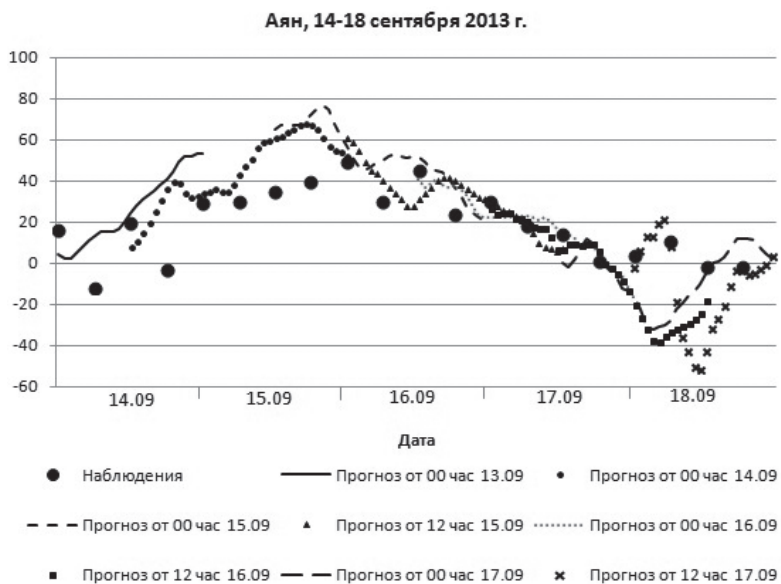


Рис. 4. Изменения сгонно-нагонной составляющей суммарного уровня моря во время штормовых нагонов, см.

суммарного уровня моря (рис. 1). В частности, в [2] приводятся сведения, что региональная гидродинамическая модель прогноза метеорологических полей MLs 22-50 существенно завышает скорости ветра на северо-восточном побережье Камчатки, на котором расположены оба пункта. Тем не менее, очевидно, что некоторое влияние на полученные результаты оказывают недостаточно точное предвычисление прилива и низкое качество наблюдений над уровнем моря АП службы цунами в данных пунктах.

Заключение

Результаты оперативных испытаний разработанного в ФГБУ «ДВНИГМИ» метода краткосрочного (с заблаговременностью 48 часов) прогноза суммарных уровней моря на побережье Охотского моря, Татарского пролива, тихоокеанском побережье Курильских островов и полуострова Камчатка позволяют сделать вывод, что данный метод позволяет успешно прогнозировать колебания уровня моря в большинстве пунктов, расположенных в пределах рассматриваемого объекта.

ЦМКП Росгидромета на заседании от 30 мая 2014 г. одобрила проделанную работу и приняла решение об использовании разработанного метода в оперативной практике ФГБУ «Камчатское УГМС», «Колымское УГМС», «Сахалинское УГМС», «Дальневосточное УГМС» в качестве консультативного. Производственная эксплуатация оперативной технологической линии метода прогноза возложена на ФГБУ «Дальневосточное УГМС».

Список литературы

1. *Ашик И.М.* Численный гидродинамический метод прогноза колебаний уровня в юго-восточной части Баренцева и юго-западной части Карского моря // Информационный сборник № 31. Результаты испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических прогнозов. –2005. – С. 85–103.
2. *Вербицкая Е.М., Любицкий Ю.В., Романский С.О.* Оценка точности краткосрочного прогноза сильных ветров над акваторией Дальневосточных морей, рассчитанного по региональным гидродинамическим моделям // Труды ДВНИГМИ. Прикладные задачи в области гидрометеорологии для Дальневосточного региона Российской Федерации, – 2012. – Вып. 154. – С. 22–40.
3. *Вербицкая О.А., Зильберштейн О.И., Попов С.К., Лобов А.Л.* Метод краткосрочного гидродинамического прогноза штормовых нагонов в северной

части Каспийского моря и результаты его испытаний // Информационный сборник № 29. Результаты испытания новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических прогнозов. – 2002. – С. 76–89.

4. *Вольцингер Н.Е., Пясковский Р.В.* Теория мелкой воды. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 207 с.

5. *Герман В.Х., Левиков С.П.* Вероятностный анализ и моделирование колебаний уровня моря. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – 231 с.

6. *Клеванный К.А., Дрень Л.М., Мостаманди М.С.* Наводнения в Санкт-Петербурге и их прогноз // Доклады VI Всероссийского гидрологического съезда. Секция 2: Наводнения и другие опасные гидрологические явления: оценка, прогноз и смягчение негативных последствий. – М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. – С. 230–236.

7. *Любицкий Ю.В., Вербицкая Е.М., Вербицкая З.В., Мякина Л.С.* Метод и технология прогноза штормовых нагонов в Амурском лимане и Сахалинском заливе // Труды ДВНИГМИ. Юбилейный выпуск «ДВНИГМИ – 60 лет». – 2010. – С. 57–73.

8. *Любицкий Ю.В.* Об оценке качества прогнозов суммарных уровней приливного моря // Труды ДВНИГМИ. – 2014. – Вып. 155. – 8 с. (в печати).

9. *Любицкий Ю.В., Манько А.Н., Соколов О.В.* Перспективы использования данных измерений автоматизированных постов службы цунами для формирования многолетних массивов наблюдений над уровнем моря // Труды ДВНИГМИ. – 2014. – Вып. 155. – 19 с. (в печати).

10. *Любицкий Ю.В., Шевченко Г.В., Елисов В.В.* Штормовые нагоны // Мировой океан. Том I. Геология и тектоника океана. Катастрофические явления в океане. – М.: Научный мир, 2013. – С. 559–575.

11. РД 52.27.284-91. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиофизических прогнозов. Методические указания. – СПб.: Гидрометеоздат, 1991. – 150 с.

12. РД 52.27.759-2011. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Часть III. Служба морских гидрологических прогнозов. – М.: ТРИАДА-ЛТД, 2011. – 195 с.

13. *Glahn B., Taylor A., Kurkowski N., Shaffer W.* The role of the SLOSH model in National Weather Service storm surge forecasting // Nat. Weather Digest. – 2009. – Vol. 33, No. 1. – P. 3–14.

14. *Higaki M., Hayashibara H.* Operational storm surge forecasting at Japan Meteorological Agency // JCOMM Scien. and Techn. Symp. Storm Surges, Seoul, Korea, 2–6 Oct. 2007. – 5 p.