

*Ю.В. Любицкий¹, С.О. Романский¹,
Л.П. Кравчук², О.И. Забродина²*

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ
МЕТОДА И ТЕХНОЛОГИИ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА
ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ МОРЯ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ
БЕРИНГОВА МОРЯ**

¹ Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, г. Владивосток;

² Камчатское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Петропавловск-Камчатский

Введение

146

Прогнозы изменений уровня моря в юго-западной части Берингова моря необходимы для обеспечения успешной морской деятельности в этом регионе. В частности, своевременное предупреждение населения, административных и хозяйственных органов руководства о возможности возникновения опасных природных явлений (ОЯ), во время которых происходит подтопление расположенных на побережье поселков, гидротехнических сооружений и прочих объектов, позволяет существенно уменьшить материальный ущерб, причиняемый опасными природными явлениями.

Метод и технология краткосрочного (с заблаговременностью 72 часа) прогноза изменений уровня моря в юго-западной части Берингова моря разработаны в ФГБУ «ДВНИГМИ» в рамках темы 1.3.4. «Разработать региональные методы, модели и технологии прогнозов морских характеристик (волнение, течения, уровень моря, лёд, обледенение судов), включая опасные явления, для зон ответственности УГМС региона Дальнего Востока России» Плана научно-исследовательских и технологических работ НИУ Росгидромета на 2020 год.

В соответствии с Планом испытания новых и усовершенствованных технологий (методов) гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов Росгидромета на 2021 г.

оперативные испытания метода и технологии прогноза выполнялись ФГБУ «ДВНИГМИ» и ФГБУ «Камчатское УГМС» с января по декабрь 2021 года.

1. Основные характеристики метода и технологии прогноза

Метод прогноза изменений уровня моря в юго-западной части Берингова моря и его технологическая линия детально рассмотрены в работе [5]. Поэтому ограничимся лишь сведениями об их основных структурных элементах.

Пространственно-временные изменения непериодической (сгонно-нагонной) составляющей суммарного (наблюдаемого) уровня моря, как и во многих других современных методах прогноза уровня моря [6–8, 11], рассчитываются с помощью численного гидродинамического моделирования. Используется двумерная нелинейная численная модель совместной динамики воды и льда [1, 4]. Сеточная область численной модели включает акватории Берингова моря, прилегающих к нему районов Тихого океана и Чукотского моря [5].

В качестве начальных условий при численном моделировании используются поля уровня моря и течений, рассчитанные в последнем успешно реализованном сеансе прогноза. В зависимости от наличия и числа пропусков в последовательности предшествующих прогнозов, учитываются поля, полученные для заблаговременности прогноза 12, 24, 36 или 48 часов [5].

Для форсинга численной модели используются поля ветра на высоте 10 м и приземного атмосферного давления на уровне моря с дискретностью 1 час, прогнозируемые с помощью региональной атмосферной модели WRF-ARW [13], имеющей пространственный шаг 15 км [2].

Информация о распределении и сплоченности ледяного покрова в пределах области моделирования формируется по данным Global Forecast System (GFS).

Прилив и суммарный уровень моря вычисляются только в береговых пунктах, для которых выпускается прогноз: Никольское, Ивашка, Кострома, Оссора, Тымлат, Ильпырский, Корф (Тиличики), Апука. Расчет прилива выполняется по гармоническим постоянным одиннадцати основных приливных волн, полученным по материалам наблюдений над уровнем моря в перечисленных пунктах [5].

Прогноз рассчитывается два раза в сутки (от сроков 00 и 12 час ВСВ) на вычислительном комплексе CRAY XC-40 РВЦ ФГБУ «Дальневосточное УГМС». Технологическая линия метода прогноза работает в автоматическом режиме [5].

Во время каждого сеанса прогноза вначале создается файл с прогнозируемыми значениями метеорологических характеристик. Затем из Интернета копируются сведения

GFS о состоянии ледяного покрова в пределах области моделирования. Полученная информация интерполируется в узлы сеточной области численной модели, используемой для расчета неперiodической составляющей уровня моря.

Для получения начальных данных для расчета по численной модели из архива считываются поля уровня моря и течений, рассчитанные в последнем успешно выполненном ранее сеансе прогноза, полученные для нужной заблаговременности.

Созданный массив исходной информации используется для вычисления по численной модели совместной динамики воды и льда пространственно-временных изменений неперiodической составляющей уровня моря в узлах сеточной области модели (с пространственным шагом 7,5 км).

Расчет приливной составляющей уровня моря в береговых пунктах предусматривает последовательное выполнение следующих шагов: вычисление комплекса астрономических параметров, соответствующих начальной дате прогноза; определение редуцированных множителей и астрономических частей фаз основных волн прилива для этих параметров [12]; предвычисление прилива по полученным данным и гармоническим постоянным волн прилива.

Расчеты завершаются формированием текстового файла с информацией о прогнозируемых ежечасных значениях суммарного уровня моря, его неперiodической и приливной составляющих в восьми береговых пунктах, для которых выпускается прогноз. Этот файл передается по электронной почте в отдел морских гидрологических прогнозов ФГБУ «Камчатское УГМС».

Во время оперативных испытаний метода прогноза по техническим причинам (выполнялись технологические работы на вычислительном комплексе) не были рассчитаны 9 прогнозов, что составляет 1,2 % от общего числа возможных прогнозов. Это характеризует надежность и стабильность работы технологической линии метода прогноза.

2. Данные наблюдений и критерии, использованные для оценки качества прогнозов

Точность рассчитанных прогнозов уровня моря оценивалась по материалам наблюдений на трех автоматизированных постах (АП) службы цунами Росгидромета: Никольское, Оссора и Корф (Тиличики) (рис. 1, табл. 1).

АП службы цунами выполняют измерения с минутной дискретностью. Для получения по этим данным рядов ежечасных значений уровня моря исходные ряды сглаживались с помощью фильтра Бартлетта с интервалом фильтрации 181 минута [3].



Рис. 1. Пункты, для которых оценивалось качество прогнозов уровня моря.

Таблица 1

Наблюдения над уровнем моря, использованные для оценки качества прогнозов

| Пункт | Период наблюдений |
|----------------|---|
| Никольское | 1.01–31.12.2021 г. |
| Оссора | 1–12.01, 17.01–5.03, 11–18.03, 24.03–24.04, 13–28.05, 4.06–30.08, 18.09–31.12.2021 г. |
| Корф (Тилички) | 1.01–31.12.2021 г. |

Примечание. Пропуски в наблюдениях продолжительностью менее пяти дней не указаны.

При оценке качества прогнозов суммарного уровня моря сравнивались отклонения данных измерений АП и прогнозируемых уровней моря от их значений, средних для каждого месяца. Необходимость применения этого подхода определяется тем, что данные наблюдений АП службы цунами не приводятся к нулям постов.

Точность прогнозов оценивалась с помощью статистических критериев, утвержденных действующими нормативными документами Росгидромета [9, 10].

При оценке оправдываемости морских прогнозов [10] величину допустимой ошибки прогноза рекомендуется рассчитывать по формуле $\delta_{\text{доп}} \leq 0,674\sigma_x$, где σ_x – среднеквадратическое отклонение данных наблюдений от их среднего значения.

В соответствии с данной формулой допустимая ошибка прогноза суммарного уровня моря для АП службы цунами, расположенных на юго-западном побережье Берингова моря, составляет от 24 см (Никольское) до 37 см (Оссора). Представляется, что для решения практических задач эти значения завышены. Поэтому использовались более «строгие» критерии. Допустимая ошибка прогноза суммарного уровня моря для Никольского и Корфа (Тиличиков) принята равной 20 см, для Оссоры – 25 см.

Полученные по наблюдениям и прогнозируемые значения суммарного уровня моря сравнивались для заблаговременностей 24, 36, 48, 60 и 72 часа. Прогноз считался оправдавшимся, если его ошибка по абсолютной величине была меньше или равна допустимой ошибки $\delta_{доп}$.

Для получения объективной оценки качества прогноза непериодической составляющей уровня моря рассматривались только наиболее значительные нагоны и сгоны, максимумы которых по абсолютной величине превышали 30 см. Значения непериодической составляющей вычислялись в виде разностей между измеренными уровнями, средним уровнем моря и приливом, рассчитанным непосредственно по анализируемому ряду методом наименьших квадратов [12]. Для каждой сгонно-нагонной ситуации расчеты выполнялись по ряду наблюдений продолжительностью 31 сутки, центральная дата которого соответствовала времени формирования максимума нагона (сгона).

Статистические оценки точности прогнозов рассчитывались по ежечасным данным, независимо от заблаговременности прогноза, для интервалов времени, когда значения непериодической составляющей уровня моря по абсолютной величине превышали 25 см. Допустимые ошибки прогноза вычислялись по формуле $\delta_{доп} \leq 0,674\sigma_x$ [10]. Для нагонов значения $\delta_{доп}$ составили: в Никольском – 15 см, в Оссоре и Корфе (Тиличиках) – 19 см; для сгонов: в Никольском – 15 см, в Оссоре и Корфе (Тиличиках) – 17 см.

3. Оценки качества прогноза суммарного уровня моря

Разработанный метод позволяет прогнозировать суммарные уровни моря в береговых пунктах с достаточно высокой точностью (рис. 2, табл. 2).

Оправдываемость рассчитанных прогнозов превышает 94,4 %, средняя абсолютная ошибка прогноза находится в диапазоне 7,7–10,2 см, среднеквадратическая ошибка прогноза – в интервале 10,2–13,1 см (табл. 2). Значение критерия S/σ_x составляет 0,24–0,29 (табл. 2), что намного меньше его порогового значения, равного 0,67 [10].

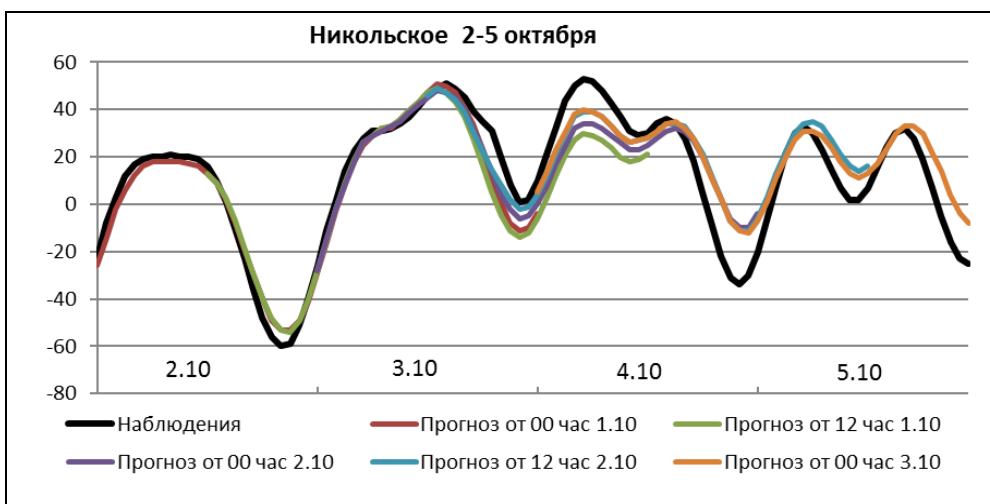
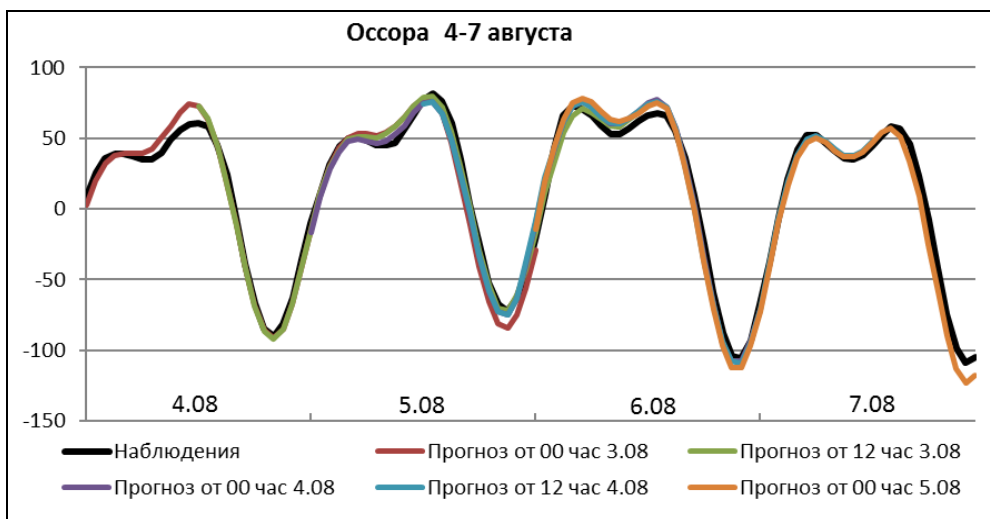
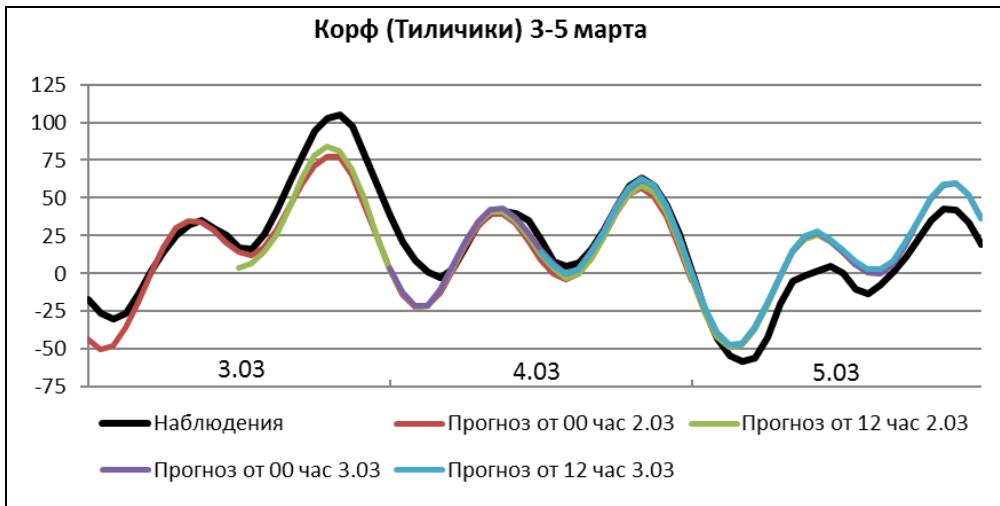


Рис. 2. Изменения суммарного уровня моря в береговых пунктах по данным наблюдений и результатам прогнозов во время штормовых нагонов, см.

Характеристики качества прогнозов суммарного уровня моря

| Пункт | N | $\hat{\delta}$, см | δ , см | S , см | S/σ_x | P , % |
|-----------------|------|---------------------|---------------|----------|--------------|---------|
| Никольское | 3584 | 0,5 | 7,7 | 10,2 | 0,28 | 97,0 |
| Оссора | 2744 | 0,3 | 10,2 | 13,1 | 0,24 | 95,2 |
| Корф (Тиличики) | 3459 | -0,1 | 8,3 | 10,7 | 0,29 | 94,4 |

Примечание. N – количество сравниваемых наблюдавшихся и прогнозируемых значений уровня моря (заблаговременность прогноза 24, 36, 48, 60, 72 часа); $\hat{\delta}$ – средняя арифметическая (систематическая) ошибка прогноза; δ – средняя абсолютная ошибка прогноза; S – среднеквадратическая ошибка прогноза; σ_x – среднеквадратическое отклонение значений суммарного уровня моря по данным наблюдений; P – оправдываемость метода прогноза.

При увеличении заблаговременности оправдываемость прогнозов суммарного уровня моря несколько уменьшается (табл. 3).

Таблица 3

Оправдываемость прогнозов суммарного уровня моря при различной заблаговременности прогноза, %

| Пункт | Заблаговременность прогноза, ч | | | | |
|-----------------|--------------------------------|------|------|------|------|
| | 24 | 36 | 48 | 60 | 72 |
| Никольское | 98,0 | 97,4 | 96,8 | 96,7 | 96,1 |
| Оссора | 96,0 | 95,6 | 95,1 | 94,2 | 95,3 |
| Корф (Тиличики) | 94,5 | 94,1 | 94,5 | 94,4 | 94,6 |
| Средняя | 96,2 | 95,7 | 95,5 | 95,1 | 95,3 |

Наиболее низкая оправдываемость прогнозов суммарного уровня моря получена для ноября–марта (табл. 4). По-видимому это является следствием ухудшения качества прогноза полей ветра и атмосферного давления по атмосферной модели в данный период при усилении циклонической деятельности над Беринговым морем. Косвенно это предположение подтверждает факт низкой оправдываемости прогнозов суммарных уровней моря в относительно недалеко расположенных друг от друга пунктах Оссора и Корф (Тиличики) (рис. 1) в марте (табл. 4).

При этом следует отметить, что в отдельные месяцы (например, в мае) качество прогнозов суммарных уровней моря в Оссоре и Корфе (Тиличиках) может значительно различаться. Причиной этого могут быть погрешности в измерениях АП, тем не менее нельзя исключать возможное влияние на изменения уровня моря в этих пунктах локальных явлений, которые не учитываются в разработанном методе прогноза (например, заторы льда в проливе, соединяющем бухту Скрытная (Корф (Тиличики)) с открытым морем.

Статистические характеристики качества прогноза суммарного уровня моря по месяцам

| Пункт | Месяц | N | $\hat{\delta}$, см | δ , см | S , см | P , % |
|-----------------|----------|-----|---------------------|---------------|----------|---------|
| Никольское | Январь | 305 | 1,3 | 6,7 | 8,3 | 98,0 |
| | Февраль | 270 | 4,5 | 9,2 | 14,2 | 96,3 |
| | Март | 310 | -0,1 | 8,7 | 13,2 | 92,9 |
| | Апрель | 300 | -0,2 | 8,7 | 10,5 | 98,0 |
| | Май | 310 | 0,0 | 7,7 | 8,8 | 100,0 |
| | Июнь | 290 | -0,1 | 8,8 | 11,1 | 93,1 |
| | Июль | 310 | 0,4 | 6,4 | 8,4 | 99,4 |
| | Август | 304 | -0,2 | 6,5 | 8,1 | 99,7 |
| | Сентябрь | 270 | -0,1 | 6,9 | 8,4 | 100,0 |
| | Октябрь | 310 | 0,5 | 8,8 | 10,4 | 97,1 |
| | Ноябрь | 300 | -0,1 | 5,6 | 6,9 | 99,7 |
| | Декабрь | 305 | 0,5 | 8,8 | 11,5 | 89,8 |
| Оссора | Январь | 215 | 1,6 | 10,5 | 15,3 | 91,6 |
| | Февраль | 235 | 8,2 | 12,4 | 14,5 | 94,5 |
| | Март | 150 | -0,2 | 12,9 | 18,0 | 85,3 |
| | Апрель | 215 | 0,4 | 10,0 | 12,0 | 99,1 |
| | Май | 95 | 0,1 | 12,6 | 14,3 | 97,9 |
| | Июнь | 265 | -0,3 | 10,3 | 12,3 | 98,5 |
| | Июль | 310 | 0,3 | 8,9 | 11,0 | 96,5 |
| | Август | 294 | -0,4 | 5,5 | 6,7 | 100,0 |
| | Сентябрь | 100 | 0,5 | 8,1 | 10,0 | 98,0 |
| | Октябрь | 270 | 0,0 | 8,6 | 10,9 | 98,1 |
| | Ноябрь | 285 | 0,3 | 11,8 | 15,3 | 91,6 |
| | Декабрь | 310 | 0,2 | 12,4 | 15,7 | 91,0 |
| Корф (Тиличики) | Январь | 305 | -1,8 | 8,1 | 9,8 | 95,7 |
| | Февраль | 270 | 3,2 | 9,0 | 10,4 | 97,0 |
| | Март | 310 | 0,2 | 12,2 | 15,4 | 82,3 |
| | Апрель | 285 | 0,4 | 6,4 | 7,4 | 98,2 |
| | Май | 305 | 0,1 | 11,4 | 15,7 | 84,3 |
| | Июнь | 290 | -0,5 | 7,6 | 9,8 | 97,2 |
| | Июль | 310 | -0,4 | 6,6 | 7,9 | 100,0 |
| | Август | 304 | -0,6 | 4,8 | 6,1 | 100,0 |
| | Сентябрь | 270 | 0,0 | 5,7 | 7,3 | 100,0 |
| | Октябрь | 305 | -0,2 | 6,7 | 8,5 | 96,7 |
| | Ноябрь | 225 | -0,1 | 9,5 | 11,3 | 93,3 |
| | Декабрь | 280 | -0,5 | 10,9 | 13,1 | 88,9 |

Примечание. Условные обозначения статистических характеристик приводятся в табл. 2.

4. Оценки качества прогноза непериодической (сгонно-нагонной) составляющей уровня моря

Ввиду небольшого количества сгонов и нагонов, возникших в юго-западной части Берингова моря в 2021 г., для получения корректных статистических оценок качества прогноза непериодической составляющей уровня моря ее ежечасные значения, полученные по данным наблюдений, сравнивались с соответствующими им несколькими уровнями, прогнозируемыми с различной заблаговременностью (табл. 5, 6).

Таблица 5

Оценки точности прогноза ежечасных значений непериодической составляющей уровня моря во время нагонов

| Пункт | Количество нагонов | N | $\hat{\delta}$, см | δ , см | S , см | S/σ_x | P , % |
|-----------------|--------------------|-----|---------------------|---------------|----------|--------------|---------|
| Никольское | 4 | 213 | -3,7 | 5,2 | 6,8 | 0,21 | 95,3 |
| Оссора | 4 | 472 | -4,3 | 11,8 | 14,7 | 0,38 | 78,6 |
| Корф (Тиличики) | 5 | 443 | -12,8 | 13,9 | 15,9 | 0,45 | 76,5 |

Примечание. Условные обозначения статистических характеристик приводятся в табл. 2.

Таблица 6

Оценки точности прогноза ежечасных значений непериодической составляющей уровня моря во время сгонов

| Пункт | Количество сгонов | N | $\hat{\delta}$, см | δ , см | S , см | S/σ_x | P , % |
|-----------------|-------------------|-----|---------------------|---------------|----------|--------------|---------|
| Никольское | 1 | 37 | 9,4 | 9,4 | 9,5 | 0,34 | 100,0 |
| Оссора | 3 | 284 | 9,9 | 10,6 | 12,0 | 0,37 | 89,8 |
| Корф (Тиличики) | 2 | 252 | 9,7 | 10,1 | 12,8 | 0,40 | 73,8 |

Примечание. Условные обозначения статистических характеристик приводятся в табл. 2.

Разработанный метод обеспечивает вполне удовлетворительную точность прогноза непериодической составляющей уровня моря во время нагонов и сгонов.

Для нагонов средняя абсолютная ошибка прогноза непериодической составляющей уровня моря находится в диапазоне 5,2–13,9 см, среднеквадратическая ошибка прогноза не превышает 15,9 см, отношение S/σ_x – 0,45 (пороговое значение равно 0,67), оправдываемость прогнозов составляет более 76 процентов (табл. 5).

Для сгонов средняя абсолютная ошибка прогноза непериодической составляющей уровня моря не превышает 10,6 см, среднеквадратическая ошибка прогноза – 12,8 см, отношение S/σ_x – 0,40, оправдываемость прогнозов находится в диапазоне от 73,8 до 100 % (табл. 6).

Наиболее качественно изменения непериодической составляющей уровня моря во время нагонов и сгонов прогнозируются для Никольского (табл. 5, 6). Это объясняется тем, что ширина шельфа о. Беринга невелика, следовательно, влияние ветра, который не всегда адекватно прогнозируется с помощью атмосферной модели, на процессы формирования и развития нагонов и сгонов незначительно. Основную роль в этих процессах играют изменения приземного атмосферного давления, точность прогноза которого достаточно высокая.

Рассчитанные прогнозы хорошо воспроизводят изменения непериодической составляющей уровня моря во времени для большинства сгонно-нагонных ситуаций (рис. 3).

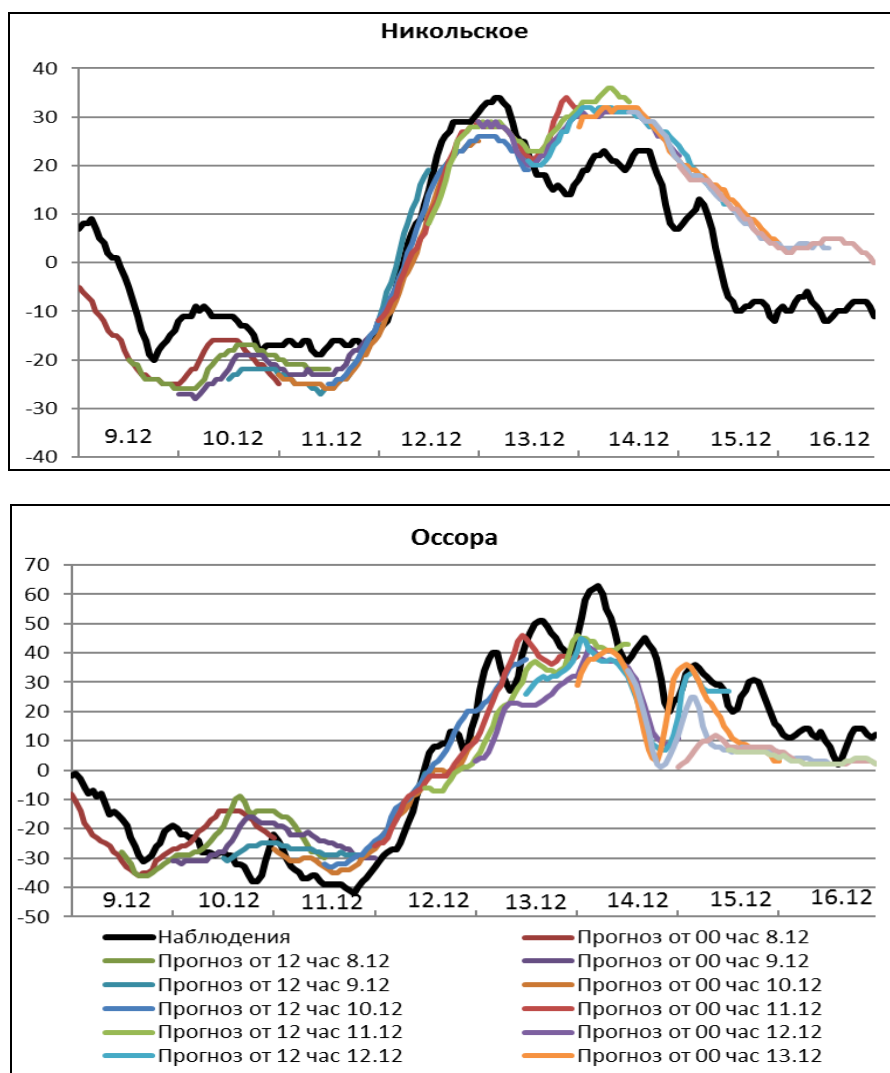


Рис. 3. Изменения сгонно-нагонной составляющей уровня моря 9–16 декабря по данным наблюдений и результатам прогнозов, см.

Тем не менее средняя арифметическая (систематическая) ошибка прогноза значений непериодической составляющей уровня моря во время нагонов во всех пунктах отрицательна (табл. 5), а во время сгонов – положительна (табл. 6). Это позволяет сделать вывод, что

используемая в методе прогноза численная модель несколько занижает величину сгонно-нагонных колебаний уровня моря. Возможно причиной этой особенности является недостаточно подробный учет морфометрии моделируемого объекта. Поэтому при усовершенствовании метода прогноза необходимо детализировать расчетную сетку модели в прибрежных районах.

Изменения оправдываемости прогнозов сгонно-нагонных колебаний уровня моря в зависимости от заблаговременности прогноза, рассчитанные по данным, полученным для всех пунктов, имеют случайный характер (рис. 4). По-видимому, причиной этого является небольшой объем имеющейся информации.

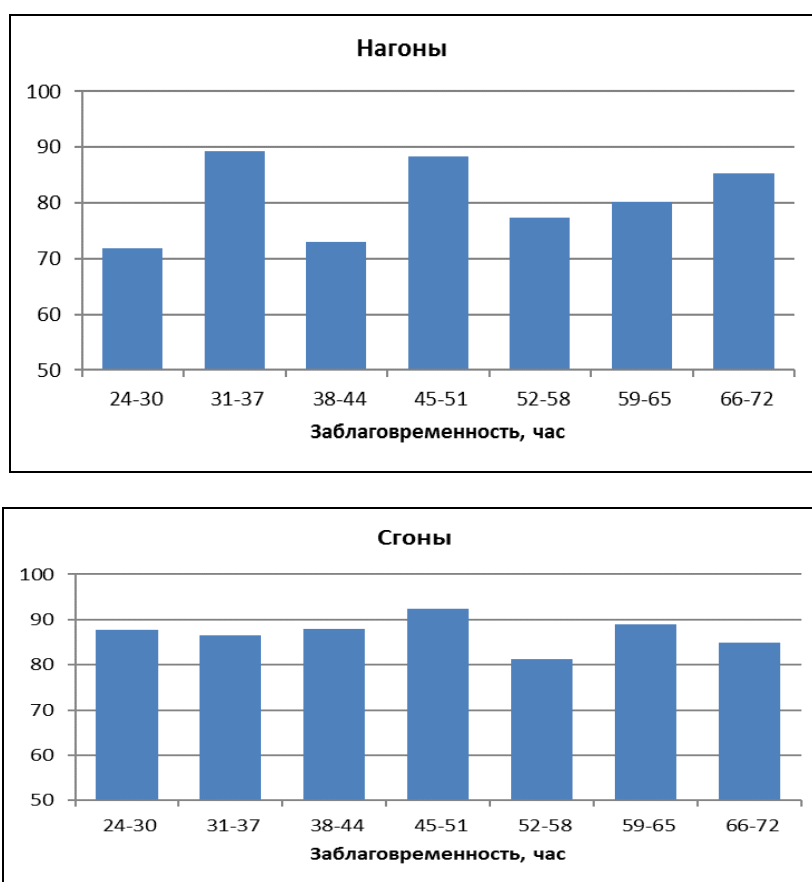


Рис. 4. Оправдываемость прогнозов сгонно-нагонных колебаний уровня моря при различной заблаговременности прогноза, %.

При общем достаточно высоком качестве прогноза нагонов и сгонов в береговых пунктах имеются ситуации, для которых прогнозы не оправдались. Изменения уровня моря во время одной из таких ситуаций представлены на рис. 5. В соответствии с рассчитанными прогнозами в Оссоре 2–3 декабря должен был возникнуть нагон. По данным наблюдений над уровнем моря нагон действительно возник, но его величина была существенно меньше прогнозируемой (рис. 5).

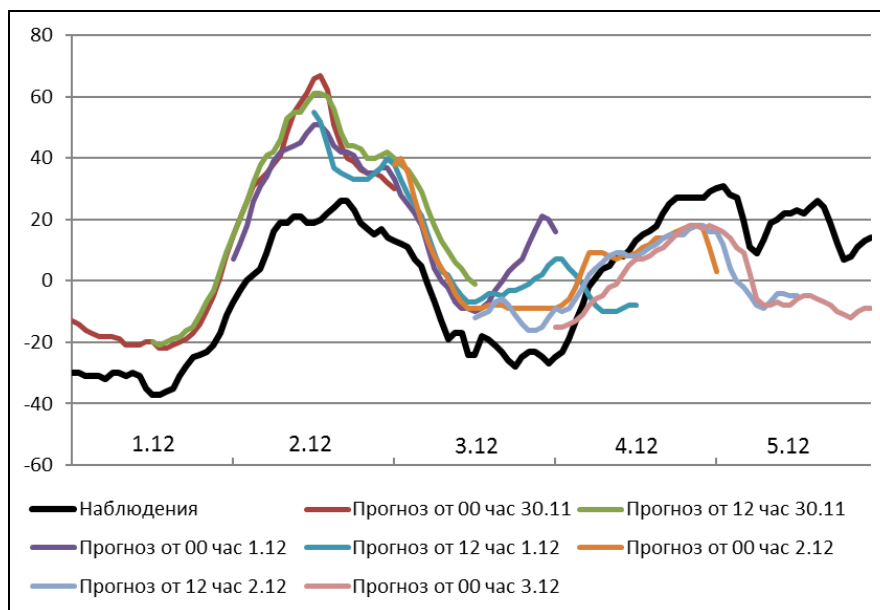


Рис. 5. Изменения непериодической составляющей уровня моря в Оссоре 1–5 декабря по данным наблюдений и результатам прогнозов, см.

Представляется, что основной причиной ухудшения качества прогнозов уровня моря в отдельные периоды является недостаточно высокая точность прогноза полей ветра и атмосферного давления по атмосферной модели. Кроме того, как было отмечено ранее, наблюдаемые изменения уровня моря могут искажаться локальными эффектами, не учитываемыми в разработанном методе прогноза.

5. Результаты сравнения качества прогнозов, рассчитанных в рамках испытываемого и действующего методов прогноза

Метод краткосрочного прогноза изменений уровня моря в юго-западной части Берингова моря разработан впервые.

В оперативной практике ФГБУ «ДВНИГМИ» и дальневосточных УГМС Росгидромета, в соответствии с решением ЦМКП Росгидромета от 18.04.2019, в настоящее время используется метод краткосрочного прогноза уровня моря на побережье и акватории Охотского и Японского морей и на восточном побережье полуострова Камчатка [4]. В дальнейшем этот метод обозначим термином «действующий метод прогноза». Области, для которых рассчитывается прогноз уровня моря в рамках испытываемого и действующего методов, в районе восточного побережья полуострова Камчатка пересекаются. Это позволяет сравнить результаты прогнозов, рассчитанных по этим методам, для пунктов Оссора и Корф (Тиличики) (в Никольском прогнозы изменений уровня моря в действующем методе не рассчитываются).

Точность прогноза суммарного уровня моря в Оссоре и Корфе (Тиличиках) по испытываемому методу выше, чем по действующему методу (табл. 7). Тем не менее улучшение качества прогнозов относительно невелико. Это является следствием того, что в обоих методах используются одинаковые принципы и технологии расчета приливной составляющей уровня моря, а значительные сгонно-нагонные колебания уровня моря, рассчитываемые с помощью численного моделирования, в юго-западной части Берингова моря в 2021 г. возникали относительно редко.

Таблица 7

Характеристики качества прогнозов суммарного уровня моря по испытываемому и действующему методам прогноза

| Пункт | Метод | N | $\hat{\delta}$, см | δ , см | S , см | S/σ_x | P , % |
|-----------------|--------------|------|---------------------|---------------|----------|--------------|---------|
| Оссора | Испытываемый | 2744 | 0,3 | 10,2 | 13,1 | 0,24 | 95,2 |
| | Действующий | 2744 | 2,1 | 10,3 | 13,1 | 0,24 | 95,1 |
| Корф (Тиличики) | Испытываемый | 3459 | -0,1 | 8,3 | 10,7 | 0,29 | 94,4 |
| | Действующий | 3459 | 0,9 | 8,7 | 11,1 | 0,30 | 94,1 |

Примечание. Условные обозначения статистических характеристик приводятся в табл. 2.

Точность прогноза непериодической составляющей уровня моря во время значительных нагонов и сгонов по испытываемому методу выше, чем по действующему методу (табл. 8, 9). Наиболее явно это выражено для сгонов (табл. 9).

Таблица 8

Оценки точности прогноза ежечасных значений непериодической составляющей уровня моря во время нагонов по испытываемому и действующему методам прогноза

| Пункт | Метод | N | $\hat{\delta}$, см | δ , см | S , см | S/σ_x | P , % |
|-----------------|--------------|-----|---------------------|---------------|----------|--------------|---------|
| Оссора | Испытываемый | 472 | -4,3 | 11,8 | 14,7 | 0,38 | 78,6 |
| | Действующий | 472 | 4,1 | 11,9 | 14,7 | 0,38 | 78,5 |
| Корф (Тиличики) | Испытываемый | 443 | -12,8 | 13,9 | 15,9 | 0,45 | 76,5 |
| | Действующий | 443 | -13,2 | 14,3 | 16,3 | 0,46 | 75,2 |

Примечание. Условные обозначения статистических характеристик приводятся в табл. 2.

Таблица 9

Оценки точности прогноза ежечасных значений непериодической составляющей уровня моря во время нагонов по испытываемому и действующему методам прогноза

| Пункт | Метод | N | $\hat{\delta}$, см | δ , см | S , см | S/σ_x | P , % |
|-----------------|--------------|-----|---------------------|---------------|----------|--------------|---------|
| Оссора | Испытываемый | 472 | -4,3 | 11,8 | 14,7 | 0,38 | 78,6 |
| | Действующий | 472 | 4,1 | 11,9 | 14,7 | 0,38 | 78,5 |
| Корф (Тиличики) | Испытываемый | 443 | -12,8 | 13,9 | 15,9 | 0,45 | 76,5 |
| | Действующий | 443 | -13,2 | 14,3 | 16,3 | 0,46 | 75,2 |

Примечание. Условные обозначения статистических характеристик приводятся в табл. 2.

Выводы (по тексту Решения ЦМКП от 9 июня 2022 года)

ЦМКП считает целесообразным:

– одобрить работу ФГБУ «ДВНИГМИ» по созданию метода и технологии краткосрочного (с заблаговременностью до 72 часов) прогноза изменений уровня моря в юго-западной части Берингова моря.

ЦМКП рекомендует:

– использовать разработанный метод краткосрочного (с заблаговременностью до 72 часов) прогноза изменений уровня моря в юго-западной части Берингова моря в оперативной практике ФГБУ «Камчатское УГМС» – в качестве основного;

– ФГБУ «Дальневосточное УГМС» обеспечить производственную эксплуатацию оперативной технологической линии разработанного метода прогноза;

– авторам метода учесть высказанные на заседании ЦМКП замечания и предложения для последующего совершенствования метода.

Список литературы

1. *Ашик И.М.* Численный гидродинамический метод прогноза колебаний уровня в юго-восточной части Баренцева и юго-западной части Карского моря // Результаты испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических прогнозов. – 2005. – Информационный сборник № 31. – С. 85–103.

2. *Вербицкая Е.М., Романский С.О.* Конфигурация модели WRF-ARW для прогноза погоды в Дальневосточном регионе // 65 лет ДВНИГМИ. – Владивосток: Дальнаука, 2015. – С. 172–203.

3. *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 // 65 лет ДВНИГМИ. – Владивосток: Дальнаука, 2015. – С. 8–32.

4. *Любицкий Ю.В.* Метод краткосрочного прогноза уровня моря на побережье и акватории Охотского и Японского морей и на восточном побережье полуострова Камчатка // Труды ДВНИГМИ. – 2017. – Вып. 155. – С. 32–68.

5. *Любицкий Ю.В., Романский С.О.* Метод и технология краткосрочного прогноза изменений уровня моря в юго-западной части Берингова моря // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2022. – № 1 (383). – С. 71–88.

6. *Попов С.К., Лобов А.Л.* Гидродинамическое моделирование наводнений в Санкт-Петербурге с учетом работающей дамбы // Метеорология и гидрология. – 2017. – № 4. – С. 80–89.

7. *Попов С.К., Лобов А.Л.* Диагноз и прогноз уровня Каспийского моря по оперативной гидродинамической модели // Метеорология и гидрология. – 2017. – № 9. – С. 90–99.

8. *Попов С.К., Лобов А.Л.* Краткосрочные прогнозы колебаний уровня Азовского моря в безледный период 2017 года // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2018. – № 3 (369). – С. 104–118.
9. РД 52.27.284-91. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиофизических прогнозов: Методические указания. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1991. – 150 с.
10. РД 52.27.759–2011. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Часть III. Служба морских гидрологических прогнозов. – М.: Триада-ЛТД, 2011. – 195 с.
11. *Bernier N.B., Thompson K.R.* Deterministic and ensemble storm surge prediction for Atlantic Canada with lead times of hours to ten days // *Ocean Modelling*. – 2015. – Vol. 86. – P. 114–127.
12. *Foreman M.G.G.* Manual for tidal heights analysis and prediction // Pacific Marine Science Report 77-10, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Victoria, B.C. – 2004. – 58 p.
13. *Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Duda M.G., Huang X., Wang W., Powers J.G.* A description of the advanced research WRF version 3 (No. NCAR/TN-475+STR). University Corporation for atmospheric research. – 2008. – 125 p.