

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ  
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
РЕГИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

## **ДВНИГМИ – 65 ЛЕТ**

Юбилейный выпуск

*Под редакцией*  
*канд. геогр. наук. Е.В. Карасева*

Владивосток • Дальнаука

2015

УДК 551.5

**ДВНИГМИ – 65 лет // Юбилейный вып. ДВНИГМИ – 65 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2015, - 270 с. ISBN**

Сборник посвящен исследованиям, направленным на рассмотрение аспектов использования гидрометеорологической информации, как в прикладных, так и прогностических целях.

Создание наблюдательной сети Российской службы предупреждения о цунами позволило приступить к анализу полученной информации с автоматизированных постов цунами с практической точки зрения. В статьях нашло отражение использование оперативной информации для прогноза перемещения тропических циклонов, ветрового волнения, ледовых условий на дальневосточных морях, суммарных уровней моря. Ряд статей рассматривает состояние окружающей среды в связи с антропогенным воздействием.

Выпуск представляет интерес для метеорологов, гидрологов, океанологов, морских экологов, специалистов оперативных и научно-исследовательских учреждений Росгидромета и других ведомств, студентов и аспирантов гидрометеорологических специальностей.

Издается по решению Ученого совета ДВНИГМИ

ISBN

© ДВНИГМИ, 2015 г.

© Дальнаука, 2015 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	5
<b><i>Ю. В. Любицкий, А. Н. Манько, О. В. Соколов</i></b> Перспективы использования данных измерений автоматизированных постов службы цунами для формирования многолетних массивов наблюдений над уровнем моря.....	8
<b><i>Ю. В. Любицкий, Л.Н. Като, Л.Н. Соломатина</i></b> Оценка возможности расчета режимных характеристик уровня моря по данным наблюдений сети Российской службы предупреждения о цунами.....	33
<b><i>Ю. В. Любицкий</i></b> Об оценке качества прогнозов суммарных уровней приливного моря.....	52
<b><i>В.Г. Яричин, Н.А. Власов, Е.Н. Марьина, М.А. Гришина</i></b> Роль физико-географических факторов в кинематике приливных течений обусловленные суточными волнами в шельфовой зоне острова Сахалин.....	63
<b><i>В.Г. Яричин, Н.А. Власов, Е.Н. Марьина, М.А. Гришина</i></b> Формирование особенностей волновых движений на восточном шельфе острова Сахалин под влиянием полусуточных приливных волн.....	85
<b><i>В.Г. Яричин, Н.А. Власов, Е.Н. Марьина, М.А. Гришина</i></b> Кинематика и динамика векторного поля приливного течения на акватории шельфовой зоны восточного Сахалина.....	97
<b><i>А.Н. Вразжин</i></b> Оценка прогнозов волнения по инструментальным данным в Японском и Беринговом морях.....	114
<b><i>Г.И. Анжина, А.Н. Вразжин</i></b> Фоновый прогноз с большой заблаговременностью среднего месячного положения кромки льда на акваториях дальневосточных морей.....	124

<b><i>А. В. Севастьянов, Т. С. Лишавская, Т. В. Чаткина</i></b> Мониторинг самоочищения морских вод и донных отложений Уссурийского залива в районе бывшего полигона бытовых отходов (бухта Горностай).....	144
<b><i>Т. А. Белан</i></b> Сравнительная характеристика условий среды и показателей сообществ макрозообентоса на морских прибрежных акваториях вблизи Владивостока.....	156
<b><i>Е.М. Вербицкая, С.О. Романский</i></b> Конфигурация модели WRF-ARW для прогноза погоды в Дальневосточном регионе.....	172
<b><i>В. В. Крохин, Г. Г. Баранов, А. Ю. Филь, Л. И. Евдокимова</i></b> Оценка предсказуемости перемещения тайфунов моделью WRF.....	204
<b><i>Н. Г. Алисимчик</i></b> Оценка однородности многолетних рядов температуры морской воды на примере МГ-2 Сосуново.....	225
<b><i>Л. И. Мезенцева, О. В. Соколов, Н. И. Друзь</i></b> Сбой циркуляции атмосферы над восточной Азией в период катастрофического наводнения на Амуре летом 2013 г. ....	238
<b><i>Ю. В. Любицкий</i></b> Об участии ФГБУ «ДВНИГМИ» в оперативных мероприятиях по прогнозированию уровня воды в устьевой области Амура во время катастрофического наводнения 2013 г. ....	251
Рефераты статей.....	260

## ПРЕДИСЛОВИЕ

1 июля 2015 года исполняется 65 лет со дня начала деятельности Федерального государственного бюджетного учреждения «Дальневосточного регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института» - единственного на территории Дальнего Востока и Восточной Сибири гидрометеорологического, морского учреждения Росгидромета.

Этапы становления института подробно представлены в Юбилейном сборнике, посвященном 50-летию основания института и в книге «ДВНИГМИ - научные исследования, люди, события, факты», поэтому нет особой необходимости вновь останавливаться на этом вопросе.

Как и в прежние годы, основные направления исследований института определялись требованиями потребителей гидрометеорологической информации с учетом технико-экономического и социального развития региона, а именно:

- улучшение оправдываемости прогнозов стихийных гидрометеорологических явлений;
- повышение качества прогнозов гидрометеорологических явлений с большой заблаговременностью;
- создание специализированных прогнозов, необходимых конкретному потребителю для принятия решений;
- проведение мониторинга акваторий морей и шельфа в районах с интенсивной хозяйственной деятельностью в связи с усилением требований экологической безопасности производств;
- подготовка справочников, пособий, гидрометеорологических расчетов и прогнозов, необходимых хозяйствующим организациям;
- проведение морских исследований, позволяющих выполнить перечисленные задачи на акватории дальневосточных морей.

Это не полный перечень задач, которые стоят перед институтом на данный момент.

К концу XX столетия мировое метеорологическое сообщество достигло выдающихся успехов в краткосрочном и среднесрочном прогнозировании погоды, к которым можно отнести научные достижения в понимании глобальных атмосферных процессов и динамики атмосферы.

Важным аспектом явилась разработка в ряде стран глобальных, региональных и мезомасштабных гидродинамических численных моделей общей циркуляции атмосферы, позволяющих прогнозировать поля метеорологических элементов на 5-7 суток. И наконец, оснащение метеорологических центров мощной вычислительной техникой, позволяющих внедрить эти модели в оперативную практику.

Поэтому не случайно, что в последние годы сотрудниками активно осваиваются и применяются на практике численные модели циркуляции атмосферы, направленные на прогноз погоды в дальневосточном регионе. При этом, результаты направлены на прогноз опасных явлений погоды (сильных ливней, очень сильных дождей, шквалов и шквалистых ветров).

Важную роль в возникновении опасных и стихийных явлений погоды на территории Дальнего Востока играют как тропические, так южные циклоны. Ущерб от их воздействия определяется интенсивными осадками и катастрофическими наводнениями как это произошло в 2013 году на территории Дальнего Востока. Активный тропический циклогенез, меридиональные процессы в сочетании с блокирующей ситуацией над северо-западной частью Тихого океана привели к стационарированию циклонов над бассейном реки Амур, затяжным осадкам. Вместе с условиями значительного переувлажнения почвы предшествующего гидрологического сезона стали причиной катастрофического наводнения на реке Амур.

Большую роль в прогнозировании тропических циклонов сыграли гидродинамические модели с высоким пространственным разрешением, параметризацией физических процессов и вложенными движущимися сетками. Этот качественный скачок позволил перейти от прогноза

только положения тропического циклона к прогнозу его эволюции, что нашло свое отражение в работах сотрудников института.

В последнее время возросла сейсмическая активность и опасность возникновения цунами в прибрежных районах Дальнего Востока. Для обеспечения безопасности жизнедеятельности населения в этих районах, снижения ущерба от последствий цунами Правительством РФ было принято ряд мер по повышению надежности службы предупреждения о цунами. В результате этих действий на побережье Японского, Охотского и Берингова морей, тихоокеанском побережье Курильских островов и полуострова Камчатка была создана сеть автоматизированных постов наблюдений над уровнем моря (АП), оборудованных гидростатическими датчиками давления. Эта сеть предназначена для обеспечения Центров цунами Приморского, Сахалинского и Камчатского УГМС оперативной информацией о текущих изменениях уровня моря для идентификации волн цунами и расчета их основных характеристик. Помимо этой основной задачи большой интерес представляет вопрос о возможности использования данных измерений АП не только в интересах службы цунами, но и для создания новых и пополнения уже имеющихся архивов данных наблюдений над уровнем моря.

Хотя сборник не отражает всю полноту выполняемых институтом работ, тем не менее, дает представление о том прогрессе, который наблюдается в развитии института в последние годы.

Е.В. Карасев

Ответственный редактор

*Ю. В. Любицкий,  
ФГБУ «ДВНИГМИ», г. Хабаровск  
А. Н. Манько, О.В. Соколов,  
ФГБУ «ДВНИГМИ», г. Владивосток*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПОСТОВ СЛУЖБЫ ЦУНАМИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОЛЕТНИХ МАССИВОВ НАБЛЮДЕНИЙ НАД УРОВНЕМ МОРЯ**

### **Введение**

В настоящее время на побережье Японского, Охотского и Берингова морей, тихоокеанском побережье Курильских островов и полуострова Камчатка действует сеть автоматизированных постов наблюдений над уровнем моря (АП), оборудованных гидростатическими датчиками давления. Эта сеть предназначена для обеспечения Центров цунами Приморского, Сахалинского и Камчатского УГМС оперативной информацией о текущих изменениях уровня моря для идентификации волн цунами и расчета их основных характеристик [1].

Количество пунктов на дальневосточном побережье России, в которых выполняются наблюдения над уровнем моря с помощью традиционных технологий (поплавковые самописцы уровня моря (СУМ) и водомерные рейки) невелико. Поэтому большой интерес представляет вопрос о возможности использования данных измерений АП не только в интересах службы цунами, но и для создания новых и пополнения уже имеющихся архивов данных наблюдений над уровнем моря.

Наиболее качественные многолетние массивы материалов наблюдений над уровнем моря в береговых пунктах формируются по измерениям СУМ. Эти массивы содержат приведенные к принятым нулям постов ежечасные значения уровня моря, сведения о моментах наступления и высотах полных и малых вод, а также некоторую



дополнительную информацию [6]. Очевидно, что данные новых наблюдений, включаемые в многолетний массив, должны иметь аналогичную структуру и отвечать принятым требованиям.

Данные измерений АП в исходном виде не соответствуют этим условиям. Поэтому необходимо разрабатывать технологии их преобразования и критического контроля. В настоящей статье рассматриваются возникающие при этом проблемы, предлагаются методы их возможного решения, формулируются рекомендации по усовершенствованию системы существующих наблюдений.

### **Исходные данные**

Автоматизированные посты службы цунами в основном оборудованы гидростатическими датчиками давления фирмы AANDERAA Data Instruments (Норвегия). В системе имеется блок компенсации атмосферного давления. Точность измерений – 2 см. На постах, оснащенных самописцами уровня моря, датчики размещены в колодце СУМ. При отсутствии колодца СУМ датчики устанавливались в трубе, прикрепленной к причальной стенке, или на дне в прибрежной зоне (АП «Водопадная»). Комплекс технических устройств АП обеспечивает регистрацию колебаний уровня моря и передачу данных измерений по каналам связи в цифровом виде с дискретностью 1 минута.

В рамках исследований анализировались данные наблюдений автоматизированных постов службы цунами Дальневосточного, Камчатского, Приморского и Сахалинского УГМС Росгидромета (табл.1).

Данные измерений АП Дальневосточного, Камчатского и Сахалинского УГМС скопированы из Интернета (адреса <http://public.feerc.obninsk.org/remac/kav/> и <http://www.rtw.s.ru/>

(ВНИИГМИ-МЦД Росгидромета)), Приморского УГМС – предоставлены сотрудниками этого управления в электронном виде.

Таблица 1

### **Сведения об использованных данных измерений АП**

Пункт	Период наблюдений
Семячки	X – XII.2011 г.
б. Водопадная	X – XI.2012 г.
Озерная	II–IX.2013 г.
Северо-Курильск	I – VI, VIII – XII.2011 г.
Южно-Курильск	XI – XII.2010 г.
Малокурильское	VIII–XII.2010 г.
Поронайск	III – IV, VIII – XII.2010 г.
Стародубское	X – XII.2010 г.
Холмск	I.2009 г. – XII.2012 г.
Советская Гавань	II – VIII.2012 г.
Рудная Пристань	XII.2013 г.
Владивосток	VIII.2009 г. – V.2010 г.
Находка	XI.2010 г. – XII.2012 г.

*Примечание:* в таблице не указаны пропуски в наблюдениях продолжительностью несколько дней.

### **Результаты и обсуждение**

В настоящее время автоматизированные посты службы цунами работают очень нестабильно. Для АП характерны длительные пропуски в наблюдениях, продолжительность которых может достигать нескольких месяцев, часто измерения имеют низкое качество. Следует отметить, что некоторые нарушения качества измерений АП в принципе не могут возникать при записи колебаний уровня моря поплавковыми самописцами уровня моря. Во многом это связано со сложностью системы АП, предусматривающей не только регистрацию уровня моря, но и передачу полученных данных по каналам связи.

Рассмотрим типичные проблемы, возникающие при измерениях.

*Неисправность устройств АП*

Дальневосточные моря являются приливными. Это позволяет легко идентифицировать интервалы времени с неудовлетворительным качеством наблюдений – явное нарушение приливного хода уровня моря по измерениям АП свидетельствует о плохой работе аппаратных устройств автоматизированного поста (рис. 1).

Частным случаем является регистрация АП постоянных или близких к ним значений уровня моря. Данное явление, например, наблюдалось в Южно-Курильске 8.11.2010 г. в течение двух часов, в Поронайске 4.03.2010 г. (менее часа) и 6.03.2010 г. (менее часа), в Малокурильском 22.10.2010 г. (семь часов). Указанные нарушения возникали до или после переустановки АП, поэтому очевидно, что они являются следствием процесса настройки и регулировки измерительных устройств.

Тем не менее, иногда постоянные значения уровня моря фиксируются в течение очень длительного времени (иногда месяцами), что свидетельствует о неисправности АП.

Встречаются и другие ситуации, когда плохая работа технических устройств, входящих в состав автоматизированного поста, приводит к неудовлетворительному качеству наблюдений.

Например, АП Холмск были зарегистрированы очень большие (достигающие шести метров) нерегулярные изменения среднего уровня моря в сентябре 2009 г. (рис. 2).

Возможной причиной аномального хода разностей уровней моря, измеренных АП и СУМ 17.03–10.04.2010 г. в Поронайске, является неполная (или вообще ее отсутствие) компенсация изменений приземного атмосферного давления в измерениях автоматизированного поста. На это указывает обратный ход изменений разностей уровней

моря АП–СУМ и приземного атмосферного давления, приведенного к уровню моря (рис. 3). Коэффициент корреляции между средними суточными значениями этих характеристик для рассматриваемого периода времени составляет минус 0,54 (является значимым в соответствии с  $t$ -критерием Стьюдента при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  [9]).

*Наличие значительных отклонений (выбросов) измеренных значений уровня моря*

В отдельные моменты времени в рядах измерений АП возникают резкие отклонения (выбросы) уровня моря, иногда достигающие величины в несколько десятков и сотен метров (рис. 4).

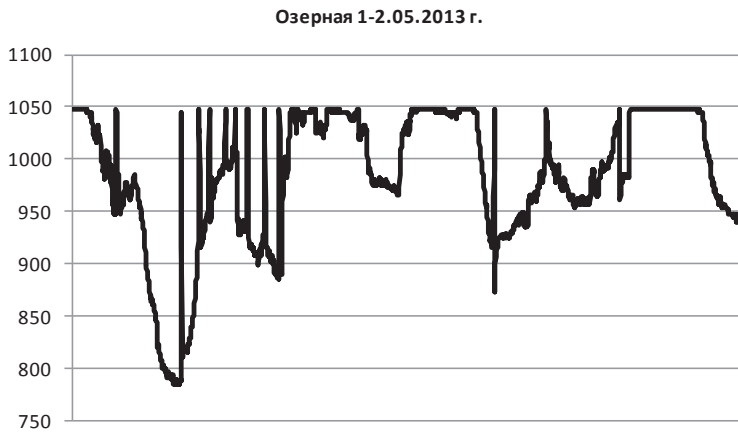
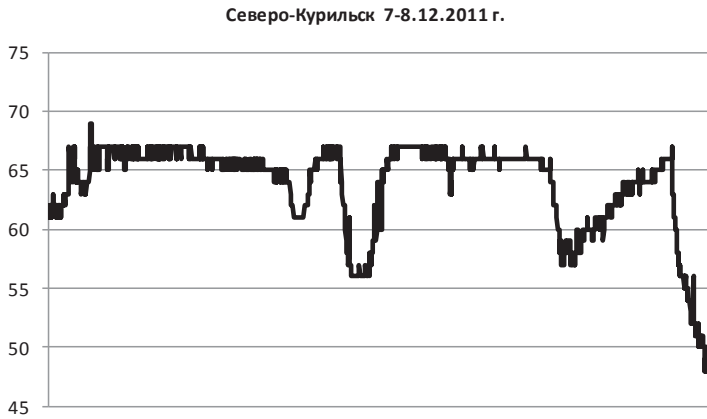
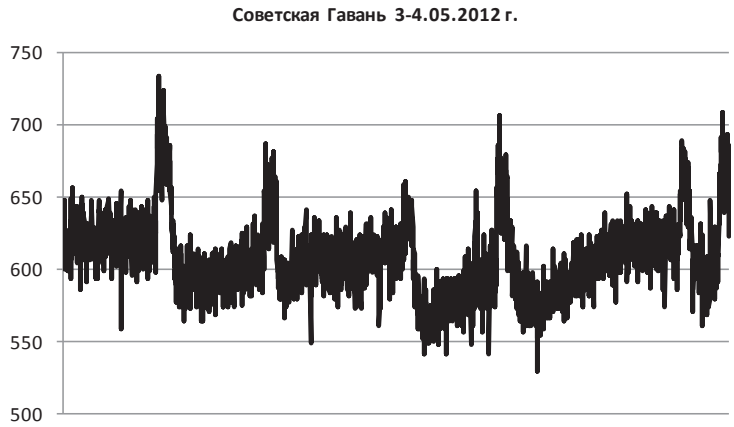
Наиболее часто эти выбросы являются единичными и характеризуются одним минутным отсчетом, реже – двумя.

Тем не менее, встречаются ситуации, когда продолжительность выбросов более значительна. Например, в Холмске с 3 час 45 мин до 4 час 29 мин 16.03.2010 г. значения уровня моря (45 минутных отсчетов) составляют 209–223 м. В ближайшие моменты времени, смежные с указанным периодом, значения данных отличаются от характеристик выброса на два порядка и равны соответственно 2,15 м и 2,00 м.

Иногда значительные выбросы носят серийный характер и возникают в течение длительных периодов наблюдений (рис. 5).

Достаточно редкими являются ситуации, когда за одну-три минуты уровень моря резко увеличивается на несколько десятков сантиметров, а затем медленно возвращается в исходное состояние.

Очевидно, что выбросы, рассмотренные в приведенных примерах, имеют технический характер и могут являться следствием конструктивных особенностей устройств АП или ошибок при передаче данных по каналам связи.



*Рис. 1. Изменения уровня моря по измерениям АП при неисправности оборудования, см*

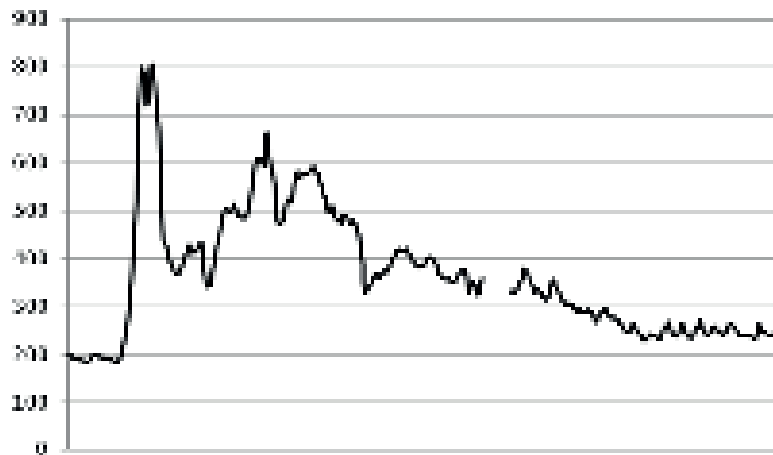


Рис. 2. Изменения уровня моря 1–23.09.2009 г. по измерениям АП Холмск, см

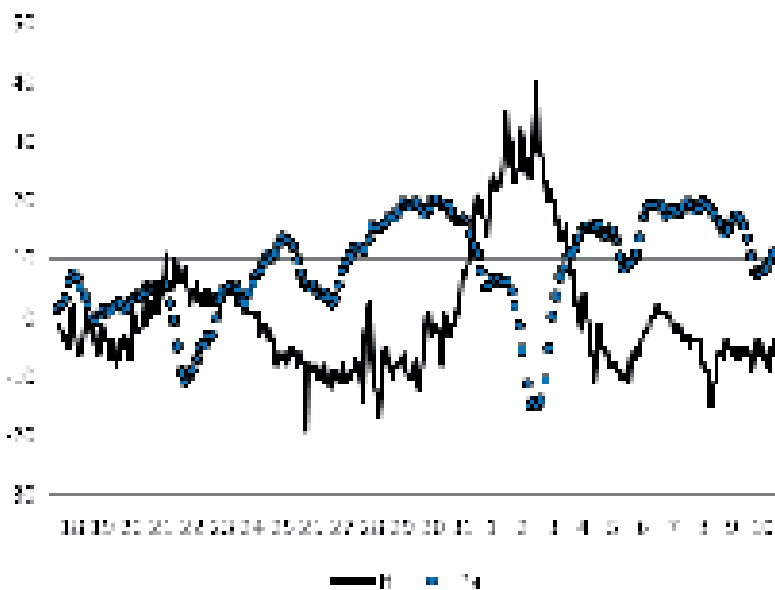


Рис. 3. Разности ежечасных уровней моря АП–СУМ (относительно средних значений за рассматриваемый период наблюдений) ( $H$ , см) и срочные (дискретность 3 часа) значения приземного атмосферного давления (отклонения от 1000 гПа) ( $P_a$ , гПа) 18.03–10.04.2010 г. в Поронайске

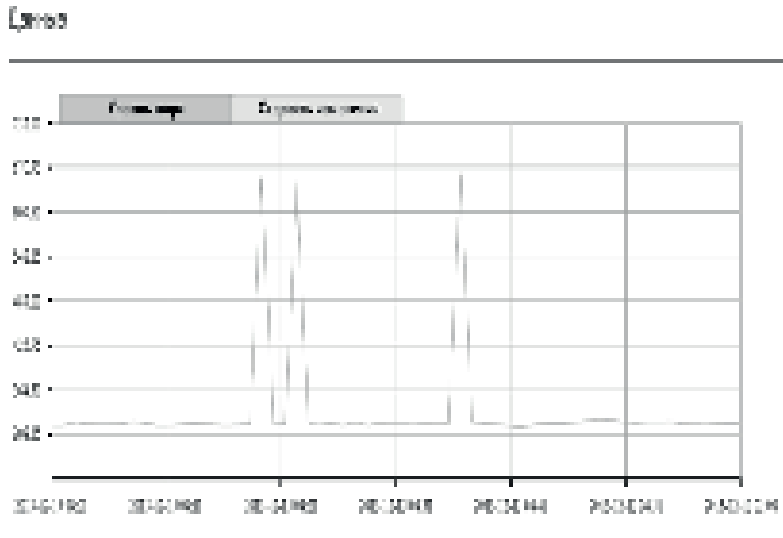


Рис. 4. Изменения уровня моря по измерениям АП Рудная Пристань в 4 час 01 мин – 5 час 00 мин 15.12.2013 г., см (получено с сайта <http://www.rtw.su/>)

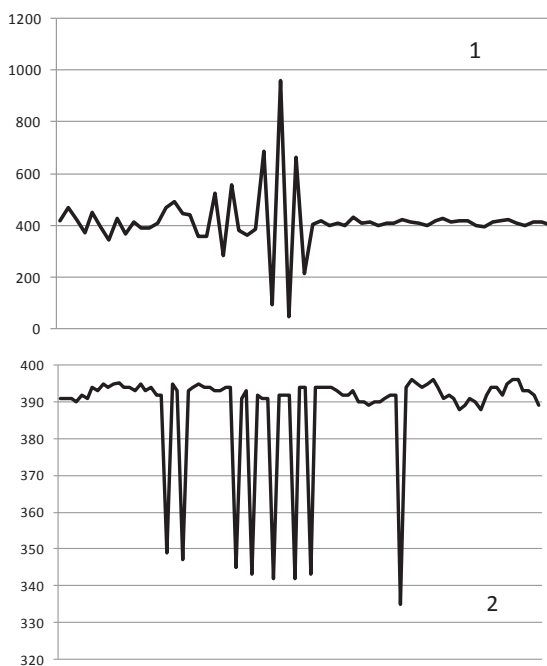
#### *Изменения нуля отсчета*

В настоящее время значения уровня моря, измеренные АП, не приводятся к единому нулю поста. В результате ряды наблюдений даже за непродолжительные интервалы времени не являются однородными, так как фактически при любых ремонтных или профилактических работах с устройствами АП нуль отсчета поста изменяется.

Например, в Холмске в 2010–2011 гг. измерения АП производились, как минимум, относительно пяти разных нулей отсчета (рис. 3 в статье [4], опубликованной в настоящем сборнике).

#### *Наличие нелинейных трендов в измеренных АП значениях уровня моря*

О наличии данных трендов свидетельствуют постепенные изменения разностей между значениями уровня моря, полученными по измерениям АП и наблюдениям СУМ.



*Рис. 5. Изменения уровня моря по измерениям АП, см  
1 – Холмск 12 час 00 мин – 13 час 00 мин 30.03.2010 г.  
2 – Малокурильское 10 час 00 мин – 11 час 30 мин 14.11.2010 г.*

В принципе, такие изменения могут быть следствием недостаточно надежного и качественного контроля высотного положения контрольных реперов и устройств, используемых для приведения наблюдений над уровнем моря, выполненных с помощью СУМ, к нулю поста.

Тем не менее, такое предположение является маловероятным. Во-первых, подразделениями УГМС Росгидромета за редким исключением контроль положения и состояния измерительных устройств и реперного хозяйства постов наблюдений над уровнем моря обеспечивается регулярно и своевременно. Во-вторых, если некоторые изменения и происходят, обычно они характеризуются резкими, а не постепенными вариациями приведенного к нулю поста уровня моря. В-третьих, постепенные продолжительные изменения разностей уровня моря АП–



СУМ идентифицированы во всех пунктах, в которых выполнялись синхронные наблюдения автоматизированных постов службы цунами и самописцев уровня моря. Сомнительно, чтобы проблемы с организацией и выполнением наблюдений с помощью СУМ могли возникнуть в этих пунктах одновременно.

Для рядов, имеющих продолжительность несколько месяцев, в первом приближении тренды значений уровня моря по измерениям АП являются линейными, причем, в различных пунктах они имеют разные знаки.

Более длительные ряды измерений в Находке (2010–2012 гг.) и Холмске (2009–2012 гг.) свидетельствуют, что линейные тренды характерны только для относительно непродолжительных интервалов времени, фактически тренды имеют сложный нелинейный вид (рис. 6 и рис. 3 в статье [4]).

Наиболее вероятной причиной наличия трендов в измерениях АП может быть «дрейф» датчика измерения гидростатического давления или другого оборудования автоматизированного поста. Возможная зависимость трендов от изменений гидрометеорологических факторов (приземного атмосферного давления и плотности морской воды) не прослеживается.

*Технологии первичного критического контроля материалов измерений АП*

По нашему мнению, методы критического контроля данных измерений АП не могут ограничиваться только компьютерными технологиями. На отдельных стадиях проверки данных их качество должно оцениваться квалифицированными специалистами, имеющими опыт обработки и анализа материалов наблюдений над уровнем моря,

владеющих информацией о закономерностях и особенностях режима уровня моря в районе расположения автоматизированного поста.

Рекомендуется следующая последовательность первичного критического контроля данных измерений АП.

На первом этапе выполняется визуальный контроль графиков изменения уровня моря для идентификации периодов времени, когда устройства автоматизированного поста были неисправны. Признаками таких ситуаций являются явное нарушение приливного хода уровня моря, характерного для рассматриваемого пункта (рис. 1) (частный случай – постоянство или очень небольшие вариации уровня), или очень значительные изменения уровня моря, не характерные для района расположения поста (рис. 2).

Материалы наблюдений за такие периоды времени должны полностью отбраковываться на этом этапе.

На втором этапе компьютерным способом (например, по разностям смежных значений уровня моря) выявляются выбросы в рядах измерений.

Если выбросы имеют большую величину, их идентификация и удаление из рядов измерений выполняются достаточно легко. Правда, для реализации этих процедур предварительно требуется решить задачу выбора оптимального критерия для контроля.

Более сложной является проблема принятия решения об устранении выбросов относительно небольшой величины, не превышающей нескольких десятков сантиметров (рис. 7). Такие выбросы обычно возникают при прохождении над морем тайфунов или глубоких циклонов, вызывающих значительное ветровое волнение. Связь между величиной этих выбросов и высотой волн, а также защищенностью измерительных устройств АП от волнения очевидна –

на открытых морских побережьях максимальная величина данных выбросов достигает 50 см (восточное побережье полуострова Камчатка – Семячки, б. Водопадная), на акватории портов (Владивосток, Находка) она не превышает 5–10 см.

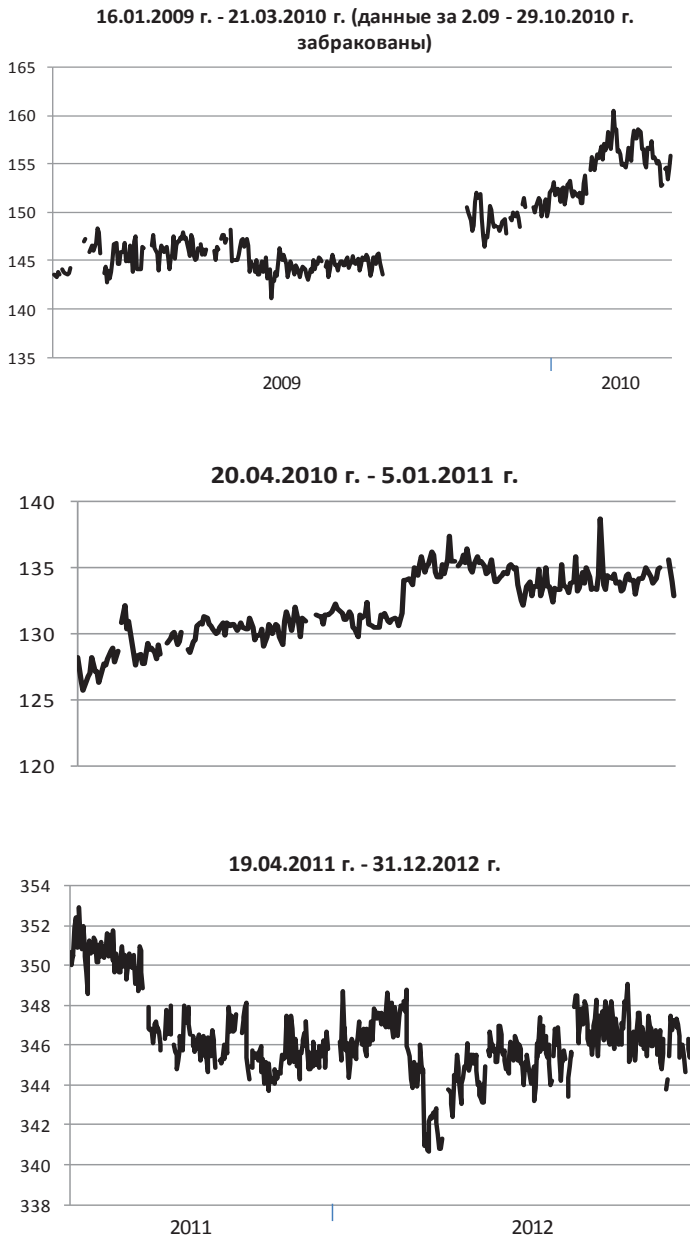
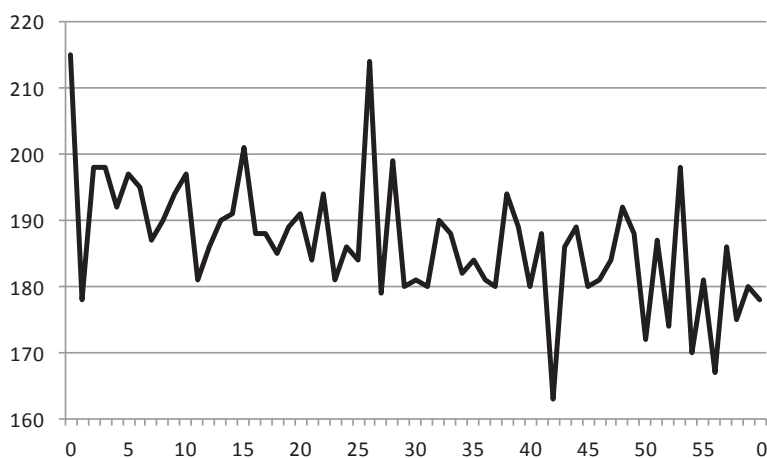


Рис. 6. Разности средних суточных уровней моря АП–СУМ в Холмске

Очевидно, что рассматриваемые выбросы в основном являются следствием реального физического процесса – формирования ветровым волнением длинных инфрагравитационных (ИГ) волн (некоторую роль, возможно, играют нерегулярность ветрового волнения, наличие прибоя или толчеи). К сожалению, по данным измерений АП, имеющим дискретность 1 минуту, невозможно рассчитать характеристики инфрагравитационных волн, так как ИГ волны обычно имеют период от одной до нескольких минут [3, 8].

Опыт обработки данных наблюдений АП позволяет сделать следующие рекомендации по удалению небольших выбросов из рядов измерений.

1. Если выбросы имеют единичный характер, т.е. возникают в течение одной-двух минут и хорошо различимы в данных наблюдений, их можно устранить (в абсолютном большинстве случаев минутная дискретность измерений позволяет надежно исправить ошибочное значение).



*Рис. 7. Изменения уровня моря с 6 час 00 мин до 7 час 00 мин 23.11.2010 г. по измерениям АП Стародубское при значительном ветровом волнении, см*

2. В ситуациях, когда выбросы относительно небольшой величины формируются нерегулярно и хаотично, имеют серийный характер в течение некоторого интервала времени (рис. 7), исправлять выбросы не рекомендуется. Если низкое качество работы устройств АП очевидно, следует принять решение о полной отбраковке данных за рассматриваемый период. При наличии условий для возникновения таких изменений уровня моря (наблюдается значительное ветровое волнение), материалы наблюдений могут быть использованы в дальнейших расчетах. Правда, экспериментально установлено, что ежечасные значения уровня моря по этим данным измерений вычисляются с некоторой небольшой погрешностью.

Следует подчеркнуть, что рассмотренные технологии критического контроля, являясь обязательными, реализуются только на начальной стадии анализа материалов наблюдений автоматизированных постов. С их помощью невозможно выявить, например, «дрейф» оборудования АП (рис. 6) или неисправность компенсатора приземного атмосферного давления (рис. 3). Поэтому дальнейшие этапы критического контроля данных измерений АП выполняются после первичной обработки исходных данных измерений.

*Технологии первичной компьютерной обработки данных измерений АП*

Предварительно решается задача восстановления пропусков в наблюдениях автоматизированных постов.

Следует отметить, что проблемы выбора оптимального метода восстановления и определения предельной допустимой при этом длительности пропусков являются достаточно сложными. В настоящее время, исходя из результатов обработки и анализа данных измерений АП, было принято решение о возможности восстановления с помощью

линейной интерполяции пропусков в измерениях, имеющих продолжительность не более 15 минут.

Очевидно, что для формирования таблиц ежечасных значений уровня моря по материалам наблюдений автоматизированных постов нельзя использовать данные, соответствующие, например, 0 или 30 минутам каждого часа, так как они могут быть получены для любой фазы регистрируемых АП высокочастотных колебаний уровня. В результате этого явления вместо относительно гладкого хода ежечасных значений уровня моря может сформироваться его «пилообразный» вид.

Для приведения рядов уровней моря, измеренных АП, к сглаженным данным, получаемым при ручной обработке лент СУМ, необходима предварительная фильтрация этих рядов, предусматривающая исключение высокочастотных составляющих. При этом основной задачей является разумное определение границы исключаемого диапазона частот, которая должна зависеть от периодов наблюдаемых высокочастотных колебаний уровня моря в данном пункте (очевидно, что в разных пунктах эта граница может быть различной).

Функции спектральной плотности, рассчитанные по данным наблюдений АП, свидетельствуют, что характер колебаний уровня моря в диапазоне частот 0,0056 – 0,5 цикл/мин (периоды колебаний 180 – 2 минуты) отличается от пункта к пункту. Это неудивительно, так как колебания уровня моря в указанном диапазоне частот в основном зависят от особенностей морфометрии объектов, на побережье которых расположены пункты наблюдений.

Практически во всех пунктах наблюдаются статистически значимые колебания уровня моря в диапазоне частот от 0,0056 до 0,022 цикл/мин (периоды от 45 до 180 минут). Так как эти колебания являются достоверными с физической точки зрения, на предварительном этапе

исследований был сделан вывод о необходимости исключения из исходных рядов колебаний с периодами только менее 20 минут.

Технологию подавления колебаний уровня моря в высокочастотной части спектра можно продемонстрировать на примере треугольного фильтра Бартлетта, часто применяемого в гидрометеорологии [5]. Процесс сглаживания заключается в умножении значений данных исходного ряда на весовые коэффициенты фильтра:

$$x_i = \sum_{m=-M}^M h_m \cdot X_{i+m}, \quad (1)$$

где  $\{x_i\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  – фильтрованный ряд ( $n = N - 2M$ , где  $N$  – длина исходного ряда,  $2M$  – интервал сглаживания (фильтрации));

$h_m$  – весовые коэффициенты фильтра, вычисляемые по формулам:

$$h_m = \frac{2}{2M + 1} - \frac{4|m|}{(2M + 1)^2} \quad \text{при } |m| \leq M \quad (2)$$

$$h_m = 0 \quad \text{при } |m| > M \quad (3)$$

В отличие от фильтра равновесного скользящего осреднения, для которого значения весовых коэффициентов одинаковы, фильтр Бартлетта предусматривает симметричное уменьшение весовых коэффициентов к границам интервала фильтрации.

Сглаживание временных рядов с помощью математических фильтров характеризуется двумя хорошо выраженными закономерностями – при увеличении интервала фильтрации реализуется все более полное исключение высокочастотных колебаний, но при этом усиливается и нежелательное сглаживание колебаний в низкочастотном диапазоне. Возможное решение данной проблемы заключается в использовании более «тонких» фильтров.

Экспериментально установлено, что при сглаживании рядов данных измерений АП оптимальное сочетание указанных противоположных процессов отвечает интервалу фильтрации, равному 21 минуте. Тем не менее, при использовании интервалов фильтрации от 21 до 45 минут, сглаженный ход уровня моря имеет сложный вид, который не соответствует кривой, проводимой наблюдателем вручную при обработке лент самописца уровня моря (рис. 8). Значительно лучше согласуются с кривыми, построенными на лентах СУМ традиционным способом, результаты фильтрации с интервалами 91 и 181 минута (конкретное значение зависит от пункта наблюдений) (рис. 8).

Ряды уровня моря, формируемые по данным измерений АП, должны быть однородны с многолетними рядами наблюдений СУМ, хранимыми в многолетних архивах. Поэтому на настоящем этапе исследований было принято решение о выполнении фильтрации данных измерений АП с интервалами 91 или 181 минута. Оптимальный интервал фильтрации для каждого пункта может быть определен предварительно.

При исследовании закономерностей и особенностей формирования колебаний уровня моря в диапазоне периодов от нескольких минут до нескольких часов, интервал фильтрации должен быть существенно меньшим.

Для решения задач критического контроля и обработки данных измерений автоматизированных постов службы цунами в ФГБУ «ДВНИГМИ» разработана и реализована структура реляционной базы данных (БД). Структура БД обеспечивает хранение и обработку не только данных АП и СУМ, но и других океанографических и метеорологических параметров: скорости и направления течений, температуры воды и воздуха, солености морской воды и др.



Использование реляционной модели данных позволяет на системном уровне решить вопросы непротиворечивости, актуальности и целостности данных, автоматизированного архивирования больших объемов информации и условного доступа к ней нескольких пользователей.

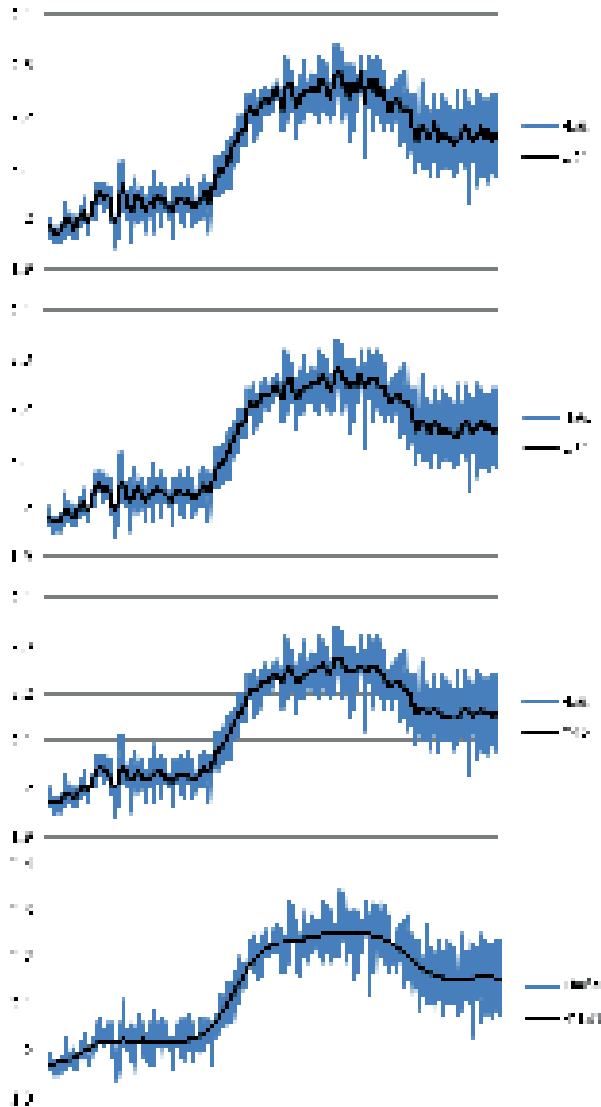


Рис. 8. Изменения уровня моря в Холмске 11.12.2010 г. по наблюдениям АП и после их сглаживания с помощью фильтра Бартлетта при различных интервалах фильтрации (цифры после буквы  $\Phi$  обозначают величину интервала фильтрации в минутах), м

Для использования базы данных разработан графический интерфейс пользователя со следующими основными функциями:

- поиск и выборка данных необходимых постов за требуемый интервал времени;
- проведение первичного визуального контроля данных;
- проведение автоматизированного контроля данных с использованием средних стандартизированных значений, тенденций изменения параметров по времени, анализа спектральных характеристик временных рядов, поиска пропусков в данных и определения периодов «стояния» значений, других процедур;
- проведение процедур сглаживания данных с применением различных фильтров;
- расчет и архивирование гармонических постоянных волн прилива;
- импорт и экспорт данных различных форматов.

Все изменения в данных, осуществляемые пользователем, фиксируются в БД, при этом исходные значения сохраняются и доступны для дальнейшего анализа. Кроме того, пользователь может продублировать исходные данные для проведения критического контроля в автоматическом или ручном режиме.

Структура базы данных и программного интерфейса к ней позволяют дорабатывать комплекс, дополняя его новыми технологиями и алгоритмами.

*Методы критического контроля материалов наблюдений АП после их первичной обработки*

Для критического контроля преобразованных с помощью рассмотренных технологий данных измерений автоматизированных

постов можно использовать методы, применяемые для оценки качества материалов наблюдений СУМ и речных постов [2].

Предлагается следующая последовательность действий.

1. Для каждого пункта анализируется график изменения средних суточных значений уровня моря с целью обнаружения грубых ошибок, пропущенных при первичном критическом контроле материалов наблюдений. Этот этап критического контроля позволяет выявить, например, интервалы времени, когда были неисправны устройства АП.

2. Сравниваются синхронные изменения во времени ежечасных значений уровня моря, полученных по измерениям АП, и предвычисленных по надежным гармоническим постоянным основным волн прилива для рассматриваемого пункта. Такое сравнение позволяет идентифицировать не только сбои в работе оборудования АП, но и нарушения сообщения с морем колодца, в котором может быть установлен датчик автоматизированного поста (данная ситуация возникла, например, во Владивостоке 14–31 мая 2010 г.).

3. Анализируются синхронные изменения во времени средних суточных значений уровня моря по измерениям АП (при наличии возможности также СУМ и речных постов) в пунктах, расположенных в районах с относительно близким уровнем режимом. С помощью этого анализа можно выявить периоды времени с аномальными вариациями уровня моря в некотором пункте, возможно, ситуации, когда устройствами АП не компенсировались вариации приземного атмосферного давления (рис. 3).

На последующих этапах критического контроля материалов наблюдений АП следовало бы оценить надежность приведения данных измерений к нулю поста рассматриваемого пункта. Для этого можно

использовать методы, разработанные Р.А. Деевой [2], или построенные заранее уравнения регрессии, связывающие значения средних месячных уровней моря в разных пунктах. Тем не менее, очевидно, что в настоящее время эта работа не имеет смысла, так как предварительно нужно решить проблемы выбора и закрепления нулей постов АП. Вычисление формальных поправок и корректирование с их помощью данных измерений АП пока представляется не только преждевременным, но и нежелательным.

*Проблемы, возникающие при формировании многолетних массивов наблюдений над уровнем моря по данным измерений АП*

В процессе исследований установлено, что предлагаемые методы критического контроля и обработки данных измерений автоматизированных постов службы цунами позволяют создавать массивы ежечасных значений уровня моря, которые могут быть использованы для расчета характеристик приливов и сгонно-нагонных колебаний уровня моря [4].

Тем не менее, следует отметить, что в настоящее время система измерений АП не пригодна для формирования однородных длительных рядов наблюдений над уровнем моря, необходимых для решения ряда практических задач: исследования многолетней и сезонной изменчивости уровня моря, расчета современных вертикальных движений земной коры и эвстатических колебаний уровня Мирового океана.

Во-первых, в наблюдениях абсолютного большинства АП имеются пропуски, продолжительность которых иногда достигает нескольких месяцев. При этом восстанавливать пропуски в рядах уровня моря, даже имеющие длительность в несколько часов (например, с

помощью предвычисления прилива), нежелательно, так как эти пропуски часто возникают во время значительных сгонов или нагонов.

Во-вторых, данные измерений АП не приводятся к единому отсчетному уровню (нулю поста). В результате даже в пределах относительно небольших интервалов времени материалы наблюдений не являются однородными.

Для решения этой проблемы необходимо решить следующие задачи.

1. В соответствии с требованиями нормативных документов, действующих в системе Росгидромета [6, 7], создать в каждом пункте реперное хозяйство, включающее основной, контрольный и рабочий реперы, обеспечить систематический контроль за техническим состоянием реперов, организовать регулярное выполнение контрольных нивелировок реперов.

2. Оборудовать посты устройствами для выполнения контрольных измерений уровня моря с целью приведения данных наблюдений АП к нулю поста. Организовать выполнение регулярных и внеочередных (при каждом повреждении, ремонте, переустановке) контрольных нивелировок этих устройств.

3. Обеспечить систематическое сравнение синхронных наблюдений датчиков АП и устройств, используемых для выполнения контрольных измерений уровня моря. Учитывая специфику работы АП, представляются завышенными требования о необходимости выполнения контрольных отсчетов уровня моря в четыре срока (00, 06, 12, 18 час ВСВ) каждых суток [6]. Возможно, более оптимальной является реализация нескольких серий таких измерений в светлое время суток при отсутствии значительного ветрового волнения. При этом следует иметь в виду, что наличие в данных измерений АП трендов, имеющих

аппаратный характер (рис. 6), определяет необходимость практически ежедневного выполнения указанных действий.

В-третьих, в настоящее время отсутствует детальная система анализа и критического контроля материалов наблюдений автоматизированных постов.

Эта система обязательно должна предусматривать ведение документации, в которой следует фиксировать все действия по установке, ремонту, модификации устройств АП с указанием сведений о составе и дате произведенных работ, информации о специалисте, выполнившем работу.

Для контроля качества приведения данных измерений автоматизированных постов к нулю поста в дальнейшем можно будет использовать методы, в течение многих лет применяемые в дальневосточных УГМС для проверки материалов наблюдений СУМ и речных постов [2]. Тем не менее, специфика технологий измерений уровня моря устройствами АП может привести к необходимости создания новых методов контроля, например, для идентификации ситуаций, когда возникают проблемы компенсации изменений приземного атмосферного давления.

### **Выводы**

Выполненные исследования позволяют сделать вывод, что в настоящее время сеть автоматизированных постов службы цунами, созданная на побережье дальневосточных морей, не может быть использована для формирования качественных многолетних массивов наблюдений над уровнем моря. Получаемые данные имеют более низкое качество по сравнению с поплавковыми самописцами уровня моря, следовательно, АП не являются равноценной заменой СУМ.

Предложенные в настоящей статье технологии обработки и критического контроля данных измерений автоматизированных постов сами по себе не могут обеспечить необходимое качество материалов наблюдений. Для решения этой проблемы требуется реализация комплекса мероприятий.

1. Усовершенствование технической базы АП для повышения стабильности и устойчивости их работы.

2. Оборудование постов рейками или другими средствами измерений уровня моря для выполнения контрольных отсчетов и приведения данных АП к нулю поста [6]. Выбор и утверждение оптимального регламента выполнения контрольных отсчетов.

3. Создание на постах развитого реперного хозяйства. Обеспечение своевременного и регулярного контроля за высотным положением реперов в соответствии с требованиями [6, 7]. Представляется, что в настоящее время привязка реперов АП к Балтийской системе высот 1977 г. является желательной, но не необходимой. Временно можно ограничиться регистрацией колебаний уровня моря относительно условных нулей постов.

4. Утверждение перечня документации и порядка ее ведения для фиксации всех работ, выполняемых с устройствами АП (замена, переустановка, ремонт датчиков и т.д.).

5. Разработка алгоритмов и методов критического контроля данных измерений АП, макетов форм представления материалов наблюдений в отделы Гидрометфонда УГМС Росгидромета.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Волков Ю.Н., Манько А.Н., Ивельская Т.Н., Диденко М.Г., Каптюг М.Г. Создание современной системы предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России // Труды ДВНИГМИ - Юбилейный вып. ДВНИГМИ - 60 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2010. - С. 301 - 310. - ISBN 978-5-8044-1164-1.

2 Деева Р.А. Методическое письмо по обработке уровня моря: рукопись - Владивосток: ДВНИГМИ, 1970. - 42 с.

3 Ковалев П.Д., Шевченко Г.В. Экспериментальные исследования длинноволновых процессов на северо-западном шельфе Тихого океана - Владивосток: Дальнаука, 2008. - 216 с.

4 Любицкий Ю.В., Като Л.Н., Соломатина Л.Н. Оценка возможности расчета режимных характеристик уровня моря по данным наблюдений сети Российской службы предупреждения о цунами // См. настоящий сборник.

5 Матушевский Г. В., Привальский В.Е. Фильтрация временных рядов в гидрометеорологии // Океанология, 1968, т. 8, вып. 3. - С. 502 - 513.

6 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях и постах. Гидрологические наблюдения на береговых станциях и постах. Вып. 9. Ч. 1. - Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 311 с.

7 Нивелирование морских уровенных постов: РД 52.10.768 - 2012: утв. Росгидрометом 26.09.2012 г. - Обнинск: Изд-во Артифлекс, 2012. - 58 с.

8 Рабинович А.Б. Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение - Л.: Гидрометеиздат, 1991 - 240 с.

9 Статистика. Практикум: учебное пособие / кол. авторов; под ред. В.И. Салина, Е.П. Шпаковской. - М.: КНОРУС, 2009. - 496 с. - ISBN 978-5-390-00007-6



*Ю. В. Любицкий, ФГБУ «ДВНИГМИ», г. Хабаровск  
Л. Н. Като, ФГБУ «Сахалинское УГМС», г. Южно-Сахалинск  
Л. Н. Соломатина, ФГБУ «Приморское УГМС», г. Владивосток*

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РАСЧЕТА РЕЖИМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УРОВНЯ МОРЯ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ СЕТИ РОССИЙСКОЙ СЛУЖБЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ЦУНАМИ**

### **Введение**

В настоящее время на побережье Японского и Охотского морей, тихоокеанском побережье полуострова Камчатка и Курильских островов действуют одиннадцать поплавковых самописцев уровня моря (СУМ): Посьет, Владивосток, Находка, Холмск, Углегорск, Стародубское, Поронайск, Малокурильское, Южно-Курильск, б. Нагаева, Петропавловск-Камчатский. Этого количества СУМ явно недостаточно для исследования уровня режима дальневосточных морей, расчета режимных характеристик уровня моря для обслуживания запросов проектных и строительных организаций, верификации и калибровки методов прогнозов уровня моря.

Начиная с 2009 г. на побережье Дальнего Востока создана сеть автоматизированных постов наблюдений службы цунами (АП), в основном оборудованных гидростатическими датчиками давления фирмы AANDERAA Data Instruments (Норвегия). Посты обеспечивают регистрацию колебаний уровня моря (компенсация атмосферного давления предусматривается) и передачу данных измерений по каналам связи в цифровом виде с дискретностью 1 минута [1]. Сейчас сеть службы цунами состоит из 26 постов.

В рамках выполненной работы, с помощью сравнения данных измерений АП и СУМ, исследуется возможность использования данных наблюдений АП для расчета режимных характеристик уровня моря: его

средних годовых и месячных значений, годового хода, гармонических постоянных волн прилива, величины и продолжительности сгонно-нагонных колебаний уровня моря.

### Исходные данные

Основная часть исследований выполнена по материалам синхронных наблюдений над уровнем моря с помощью АП и СУМ, имеющих минутную и часовую дискретность соответственно, в пяти пунктах Сахалинского УГМС и двух пунктах Приморского УГМС (табл. 1). Для расчета характеристик среднего уровня моря дополнительно привлекались сведения о средних суточных значениях уровня моря в Холмске за 2009, 2011–2012 гг. и в Находке за июль - декабрь 2012 г.

Таблица 1

#### *Сведения об использованных в настоящей работе синхронных измерениях АП и СУМ*

Пункт	Период наблюдений
Малокурильское	18.08–31.12.2010 г.
Поронайск	17.03–10.04, 24.08–31.12.2010 г.
Стародубское	15.10–31.12.2010 г.
Холмск	1.01–22.03, 19.04–31.12.2010 г.
Южно-Курильск	14.11–31.12.2010 г.
Владивосток	14.08–22.09.2009 г., 12.10.2009 г.–31.05.2010 г.
Находка	11.11.2010 г. – 30.06.2012 г.

*Примечание:* в таблице не указаны пропуски в наблюдениях продолжительностью несколько дней.

Данные измерений АП Сахалинского УГМС скопированы из Интернета (адреса <http://public.feerc.obninsk.org/remac/kav/> и <http://www.rtw.s.ru/> (ВНИИГМИ-МЦД Росгидромета)), АП Владивосток и Находка предоставлены сотрудниками Приморского УГМС в электронном виде.

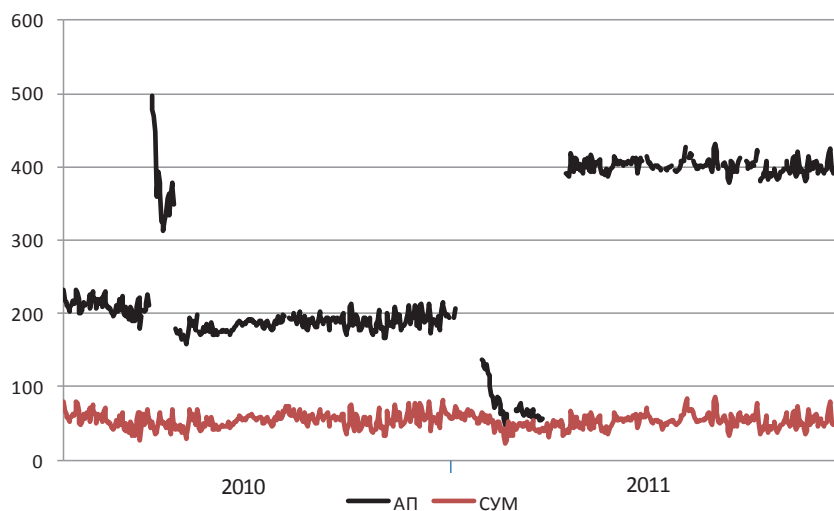
Материалы наблюдений СУМ обработаны и проверены специалистами Сахалинского и Приморского УГМС в соответствии с требованиями Наставления гидрометеорологическим станциям и постам, выпуск 9, часть 1, 1984 г. [3]. В результате этой работы составлены таблицы ТГМ-8, включающие ежечасные значения уровня моря, снятые со сглаженной кривой записи самописца, и ряд других характеристик.

Данные измерений АП службы цунами прошли детальный критический контроль, основные принципы которого рассмотрены в статье, опубликованной в настоящем сборнике [2]. Так как для объективного сравнения режимных характеристик уровня моря, рассчитанных по наблюдениям АП и СУМ, анализируемые ряды должны иметь одинаковую структуру, по данным измерений АП, имеющим минутную дискретность, были сформированы массивы ежечасных значений уровня моря. Этот процесс реализован с помощью сглаживания исходных рядов треугольным фильтром Бартлетта [4] с интервалом фильтрации 181 минута (единый для всех пунктов интервал фильтрации выбран для унификации расчетов) [2].

### **Результаты и обсуждение**

#### *Различия между ежечасными данными наблюдений АП и СУМ*

Данные измерений СУМ и АП не приводятся к единому нулю отсчета (нулю поста). Более того, контроль высотного положения измерительных устройств АП в настоящее время вообще не осуществляется (рис. 1).



*Рис. 1. Изменения средних суточных уровней моря в Холмске по данным наблюдений АП и СУМ в 2010–2011 гг., см*

Поэтому, для обеспечения возможности сравнения материалов наблюдений АП и СУМ, для каждого способа измерений предварительно вычислялись отклонения ежечасных уровней моря от средних месячных значений, которые рассчитывались по данным только за сутки, в которые не было пропусков в наблюдениях. Принятый способ расчета обусловлен тем, что дальневосточные моря являются приливными – наличие пропусков вблизи полной или малой воды может существенно исказить оценки среднего уровня моря. В некоторых ситуациях, когда количество наблюдений в месяце было незначительным, эти данные присоединялись к измерениям смежного месяца и средние значения вычислялись для всего полученного интервала времени (например, в Поронайске осреднение выполнялось для периодов 18.03–10.04.2010 г., 24.08–30.09.2010 г.).

Следует отметить, что в первом приближении используемый подход позволяет исключить колебания разностей уровней моря АП–

СУМ с большими периодами, характеристики и причины возникновения которых будут рассмотрены далее.

В целом, ежечасные уровни моря, полученные по измерениям СУМ и АП, удовлетворительно согласуются между собой, несмотря на различные способы наблюдений и методы первичной обработки исходной информации. Тем не менее, различия между ними иногда достигают значительной величины (табл. 2). Установлено, что в большинстве случаев это происходит из-за ошибок при обработке лент самописцев уровня моря. Такие ситуации возникают, например, когда в результате недостаточно полной фильтрации ветрового волнения подводящей трубой колодца СУМ на ленте фиксируется «размазанная» запись, по которой очень сложно точно провести вручную сглаженную кривую, с которой снимаются ежечасные значения уровня моря, или когда записи СУМ имели низкое качество и данные наблюдений были восстановлены.

Существенные различия ежечасных уровней моря по наблюдениям АП и СУМ в Южно-Курильске (табл. 2) являются следствием того, что величина колебаний уровня по данным СУМ меньше, чем по измерениям АП, а между ходом уровня, зарегистрированным АП и СУМ, имеется фазовый сдвиг (рис. 2). Обычно отмеченные особенности возникают при наблюдениях над уровнем моря (если под данными АП подразумевать фактические изменения уровня) из-за нарушения сообщения колодца СУМ с морем.

Различие хода уровня моря в Южно-Курильске в ноябре-декабре 2010 г. по данным измерений АП и СУМ количественно подтверждает значительное расхождение рассчитанных по ним гармонических постоянных волн прилива. Следует отметить, что амплитуды и фазы основных волн прилива, вычисленные по материалам измерений АП,

лучше согласуются с их опубликованными значениями, чем полученные по данным наблюдений СУМ.

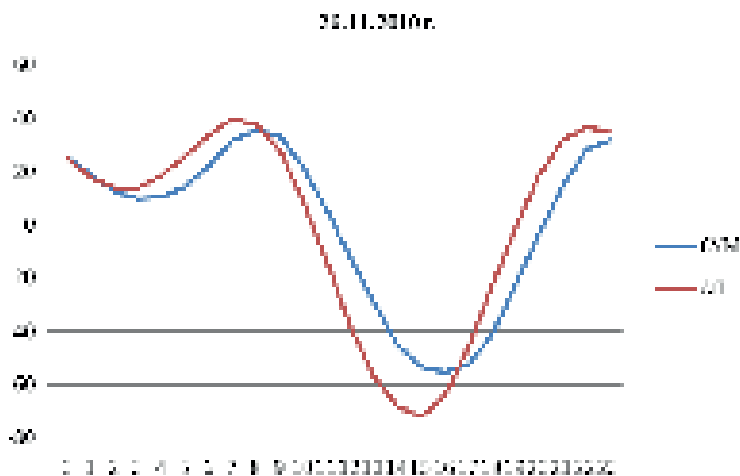


Рис. 2. Изменения уровня моря по наблюдениям СУМ и АП в Южно-Курильске (относительно средних суточных значений), см

#### *Средний годовой уровень моря*

Погрешности определения среднего годового уровня моря по данным наблюдений АП во многом могут зависеть от наличия пропусков в измерениях. К сожалению, следует отметить, что эти пропуски характерны для абсолютного большинства АП. Очевидно, что они могут возникать не только из-за неисправности аппаратуры, регистрирующей колебания уровня моря, но и в процессе передачи данных измерений по каналам связи, а также по ряду других причин.

Иногда продолжительность пропусков в рядах наблюдений АП достигает нескольких месяцев. Если допустить возможность вычисления среднего годового уровня моря в некотором пункте при отсутствии наблюдений за три месяца, можно определить, что в 2011 г. средний годовой уровень моря можно было рассчитать только для 15 пунктов, в 2012 г. и 2013 г. – для 12 пунктов.

Таблица 2

**Максимальные величины и повторяемость разностей (по абсолютной величине) ежечасных значений  
уровней моря АП–СУМ, количество случаев**

Пункт	Владивосток	Находка	Холмск	Стародубское	Поронайск	Южно-Курильск	Мало-Курильское
Период наблюдений	01.12.2009г.- 31.05.2010г.	11.11.2010г.- 30.06.2012г.	1.01-22.03, 19.04- 31.12.2010 г.	15.10- 31.12.2010г.	24.08- 31.12.2010г.	14.11- 31.12.2010г.	18.08- 31.12.2010г.
Д	4219	14330	7899	1240	2649	355	2678
и	10	2	38	403	378	303	322
а	1	1	-	122	34	197	2
п	-	-	2	31	14	107	1
з	-	-	1	17	5	67	1
о	-	-	1	1	-	43	2
н	-	-	4	4	-	30	-
р	-	-	-	2	-	2	-
а	-	-	-	1	-	-	-
з	-	-	-	1	-	-	-
н	10	10	28	62	23	41	27
о	4230	14333	7941	1823	3080	1104	3006
с							
т							
е							
й							
см							
Максимум, см	10	10	28	62	23	41	27
Число значений	4230	14333	7941	1823	3080	1104	3006

Сравним значения средних годовых величин уровня моря, вычисленных по материалам наблюдений СУМ за весь год и только для периодов времени, когда СУМ и АП работали синхронно. Даже на примере относительно стабильно работающего АП Холмск можно убедиться, что только из-за наличия пропусков в данных измерений (качество наблюдений не рассматривается) погрешности определения среднего годового уровня моря могут достигать величины 0,5 см (табл. 3).

Таблица 3

**Средние годовые и месячные значения уровня моря в Холмске, рассчитанные по наблюдениям СУМ при отсутствии пропусков (Н) и за интервалы времени синхронных измерений АП и СУМ (S), см**

Г о д	Ха- рак- те- рис- тика	Месяц												Г о д
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2009	H	51,1	48,3	44,0	44,6	50,5	55,3	58,0	59,2	56,6	57,8	48,8	61,6	53,0
	S	50,8	49,7	42,5	44,5	49,7	55,3	58,0	59,2	56,6	57,8	48,6	62,9	53,5
	N	12	19	26	29	24	30	29	31	28	31	27	26	312
2010	H	62,1	53,6	47,3	48,4	49,8	53,6	57,6	59,4	56,3	48,4	57,9	60,2	54,6
	S	62,3	53,6	46,9	48,6	50,0	53,8	56,1	58,9	56,3	48,7	57,9	60,3	54,5
	N	29	28	29	29	28	28	28	30	30	30	30	30	349
2011	H	60,4	45,8	44,7	47,6	48,8	55,5	53,9	60,0	56,0	52,1	50,4	54,3	52,5
	S	63,8	47,0	44,9	49,7	48,8	55,5	53,5	58,6	56,4	51,5	50,2	54,4	52,1
	N	5	23	26	12	31	30	22	28	27	24	29	30	287
2012	H	51,1	45,4	45,8	50,0	50,3	50,3	56,7	57,9	52,6	55,5	56,6	60,6	52,7
	S	51,7	45,3	46,3	49,9	50,4	49,9	56,7	56,9	52,6	55,5	55,8	61,2	52,7
	N	21	28	29	24	30	28	31	26	30	31	28	26	332

*Примечания: N – количество суток, в которые не было пропусков в наблюдениях АП; средние годовые уровни моря рассчитаны по средним значениям для месяцев, в которые наблюдения выполнялись не менее 20 дней; средние месячные значения уровня моря вычислялись по данным измерений за сутки, в течение которых не было пропусков в наблюдениях*



Так как уровни моря, измеренные АП и СУМ, не приводятся к единому нулю поста, абсолютные ошибки определения среднего годового уровня моря по наблюдениям АП относительно его значений, полученных по наблюдениям СУМ, в настоящее время получить невозможно. Тем не менее, погрешности расчета средних годовых уровней моря можно оценить, сравнивая межгодовые изменения разностей уровней АП–СУМ.

Для Холмска и Находки изменения разностей средних годовых уровней АП–СУМ между 2011 г. (для Холмска рассматривался период наблюдений с мая по декабрь) и 2012 г., несмотря на относительно небольшое количество пропусков в измерениях, достигают минус 1,4 см и 2,8 см соответственно (табл. 4). Очевидно, что столь значительные различия возникают из-за нелинейных трендов нулей отсчета АП, о существовании которых свидетельствуют изменения разностей уровней АП–СУМ (рис. 3). Причина этих трендов неизвестна. Скорее всего, они имеют аппаратное происхождение, так как их взаимосвязь с гидрометеорологическими факторами (приземным атмосферным давлением и плотностью морской воды) не прослеживается.

Таблица 4

***Средние значения уровня моря по наблюдениям АП и СУМ  
и разности между ними, см***

Пункт	Период наблюдений	Средний уровень моря, см		Разность, см
		АП	СУМ	
Находка	2011 г.	78,7	50,3	28,4
	2012 г.	85,6	54,4	31,2
Холмск	V–XII. 2011 г.	400,7	53,6	347,1
	2012 г.	398,4	52,7	345,7



*Рис. 3. Разности средних суточных значений уровня моря по измерениям СУМ и АП в Находке с ноября 2010 г. по декабрь 2012 г., см*

Подводя итоги, можно сделать заключение, что в настоящее время точность определения среднего годового уровня моря по наблюдениям АП службы цунами недостаточна для решения прикладных задач, например, исследования современных вертикальных движений земной коры или эвстатических колебаний уровня Мирового океана.

#### *Годовой ход уровня моря*

Годовой ход уровня моря характеризуют отклонения средних месячных значений уровня от его средней годовой величины.

Погрешности расчета средних месячных уровней моря, достигающие нескольких сантиметров, могут возникать из-за наличия пропусков в рядах измерений (табл. 3). Поэтому для сравнения годового хода уровня моря, рассчитанного по материалам наблюдений АП и СУМ, для обоих способов измерений средние месячные значения уровня

вычислялись по данным только за сутки, в которых не было пропусков в наблюдениях АП.

В целом годовой ход уровня моря по данным измерений АП и СУМ имеет близкий характер (табл. 5). Тем не менее, различия между отклонениями средних месячных значений уровня от его средней годовой величины могут быть очень значительными. Например, в Находке максимальная величина разности составляет 6,8 см (декабрь 2012 г.), в Холмске – 3,4 см (апрель 2012 г.) (табл. 5). Несомненно, что причиной столь значительных различий являются нелинейные тренды нулей отсчета АП (рис. 3).

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что в настоящее время материалы наблюдений АП службы цунами не могут использоваться для расчета годового хода уровня моря.

Таблица 5

***Отклонения средних месячных значений уровня моря  
от его средней годовой величины, см***

Данные наблюдений	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	Находка, 2011 г.											
АП	-7,4	-13,3	-13,3	-3,3	5,4	11,4	12,9	12,2	8,8	-2,0	-4,2	-7,2
СУМ	-7,2	-12,6	-12,4	-2,7	5,9	11,5	13,1	11,6	8,0	-2,6	-4,8	-7,8
	Находка, 2012 г.											
АП	-16,3	-17,6	-11,8	-10,6	-0,7	1,8	15,1	12,8	13,2	7,4	8,3	-1,6
СУМ	-13,8	-15,0	-9,5	-8,2	1,1	2,8	14,5	12,3	13,1	5,3	5,8	-8,4
	Холмск, 2012 г.											
АП	-0,6	-6,1	-5,9	-6,2	-3,5	-3,0	3,7	4,1	1,4	4,0	3,7	8,4
СУМ	-1,0	-7,3	-6,3	-2,8	-2,3	-2,8	4,0	4,2	-0,1	2,8	3,1	8,5

*Гармонические постоянные волн прилива*

Для вычисления гармонических постоянных волн прилива применялся метод Дудсона, позволяющий рассчитывать амплитуды и фазы 34-х волн. В рамках метода используются непрерывные ряды ежечасных наблюдений над уровнем моря продолжительностью 757 часов.

Для всех пунктов расчеты были выполнены по синхронным рядам наблюдений АП и СУМ, отвечающим данному требованию (табл. 6).

Гармонические постоянные волн прилива, имеющих практически значимые амплитуды, рассчитанные по наблюдениям АП и СУМ, близки между собой (табл. 6). Это позволяет сделать заключение о возможности использования данных измерений АП для расчета и уточнения приливных характеристик.

*Сгонно-нагонные колебания уровня моря*

Для формирования рядов сгонно-нагонной составляющей суммарного уровня моря, из данных наблюдений, полученных с помощью АП и СУМ, вычитались приливно-отливная составляющая, рассчитанная по гармоническим постоянным основным волнам прилива, и значение среднего уровня моря.

При этом использовались следующие принципы:

1. Для унификации полученных результатов предвычисление прилива для рядов наблюдений АП и СУМ выполнялось по одним и тем же гармоническим постоянным, в основном, рассчитанным по данным измерений СУМ.

2. Ввиду значительной изменчивости фаз волн прилива, имеющих небольшую амплитуду, для предвычисления использовались только волны, амплитуда которых составляла не менее 0,5 см.

3. В расчетах не учитывались волны  $Mm$  и  $MSf$ , имеющие месячный и полумесячный периоды, так как известно, что их амплитуды и фазы в различные месяцы существенно отличаются друг от друга в результате влияния на уровень моря метеорологических факторов.

4. Для исключения в первом приближении из исходных рядов годового хода и длиннопериодных колебаний уровня моря предвычисление прилива выполнялось для каждого месяца в отдельности относительно среднего уровня за этот месяц. При этом средние месячные уровни моря по наблюдениям АП вычислялись только по данным за сутки, в которые не было пропусков в измерениях.

Сложность решаемой проблемы затрудняет интерпретацию полученных результатов. Следует также отметить, что в рамках выполненных исследований не учитываются нелинейное взаимодействие приливной и сгонно-нагонной составляющих суммарного уровня моря и годовой ход гармонических постоянных волн прилива. Тем не менее, можно надеяться, что эти факторы не имеют существенного практического значения и не влияют на объективность сделанных выводов.

Количественные характеристики разностей сгонно-нагонных колебаний уровня моря АП–СУМ оценивались только для событий, когда максимум нагона (сгона) независимо от способа измерений по абсолютной величине превышал значение 30 см (табл. 7). При этом ежечасные значения анализировались только для интервалов времени, во время которых наблюдался устойчивый переход сгонно-нагонной составляющей уровня моря через значение  $\pm 20$  см (табл. 8).

**Разности значений гармонических постоянных волн прилива,  
рассчитанных по синхронным рядам наблюдений АП и СУМ**

Пункт	Владивосток		Холмск		Стародубское		Малокурильское	
Интервал времени	31.03 – 1.05 2010 г.		28.02 – 31.03 2010 г.		14.11 – 15.12 2010 г.		23.10 – 23.11 2010 г.	
Волна	Амплитуда см	Фаза, град	Амплитуда см	Фаза, град	Амплитуда см	Фаза, град	Амплитуда см	Фаза, град
Mm	<b>0,1</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>-3,8</b>	<b>0,1</b>	<b>-8,6</b>	<b>1,8</b>	<b>-2,1</b>
MSf	<b>0,2</b>	<b>-2,8</b>	<b>0,6</b>	<b>9,0</b>	<b>-1,3</b>	<b>-10,4</b>	<b>-2,6</b>	<b>-0,6</b>
Q <sub>1</sub>	<b>0,0</b>	<b>-3,2</b>	<b>0,1</b>	<b>-0,5</b>	<b>0,3</b>	<b>1,3</b>	<b>-0,1</b>	<b>-3,2</b>
O <sub>1</sub>	<b>-0,1</b>	<b>1,7</b>	<b>0,2</b>	<b>2,5</b>	<b>-0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>0,4</b>	<b>-1,5</b>
M <sub>1</sub>	0,0	-3,6	0,0	21,3	-0,3	3,5	0,1	-3,1
K <sub>1</sub>	<b>0,4</b>	<b>1,2</b>	<b>0,2</b>	<b>1,1</b>	<b>0,0</b>	<b>1,1</b>	<b>0,7</b>	<b>-1,4</b>
J <sub>1</sub>	0,0	-13,0	0,0	-3,9	<b>0,2</b>	<b>-8,5</b>	<b>0,0</b>	<b>13,2</b>
OO <sub>1</sub>	0,1	-5,3	0,2	-1,7	<b>0,2</b>	<b>-21,0</b>	-0,1	14,8
μ <sub>2</sub>	-0,2	-1,0	<b>-0,1</b>	<b>1,3</b>	<b>0,3</b>	<b>3,9</b>	-0,1	0,5
N <sub>2</sub>	<b>0,0</b>	<b>-3,3</b>	<b>0,0</b>	<b>2,6</b>	<b>0,2</b>	<b>20,9</b>	<b>-0,2</b>	<b>0,8</b>
M <sub>2</sub>	<b>-0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,0</b>	<b>-0,4</b>	<b>-0,3</b>	<b>3,4</b>	<b>-0,4</b>	<b>-1,9</b>
L <sub>2</sub>	0,0	-7,3	-0,2	11,8	0,1	-42,9	<b>0,1</b>	<b>-6,6</b>
S <sub>2</sub>	<b>-0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,0</b>	<b>-0,8</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>0,3</b>	<b>-1,4</b>
2SM <sub>2</sub>	0,0	-8,2	0,0	-38,0	-0,8	76,8	-0,1	-27,0
MO <sub>3</sub>	0,06	-77,9	-0,1	19,7	0,0	58,4	-0,2	63,3
M <sub>3</sub>	-0,1	66,1	0,0	-10,4	<b>-0,3</b>	<b>-8,3</b>	0,0	-4,0
MK <sub>3</sub>	0,0	-10,2	-0,2	-22,8	0,2	45,1	-0,3	-66,2
MN <sub>4</sub>	-0,1	11,8	-0,2	3,9	-0,2	-29,5	-0,1	6,4
M <sub>4</sub>	-0,1	-2,6	-0,1	4,6	-0,1	-25,0	-0,1	-6,3
SN <sub>4</sub>	0,0	-15,9	-0,1	17,5	0,0	82,9	0,0	20,8
MS <sub>4</sub>	0,0	-1,9	0,1	0,2	0,3	-41,8	-0,2	9,7
2MN <sub>6</sub>	0,1	26,6	-0,1	-28,7	-0,2	22,3	0,1	27,9
M <sub>6</sub>	-0,2	23,0	0,0	12,5	0,0	23,7	0,0	-162,1
MSN <sub>6</sub>	0,07	-14,4	0,0	-82,7	-0,1	-36,9	0,1	34,1
2MS <sub>6</sub>	-0,1	5,2	0,0	-47,4	0,2	23,3	-0,1	21,2
2SM <sub>6</sub>	0,0	-64,9	0,0	16,0	0,1	9,6	0,0	-9,3
P <sub>1</sub>	<b>0,1</b>	<b>1,2</b>	<b>0,1</b>	<b>1,1</b>	<b>0,0</b>	<b>1,1</b>	<b>0,3</b>	<b>-1,4</b>
π <sub>1</sub>	0,0	1,2	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	-1,4
ψ <sub>1</sub>	0,0	1,2	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	-1,4
φ <sub>1</sub>	0,0	1,2	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	-1,4
K <sub>2</sub>	-0,1	0,2	0,0	-0,8	<b>0,3</b>	<b>1,1</b>	<b>0,0</b>	<b>-1,4</b>
T <sub>2</sub>	0,0	0,2	0,0	-0,8	0,1	1,1	0,1	-1,4
ν <sub>2</sub>	0,0	-3,3	0,0	2,6	0,1	21,9	0,0	0,8
2N <sub>2</sub>	0,0	-6,8	0,0	5,5	0,0	40,2	0,0	3,6

*Примечание:* жирным шрифтом выделены разности гармонических постоянных волн прилива, амплитуда которых в данном пункте превышает 1 см

На первый взгляд кажется, что разности АП–СУМ сгонно-нагонной составляющей уровня моря весьма значительны (табл. 7, 8). Тем не менее, следует иметь в виду, что имеющиеся отклонения могут определяться многими причинами: погрешностями обработки лент СУМ; различием характеристик среднего уровня моря; составом волн прилива, которые используются для предвычисления приливной составляющей уровня моря, значениями их гармонических постоянных.

Графики синхронного хода сгонно-нагонной составляющей уровня моря, полученной по измерениям АП и СУМ, для большинства рассмотренных ситуаций свидетельствуют о близости полученных результатов – в основном различия находятся в пределах нескольких сантиметров (рис. 4).

В то же время, иногда (идентифицировано пять таких случаев – один в Холмске и четыре в Стародубском) разности сгонно-нагонной составляющей уровня моря АП–СУМ достигают величины в несколько десятков сантиметров. Эти аномалии представляют собой не разовые случайные выбросы, а имеют характер плавно изменяющихся отклонений продолжительностью в несколько часов. Установлено, что все они соответствуют интервалам времени, когда сомнения вызывает качество обработки лент СУМ.

Полученные результаты свидетельствуют, что наблюдения АП можно использовать для оценки характеристик сгонно-нагонных колебаний уровня моря.

*Характеристики наиболее значительных нагонов и сгонов*

Пункт	Время формирования явления	Максимальное значение по абсолютной величине, см		Разность максимальных значений, см
		АП	СУМ	
Владивосток	4–6.12.2009 г.	37	37	0
	27–30.04.2010 г.	34	32	2
Находка	10–12.11.2009 г.	34	30	4
Холмск	12–13.03.2010 г.	39	37	–2
	20–22.03.2010 г.	36	35	1
	28–30.09.2010 г.	40	36	4
	3–5.12.2010 г.	44	38	6
Стародубское	<b>24–27.10.2010 г.</b>	<b>64</b>	<b>82</b>	<b>–18</b>
	29.10–1.11.2010 г.	–29	–32	3
	<b>1–3.11.2010 г.</b>	<b>56</b>	<b>45</b>	<b>11</b>
	<b>8–11.11.2010 г.</b>	<b>62</b>	<b>76</b>	<b>–14</b>
	3–4.12.2010 г.	31	29	2
	12–14.12.2010 г.	–32	–38	6
	23–25.12.2010 г.	35	36	–1
Поронайск	<b>28–29.09.2010 г.</b>	<b>58</b>	<b>64</b>	<b>–6</b>
	18.10.2010 г.	–34	–28	–6
	24–26.10.2010 г.	31	29	2
	30–31.10.2010 г.	–29	–32	3
	14.11.2010 г.	38	46	–8
	22.11.2010 г.	33	23	10
	3–4.12.2010 г.	45	42	3
	12–14.12.2010 г.	–37	–39	2
	23–28.12.2010 г.	49 <sup>1</sup>	46	3
Южно-Курильск	3–4.12.2010 г.	38	38	0
	22–24.12.2010 г.	38	42	–4
Мало-Курильское	9–11.11.2010 г.	31	30	1
	3–4.12.2010 г.	32	30	2

*Примечание: жирным шрифтом выделены штормовые нагоны величиной более 50 см*



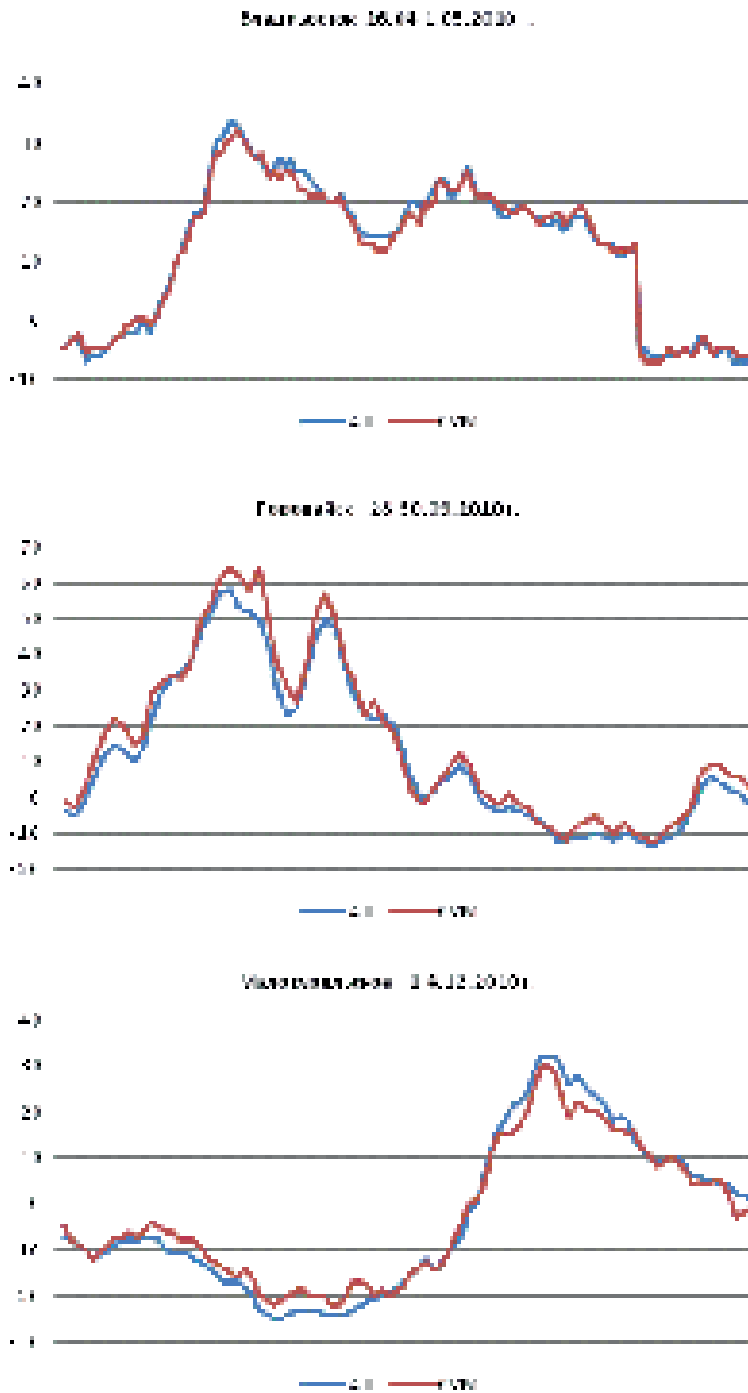


Рис. 4. Изменения сгонно-нагонной составляющей уровня моря по измерениям АП и СУМ, см

**Статистические характеристики ежечасных значений разностей сгонно-нагонной составляющей уровня моря АП–СУМ**

Пункт	N	$\bar{\Delta}$ , см	$ \bar{\Delta} $ , см	$ \Delta _{\max}$ , см	$\sigma_x$ , см
Владивосток	46	0,7	1,0	3	1,4
Находка	12	4,0	4,0	5	4,2
Холмск	84	2,9	3,0	28	5,5
Стародубское	198	2,1	6,8	42	9,8
Поронайск	148	1,4	4,1	20	5,7
Южно-Курильск	28	-1,5	4,0	9	4,8
Малокурильское	38	0,9	3,2	8	3,9

*Примечание:* N – длина ряда,  $\bar{\Delta}$  – среднее значение,  $|\bar{\Delta}|$  – среднее значение по абсолютной величине,  $|\Delta|_{\max}$  – максимум по абсолютной величине,  $\sigma_x$  – среднее квадратическое отклонение

### Выводы

Выполненные исследования позволяют сделать вывод, что в настоящее время АП сети Российской службы предупреждения о цунами, успешно решая задачу регистрации цунами в прибрежной зоне моря, не обеспечивают высокое качество наблюдений над уровнем моря, необходимое для получения режимной информации, востребованной руководящими органами, проектными, изыскательскими и строительными организациями.

В основном это связано с отсутствием высотной привязки нулей постов и регулярного контроля над их положением. Для всех пунктов характерны нелинейные изменения отсчетного уровня. Устройства АП часто работают нестабильно, что приводит к большим перерывам в наблюдениях и/или получению материалов измерений низкого качества. Отмеченные причины не позволяют получить надежные оценки годового хода и средние годовые значения уровня моря.

Материалы наблюдений АП могут использоваться для расчета гармонических постоянных волн прилива и характеристик стонно-нагонных колебаний уровня моря. Поэтому размещение АП в слабо изученных районах дальневосточных морей (западное побережье Камчатки, Шантарские острова, залив Шелихова, Пенжинская губа) имело бы большое научное и практическое значение.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Волков Ю.Н., Манько А.Н., Ивельская Т.Н., Диденко М.Г., Каптюг М.Г. Создание современной системы предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России // Труды ДВНИГМИ - Юбилейный вып. ДВНИГМИ - 60 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2010. - С. 301 - 310. - ISBN 978-5-8044-1164-1.

2 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 // См. настоящий сборник.

3 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам // Вып. 9, ч. 1. Гидрологические наблюдения на береговых станциях и постах. - Л.: Гидрометеоздат, 1984. - 311 с.

4 Матушевский Г.В., Привальский В.Е. Фильтрация временных рядов в гидрометеорологии // Океанология, 1968, т. 8, вып. 3. - С. 502 - 513.

## **ОБ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ПРОГНОЗОВ СУММАРНЫХ УРОВНЕЙ ПРИЛИВНОГО МОРЯ**

### **Введение**

Действующее наставление по службе морских гидрологических прогнозов 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 (пункт 7.1.3.8 [3]).

Представляется, что данное положение, справедливое для неприливных морей (в частности, Каспийского моря [1]), нельзя использовать для оценки качества прогноза суммарных уровней приливных морей, например, омывающих побережье Дальнего Востока России, так как в интервал времени, соответствующий максимальной заблаговременности краткосрочного прогноза (72 часа), формируется несколько приливных циклов (рис. 1). Это приводит к искажению оценок качества рассчитанных прогнозов. Например, для ситуации, представленной на рис. 1, разности между прогнозируемыми и фактическими значениями уровня моря при заблаговременности 12, 24, 36, 48 часов составляют  $-2$ ,  $4$ ,  $-4$ ,  $3$  см, что свидетельствует о высокой точности прогноза. Ошибки инерционного прогноза при указанной заблаговременности соответственно равны  $70$ ,  $-3$ ,  $82$ ,  $2$  см. В результате при заблаговременности прогноза 12 и 36 часов точность методического прогноза значительно выше, чем инерционного прогноза, а для заблаговременности 24 и 48 часов инерционный прогноз имеет более высокое качество, чем методический.

Сделанный вывод подтверждается оценками оправдываемости рассчитанных прогнозов (предположим, что прогноз оправдался, если разность между прогнозируемым и наблюдавшимся значениями уровня моря не превышает по абсолютной величине 20 см). Оправдываемость методических прогнозов имеет близкую величину при различной заблаговременности, инерционных прогнозов – волнообразно изменяется (табл. 1).

Приведенные примеры свидетельствуют о необходимости применения для оценки качества прогнозов суммарных уровней приливных морей методов, не предусмотренных руководящими документами Росгидромета [3, 4].

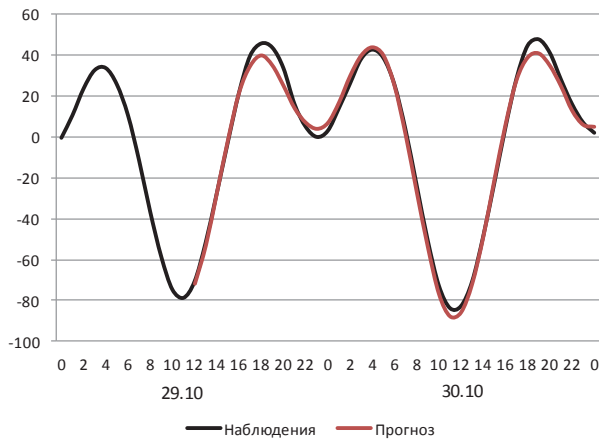


Рис. 1. Изменения уровня моря в Петропавловске-Камчатском с 0 час ВСВ 29 октября до 0 час ВСВ 31 октября 2010 г.

Таблица 1

**Оправдываемость методических и инерционных прогнозов суммарного уровня моря в Петропавловске-Камчатском в ноябре 2010 г. (%)**

Метод прогноза	Заблаговременность, час			
	12	24	36	48
Методический	91,8	91,7	93,9	95,8
Инерционный	2,0	72,9	2,0	54,2

**Исходные данные**

Исследования выполнены на основе данных, полученных при оперативных испытаниях метода краткосрочного (с заблаговременностью 48 часов) прогноза суммарных уровней Охотского моря и прилегающих к нему районов. Прогноз выпускается два раза в сутки в сроки 00 и 12 часов ВСВ. Используется принцип суперпозиции непериодической (рассчитывается с помощью численной гидродинамической модели), приливной (предвычисляется по гармоническим постоянным основным волн прилива в береговых пунктах) и фоновой (учитывается средний за многолетний период годовой ход уровня) составляющих суммарного уровня моря [2].

Так как целью настоящей статьи является не формирование заключения о надежности испытываемого метода прогноза, а формулирование универсальных методических принципов оценки качества работы аналогичных методов прогноза суммарных уровней моря, полученные результаты достаточно проиллюстрировать на примере только трех пунктов, наблюдения над уровнем моря в которых выполнялись с помощью различных технологий (табл. 2).

*Таблица 2****Сведения о материалах наблюдений над уровнем моря, использованных для оценки качества работы метода прогноза***

Пункт	Период наблюдений	Технология наблюдений	Дискретность наблюдений, час
б. Нагаева	1.01–31.12.2013 г.	Самописец уровня моря	1
Аян	1.07–30.09.2013 г.	Водомерные рейки	6
Советская Гавань	30.01–31.12.2013 г.	Автоматизированный пост службы цунами	1

## Результаты и обсуждение

Методы прогноза уровня моря в пунктах, расположенных на побережье приливных морей, можно интерпретировать как уточнение характеристик заранее предвычисленного прилива с помощью прогноза непериодической и фоновой (средней) составляющих суммарного уровня моря [2, 5, 6]. Метод прогноза можно считать успешным, если точность прогнозов суммарного уровня моря при учете всех его составляющих будет выше, чем обеспечивается только предвычислением прилива. Поэтому очевидно, что более объективную оценку качества метода прогноза можно получить, сравнивая прогнозируемые значения уровня моря не с инерционными прогнозами, а с предвычисленным приливом.

Количественные характеристики точности метода прогноза можно рассчитать в соответствии с действующими нормативными документами Росгидромета [3, 4]:

- 1) средняя абсолютная ошибка прогноза  $\delta$  ;
- 2) средняя квадратическая ошибка прогноза  $S$  ;
- 3) средняя арифметическая (систематическая) ошибка прогноза  $\hat{\delta}$  ;
- 4) среднее квадратическое отклонение ошибки прогноза (стандартная ошибка)  $\hat{\sigma}$  ;
- 5) критерий качества метода прогноза  $S/\sigma_x$ , где  $\sigma_x$  – среднее квадратическое отклонение значений суммарного уровня моря от его средней величины, рассчитанное по данным наблюдений.

В соответствии с действующими правилами, метод краткосрочного прогноза может применяться в оперативной практике

только при  $S/\sigma_x \leq 0,67$  для  $N > 25$  ( $N$  – количество выпущенных прогнозов) [3].

Для оценки качества методов прогнозов, кроме рассмотренных критериев, часто вычисляются также средняя относительная ошибка прогноза и корреляция тенденций – коэффициент корреляции между прогностическими и фактическими изменениями прогнозируемой характеристики [4]. Представляется, что данные параметры, в силу рассмотренных ранее причин, для методов прогноза суммарного уровня приливного моря рассчитывать не следует.

Для оценки оправдываемости прогнозов обычно используется значение допустимой ошибки [3]

$$\delta_{\text{доп}} = \pm 0,674\sigma_x \quad (1)$$

Прогноз считается оправдавшимся, если его ошибка была меньше или равна допустимой ошибки  $\delta_{\text{доп}}$ .

Общая обеспеченность метода  $P$  вычисляется в процентах в виде отношения количества оправдавшихся и рассчитанных прогнозов.

Объективность перечисленных критериев, традиционно применяемых для оценки точности гидрометеорологических прогнозов, не вызывает сомнений. Тем не менее, при оценке качества прогнозов суммарного уровня моря может возникнуть проблема выбора значения  $\delta_{\text{доп}}$ . Это связано с тем, что для пунктов с большими приливами (например, б. Нагаева, Аян и Оссора) значение  $0,674\sigma_x$  имеет очень большую величину (табл. 3). 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 имеет субъективный характер (в частности, в настоящей работе в первом приближении величина допустимой ошибки принималась равной не более 20 см) (табл. 3).

С другой стороны, чрезмерно жесткими представляются значения критерия  $\delta_{доп}$ , рассчитанные по формуле (1), для пунктов с небольшой величиной приливов (Холмск и Невельск) (табл. 3). Возможно, данные значения также следует корректировать, основываясь на требованиях организаций, использующих прогнозы уровня моря.

Таблица 3

**Статистические характеристики для оценки качества метода прогноза суммарных уровней моря, рассчитанные по данным исторических наблюдений**

Пункт	$\sigma_x$ , см	$0,674 \sigma_x$ , см	$\delta_{доп}$ , см
Аян	87,9	59,2	20
Советская Гавань	18,9	12,7	12
Петропавловск-Камчатский	44,2	29,8	20
Оссора	54,2	36,5	20
б. Нагаева	102,6	69,2	20
Малокурильское	31,6	21,3	20
Курильск	27,3	18,4	18
Холмск	11,9	8,0	8
Невельск	12,4	8,4	8
Корсаков	27,5	18,5	18
Стародубское	30,2	20,4	20

Статистические оценки качества прогнозов суммарных уровней моря за весь период наблюдений (табл. 4) свидетельствуют, что для Советской Гавани и Аяна методические прогнозы имеют более высокую точность по сравнению с предвычисленным приливом, обеспеченность метода для этих пунктов существенно превышает пороговое значение 68 % [3] (табл. 4).

Для б. Нагаева качество методических прогнозов несколько хуже, чем обеспечивает предвычисление прилива (табл. 4). На первый взгляд это свидетельствует о неудовлетворительной работе метода прогноза. Тем не менее, очевидно, что проблема заключается в том, что обычно величина непериодической (сгонно-нагонной) составляющей суммарного уровня моря не превышает нескольких сантиметров. В этих ситуациях даже относительно малые, не имеющие практического значения, погрешности методического прогноза ухудшают характеристики качества прогнозов по сравнению с предвычисленным приливом. Напомним, что в соответствии с наставлением по службе морских гидрологических прогнозов, «прогнозы уровня воды с ошибкой 5 см и меньше считаются отличными независимо от допустимой ошибки» [3].

Подобная проблема возникает, например, при прогнозе ветрового волнения небольшой высоты. Поэтому оправдавшимися считаются прогнозы высоты ветрового волнения до 0,25 м в бухтах, небольших заливах, портах при любой действительной высоте волн от 0 до 0,25 м [3].

Более объективные выводы о качестве метода прогноза суммарных уровней приливного моря можно сделать, оценивая точность прогнозов для представляющих наибольший практический интерес сгонно-нагонных явлений, вызывающих затопление береговых объектов или лимитирующих судоходство (в частности, данный подход реализован в работе [1]).

Статистические характеристики качества прогнозов были рассчитаны только для периодов времени, во время которых возникали нагоны и сгоны, максимальная величина которых превышала 40 см (в б. Нагаева идентифицированы шесть таких нагонов и один сгон, в Аяне

– три нагона, в Советской Гавани – два нагона). Продолжительность нагона (сгона) определялась как интервал времени, во время которого наблюдался устойчивый переход неперiodической (сгонно-нагонной) составляющей суммарного уровня моря через отметку 20 см по абсолютной величине.

Таблица 4

**Характеристики качества прогноза за весь период наблюдений**

Пункт	N	$\hat{\delta}$ , см		$\delta$ , см		S, см		$\hat{\sigma}$ , см		S / $\sigma_x$		P, %	
		М	ПП	М	ПП	М	ПП	М	ПП	М	ПП	М	ПП
б. Нагаева	2440	-1,7	-0,2	16,0	15,3	19,8	18,9	19,7	18,9	0,21	0,20	67,4	70,9
Аян	384	3,7	-2,6	11,5	11,7	14,8	14,9	14,3	14,7	0,19	0,20	83,9	82,3
Советская Гавань	2139	0,0	0,2	6,7	9,5	8,7	12,0	8,7	12,0	0,46	0,64	88,9	73,2

*Примечание: качество прогнозов оценивалось для сроков 00 и 12 час ВСВ, независимо от заблаговременности, N – число случаев, М – методические прогнозы, ПП – предвычисленный прилив*

Для ситуаций со сгонно-нагонными явлениями качество методических прогнозов для всех пунктов значительно выше по сравнению с предвычислением прилива (табл. 5), что свидетельствует об эффективности разработанного метода прогноза.

Тем не менее, обращает на себя внимание относительно низкая общая обеспеченность метода прогноза для б. Нагаева и Советской Гавани (табл. 5). Основной причиной этого является отмеченная ранее условность выбора значения критерия  $\delta_{дон}$ .

Как указывалось ранее, выбранная формально величина  $\delta_{дон}$  для б. Нагаева принималась равной 20 см. При значении допустимой ошибки 25 см, общая обеспеченность метода составит 72,8 процента, что соответствует установленным требованиям [3].

Величина  $0,674\sigma_x$  для Советской Гавани равна 12,7 см. Если округлить это значение по общепринятым правилам,  $\delta_{дон}$  составит 13 см (оценки, приводимые в табл. 5, рассчитывались при допустимой ошибке, равной 12 см). Общая обеспеченность метода при этом достигнет 65,5 процента и будет близка к пороговому значению.

Значительные величины критерия  $S/\sigma_x$ , полученные для Советской Гавани (табл. 5), могут быть следствием недостаточно большой длины рядов, используемых для оценки качества метода прогноза.

Таблица 5

**Характеристики качества прогноза для периодов времени  
со сгонно-нагонными явлениями**

Пункт	N	$\hat{\delta}$ , см		$\delta$ , см		S, см		$\hat{\sigma}$ , см		S/ $\sigma_x$		P, %	
		М	ПП	М	ПП	М	ПП	М	ПП	М	ПП	М	ПП
б. Нагаева	217	-6,6	-23,6	17,2	30,8	22,4	35,3	21,3	26,2	0,23	0,36	64,1	32,7
Аян	42	10,2	-28,0	15,7	28,1	22,6	31,7	20,1	14,0	0,34	0,47	71,4	21,4
Советская Гавань	29	-11,9	-24,3	12,8	24,3	18,1	25,0	13,4	3,9	0,96	1,32	62,1	0,0

*Примечание:* качество прогнозов оценивалось для сроков 00, 06, 12 и 18 час ВСВ, независимо от заблаговременности, N – число случаев, М – методические прогнозы, ПП – предвычисленный прилив

## **Выводы**

В результате выполненных исследований можно сделать вывод, что оценка качества краткосрочных прогнозов суммарных уровней приливного моря не может основываться на сравнении результатов методических и инерционных прогнозов, как предписывается действующими руководящими документами Росгидромета [3]. В рамках данной оценки методические прогнозы должны сравниваться с предвычисленным приливом.

Для получения объективного заключения о возможности использования метода прогноза в оперативной работе такое сравнение должно выполняться для интервалов времени, в которые наблюдались сгонно-нагонные явления.

Дополнительным критерием оценки качества метода прогноза может являться оценка успешности штормовых предупреждений, составленных на основе рассчитанных прогнозов.

Некоторая полезная информация может быть получена также с помощью сравнения прогнозируемых и фактических значений уровня моря за весь период времени. Например, статистические характеристики, приводимые в табл. 4, свидетельствуют о необходимости повышения точности предвычисления прилива в б. Нагаева.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1 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 // Результаты испытания новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических прогнозов. Информационный сборник № 29. - СПб.: Гидрометеоиздат, 2002. - С. 76 - 89.

2 Любицкий Ю.В. Метод краткосрочного прогноза уровня моря на побережье Охотского моря и прилегающих к нему районов // Физика геосфер.

Восьмой Всероссийский симпозиум. 2 - 6 сентября 2013 г. Материалы докладов. - Владивосток: Дальнаука, 2013. - С. 156 - 159.

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

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

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

6 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.

**РОЛЬ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В  
КИНЕМАТИКЕ ПРИЛИВНЫХ ТЕЧЕНИЙ ОБУСЛОВЛЕННЫЕ  
СУТОЧНЫМИ ВОЛНАМИ НА ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ  
ОСТРОВА САХАЛИН**

**Введение**

Значительные скорости течений вдоль береговой полосы шельфовой зоны о. Сахалин объясняются существованием здесь шельфовых волн, которые при незначительных колебаниях уровня моря образуются в результате дифракции крупномасштабных приливных суточных волн (волн Кельвина<sup>1</sup>) на шельфе о. Сахалин [2, 3, 4, 5, 12, 17]. Приливные колебания в Охотском море с суточным периодом имеют индуцированный характер, поскольку они формируются под воздействием суточного прилива, распространяющегося в Охотском море со стороны Тихого океана.

В работе [16] для северо-восточного участка шельфовой зоны о. Сахалин с целью изучения особенностей пространственной изменчивости гармонических постоянных приливных течений были построены отдельные карты распределения амплитуд и фаз, рассчитанных в векторной форме для суточных гармоник приливных волн по индивидуальным данным буровых установок и буйковых станций. При этом была выявлена некоторая тенденция зависимости распределения гармонических постоянных приливных течений

---

<sup>1</sup> Волна Кельвина - прогрессивная приливная волна, в поле силы Кориолиса имеющая поперечные перекосы, уравнивающие силу Кориолиса и пропорциональные продольной скорости течения. Переменные поперечные перекосы обусловлены только продольными колебаниями. А.В. Некрасов стр. 101, [6].

суточных волн от физико-географических условий исследуемой акватории шельфа и очертания береговой линии о. Сахалин. Расчёты гармонических постоянных в приведённой выше работе и обобщения их результатов выполнялись в рамках имеющейся информации, которая имела существенную пространственную неоднородность. Что позволяло говорить о связанности характера волновых проливных процессов с физико-географическими факторами шельфовой зоны о. Сахалин лишь в первом приближении.

Режимные характеристики приливных течений обычно определяются по кинематическим параметрам приливных эллипсов рассчитанны на материалах экологического мониторинга, например: [2, 4, 5, 10, 11, 14, 15, 18, 19, 20] или полученных в рамках гидродинамической модели [17].

В настоящее время накоплен определённый уровень полевого материала, который требует дальнейшей систематизации, анализа и обобщения. Это можно осуществить, если использовать полученные данные для построения приливной карты отображающей картину приливных явлений отдельно взятого бассейна или его участка. Пространственное распределение амплитуд и фаз отдельной приливной гармоника, формирующей приливные колебания уровня и течений, изображаются с помощью изолиний этих величин соответственно изоамплитудами и котидальными линиями.

Приливные карты, представляющие собой совмещённые друг с другом системы изоамплитуд и изофаз (котидалей), и отображающие приливные колебания уровня в различных бассейнах Мирового океана построенные как эмпирическим, так и теоретическим путём, хорошо известны. Приливные карты позволяют проанализировать процесс колебаний в данном районе, выявить ряд характерных волновых



свойств, особенности их взаимодействия и условия формирования приливных движений. В тоже время приливные карты для приливных течений подобные приливным картам уровня практически отсутствуют.

Ставилась задача апробировать построение приливных карт для случая приливных течений ограниченного участка акватории Охотского моря для шельфовой зоны о. Сахалин основных приливных волн с суточной частотой, но уже несколько на ином методическом подходе, что позволит с большей степенью уверенности говорить о влиянии физико-географических факторах на кинематику приливных волн.

### **Исходные данные**

Материалы, методика обработки исходной информации, критконтроль качества исходных данных и результатов расчётов, систематизация и анализ полученных сведений достаточно подробно изложены в [16]. Тем не менее, на этих вопросах необходимо хотя бы коротко остановиться, поскольку они являются важными.

Выборка исходной информации производилась из базы океанографических данных “Hmd Ocean StationUP”. Освещённость исследуемой акватории шельфа наблюдениями весьма неоднородна. Полевые работы проводились преимущественно в летнее время, качество исходных временных рядов течений удовлетворительное, самым освещённым является август месяц. При принятых условиях выборки: месяц – август, горизонт –  $10 \pm 5$  метров непосредственно для анализа было использовано 46 станций.

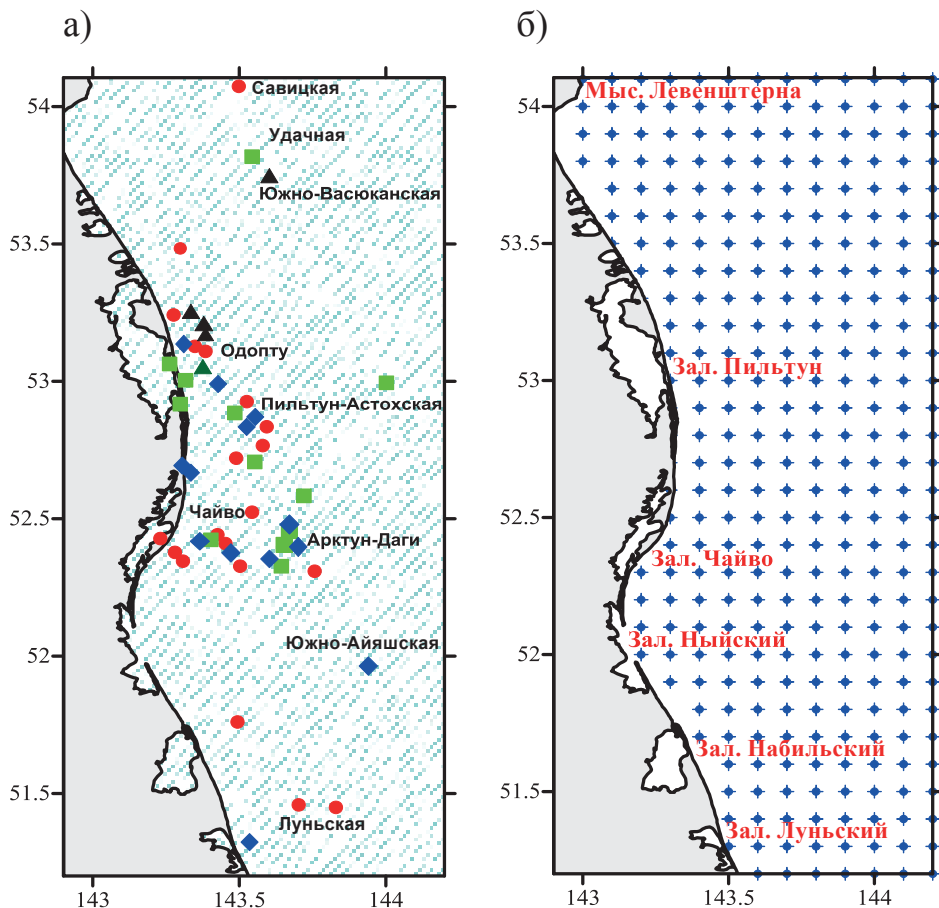


Рис. 1. Схема расположения станций с различной продолжительностью (а). ▲ - станции 7-9 суток, ● - станции 10-30 суток, ◆ - станции 30-60 суток, ■ - станции более 60 суток. Сеточная область района (б).

На рис. 1"а" показано пространственное распределение станций для августа. Из рисунка видно, что распределение станций на исследуемой акватории весьма неравномерное. Продолжительность измерений характеристик суммарных течений также неоднородна от 7-9 суток до двух – трёх месяцев. Имеется одна станция с продолжительностью до 109 суток, расположенная в районе Пильтун-Астохской площади.

Исходные ряды измеренных характеристик суммарных течений с целью гармонического анализа раскладывались на два временных ряда - составляющие на параллель и меридиан. Метод гармонического анализа основывается на представлении исходного ряда в виде суммы гармонических колебаний с определёнными частотами, обусловленными планетарными условиями (взаимными положениями основных планет Солнечной системы Земли, Луны и Солнца).

Расчёты гармонических постоянных отдельных приливных волн производились с использованием программного комплекса “LRFD” основанному на методе гармонического анализа “МНК” (метод наименьших квадратов). Метод позволяет рассчитывать гармоники по временным рядам любой продолжительности, а их совокупность (число волн) определяется только длиной ряда [8, 16]. Подбор оптимального набора (пакета) волн при расчётах, которые отражают основные особенности приливного режима исследуемой акватории, с учётом дискретности временных рядов и опыт работы по программе LRFD описаны в работе [16].

Но поскольку, исходная информация имеет существенную пространственную неоднородность, методическая основа её обработки и систематизации заключалась в следующем.

Исследуемая акватория шельфовой зоны была представлена в виде сеточной области с размерами ячеек  $0.1^\circ$  как по широте, так и по долготе (рис. 1"б"). Сеточная область была выбрана таким образом, чтобы она охватывала исследуемую акваторию освещённой необходимой информацией от мыса Левенштерна до залива Луньский. С востока акватория шельфовых вод ограничивалась меридианом  $144.2^\circ$  в.д. и охватывала основную часть шельфа с глубинами до 200м.

В дальнейшем, исходная информация составлялась в виде набора самостоятельных карт гармонических постоянных амплитуды и фазы составляющих течений на меридиан и параллель для основных волн прилива. Построенные таким образом карты, как правило, отражали определенную выраженную закономерность пространственного распределения гармоник, которую в условиях неоднородности исходных данных можно использовать для интерпретации (интерполяции) исследуемых участков акватории моря слабо освещенной исходной информацией.

Значения гармонических постоянных составляющих приливных течений на меридиан и параллель снятые для каждого узла сеточной области, затем с помощью формул Ведемейера [1] преобразовывались в векторную форму.

Основными элементами гармонических постоянных в векторном виде являются, амплитуда (величина большой полуоси эллипса) или значение максимальной скорости приливного течения и фаза момент (время) наступления максимальной скорости. Кроме того, приливной эллипс ориентирован в пространстве относительно географической системы координат и характеризуется направлением вектора максимальной скорости ( $V_{max}$ ). Важными кинематическими характеристиками приливных течений являются коэффициент реверсивности (полноты) приливного эллипса (отношение малой полуоси эллипса к его большой полуоси) и направление вращения вектора скорости приливного течения или его поляризация.

Кроме гармонического анализа использовался также и структурный анализ - карты приливных течений построенные для основных гармоник суточной приливной волны: K1, O1, Q1 и P1, а также для трёх полусуточных волн M2, S2 и N2. Приливные карты

анализировались с позиций оценки структуры приливных движений, выяснения природы волновых колебаний, оценки кинематических характеристик приливного процесса вызванного как отдельными гармониками, так и их совокупностью. Структурный анализ приливных карт позволяет рассматривать прилив как волновой процесс.

### **Результаты и обсуждение**

Обычно при теоретических рассуждениях восточный шельф о. Сахалин рассматривается в качестве прямоугольного канала вытянутого в меридиональном направлении [12]. Однако в реальности это далеко не так. В тоже время хорошо известно, что в морях и океанах в формировании кинематических и динамических особенностей приливных волн существенную роль играют физико-географические условия. По этой причине важно остановиться на анализе и характеристике физико-географических условий восточного шельфа о. Сахалин, характерные признаки которых позволили подразделить исследуемую акваторию на три локальных района.

Северный участок акватории сформирован полуостровом Шмидта с мысом Левенштерна и его достаточно резким изгибом береговой линии в юго-западном направлении. Южнее Охинского перешейка береговая линия с множеством небольших заливов Кольду, Уркт и Одопту до вершины залива Пильтун ориентирована в юго - юго-восточном направлении. В водах шельфовой зоны изобаты с отметками 50 и 100 м на выделенном участке акватории соответственно расположены на расстоянии порядка 12 и 35 км от береговой линии, и параллельны ей.

Центральный участок акватории от залива Одопту до залива Набильский характеризуется наибольшей шириной шельфовой области,

сформированной изобатами 50 и 100 м, которая достигает здесь соответственно 43 и 80 км, т.е. ширина шельфовой зоны центрального участка почти в 3 раза превышает северный. Вместе с изгибом береговой линии в районе между заливами Чайво и Набильский и изобатами 50, 100 м шельфовая область по своей форме напоминает «веретено» с уменьшением к северу и югу ширины шельфа.

Третий локальный район расположен южнее залива Набильский. Данный район характеризуется береговой линией ориентированной на юго-юго-восток, сгущением изобат и уменьшением ширины шельфа, относительно 100 метровой изобаты, в районе Кириной площади до 24 км.

Также следует иметь в виду, что материковый склон имеет различные углы наклона и различного рода изгибы и выступы, которые в итоге формируют её волнообразную поверхность. Так, например, следует обратить внимание на подводную банку с минимальными глубинами до 54м., которая расположена у внешней кромки шельфа на траверзе зал. Пильтун ( $53^{\circ}$  с.ш.), где материковый склон образует выступ. В свою очередь на широте зал. Луньский ( $51^{\circ}$  с.ш.) материковый склон образует изгиб, который может представлять собой своего рода ловушку для приливных волн, распространяющихся со стороны открытых районов Охотского моря.

На рисунках 2, 3, 4, 5 представлены приливные карты течений суточных гармоник  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $Q_1$ , и  $P_1$ , представляющие собой совмещённые друг с другом системы распределения изофаз, изоамплитуд, векторные поля максимального приливного течения ( $V_{max}$ ), распределение коэффициента реверсивности приливного течения и его направление вращения.

Прежде всего, необходимо отметить, что построенные нами карты приливных течений суточных приливных волн имеют общие структурные особенности.

Влияние рельефа дна, береговой линии, придонного и бокового трения, различные углы подхода приливных волн к бровке шельфа, которая является не прямолинейной, явления дифракции<sup>2</sup> и рефракции<sup>3</sup> приводит к тому, что векторные поля  $V_{\max}$ , поля распределения фаз и амплитуд приливных течений не являются однородными, и испытывают определённую степень завихрённости или нелинейности. Прежде всего, необходимо отметить, что структурные особенности полей отдельных элементов приливных карт, таких как: пространственное распределение фазы, амплитуды и вектора  $V_{\max}$  отражают особенности береговой черты о. Сахалин, её изгибы, и естественно исследуемую акваторию следует разделить на три района. Первый район (северный): зал. Одопту – мыс Левенштерна, второй район (центральный): зал. Одопту – зал. Набильский и третий южный район: зал. Набильский – зал. Луньский.

В 1-м районе в северном направлении отмечается достаточно резкое сгущение изофаз до  $150^\circ$  и область со сравнительно их однородным распределением вдоль  $53.5^\circ$  с.ш. Подобная картина пространственного распределения изофаз характерна для системы стоячих колебаний. Амплитуды суточных волн достигают более 40 - 45 см/с соответственно для гармоник  $K_1$  и  $O_1$  и 11 см/с для волны  $Q_1$ . Максимальные значения скоростей течений приурочены к нефтегазоносным площадям Савицкая и Удачная.

---

<sup>2</sup> Если лежащая на пути распространения приливной волны линия берега имеет неоднородности типа излома, изгиба, бухты, устья, мыса, мола и т.д., то приливная волна огибает эти неоднородности, т.е. имеет место **дифракции** волн на препятствиях /стр. 117, Некрасов А.В.[6]/.

<sup>3</sup> Явление **рефракции** всегда приводит к отклонению проходящей волны в сторону меньших глубин /стр. 81, [6]/.

Для 2-го (центрального) района зал. Одопту - зал. Набильский в распределении фаз К1 и О1 отмечается пространственная равномерность отстоящих друг от друга изофаз, что свидетельствует о присутствии здесь прогрессивной составляющей приливной волны. Характер пространственной ориентации изофаз показывает, что обе волны распространяются на юго-восток, а не вдоль берега на юг, что характерно для чисто шельфовой волны. Видимая фазовая скорость для волны К1 составляет порядка 10-15 км/ч, для волны О1 – 6-8 км/ч. Амплитуды максимальных скоростей суточной волны К1 достигают 40-45 см/с и их область расположена в прибрежных водах, которая примыкает к побережью зал. Пильтун и Чайво. Положение областей с максимальными скоростями на исследуемой акватории для разных волн неодинаково. Зона с наибольшими амплитудами приливной волны К1 расположена порядка в 20-25 км от побережья (рис. 2"а"), волны О1 в 25-30 км со значениями амплитуд до 35-40 см/с (рис.3"а") и волны Q1 в 30-35 км со скоростями 7- 9 см/с (рис. 4"а").

В самом южном районе акватории к югу от зал. Набильский область с максимальными амплитудами суточных приливных волн приурочена к заливам Набильский и Луньский до 35-40 см/с. Здесь же, что характерно для волн К1 и О1, на небольшом участке шельфа наблюдаются достаточно резкие изменения значений изофаз до 180° и более. При этом зона с наибольшими фазовыми градиентами примыкает непосредственно к побережью залива Луньский. Область сгущения и разряжения изофаз на данном довольно незначительном участке шельфа свидетельствует о сложной системе взаимодействия приливных волн с формированием здесь преимущественно стоячих колебаний за счёт интерференции подающей и отраженных волн от береговой черты и внешней кромки шельфа, которая в данном районе наиболее близко



подходит к береговой линии острова. Зона с максимальными значениями скоростей приливных течений достигают здесь 40-45 см/с, и расположена она непосредственно в прибрежных водах, омывающих побережье залива Набильский и залива Луньский. Область с максимальными скоростями течений приурочена к узловой зоне системы стоячих колебаний, которая прослеживается на исследуемом участке шельфа по сгущению изофаз. Максимальные значения амплитуд для волн K1, O1 и Q1 соответственно 51, 45 и 11 см/с.

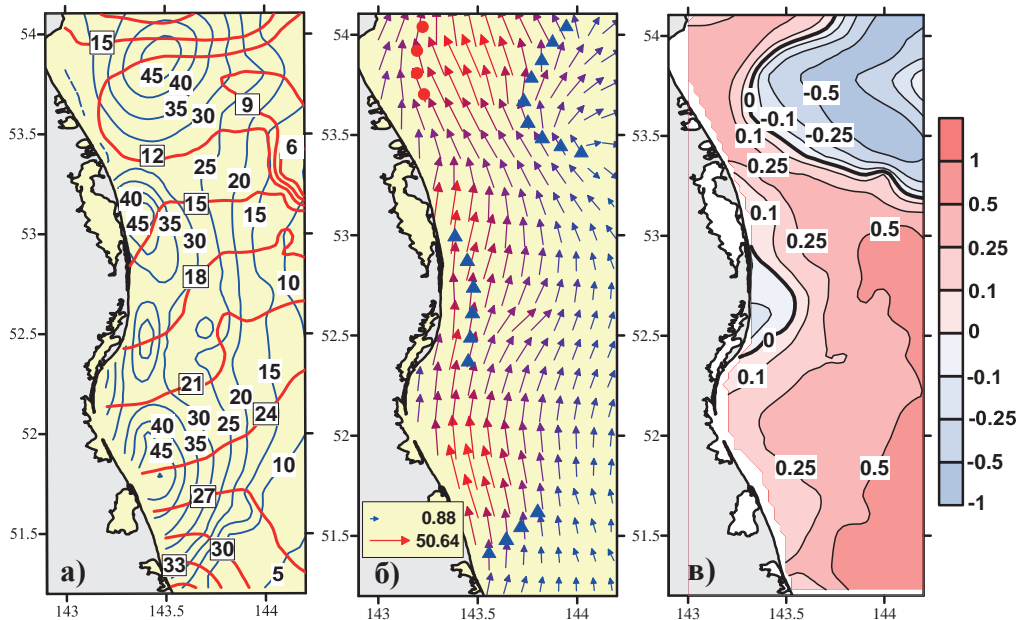


Рис. 2. Приливная карта течений суточной волны K1 (Лунно - Солнечная деклинационная). (а). Распределение изофаз в часах ( — ) и изоамплитуд в см/с ( — ). (б). Векторное поле  $V_{max}$ : ● - зона конвергенции и ▲ - зона дивергенции, на врезке  $tip$  и  $тах$  значения  $V_{max}$ . (в). Распределение коэффициента реверсивности приливного эллипса и его полярность. полярность "+" положительная - вращение вектора по часовой стрелке, полярность "-" отрицательная - вращение против часовой стрелки. значение коэффициента:  $\pm 0$  - 0,1  $\approx$  течения реверсивные,  $\pm 0,1$  - 0,25  $\approx$  течения полуреверсивные,  $\pm 0,25$  - 0,5  $\approx$  полукруговое движение,  $\pm 0,5$  - 1,0  $\approx$  круговое движение.

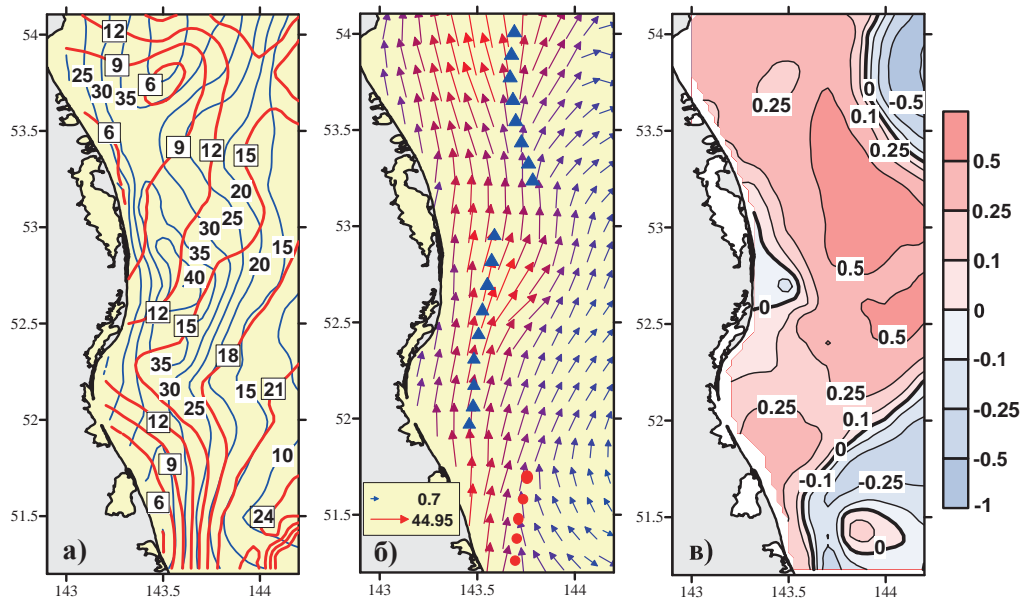


Рис. 3. Приливная карта течений суточной волны  $Q1$  (Лунная главная), обозначения смотрите на рис. 2.

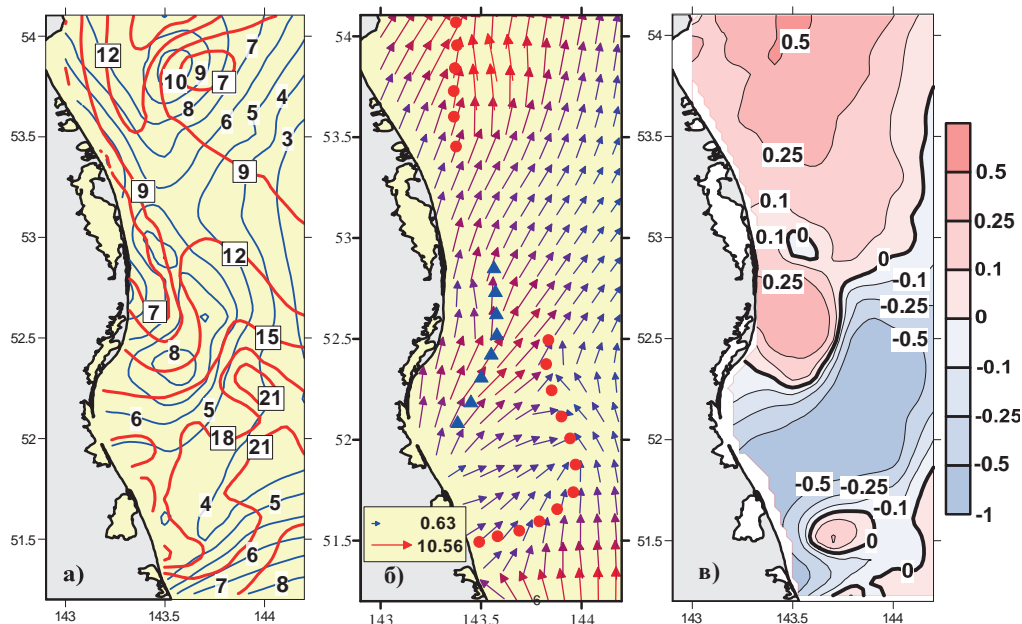


Рис. 4. Приливная карта течений суточной волны  $Q1$  (Лунная большая эллиптическая), обозначения смотрите на рис. 2.

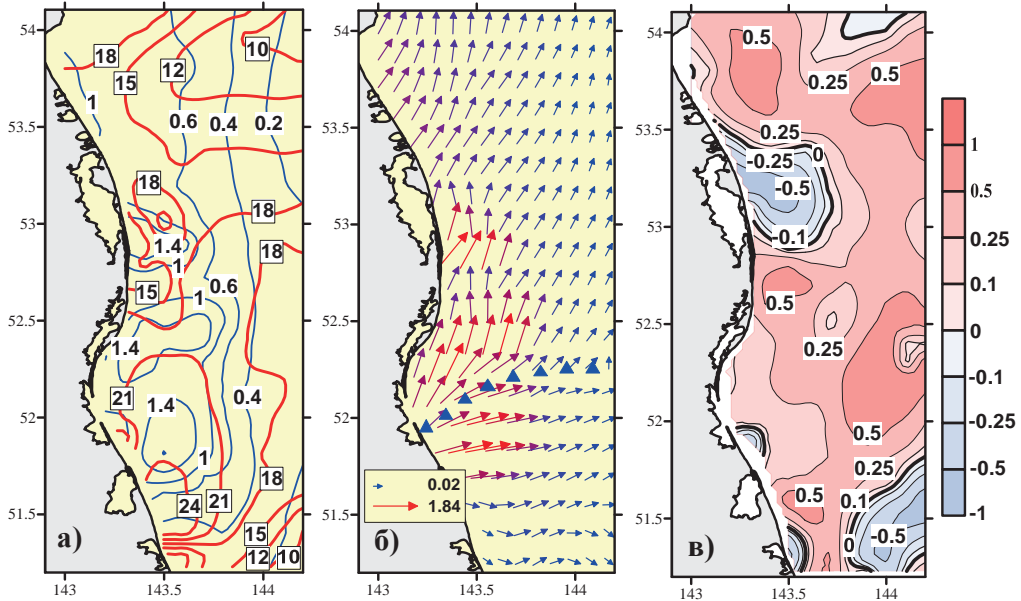


Рис. 5. Приливная карта течений суточной волны P1 (Солнечная главная), обозначения смотрите на рис. 2.

В пространственном распределении фаз приливных течений Главной Солнечной волны P1 прослеживается своя индивидуальная особенность, которая проявляется в том, что фазы волны на исследуемой акватории шельфа в целом увеличиваются в направлении к прибрежной зоне острова, т.е. волна распространяется к побережью острова из открытых районов Охотского моря, значения их скоростей не превышает 1.0 см/с. Область акватории со значениями амплитуд приливных течений гармоника P1 более 1.0 см/с приурочена к прибрежным водам омывающим берега заливов Пильтун, Чайво и залив Ныйский, здесь значения скоростей течений увеличиваются до 1.5 - 1.6 см/с, Зона с максимальными скоростями расположена примерно в 20-25 км от береговой линии (рис. 5). При взаимодействии с береговой линией и рельефом дна шельфовой зоны острова Сахалин также как и для волн K1, O1 и Q1 наблюдаются процессы дифракции, которые проявляются в

пространственной неоднородности распределения гармонических постоянных приливных течений таких как: фазы, амплитуды и  $V_{\max}$  (рис. 5).

Векторные поля приливных течений вектора скорости  $V_{\max}$  приливных волн K1, O1, Q1 и P1 также имеют некоторые общие закономерности пространственного распределения. Во-первых, вектор скорости  $V_{\max}$  приливных волн на всей исследуемой акватории направлен главным образом на север и северо-восток (рис. 2"б" - 5"б"). Во-вторых, в своей ориентации все вектора  $V_{\max}$  стремятся найти такое положение, чтобы оно было близко к направлению перпендикулярному линиям изофаз.

Но, поскольку, поля линий изофаз приливных течений исследуемых гармоник не являются линейными, то векторные поля  $V_{\max}$  испытывают некоторую степень завихренности. Неоднородность векторного поля, проявляется в схождении, когда вектора течений прижимаются друг к другу или расхождении - вектора течений имеют некоторую степень разнонаправленности. Обычно подобного рода неоднородность прослеживается на некоторых ограниченных участках, областях исследуемой морской акватории, а области схождения и расхождения называются соответственно конвергенциями и дивергенциями. На (рис.6) показаны выделенные в векторных полях  $V_{\max}$  суточных гармоник области конвергенций и дивергенций. При этом, замечена определённая закономерность их пространственного распределения.

Для центрального района исследуемой акватории шельфа зал. Одопту - зал. Ныйский зона дивергенции расположена вдоль побережья заливов Пильтун и Чайво и совпадает с зоной максимальных значений скоростей для всех суточных волн (Рис 6). Для остальных участков

исследуемой акватории шельфа подобной закономерности не прослеживается. Это свидетельствует о том, что в различных районах шельфовой зоны происходят различные по своей внутренней структуре волновые колебания, вызванные разнонаправленными волновыми процессами. Совпадение областей максимальных значений скоростей приливных течений вдоль побережья заливов Пильтун и Чайво с зоной дивергенции приливного потока приурочено к процессам косой интерференции, обусловленной косым отражением от берега [16].

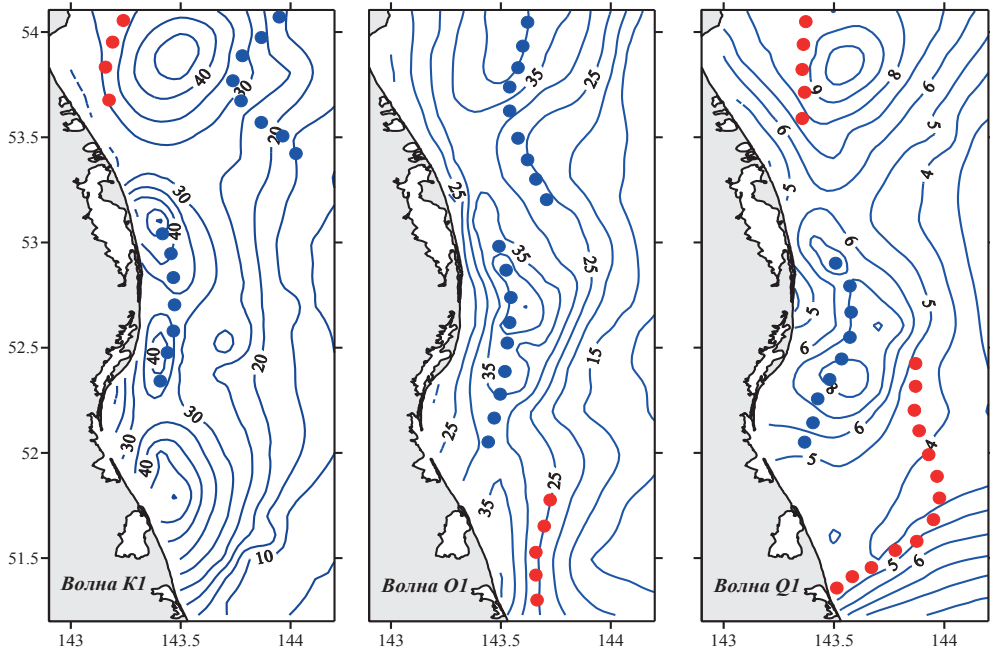


Рис. 6. Поле максимальных значений скоростей приливных течений суточных волн и положения зон вергенций:

● - конвергенций и ● - дивергенций.

Сложная структура приливных движений в водах шельфовой зоны о-ва Сахалин, которая сопровождается различного рода процессами интерференции падающих и отражённых приливных волн, подтверждается и особенностями пространственного распределения

коэффициента реверсивности приливного эллипса и его полярности (рис. 2"в" - 5"в"). Зоны реверсивных течений являются границами, разделяющими области морских акваторий с различным направлением вращения. Преобладающим типом вращения вектора скорости приливного течения практически для всех волн является их вращение по часовой стрелке, т.е. полярность приливного эллипса положительная. При этом области с различным типом вращения испытывают ориентацию в меридиональном направлении, т.е. вдоль гребня падающей приливной волны. В центральных областях зон правого или левого вращения значения коэффициента реверсивности стремятся к единице ( $\pm 1$ ) т.е. форма приливных эллипсов стремится к правильному кругу.

### **Выводы**

Совместный анализ физико-географических условий восточного участка шельфовой зоны о. Сахалин и приливных карт течений суточных приливных волн построенных для данного района позволяет однозначно сформулировать вывод о том, что картина распределения гармонических постоянных приливных течений амплитуды и фазы суточных гармоник K1, O1, Q1 и P1 вполне соответствует физико-географическим условиям исследуемой области шельфа.

Соответствие структурных особенностей приливных карт течений физико-географическим условиям является вполне естественным явлением, которое обеспечивается волновыми процессами: дифракцией приливной волны на препятствиях. Процесс дифракции сопровождается реакцией приливной волны в её огибании и обхода неоднородностей берега и взаимодействием с рельефом дна шельфовой зоны. Дифракция также проявляется в неоднократном частичном отражении приливной

волны от указанных неоднородностей и взаимодействием подающей и отражённых волн.

В частности, это двойное отражение на северном участке акватории шельфа мыс Левенштерна - зал. Пильтун, одно из которых испытывает косое отражение при прохождении волны вдоль берега в районе между зал. Пильтун и зал. Чайво. Волновое взаимодействие отражённой и падающей волн приводит к явлению кривой интерференции в открытых районах шельфовой зоны о. Сахалин. Двойное отражение в северной части исследуемой акватории шельфовой зоны о. Сахалин во взаимодействии с падающей приливной волной должно способствовать суперпозиции этих колебаний с формированием сложной системы волновых движений (рис. 7).

Известно, когда наблюдается поступление энергии из зоны шельфа (случай «неполного захвата») угол  $\alpha$  внутреннего подхода волны со стороны моря с глубиной  $h''$  к бровке шельфа с глубиной  $h'$  не должен превышать критического значения угла  $\alpha'$ , рассчитанного по соотношению  $\alpha' = \arcsin(\sqrt{h'}/\sqrt{h''})$  [6]. Критическое значение угла  $\alpha'$  в районе побережья зал. Пильтун – мыс Левенштерна составляет  $24^\circ$ , а угол внутреннего подхода волны  $\alpha$  составляет около  $15^\circ$ , т.е. в нашем случае  $\alpha < \alpha'$ , что указывает на возможность неполного отражения от бровки берегового изгиба мыса Левенштерна. При этом угол падения показывает, что излучение энергии должно быть направлено в направлении побережья зал. Пильтун. Формирование собственной моды колебаний у мыса Левенштерна может быть обусловлено «топографическим захватом» - перепадом глубин и конфигурацией береговой линии.

Для 2-го (центрального) района зал. Одопту - зал. Набильский для суточных волн K1 и O1 характерно присутствию здесь прогрессивной

составляющей приливной волны. Характер пространственной ориентации изофаз показывает, что обе волны распространяются на юго-восток. Видимая фазовая скорость для волны К1 составляет порядка 10-15 км/ч, для волны О1– 6-8 км/ч. Амплитуды максимальных скоростей суточной волны К1 достигают 40-45 см/с и их область расположена в прибрежных водах, которая примыкает к побережью зал. Пильтун и Чайво. Положение областей с максимальными скоростями на исследуемой акватории для разных волн не одинаково. Зона с наибольшими амплитудами приливной волны К1 расположена порядка в 20-25 км от побережья, волны О1 в 25-30 км.

В самом южном районе акватории к югу от зал. Набильский (Киринская нефтегазоносная площадь) область сгущения и разряжения изофаз на данном довольно незначительном участке шельфа свидетельствует о сложной системе взаимодействия приливных волн с формированием преимущественно стоячих колебаний. Система стоячих колебаний образуется здесь, скорее всего, за счёт интерференции подающей и отраженных волн от береговой черты и внешней кромки шельфа, которая в данном районе наиболее близко подходит к береговой линии острова.

Общими структурными особенностями пространственного распределения элементов гармонических постоянных приливных течений: изофаз, изоамплитуд, ориентация векторов максимальных скоростей, реверсивность, чередование областей с разнонаправленным типом вращения вектора приливного течения является их существенная пространственная неоднородность, как в меридиональном, так и зональном направлениях. Существенная пространственная неоднородность как гармонических постоянных, так и негармонических суточных приливных волн, является признаками существования на



акватории шельфа, о. Сахалин смешенной прогрессивно-стоячей приливной волны.



Рис. 7. Вариант двойного отражения приливной волны.

← Луч падающей волны.  
← Луч отраженной волны.

Полученные ранее выводы о процессах неполного косоуго отражения падающей приливной волны от рельефных изгибов береговой линии о. Сахалин, в частности, от побережья мыса Левенштерна [16] подтверждаются, и свидетельствуют также о возможном неоднократном отражении приливной волны в районе между побережья

залива Пильтун и мысом Левенштерна.

Поскольку гармоники суточной приливной волны  $K1$ ,  $O1$ ,  $Q1$  и  $P1$  имеют разные частоты они соответственно обладают различными длинами волн. Известно, что длина свободной прогрессивной волны  $\lambda$  зависит от фазовой скорости  $C\phi$  и её периода  $T$ :  $\lambda = C\phi \times T = \sqrt{gh} \times T$ , где  $g$  - ускорение свободного падения. Фазовая скорость  $C\phi$  по соотношению Лагранжа Эри зависит от  $h$  глубины моря. Принимая среднюю глубину исследуемого участка шельфа 50 метров имеем среднюю длину суточной приливной волны порядка 2006 км с наименьшей длиной волны  $K1$  - 1907,6 км и наибольшей 2141,5 км для волны  $Q1$ .

Видимая фазовая скорость  $C\phi$  волны  $K1$  определённая для центральных районов исследуемой акватории по приливным картам течений составляет порядка 12,5 км/час, для волны  $O1$  - 7 км/час, тогда

длины волн соответственно составляют 299км и 180км. Длина волны суточной гармонике K1 соответствует первой шельфовой волне Кельвина 330км, длина волны O1 почти в два раза меньше первой шельфовой [7].

Принимая также во внимание неодинаковый угол их подхода к кромке шельфа о. Сахалин процессы дифракции для указанных волн должны иметь свои особенности.

Вследствие различия дифракционных процессов каждая приливная карта течений кроме общих свойств должна обладать своими индивидуальными особенностями. Действительно, например, приливные карты течений волн K1 и O1 отражают влияние прогрессивной доли смешанной приливной волн особенно заметное по распределению изофаз для центрального района исследуемой акватории шельфа (рис. 2, 3). В свою очередь, распределение изофаз приливных волн Q1 и P1 имеет ячеистый характер напоминающий шахматную сетку с чередующимися областями повышенных и пониженных значений фаз (рис. 4, 5). Ячеистый характер распределения изофаз свидетельствует о преобладании для данных волн стоячей доли смешанной приливной волны и процессах интерференции подающей и отражённой приливных волн, картина которых зависит от разности их фаз.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Альтшулер В.М. Практические вопросы анализа и расчета морских приливов. - Л. Гидрометеиздат. 1966. - 309 с.

2 Власова Г.А., Васильев А.С., Шевченко Г.В. Пространственно-временная изменчивость структуры и динамики вод Охотского моря - Москва: Наука, 2008. - 358 с.

3 Ефимов В.В., Куликов Е.А., Рабинович А.Б., Файн И.В. Волны в пограничных областях океана. - Л. Гидрометеиздат, 1985. - 280 с.

4. Кочергин И.А., Рыбалко С.И., Путов В.Ф., Шевченко Г.В. Некоторые результаты инструментальных наблюдений за течениями на Пильтун-

Астохской и Аркутун-Дагинской площадях северо-восточного шельфа Сахалина // Гидрометеорологические и экологические условия дальневосточных морей: оценка воздействия на морскую среду // Тематический выпуск ДВНИГМИ № 2. - Владивосток: Дальнаука, 1999. - С. 96 - 113.

5. Ковалёв П.Д., Шевченко Г.В. Оценка характеристик морских течений на Пильтун-Астохской нефтегазоносной площади (Северо-восточный шельф острова Сахалин) // Экспериментальные исследования длинноволновых процессов на Северо-западном шельфе Тихого океана - Владивосток: Дальнаука, 2008. - С.173 - 187.

6. Некрасов А.В. Приливные волны в окраинных морях - Ленинград: Гидрометеоиздат. 1975. - 247 с.

7. Некрасов А.В. Энергия океанских приливов - Ленинград. Гидрометеоиздат. 1990. - 288 с.

8. Олейников И.С. Программный комплекс LRFD и его использование на примере анализа приливных явлений //Физика геосфер. Седьмой Всероссийский Симпозиум. 5-9 сентября 2011 года. Материалы докладов - Владивосток. Дальнаука, 2011. - С. 195 - 199.

9. Путов В.Ф., Шевченко Г.В. Пространственно-временная изменчивость колебаний уровня моря на северо-восточном шельфе острова Сахалин // Метеорология и гидрология. №10, 1991. - С. 94 - 101.

10 Путов В.Ф., Шевченко Г.В. Особенности приливного режима на северо-восточном шельфе о. Сахалин // Тематический выпуск ДВНИГМИ «Гидрометеорологические процессы на шельфе: оценка воздействия на морскую среду» - Владивосток: Дальнаука, 1998. - С. 61 - 82.

11 Путов В.Ф., Шевченко Г.В. Анализ инструментальных измерений течений на шельфе северо-западной части Охотского моря //Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов - Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2001. - С. 36 - 47.

12 Рабинович А.Б. Жуков А.Е. Приливные колебания на шельфе острова Сахалин //Океанология. 1984. Том. XXIV, вып. 2. - С. 238 - 244.

13 Рыбалко С.И. Методы обработки инструментальных рядов течений и ветра, применяемые при выполнении проектов освоения северо-восточного шельфа Сахалина // ДВНИГМИ-50 лет - Владивосток: Дальнаука, 2000. - С. 226 - 239.

14 Тихончук Е.А., Тамбовский В.С., Путов В.Ф., Шевченко Г.В. Морфометрия и динамика льдов на акватории северо-восточного шельфа о. Сахалин. Интернет. Sakhgu.ru Exspert/Geography/2001/14/Index/html.

15 Тамбовский В.С., Шевченко Г.И. Характеристика скорости дрейфа льда у северо-восточного побережья о. Сахалин под влиянием приливов и ветра // Гидрометеорологические и экологические условия дальневосточных морей: оценка воздействия на морскую среду // Тематический выпуск ДВНИГМИ № 2 - Владивосток: Дальнаука, 1999. - С.114 - 137.

16 Яричин В.Г., Власов Н.А., Олейников И.С., Шкилёва А.А. Особенности пространственной изменчивости гармонических постоянных

приливных течений суточных волн на северо-восточном шельфе о. Сахалин (по материалам экологического мониторинга нефтегазоносных площадей) // Труды ДВНИГМИ. Вып. 154. - Владивосток: Дальнаука, 2012. - С. 145 - 186.

17 Kowalik Z., Polyakov I. Tides in the Sea of Okhotsk // J. Phys. Oceanogr. 1998. Vol. 28, N 7. P. 1389 - 1409.

18 Rybalko S.I., Shevchenko G.V. Seasonal and spatial variability of sea currents of the Sakhalin Northeastern Shelf // Pacif. Oceanogr. 2003. Vol. 1, N 2. P. 168 - 178.

19 Shevchenko G., Rabinovich A., Thomson R. Sea- ice drift on the northeastern shelf of Sakhalin island // J. Phys. Oceanogr. 2004. Vol. 34, N 11. P. 2470 - 2491.

20 Shevchenko G., Kantakov G., Chastikov V. Current meter observations in the Sea of Okhotsk near Shmidt Peninsula, northern Sakhalin. //PICES Scientific Report. Sidney, №. 36. 2009. -с. 113 - 127.

## **ФОРМИРОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОЛНОВЫХ ДВИЖЕНИЙ НА ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ ОСТРОВА САХАЛИН ПОД ВЛИЯНИЕМ ПОЛУСУТОЧНЫХ ПРИЛИВНЫХ ВОЛН**

### **Введение**

Исследование пространственно-временных характеристик приливных течений обусловленных приливными волнами на шельфе о. Сахалин, как правило, ограничивалось суточными волнами, поскольку значения скоростей приливных течений вызванные полусуточными приливами на порядок, а то и два меньше суточных. При этом, анализ и описание кинематических характеристик полусуточных течений ограничивались построением приливных эллипсов для полусуточной гармонике M<sub>2</sub> [1, 2, 3, 7, 8, 10, 11, 14, 16, 17, 18]. В тоже время карты приливных течений для полусуточных волн в случае их построения представляют отдельный интерес, поскольку их анализ позволяет выявить особенности волновых движений с полусуточным периодом. Приливные карты приливных течений дают определённую возможность наглядно представить себе схему процесса приливных колебаний и выявить определённую взаимосвязь между основными элементами исследуемого процесса [4].

### **Исходные данные**

Выборка временных рядов инструментальных измерений характеристик течений производилась из базы данных “Hmd Ocean Station UI” (ДВНИГМИ). Обработка данных, выполнение необходимых расчётов, построение графиков, рисунков осуществлялось по программным комплексам “LRFD” [5], “Surfer 9”, “Origin Pro 7,0”.

Исходные данные, методика расчетов гармонических постоянных приливных течений, построение приливных карт течений описаны в работах [12, 13]. Гармонические постоянные рассчитывались для полусуточных гармоник M2, S2 и N2 в узлах сеточной области с размерами ячеек  $0.1^\circ$  как по широте, так и по долготе (рис. 1"б") [13].

### **Результаты и обсуждение**

Согласно приливным картам Огура [15] и Деевой (1970) [9] колебания уровня Охотского моря формируются под воздействием индуцированных и отражённых приливных волн, которые образуют на акватории моря сложную систему стоячих колебаний, состоящую в основном из трёх амфидромических систем. Исследуемый нами участок восточного шельфа о-ва Сахалин находится непосредственно под воздействием одной из амфидромических систем расположенной к востоку от зал. Луньский в пределах материкового склона ориентировочно с координатами  $52^\circ$  с.ш. и  $144,5^\circ$  в.д. (рис. 1). Учитывая явления дифракции, рефракции и частичного отражения приливных волн от неровностей береговой линии, которые неизбежны в данных условиях, следует ожидать сложную картину пространственного распределения гармонических постоянных приливных течений для полусуточных приливных волн M2, S2 и N2.

Действительно, пространственная структура приливных карт течений полусуточных волн достаточно сложная, но как и для суточных гармоник, здесь также прослеживаются три локальных района, в которых просматриваются свои закономерности распределения фаз и амплитуд. Так же как и для суточных волн это районы северной, центральной и южной частей исследуемой акватории шельфовой зоны (рис. 2 - 4).

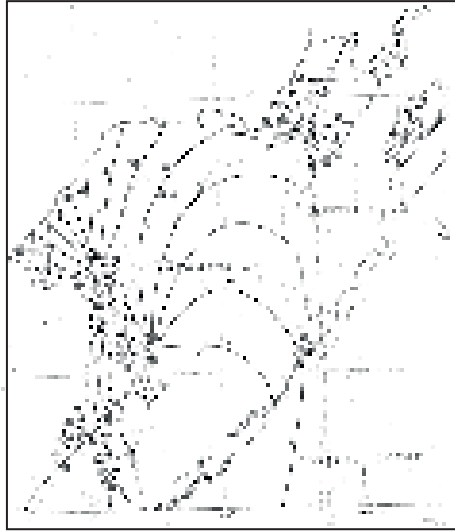


Рис. 1. Котидальная карта полусуточной волны M2 (Ogura S.)

В северной части акватории шельфа распределение изофаз приливных течений наиболее сложное. В поле изофаз образуется система замкнутых и полузамкнутых областей, в которых значения фаз отличаются друг от друга в пределах  $\frac{1}{4}$  периода полусуточной волны. В центральной части акватории прослеживается тенденция увеличения фаз полусуточных волн от побережья заливов Пильтун и Чайво в сторону открытых мористых районов шельфа. В южном районе в локальной части вблизи побережья зал. Набилский наблюдается увеличение фаз до 12 и более часов. В целом можно констатировать, что фазы полусуточных волн имеют тенденцию увеличиваться с севера на юг вдоль побережья острова.

В пространственном распределении амплитуд приливных течений полусуточных волн как для M2, S2 и N2 достаточно однозначно выявляется общая закономерность, наличие двух областей с повышенными значениями скоростей течений. Области с максимальными значениями скоростей течений 19.5, 8.6, и 10.5 см/с соответственно для волн M2, S2 и N2 расположены в северном и южном

районах исследуемой акватории шельфовой зоны. В центральном районе и вдоль побережья острова амплитуды скоростей течений минимальные до 4-6 см/с для волны M2, 2-4 см/с, для волны S2, 1-3 см/с и для волны N2 (рис. 2 - 4"а").

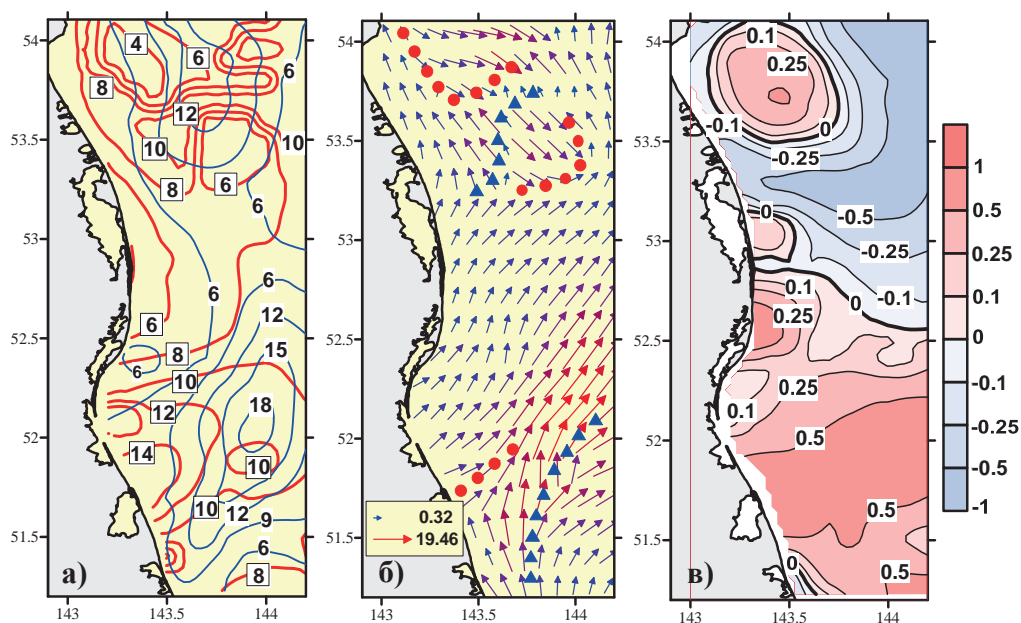


Рис. 2. Приливная карта течений полусуточной волны M2 (Лунная главная). а). Распределение изофаз в часах ( — ) и изоамплитуд в см/с ( — ). б). Векторное поле  $V_{max}$ : ● — зона конвергенции и ▲ — зона дивергенции, на врезке  $\sin$  и  $\max$  значения  $V_{max}$ . в). Распределение коэффициента реверсивности приливного эллипса и его полярность. Полярность «+» положительная - вращение вектора по часовой стрелке, полярность «-» отрицательная - вращение против часовой стрелки. Значения коэффициента:  $\pm 0 - 0,1 \approx$  течения реверсивные,  $\pm 0,1 - 0,25 \approx$  течения полуреверсивные,  $\pm 0,25 - 0,5 \approx$  полукруговое вращение,  $\pm 0,5 - 1,0 \approx$  круговое вращение.

Область с максимальными значениями скоростей приливных течений с координатами в центре 52 с.ш. и 144 в.д. совпадает с координатами амфидромической точки амфидромической системы полусуточной волны M2 по Огура и Деевой [15, 9]. Это свидетельствует



о наличии в исследуемом районе системы стоячих колебаний, когда в узловых областях с минимальными значениями колебаний уровня моря развиваются максимальные скорости приливных течений.

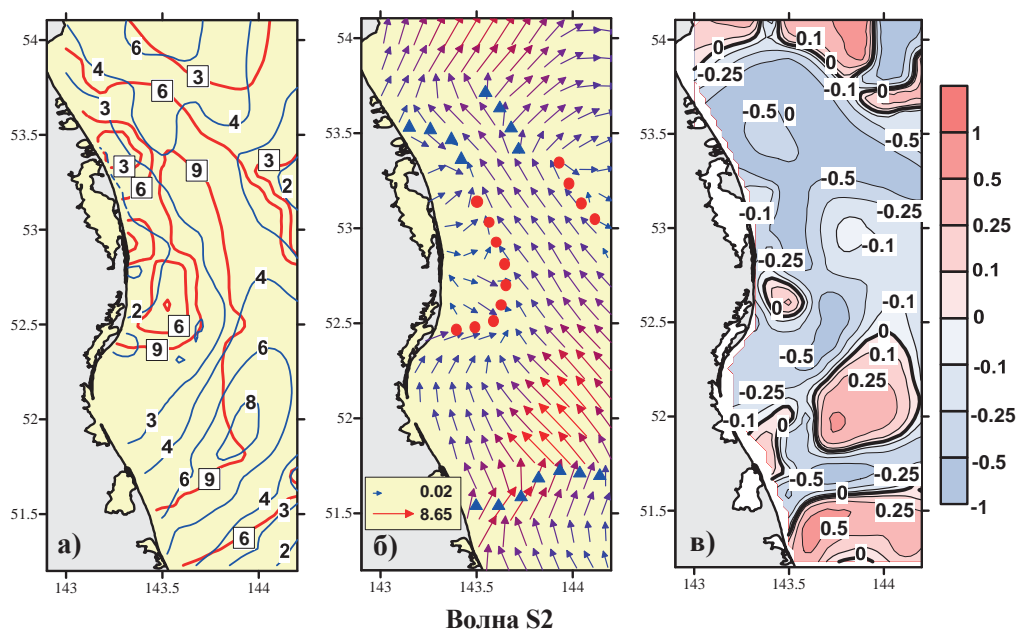
В векторных полях распределения  $V_{\max}$  также как и для суточных волн прослеживается общая тенденция ориентирования векторов перпендикулярно линиям изофаз с общим направлением на север и северо-северо-восток (рис. 2"б", 3"б", 4"б").

Рассмотрим структурные особенности приливных карт течений каждой по отдельности приливной волны, которые имеют свои индивидуальные характеристики, свой "портрет".

*Волна M2.* На рисунке 2"а" области сгущения изофаз и изоамплитуд, с увеличением их значений, сгруппированы в северной и южной частях исследуемой акватории. В центральной части акватории фаза приливных течений меняется медленнее, и значения амплитуд здесь не превышают 6 см/с. Подобное распределение системы изофаз и изоамплитуд является признаком стоячих колебаний с двумя узловыми зонами, расположенными на траверзе мыса Левенштерна на севере и залива Набильский на юге. Зона пучности прослеживается на морской акватории шельфовой зоны, прилегающей к побережью к заливам Пильтун и Чайво.

Здесь же, в областях с узловыми колебаниями формируются локальные зоны вергенций вектора скорости приливного течения (рис. 2"б"). На севере акватории зоны конвергенции приурочены к областям левого вращения вектора скорости (против часовой стрелки) с наибольшими величинами коэффициента реверсивности приливного эллипса (рис. 2"в"). На юге акватории прослеживается зона дивергенции приливных течений, которая придерживается центральной части области с положительным характером вращения вектора скорости течения по

часовой стрелке. Зоны реверсивных течений являются границами, разделяющими области морских акваторий с различным направлением вращения. Исследуемая акватория в целом разделена на две равные части: северную и южную. В северной половине преобладающим типом вращения вектора скорости является их вращение против часовой стрелки, т.е. здесь полярность приливного эллипса отрицательная, в южной характер вращения, напротив, является положительным.



*Рис. 3. Приливная карта течений полусуточной волны S2 (Солнечная главная). Обозначения смотрите на рис. 2.*

*Волна S2.* Для полусуточной волны S2 в распределении изофаз характерным является набор мелкомасштабных изолированных участков с замкнутыми изолиниями фаз, расположенными преимущественно в прибрежных водах омывающих побережье заливов Пильтун и Чайво, где область сгущения изофаз совпадает с зоной конвергенции вектора

приливного течения и областью с отрицательным вектором вращения (рис. 3).

При этом, на исследуемой акватории преобладающий характер вращения вектора скорости приливного течения отрицательный с разномасштабными вкраплениями локализованных областей с положительными значениями полярности эллипса приливного течения. Также как и для волны M2 зоны вергенций приурочены к областям с максимальными значениями коэффициента реверсивности, т.е. с круговым типом вращения вектора скорости приливного течения.

*Волна N2.* В распределении изофаз приливной волны N2 прослеживается общая закономерность. Их значения увеличиваются в сторону открытых районов морской акватории в восточном и юго-восточном направлениях от мыса Левенштерна и побережья зал. Пильтун (рис. 4).

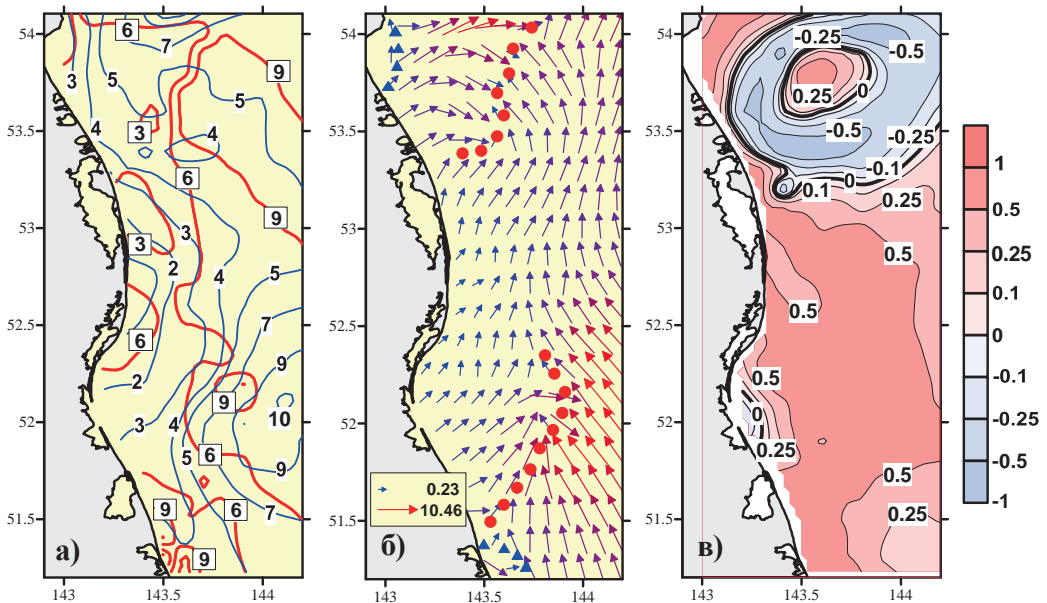


Рис. 4. Приливная карта течений полусуточной волны N2 (Лунная большая эллиптическая). Обозначения смотрите на рис. 2.

Направление вращения вектора скорости максимального приливного течения преимущественно правое по часовой стрелке. Лишь на севере области формируется замкнутый район с разнонаправленным вращением вектора скорости и соответствующими зонами вергенций приливных течений.

В фазовом отношении приливные карты приливных течений обладают общими свойствами. Общий период изменения фаз развития максимальной скорости приливного течения волн M2, S2 и N2 в пределах исследуемой акватории в основном охватывает 1/2 периода полусуточной волны и равен 6-ти часам. Начальная фаза развития максимального приливного течения для волны M2 начинается с 5-6 часов, для остальных волн с 2-3 часов. При этом основное время развития скорости максимального течения на основной части исследуемой акватории для волны M2 приходится на 9 часов и для волн S2 и N2 на 6-9 часов. Время прохождения гребня приливной волны M2 [15] вблизи побережья залива Пильтун приходится на 11-12 часов по Гринвичу, т.е. максимальные значения скоростей приливных течений развиваются с опережением гребня уровня моря на 1/4 периода при "нулевом" положении уровня и вектор максимальной скорости приливного течения ориентирован навстречу падающей волне в фазу "прилива".

### **Выводы**

Общий вклад полусуточных волн в режиме приливных течений в целом по всей исследуемой акватории не значительный. Приливные течения преимущественно имеют суточный характер, лишь в юго-восточной части области приуроченной к Южно-Айяшской и Киринской нефтегазоносным площадям вклад полусуточных волн увеличивается, и

характер приливных течений приближается к правильным полусуточным (рис. 5).

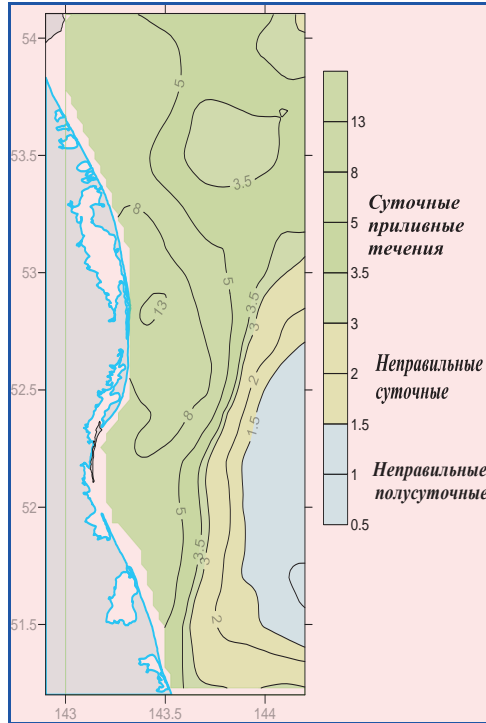


Рис. 5. Распределение показателя характера приливных течений.

Волновые процессы на восточном шельфе острова Сахалин под влиянием полусуточных приливных волн в значениях амплитуд приливных течений главным образом сказываются в северной и юго-восточной области исследуемой акватории шельфа. Амплитудные значения вектора скорости приливного течения в северной части достигают 10-14 см/с для волны M2, 5-7 см/с для S2 и для волны N2 см/с 6-10 см/с, при этом наблюдается смещение области с максимальными скоростями к северу до траверза мыса Левенштерна.

В юго-восточной части морской акватории приуроченной к Южно-Айяшской нефтегазоносной площади положение зоны с

максимальными значениями скоростей приливных течений, обусловленными влиянием полусуточных волн, довольно устойчивое. Центральная область с максимальными скоростями совпадает с амфидромической точкой амфидромической системы полусуточной приливной волны M2 (рис. 1). В случае стоячих колебаний здесь должны развиваться значительные скорости приливных течений.

При изучении приливных явлений с целью раскрытия основных представлений о физической их природе не следует ограничиваться лишь отдельными волнами, которые вносят основной вклад в формирование приливного процесса [1, 2, 3, 6, 7]. Желательно приливные исследования проводить по всем гармоникам той или иной группы волн с близкими частотами, например суточные или полусуточные, поскольку каждая волна по-своему реагирует на физико-географические условия особенности рельефа дна, очертания береговой линии и т.п.

Процессы дифракции, отражения и взаимодействия каждой приливной волны в отдельности находят своё отражение на приливных картах, что в совокупности позволяет произвести более цельный комплексный анализ о волновых процессах, происходящих в шельфовых зонах морей. Каждая приливная волна, раскрывая с помощью приливных карт свои волновые свойства, помогает рассматривать весь приливной процесс как цельное природное явление.

Шельфовая зона восточного побережья острова Сахалин по существу представляет собой диссипативную систему, в которой часть энергии поступающей приливной волны за счёт придонного трения, процессов рефракции, дифракции, частичного отражения от неровностей береговой черты рассеивается, и приливные движения переходят в систему неупорядоченных волновых колебаний.

**ЛИТЕРАТУРА**

1 Власова Г.А., Васильев А.С., Шевченко Г.В. Пространственно-временная изменчивость структуры и динамики вод Охотского моря - Москва: Наука, 2008. - 358 с.

2 Кочергин И.А., Рыбалко С.И., Путов В.Ф., Шевченко Г.В. Некоторые результаты инструментальных наблюдений за течениями на Пильтун-Астохской и Аркутун-Дагинской площадях северо-восточного шельфа Сахалина // Гидрометеорологические и экологические условия дальневосточных морей: оценка воздействия на морскую среду // Тематический выпуск ДВНИГМИ № 2. - Владивосток: Дальнаука, 1999. - С. 96 - 113.

3 Ковалёв П.Д., Шевченко Г.В. Оценка характеристик морских течений на Пильтун-Астохской нефтегазоносной площади (Северо-восточный шельф острова Сахалин) // Экспериментальные исследования длинноволновых процессов на Северо-западном шельфе Тихого океана - Владивосток: Дальнаука, 2008. - С. 173 - 187.

4 Некрасов А.В. Приливные волны в окраинных морях. Ленинград: Гидрометеиздат. 1975. - 247 с.

5 Олейников И.С. Программный комплекс LRFD и его использование на примере анализа приливных явлений // Физика геосфер. Седьмой Всероссийский Симпозиум. 5-9 сентября 2011 года. Материалы докладов - Владивосток. Дальнаука, 2011. - С. 195 - 199.

6 Путов В.Ф., Шевченко Г.В. Пространственно-временная изменчивость колебаний уровня моря на северо-восточном шельфе острова Сахалин // Метеорология и гидрология. №10, 1991. - С. 94 - 101.

7 Путов В.Ф., Шевченко Г.В. Особенности приливного режима на северо-восточном шельфе о. Сахалин // Тематический выпуск ДВНИГМИ «Гидрометеорологические процессы на шельфе: оценка воздействия на морскую среду» - Владивосток: Дальнаука, 1998. - С. 61 - 82.

8 Путов В.Ф., Шевченко Г.В. Анализ инструментальных измерений течений на шельфе северо-западной части Охотского моря // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов - Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2001. - С. 36 - 47.

9 Супранович Т.И., Нечаюк Т.Т., Чупахина Т.И. Некоторые вопросы динамики приливной волны на шельфе Охотского и Японского морей // Труды ДВНИГМИ, вып. 39. - Ленинград. Гидрометеиздат. 1989. - С. 22 - 28.

10 Тихончук Е.А., Тамбовский В.С., Путов В.Ф., Шевченко Г.В. Морфометрия и динамика льдов на акватории северо-восточного шельфа о. Сахалин. Интернет. Sakhgu.ru Expert/Geography/2001/14/Index/html.

11 Тамбовский В.С., Шевченко Г.И. Характеристика скорости дрейфа льда у северо-восточного побережья о. Сахалин под влиянием приливов и ветра // Гидрометеорологические и экологические условия дальневосточных морей: оценка воздействия на морскую среду // Тематический выпуск ДВНИГМИ № 2. - Владивосток: Дальнаука, 1999. - С. 114 - 137.

12 Яричин В.Г., Власов Н.А., Олейников И.С., Шкилёва А.А. Особенности пространственной изменчивости гармонических постоянных приливных течений суточных волн на северо-восточном шельфе о. Сахалин (по материалам экологического мониторинга нефтегазоносных площадей) // Труды ДВНИГМИ. Вып. 154. - Владивосток: Дальнаука, 2012. - С. 145 - 186. - ISBN 978-5-8044-1360-7.

13 Яричин В.Г., Власов Н.А., Марьина Е.Н., Гришина М.А. Роль физико-географических факторов в кинематике приливных течений обусловленные суточными волнами в шельфовой зоне острова Сахалин // См. настоящий сборник

14 Kowalik Z., Polyakov I. Tides in the Sea of Okhotsk // J. Phys. Oceanogr. 1998. Vol. 28, N 7. P. 1389 - 1409.

15 Ogura S. The Tides in the Seas Adjacent to Japan. //Bulletin of Hydrographic Department Japan Navy, Volume 7. Tokyo, 1933. 189 с., 65 Приложений.

16 Rybalko S.I., Shevchenko G.V. Seasonal and spatial variability of sea currents of the Sakhalin Northeastern Shelf // Pacif. Oceanogr. 2003. Vol. 1, N 2. P. 168 - 178.

17 Shevchenko G., Rabinovich A., Thomson R. Sea- ice drift on the northeastern shelf of Sakhalin island // J. Phys. Oceanogr. 2004. Vol. 34, N 11. P. 2470 - 2491.

18 Shevchenko G., Kantakov G., Chastikov V. Current meter observations in the Sea of Okhotsk near Shmidt Peninsula, northern Sakhalin. //PICES Scientific Report. Sidney, №. 36. 2009. - с. 113 - 127.



## **КИНЕМАТИКА И ДИНАМИКА ВЕКТОРНОГО ПОЛЯ ПРИЛИВНОГО ТЕЧЕНИЯ НА АКВАТОРИИ ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ ВОСТОЧНОГО САХАЛИНА**

### **Введение**

Известно, что основная задача гармонического анализа сводится к определению гармонических постоянных отдельных приливных волн, формирующих приливные движения в океане. Гармонические постоянные позволяют проанализировать процесс колебаний в данном районе, выявить ряд характерных волновых свойств, индивидуальный вклад отдельных гармоник в режимные особенности формирования приливных процессов.

Пожалуй, самое основное, что используя принцип суперпозиции, на основе гармонических постоянных возникает возможность *предвычисления* (прогноза) приливных течений с любой дискретностью на любой момент времени. В представленных исследованиях была предпринята попытка выполнить подобного рода исследования на примере восточного участка шельфовой зоны острова Сахалин, на котором определённое количество инструментальных измерений характеристик морских течений [9, 10] дают возможность произвести численные эксперименты по прогнозу полей приливных течений.

### **Исходные данные**

Выборка временных рядов инструментальных измерений характеристик течений производилась из базы данных “Hmd Ocean Station U1” (ДВНИГМИ). Для всех станций были выполнены расчёты

гармонических постоянных приливных течений (ГПТТ) для 7-ми основных волн прилива K1, O1, Q1, P1, M2, S2 и N2. Значения ГПТТ по составляющим течений на параллель и на меридиан (амплитуда (см/с); фаза (градусы)) наносились на бланки. После процедуры картирования производился анализ и, используя метод линейной интерполяции, проводились изолинии амплитуд и фаз ГПТТ, значения которых в дальнейшем снимались в заданных узлах сеточной области с размерами ячеек  $0.1^\circ$  по широте,  $0.1^\circ$  по долготе [10]. На каждую приливную волну разрабатывались четыре карты-схемы, всего к обработке были приняты 7 основных волн: четыре суточных (K1, O1, Q1, P1) и три полусуточных (M2, S2, N2) волны.

Обработка данных, выполнение необходимых расчётов, построение графиков, рисунков осуществлялось по программным комплексам "LRFD" [5, 9], "Surfer 9", "Origin Pro 7.0". Исходные данные, методика расчетов гармонических постоянных приливных течений, построение приливных карт течений описаны в работах [9, 10]. С целью оценки результатов расчётов программных средств на достоверность, предвычисления суммарных приливных течений производились самостоятельно как по программе "LRFD", так и "Franco". Конечные результаты которых показали практически свою полную идентичность.

### **Результаты и обсуждение**

Особенности пространственного распределения ГПТТ по отдельным составляющим течений на меридиан и параллель представляет собой самостоятельный интерес, поскольку их распределение на плоскости имеет, как правило, определенную выраженную закономерность (рис. 1), которую можно использовать для

интерпретации (интерполяции) исследуемых участков акватории моря слабо освещенной исходной информацией.

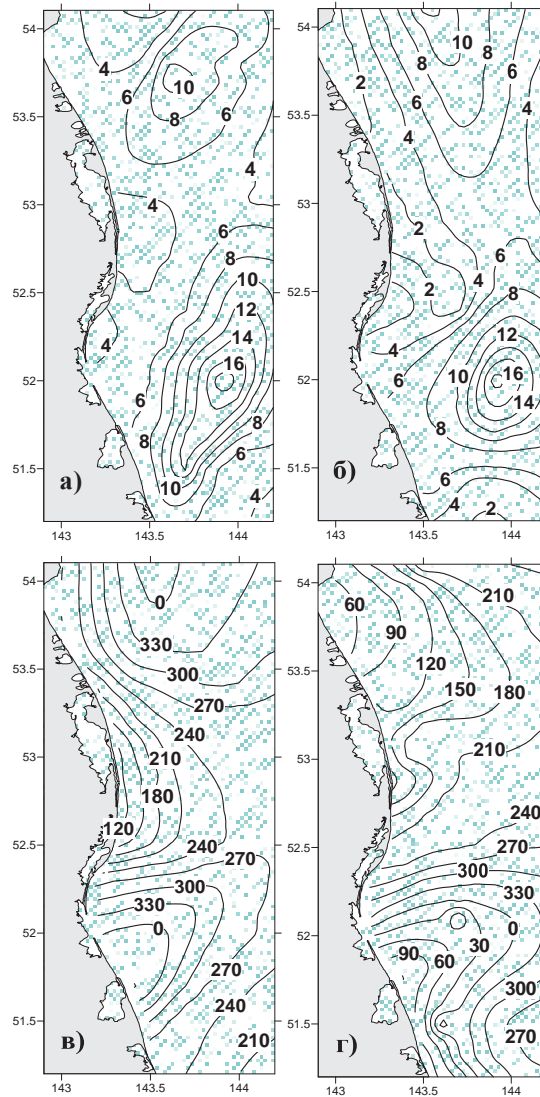


Рис. 1. Распределение значений гармонических постоянных приливного течения полусуточной волны M2. Амплитуда в см/с: а) составляющая на меридиан; б) составляющая на параллель. Фаза в градусах: в) на меридиан; г) на параллель).

В качестве периода для апробирования была принята условно дата 15 августа 2011 года для астрономических условий, которые

соответствовали периоду "сизигия". Сизигия наблюдается в дни наступления Полнолуния и Новолуния. Астрономическая фаза спутника Земли полнолуние наступает 13 августа 2011 года в 18<sup>h</sup> 56' по Гринвичу. Дата 15 августа принята не случайно, поскольку период развития сизигийных максимальных приливных течений, как показали исследования на аналогичных широтах в Японском море [8], относительно кульминации Луны запаздывает на сутки - двое. Месяц август соответствует условиям выборки исходной информации, которая производилась на основе базы океанографических данных "Hnd Ocean StationUP" [9, 10].

Выбор года 2011 также не является случайным. На период август 2011 года нами был принят заказ на проведение расчётов по предвычислению течений для заданных точек предполагаемого бурения на Киринской нефтегазоносной площади. Обеспеченность материалами измерений характеристик течений на этой площади очень слаба и естественно предвычисления осуществлялись по данным АБС. Расстояние между заданными точками Киринской площади, на которые необходимо было выполнить предвычисление и АБС, в среднем составляет порядка 15 км. При сложной гидродинамической обстановке исследуемой района [2, 7] и не очень удовлетворительным качеством исходных данных, для условия достаточной достоверности предвычисления этот фактор является весьма существенным. В этой связи, было принято решение произвести работы по предвычислению течений для августа 2011 года, основываясь на ГППТ сеточной области для случая, если потребуется необходимость проведения контрольных расчётов и экспертизы ранее выполненных результатов расчётов в точках предполагаемого бурения на шельфе о. Сахалин.

*Кинематика и динамика векторного поля суммарного приливного течения*

Поскольку суммарные приливные течения соответствуют принципу суперпозиции, т.е. результирующие течения представляют собой сумму приливных колебаний вызванных воздействием каждой приливной волны в отдельности, то картина и временная перестройка поля приливного течения будут определяться приливными волнами с наибольшей амплитудой. В нашем случае амплитуды приливных течений суточных приливных волн  $K1$  и  $O1$  в 5, 6 раз превышают амплитуды суточной волны  $Q1$  и полусуточных  $M2$ ,  $S2$ ,  $N2$ , и поскольку волновые процессы когерентны, т.е. взаимно связаны как во времени так и в пространстве следует ожидать формирование в исследуемом районе движущуюся интерференционную картину с её перестройкой через  $1/2$  приливного периода с суточной частотой.

Действительно интерференционная картина векторного поля суммарных приливных течений проявляется, прежде всего, в пространственной неравномерности распределения значений вектора скорости и его неоднородной ориентации на плоскости. Пространственная неоднородность характеризуется существованием в векторном поле приливного течения, по аналогии с полем приливного уровня моря, "гребней" и "ложбин" (рис. 2, 3). В зонах гребней модуль вектора скорости приливного течения на общем фоне пространственного распределения имеет максимальные значения, а в зонах ложбин - минимальные. Зоны ложбин характеризуются не только минимальными значениями скоростей, но и сопровождаются формированием областей конвергенции схождения течений, когда вектора направлены навстречу друг к другу, и направлениями векторов течений дивергенцией, когда они ориентированы разнонаправлено относительно зоны ложбин.

Интерференционная картина векторного поля приливных течений  
временами дополняется завихрённостью различного масштаба и знака.

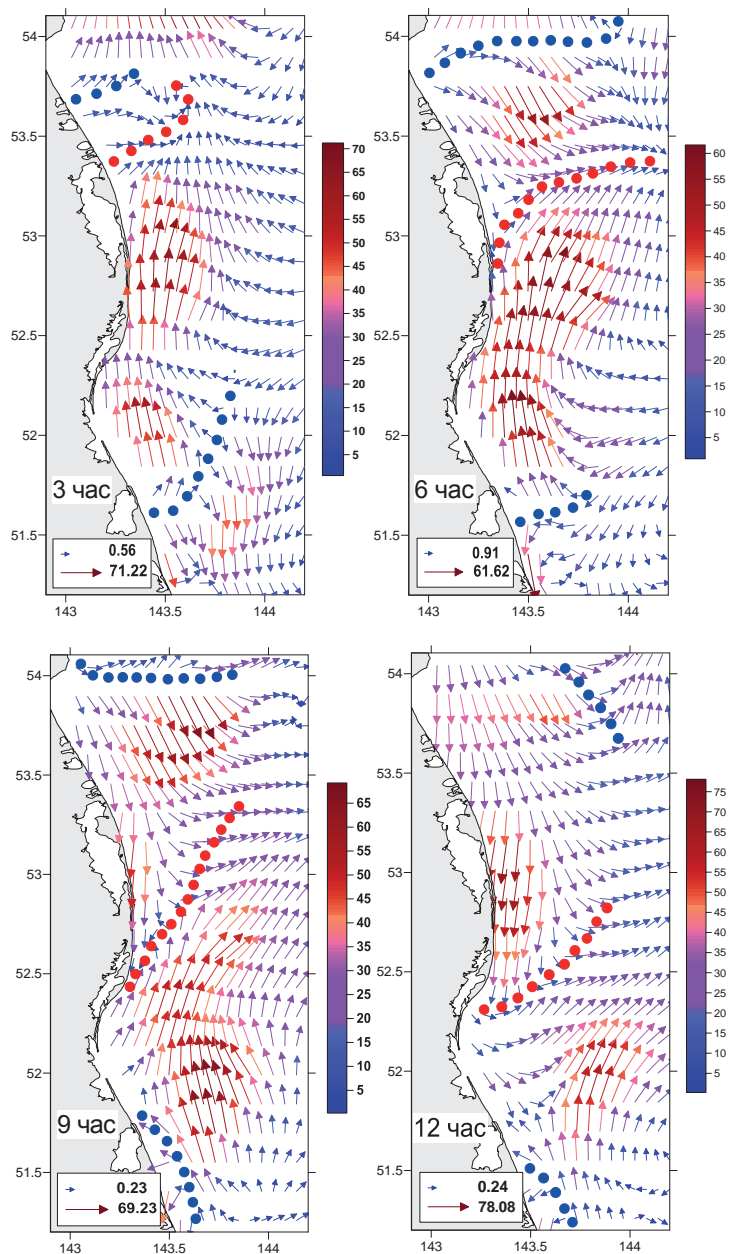
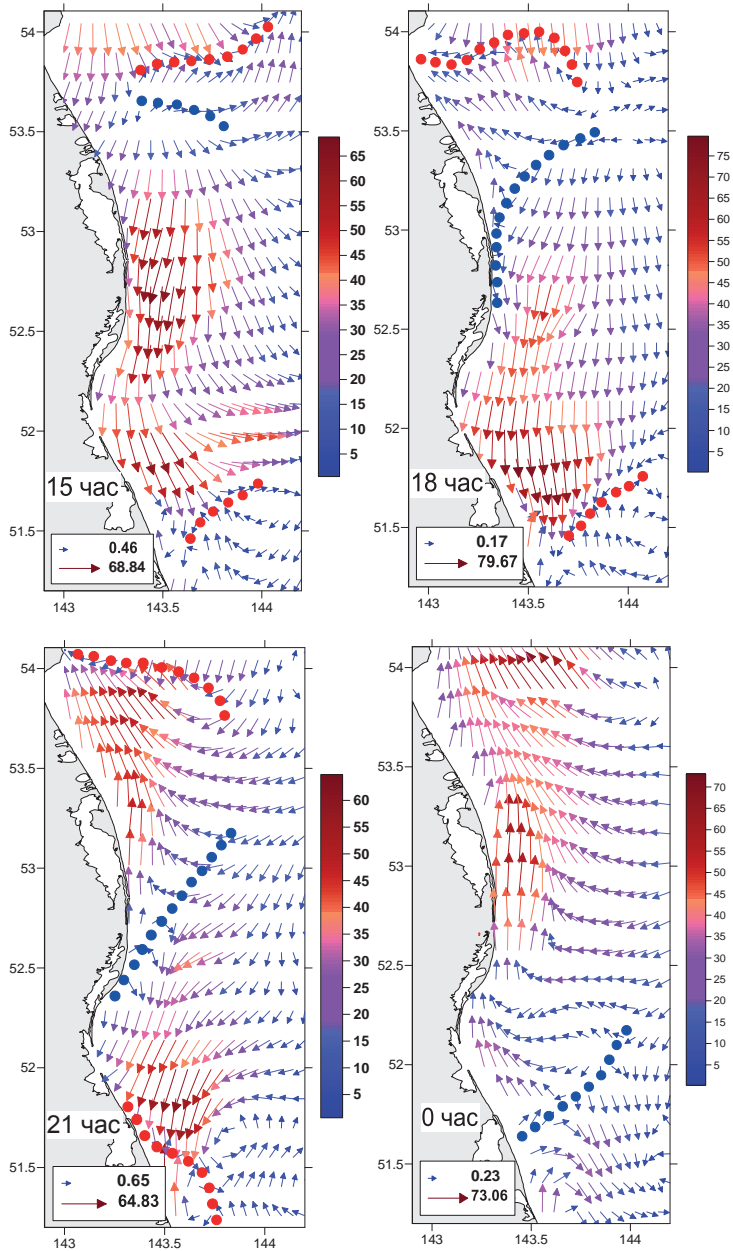


Рис. 2. Векторная композиция поля приливного течения  
в фазу прилива за каждые три часа на 15 августа 2011 года.  
На врезке максимальные и минимальные значения скоростей.



*Рис. 3. Векторная композиция поля приливного течения в фазу отлива за каждые три часа на 15 августа 2011 года. На врезке максимальные и минимальные значения скоростей.*

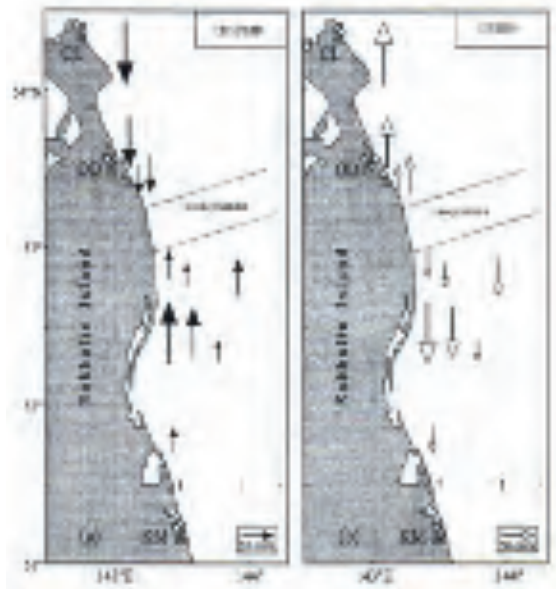
Векторное поле суммарных течений исследуемой акватории шельфа от мыса Левенштерна до залива Луньский сопровождается

формированием областей гребней и ложбин, которые чередуясь между собой в зависимости от времени приливного цикла перемещаются в пространстве, испытывая при этом преобразования от ложбины в гребень и, наоборот, от гребня в ложбину. Предвычисленные ежечасные поля суммарных приливных течений представляют собой различные композиции векторов течений с различными масштабами и интенсивностью, анализ которых при преимущественно суточном характере приливных течений исследуемой акватории [12] позволяет выделить две основные фазы прилива: прилив - повышение уровня моря и отлив - понижение уровня моря.

В приливную фазу, когда согласно рисунку (рис. 4) вблизи северного побережья залива Пильтун формируется зона конвергенции приливных течений, в нашем случае 15 августа 2011г. в 1 и 2 часа по Гринвичу, наблюдается одновременно формирование вдоль побережья заливов Уркт и Одопту пары зон вергенций: в прибрежной зоне дивергенции и, мористее её, зоны конвергенции, которые в течении 2-3 часов преобразуются в самостоятельные динамические образования.

Зона дивергенции, простираясь практически через всю исследуемую акваторию моря, малоподвижная и постепенно смещается к северу по направлению к мысу Левенштерна. В свою очередь зона конвергенции, сформированная в шельфовых водах восточного Сахалина двумя сходящимися приливными потоками на широте зал. Одопту ( $53.4^{\circ}$  с.ш.), в течении приливного периода перестраивается и в качестве фронтальной полосы перемещается по акватории шельфовой области вдоль берега на юг со средней видимой скоростью около 10 км/час (рис.2). При этом, пространственное положение зоны конвергенции относительно береговой линии о. Сахалин изменяется с широтного (восточного) на меридиональное (северо - восточное).





*Рис. 4. Рассчитанные на основе результатов измерений течений и дрейфа льда суточные приливные течения в различные фазы приливного цикла: а - прилив (повышение уровня моря), б - отлив (понижение уровня моря) [12]*

По существу зоны дивергенции и конвергенции представляют собой фронтальные области раздела двух динамических систем отличающимися друг от друга своими кинематическими характеристиками. В случае отсутствия ветрового волнения фронт зоны конвергенции при столкновении разнонаправленных приливных потоков должен сопровождаться таким явлением как сулой или толчея, т.е. беспорядочным стоячим волнением с образованием на поверхности моря коротких крутых волн циклоидального характера. В штилевую погоду и при незначительном ветре, когда на поверхности моря развивается рябь можно заметить на поверхности моря полосы, которые характеризуются блестящей почти зеркальной поверхностью (бликами) и свободной от ветрового волнения (ряби). Эти полосы характерны для

фронтального раздела зоны дивергенции расходящихся потоков вод, сформированные приливными явлениями.

В следующую фазу прилива, отливную, при понижении уровня моря, в северной части исследуемой акватории, напротив, формируется пара зон вергенций: конвергенции и дивергенции, правда не в прибрежных её водах, а мористее на траверзе заливов Уркт и Одопту (рис. 3). Зона конвергенции, которая с течением времени несколько перестраивается в своём пространственном положении, мало подвижна и постепенно смещается на север к мысу Левенштерна, а фронтальная зона дивергенции, напротив, как и конвергенция в приливную фазу, обладает определённой выраженной динамической активностью. Она смещается вдоль побережья о. Сахалин на юг со средней скоростью порядка 10 км/час и относительно его побережья по мере движения изменяет своё положение с широтного на северо-восточное.

Если в приливную фазу в северном районе формируется динамически активная фронтальная зона конвергенции приливных течений, то в южной части исследуемого участка шельфа о. Сахалин, как и в работе [12], наблюдается динамически устойчивое кинематическое образование - область дивергенции течений (рис. 2). Фронт зоны дивергенции на траверзе зал. Набильский образован двумя основными расходящимися приливными потоками, направленными на юго-восток и северо-запад к побережью зал. Чайво. Примерно в течение 1/4 приливного цикла, т. е. 6-7 часов, положение в пространстве Набильской дивергенции достаточно устойчивое, однако в течение следующей 1/4 фазы приливного периода она вытесняется гребнем максимальных приливных течений в прибрежные воды заливов Луньский и Набильский.

В отливную фазу приливного цикла в течении  $1/2$  его периода в шельфовых водах омывающих заливы Луньский и Набильский за счёт приливного потока направленного на юг вдоль побережья о. Сахалин формируется область конвергенции сходящихся приливных течений. При этом, значения скоростей приливных течений, образующие гребень приливного потока гасятся достаточно резко, создаётся впечатление, что приливной поток как бы наталкивается на невидимую стену. В принципе, такие явления в океане встречаются. Достаточно вспомнить, например, Курильские проливы или Корейский пролив Японского моря, когда приливные течения на входе или выходе из пролива существенным образом затухают. Также следует иметь в виду, что в данном районе влияние суточных гармоник на характер приливных течений заметно уменьшается, и возрастает роль полусуточных течений [11]. В дальнейшем, к концу приливного цикла, фронтальная зона конвергенции за счёт изменения направления приливного потока с юго-восточного на юго-западное, когда приливные течения направлены к береговой линии из открытых районов шельфа, смещается в прибрежные воды заливов Набильский, Луньский и Ныйский.

В межфазовый период, когда уровень моря приближается к своему среднему состоянию, вдоль всего побережья о. Сахалин от зал. Набильский до мыса Левенштерна развивается единый приливной поток. Пространственная структура потока не нарушена зонами конвергенций и его действие не превышает двух-трёх часов. В приливную фазу он направлен на север с максимальными скоростями до 80 см/с, а в отливную фазу, т.е. через половину приливного периода, прибрежный приливной поток шириной до 20-25 км направлен на юг от мыса Левенштерна до зал. Набильский.

Векторное поле скоростей с максимальными значениями 62-78 см/с в зонах гребней "гуляет" по исследуемой акватории. Например, в фазу прилива, сходящийся приливной поток с северной составляющей, который является одним из факторов формирующим фронт конвергенции, перемещается на юго-восток в открытые районы шельфовой зоны. В тоже время изменяется и его ширина, которая в течении 6-7 часов по мере перемещения на юго-восток увеличивается с 55 до 80-90 км. В фазу отлива гребень южного приливного потока, являющийся неотъемлемой частью фронтальной зоны дивергенции по акватории не "гуляет", но его максимум примерно через 1/4 приливного периода перемещается из прибрежных вод заливов Пильтун и Чайво в район залива Набильский. Предвычисленные максимальные значения скоростей суммарных приливных течений 78.7 (1 час), 78.3 (13 час) – зал. Пильтун, 79.7 (18 час) – зал. Набиль.

### **Выводы**

Таким образом, результаты экспериментальных расчетов пространственного предвычисления приливных течений на 15 августа 2011 года показали, что значительные значения скоростей приливных течений на восточном шельфе о. Сахалин обусловлены кинематическими свойствами, которые характерны для стоячих приливных волн, а не для шельфовых волн [1 - 4, 6]. Об этом свидетельствуют результаты анализа ежечасных векторных композиций полей приливных течений.

Прежде всего, векторные поля суммарных приливных течений представляют собой интерференционную картину, которая проявляется в пространственной неравномерности распределения значений вектора скорости и его неоднородной ориентации на плоскости.

Пространственная неоднородность характеризуется периодическим формированием в векторном поле приливного течения "гребней" и "ложбин" (рис. 2, 3). В зонах гребней модуль вектора скорости приливного течения на общем фоне пространственного распределения имеет максимальные значения, а в зонах ложбин - минимальные. Зоны ложбин характеризуются не только минимальными значениями скоростей, но и сопровождаются формированием областей конвергенции схождения течений, когда вектора направлены навстречу друг к другу и направлениями векторов течений дивергенцией, когда они ориентированы разнонаправлено относительно зоны ложбин.

Относительно береговой линии восточного побережья о. Сахалин зоны гребней и ложбин ориентированы не перпендикулярно ей, а в качестве приливных фронтальных поверхностей вытянуты в северо-восточном направлении

Векторные композиции ежечасных полей приливных течений в исследуемом районе представляют собой "живую" движущуюся интерференционную картину с её основной перестройкой через половину суточного приливного периода. Временами с периодичностью порядка  $1/6$  периода интерференционная картина векторного поля приливных течений усложняется возникновением кратковременных образований с различной степенью завихрённости.

По Ogura S [13] для суточных волн исследуемая акватория шельфа о. Сахалин расположена в области, которая характеризуется резким сгущением котидальных линий, что характерно для узловой зоны стоячих колебаний. По результатам исследований Супрановича Т.И. [7] доля стоячей составляющей приливной волны в исследуемом районе в 5-6 раз превышает поступательную составляющую.

В соответствии с кинематикой стоячей волны, когда уровень моря близок к своему среднему положению, а это  $1/4$  периода, должны развиваться максимальные скорости течений, в нашем случае это единый и цельный вдольбереговой приливной поток. При приливе, подъёме уровня моря, приливной поток направлен к пучности стоячей волны, а при отливе - от пучности. В приливную фазу он направлен на север с максимальными скоростями до 80 см/с, а в отливную фазу, т.е. через половину приливного периода, прибрежный приливной поток шириной до 20-25 км направлен на юг от мыса Левенштерна до зал. Набильский.

Одной из основных характерных особенностей приливных карт приливных течений [10] для суточных волн является то, что вектора максимальных приливных течений направлены на север и северо-северо-восток и против видимого направления движения фаз. Соответствующая ориентация векторов максимальных течений, а также анализ приливных карт уровня суточных гармоник из различных источников [13, 14] свидетельствует о том, что область пучности стоячей составляющей приливной волны должна располагаться вблизи материкового склона магаданского шельфа. За счёт "V" образного изгиба кромки материкового шельфа в районе подводной возвышенности «банки Кашеварова» примерно с координатами 56 с.ш. и 145 в.д., т.е. к северу от исследуемого района.

В кинематике и динамике векторного поля приливного течения суммарной приливной волны отражается влияние физико-географических условий района [10, 11]. Первый район (северный): зал. Одопту – мыс Левенштерна, второй район (центральный): зал. Одопту – зал. Набильский и третий южный район: зал. Набильский – зал. Луньский.

Северный район исследуемой акватории шельфовой зоны характерен тем, что здесь с периодичностью через 12 часов формируются пара зон вергенций: области дивергенции (расхождения течений) и конвергенции (схождения течений). Области вергенций в этом районе за период приливного цикла занимают достаточно устойчивое зональное положение, приуроченное преимущественно к широте мыса Левенштерна, т.е. их положение мало зависит от времени.

Сравнительно устойчивые в рамках приливного цикла кинематические образования (конвергенции и дивергенции течений), связанные с динамикой приливных волн, с периодичностью полуприливного цикла 10 - 12 час, также формируются в южном районе акватории на траверзе залива Набильский.

В отличие от северного и южного района в центральной части исследуемой морской акватории в векторном поле приливного течения наблюдаются элементы прогрессивной составляющей приливной волны. В первую фазу прилива ( $\approx$  до 12-13 час.) характерными элементами завихрённости является формирование вдоль побережья заливов Уркт, Эхаби и Одопту зоны конвергенции, которая перемещаясь на восток, юго-восток разделяется на две ветви. Западная ветвь в последующем трансформируется в отдельную ветвь с постепенным перемещением её на юг вдоль побережья о. Сахалин до зал. Чайво. Напротив, во вторую фазу прилива ( $\approx$  с 13-14 часов) зона дивергенции, образованная вблизи побережья залива Эхаби и ориентированная на северо-восток относительно побережья о. Сахалин, постепенно смещается на юг до зал. Чайво и Ныйский.

В результате анализа последовательных друг за другом ежечасных карт предвычисленных течений по исследуемой акватории шельфа о. Сахалин установлено, что полученные ранее выводы [9 - 11] о

процессах неполного косоого отражения падающей приливной волны от рельефных изгибов береговой линии, в частности, от побережья мыса Левенштерна полностью подтверждаются. Динамика суммарной приливной волны свидетельствует также о возможном неоднократном отражении приливной волны в районе между побережьем залива Пильтун и мысом Левенштерна. Данные выводы подтверждаются также завихрённостью векторного поля суммарного приливного течения, которая проявляется в периодическом формировании зон дивергенций и конвергенций течений, и соответствующей их динамикой во времени.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Власова Г.А., Васильев А.С., Шевченко Г.В. Пространственно-временная изменчивость структуры и динамики вод Охотского моря - Москва: Наука, 2008. - 358 с.

2 Ефимов В.В., Куликов Е.А., Рабинович А.Б., Файн И.В. Волны в пограничных областях океана - Л. Гидрометеиздат, 1985. - 280 с.

3 Кочергин И.А., Рыбалко С.И., Путов В.Ф., Шевченко Г.В. Некоторые результаты инструментальных наблюдений за течениями на Пильтун-Астохской и Аркутун-Дагинской площадях северо-восточного шельфа Сахалина // Гидрометеорологические и экологические условия дальневосточных морей: оценка воздействия на морскую среду // Тематический выпуск ДВНИГМИ № 2 - Владивосток: Дальнаука, 1999. - С. 96 - 113.

4 Ковалёв П.Д., Шевченко Г.В. Оценка характеристик морских течений на Пильтун-Астохской нефтегазоносной площади (Северо-восточный шельф острова Сахалин) // Экспериментальные исследования длинноволновых процессов на Северо-западном шельфе Тихого океана - Владивосток: Дальнаука, 2008. - С. 173 - 187.

5 Олейников И.С. Программный комплекс LRFD и его использование на примере анализа приливных явлений //Физика геосфер. Седьмой Всероссийский Симпозиум. 5-9 сентября 2011 года. Материалы докладов - Владивосток. Дальнаука, 2011. - С. 195 -199.

6 Рабинович А.Б. Жуков А.Е. Приливные колебания на шельфе острова Сахалин // Океанология.1984. Том. XXIV, вып. 2. - С. 238 - 244.

7 Супранович Т.И., Нечаюк Т.Т., Чупахина Т.И. Некоторые вопросы динамики приливной волны на шельфе Охотского и Японского морей //Труды ДВНИГМИ, вып. 39 - Ленинград. Гидрометеиздат. 1989. - С. 22 - 28.



8 Юрасов Г.И. Яричин В.Г. Течения Японского моря - Владивосток: ДВО АН СССР. 1991. - 176 с.

9 Яричин В.Г., Власов Н.А., Олейников И.С., Шкилёва А.А. Особенности пространственной изменчивости гармонических постоянных приливных течений суточных волн на северо-восточном шельфе о. Сахалин (по материалам экологического мониторинга нефтегазоносных площадей) // Труды ДВНИГМИ. Вып. 154 - Владивосток: Дальнаука, 2012. - С. 145 - 186. - ISBN 978-5-8044-1360-7.

10 Яричин В.Г., Власов Н.А., Марьина Е.Н., Гришина М.А. Роль физико-географических факторов в кинематике приливных течений обусловленные суточными волнами в шельфовой зоне острова Сахалин // См. настоящий сборник

11 Яричин В.Г., Власов Н.А., Марьина Е.Н., Гришина М.А. Формирование особенностей волновых движений на восточном шельфе острова Сахалин под влиянием полусуточных приливных волн // См. настоящий сборник

12 Shevchenko G., Rabinovich A., Thomson R. Sea- Ice drift on the Northeastern Shelf of Sakhalin island // J. Phys. Oceanogr. 2004. Vol. 34, N 11. P. 2470 - 2491.

13 Ogura S. The Tides in the Seas Adjacent to Japan. //Bulletin of Hydrographic Department Japan Navy, Volume 7. Tokyo, 1933. 189 с., 65 Приложений.

14 Kowalik Z., Polyakov I. Tides in the Sea of Okhotsk // J. Phys. Oceanogr. 1998. Vol. 28, N 7. P. 1389 - 1409.

## **ОЦЕНКА ПРОГНОЗОВ ВОЛНЕНИЯ ПО ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ В ЯПОНСКОМ И БЕРИНГОВОМ МОРЯХ**

### **Введение**

Успешность хозяйственной деятельности на море тесно связана с прогнозами ветрового волнения. От точности и оперативности зависит снижение рисков и затрат в таких областях как мореплавание, рыболовство, добыча углеводородов на шельфе. Оценка прогнозов волнения проводится по наблюдениям, к которым относятся данные попутных судовых, стационарных буёв и с буровых платформ. Наиболее точные значения дают ежечасные инструментальные измерения заякоренных буёв, однако их расположение в Мировом океане неоднородно. Наибольшее количество приходится на тихоокеанское побережье американского континента и вдоль побережья Северной Атлантики. Моря, омывающие Российские берега в этом отношении слабо освещены.

В настоящее время, прогноз волнения осуществляется по сложным математическим моделям. Одной из таких является дискретная спектральная модель WAVEWATCH III. Она используется во многих Мировых прогностических центрах. В России в оперативном режиме её используют Управления Росгидромета Дальнего Востока (Приморское, Камчатское) по акваториям Тихого океана, Японского, Охотского и Берингова морей.

### Метод и исходные данные

Волновая модель WAVEWATCH III построена на основе решения уравнения спектрального баланса волновой энергии в эйлеровом подходе [5]:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla_x [(\vec{c}_g + \vec{U})N] + \frac{\partial}{\partial \theta} \dot{\theta} N + \frac{\partial}{\partial k} [kN] = \frac{S}{\omega}, \quad (1)$$

где  $N(k, \theta)$  — спектральная плотность,  $k$  — волновое число,  $\theta$  — направление,  $\vec{c}_g$  — вектор групповой скорости с учетом направления,  $\vec{U}$  — вектор скорости ветра,  $\omega$  — круговая частота,  $S$  — функция источников и стоков.

В модели учитываются следующие механизмы  $S$ :

$$S = S_{in} + S_{ds} + S_{nl} + S_{bot} + S_{db} + S_{sc} + S_{ref}. \quad (2)$$

Основной источник  $S_{in}$  описывает поступления энергии к волнам под воздействием ветра и включает в себя линейную и экспоненциальную зависимость роста волн. Механизм диссипации состоит из:  $S_{ds}$  — диссипация на глубокой воде;  $S_{bot}$  — за счёт изменения глубины;  $S_{db}$  — обрушения гребней под влиянием дна (прибой). Нелинейное взаимодействие  $S_{nl}$  характеризует механизм перераспределения энергии в спектре волн. Отражение волн  $S_{sc}$  происходит при возникновении препятствий, и в основном, в бухтах и гаванях. При выходе на мелководье, когда глубины уменьшаются, наблюдается механизм рефракции ( $S_{ref}$ ).

На выходе модели, в процессе решения уравнения (1) получаем спектр волнения и такие характеристики смешанного волнения как высота, период, длина, направление подхода волн. Дополнительно можно разделить параметры для ветровой волны и зыби трёх систем. В данном исследовании использовалась модель [3, 4] с учётом этих механизмов и параметров настройки.

Область расчётов включала акватории Японского, Охотского, Берингова морей и северной части Тихого океана от 20,5° с.ш. Сеточное разрешение 0,5 x 0,5°.

Расчёты волнения проводились по данным прогностических полей приводного ветра Японского Метеорологического Агентства с заблаговременностью до 132 часов, пространственным шагом 1,25x1,25° и дискретностью 12 часов. Данные доступны из оперативной метеорологической базы ГИС-Метео. Прогнозы волнения выдавались на срок 0 и 12 ВСВ с 30 января по 31 мая 2013г. Этот период времени выбран по причине того, что в холодное полугодие наблюдается активная циклоническая деятельность, которая формирует высокие волны в данных районах. Всего составлено 213 прогнозов.

### **Результаты и обсуждение**

Оценки успешности прогнозов получены путём сравнения расчётных данных с инструментальными данными наблюдений четырёх буёв: № 22105 (35,53° с.ш. 130,0° в.д.), № 22106 (36,35° с.ш. 129,78° в.д.), расположенных на юге Японского моря, № 46071 (51,141° с.ш. 179,119° в.д), в Тихом океане южнее Алеутских островов и № 46035 (57,067° с.ш. 177,75° з.д.), в Беринговом море.

На рис. 1 приведён волновой ход на каждом из этих буёв. Как видно, несколько хуже совпадения для буя № 46071 и № 22105.

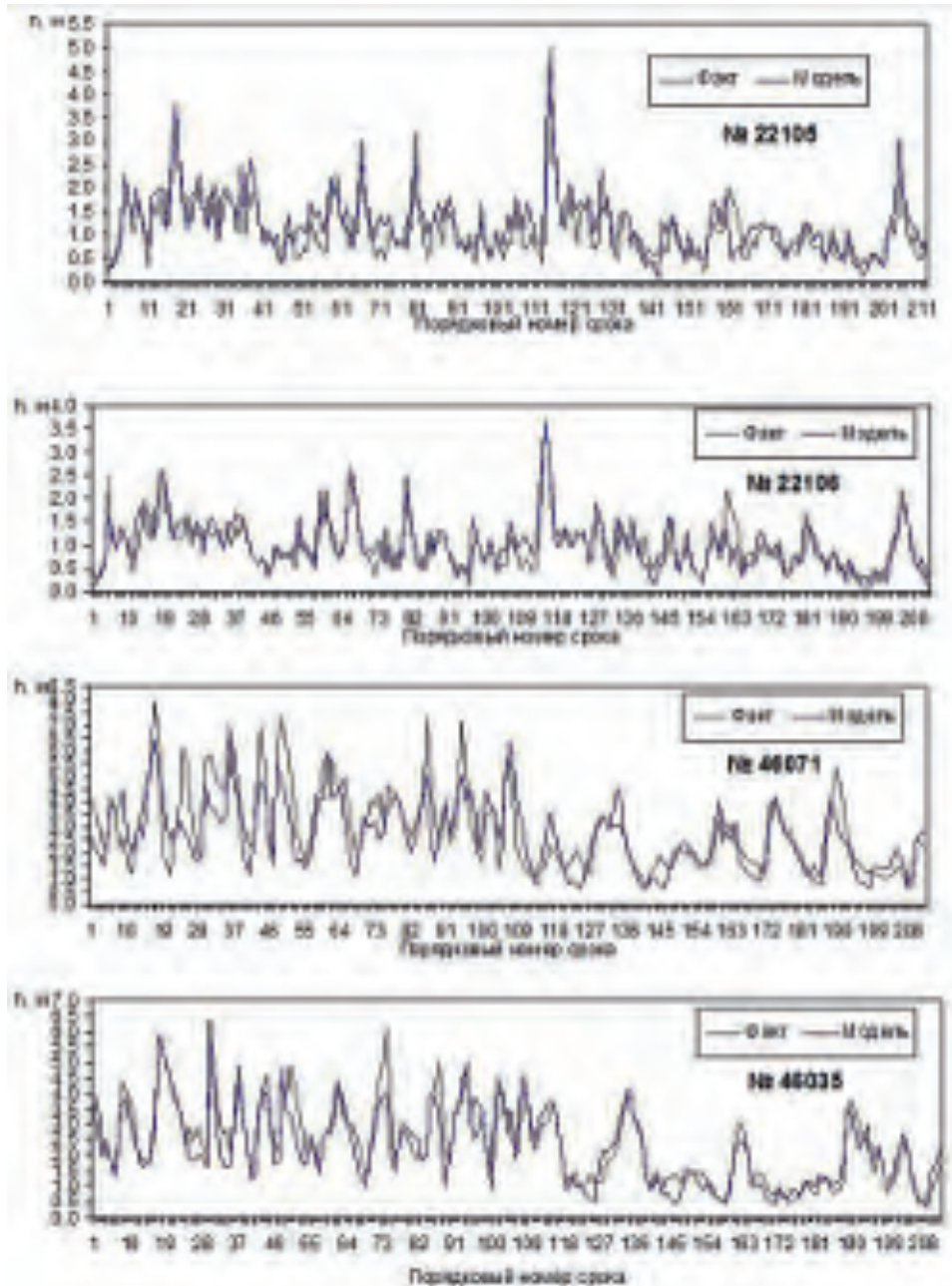


Рис. 1. Временной ход высот волн по модели и данным буёв

При оценке качества прогнозов использовались следующие статистические оценки:  $\Delta$  — систематическая ошибка, характеризующая завышение или занижение расчётных значений по отношению к измеренным;  $S$  — среднеквадратическая ошибка;  $|\Delta|$  — средняя абсолютная ошибка;  $|q|$  — средняя относительная ошибка (%),  $K_{korr}$  — коэффициент корреляции,  $SI$  — скаттер-индекс (индекс разброса ошибок),  $S/\sigma$  — критерий возможности применения прогнозов (должен быть менее 0,8),  $\sigma$  — стандартное отклонение от среднего,  $P$  — обеспеченность прогнозов (%).

Оценки точности прогнозов волнения с заблаговременностью ( $T$ ) до 6,5 суток приведены в табл. 1. Наилучшие показатели получены при сравнении с данными наблюдений буёв № 22106 и 46035. В ходе анализа выявлено, что погрешности связаны с неточностями в поле батиметрии. Так, в районах расположения буёв № 22105 и 46071 присутствуют незначительные глубины, что не соответствует действительности. При настройке модели использовался электронный архив батиметрии ЕТОРО (<http://www.ngdc.noaa.gov>), в котором по отдельным морским акваториям имеются неточности, что особенно сказывается в областях с малыми глубинами.

Оправдываемость прогнозов по всем четырём буям - хорошая (критерий для среднесрочного прогноза 90-84% [2]), до 48 часов — отличная (критерий 93%). Для Японского моря прогнозы считались оправдавшимися при любой действительной высоте волн до 1 м, для буёв № 46071 и 46035 и суммарная — до 2 м, согласно [2]. Если для Японского моря, использовать критерий оправдавшейся высоты до 2 м, то обеспеченность по бую № 22105 составляет 99-95%, по № 22106 — 99-98%.

Снижение качества прогнозов с увеличением заблаговременности в значительной степени определяется увеличением ошибок прогностических данных скоростей ветра, используемых в качестве входной информации в расчетной модели ветрового волнения.

Таблица 1

**Оценка прогнозов высоты волны с данными наблюдений на буях**

<i>T</i> , часы	12	24	48	72	84	96	120	132
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Буй № 22105</b>								
$\Delta$	0,19	0,20	0,17	0,14	0,15	0,15	0,13	-0,08
<i>S</i>	0,38	0,39	0,40	0,41	0,44	0,43	0,47	0,58
$ \Delta $	0,30	0,30	0,32	0,32	0,36	0,34	0,37	0,43
$ q $	36,6	38,3	41,7	41,0	43,9	41,4	52,7	47,4
$K_{korr}$	0,88	0,87	0,85	0,83	0,82	0,83	0,77	0,61
<i>SI</i>	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,36	0,40	0,53
<i>S/σ</i>	0,57	0,58	0,59	0,60	0,63	0,61	0,66	0,82
<i>P</i>	84,7	80,6	81,9	84,3	79,2	78,2	72,3	68,7
<b>Буй № 22106</b>								
$\Delta$	-0,08	-0,09	-0,07	-0,04	-0,02	0,04	0,01	-0,02
<i>S</i>	0,29	0,29	0,31	0,32	0,33	0,34	0,36	0,39
$ \Delta $	0,22	0,22	0,24	0,24	0,24	0,25	0,27	0,27
$ q $	31,5	33,0	35,7	36,8	34,8	40,2	42,1	38,7
$K_{korr}$	0,87	0,87	0,84	0,83	0,82	0,82	0,78	0,74
<i>SI</i>	0,30	0,30	0,31	0,32	0,33	0,33	0,35	0,40
<i>S/σ</i>	0,53	0,53	0,55	0,57	0,57	0,60	0,63	0,67
<i>P</i>	90,4	90,3	88,4	90,9	90,8	87,4	84,4	86,7
<b>Буй № 46071</b>								
$\Delta$	0,12	0,32	0,54	0,59	0,63	0,65	0,71	0,62
<i>S</i>	0,84	0,84	0,91	0,94	1,05	1,10	1,27	1,23
$ \Delta $	0,66	0,65	0,69	0,72	0,81	0,86	0,97	0,93
$ q $	28,4	29,8	34,0	35,7	40,2	45,0	50,0	41,9
$K_{korr}$	0,84	0,86	0,88	0,88	0,85	0,82	0,74	0,76
<i>SI</i>	0,29	0,30	0,33	0,35	0,38	0,40	0,45	0,42
<i>S/σ</i>	0,54	0,55	0,61	0,63	0,68	0,73	0,87	0,78
<i>P</i>	81,8	85,0	85,4	83,2	78,0	75,9	65,1	72,3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Буй № 46035								
$\Delta$	-0,02	0,12	0,28	0,32	0,38	0,37	0,52	0,55
$S$	0,47	0,46	0,54	0,67	0,74	0,76	1,15	1,19
$ \Delta $	0,36	0,35	0,43	0,51	0,57	0,59	0,83	0,92
$ q $	18,9	19,8	23,8	28,3	30,7	32,6	48,7	51,8
$K_{korr}$	0,93	0,94	0,93	0,90	0,88	0,87	0,68	0,68
$SI$	0,20	0,20	0,24	0,29	0,31	0,33	0,49	0,50
$S/\sigma$	0,38	0,37	0,44	0,54	0,58	0,61	0,91	0,92
$P$	94,3	96,6	94,5	88,8	87,9	87,4	74,7	65,1
Обобщённая оправдываемость прогнозов								
$P$	93,5	94,4	93,6	91,4	90,5	87,6	83,4	84,0

Показатели качества прогнозов в терминах коэффициента корреляции и индекса рассеивания сопоставимы с таковыми для известных по литературным источникам зарубежных систем. Наибольший разброс высот волн приходится на диапазон 2-6 м, в основном для буй № 46071. Нормализованная среднеквадратическая ошибка растёт с 8% на первые сутки прогноза до 15% на пятые.

Результаты обобщённых оценок прогнозов периодов волн приведены в таблице 2. Согласно [2], оценка оправдываемости периодов волн не производится, однако, в таблице она представлена, чтобы иметь представление об успешности прогнозов.

Нормализованная среднеквадратическая ошибка уменьшается с 15,7% заблаговременности 12 часов до 14% на 48 часов и затем возрастает до 15,9% на шестые сутки.



**Оценка прогнозов периодов волн по данным наблюдений**

<i>T</i> , часы	12	24	48	72	84	96	120	132
$\Delta$	-0,51	-0,23	0,19	0,34	0,44	0,54	0,55	0,45
<i>S</i>	2,18	2,08	1,95	2,02	2,15	2,38	2,39	2,21
$ \Delta $	1,44	1,35	1,23	1,28	1,38	1,50	1,57	1,55
$ q $	18,7	18,4	17,9	19,3	20,3	22,7	23,6	24,4
$K_{korr}$	0,69	0,71	0,76	0,76	0,74	0,70	0,70	0,72
<i>SI</i>	0,29	0,28	0,26	0,27	0,29	0,32	0,32	0,30
$S/\sigma$	0,75	0,71	0,67	0,69	0,73	0,78	0,79	0,75
<i>P</i>	78,5	80,7	82,8	81,4	79,8	78,2	74,2	71,5

На диаграмме рассеивания периодов волн, изображённой на рис.2, видно, что наибольший разброс приходится на волны зыби (период более 10 сек.), что говорит о невозможности на данный момент качественно воспроизвести зыбь в модели.

При проведении оперативных испытаний в 2008 г. [1] метода прогноза волнения использовалась модель WAVEWATCH версии 2.22. Скорость приводного ветра рассчитывалась по прогностическим полям давления разрешения  $2,5 \times 2,5^\circ$ . Шаг расчётной сетки составил  $1 \times 1^\circ$ . Сравнение прогнозов волнения с заблаговременностью до 3-х суток проводилась с привлечением карт анализа, составляемых в Приморском УГМС по 32 точкам. Данные карты строились с привлечением всей информации, основой которой являлись данные попутных судовых наблюдений.

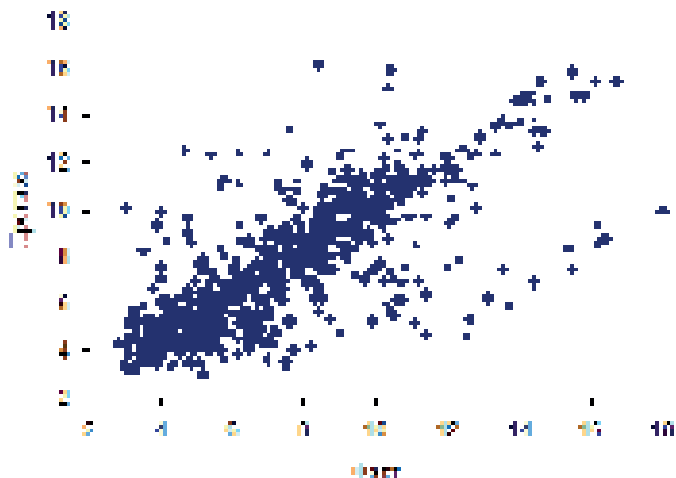


Рис. 2. Рассеивание периодов волн (сек.), прогноз на 48 часов

Для сравнения успешности прогнозов испытаний 2008 г. с данными, изложенными выше, выбрано две точки, расположение которых совпадает с координатами буёв № 22105 и 46035. Статистические оценки улучшились. Так абсолютная ошибка уменьшилась на 0,2; среднеквадратическая на 0,2-0,3; относительная ошибка на 5-15%; коэффициент корреляции вырос на 0,25-0,3; скаттер-индекс уменьшился на 0,2. Оправдываемость прогнозов увеличилась на 16%. В целом, все оценки показывают существенный прирост в точности при прогнозировании высоты ветрового волнения.

### Выводы

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы. Новая версия модели, по сравнению с предыдущей, дает более качественные оценки точности прогнозов. Увеличилась обеспеченность, уменьшились ошибки, что объясняется улучшенным физическим механизмом функций источников и стоков модели. Анализ ошибок показал слабые места в настройке модели, а именно, необходим

более качественный подход при использовании батиметрии морских акваторий.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Вражкин А.Н. Применение спектральных моделей волнения для акваторий дальневосточных морей и Тихого океана // Труды ДВНИГМИ - Юбилейный вып. ДВНИГМИ - 60 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2010. - С. 88 - 96. - ISBN 978-5-8044-1164-1.

2 Наставления по службе прогнозов. Раздел 3. Часть III Служба морских гидрологических прогнозов: РД52.27.759-2011. - М: ТРИАДА ЛТД, 2011. - 195 с.

3 Ardhuin F., Rogers E., Babanin A.V., Filipot J.-F., Magne R., Roland A., Van Der Westhuysen A., Queffelec P., Lefevre J.-M., Aouf L. Collard F. Semiempirical Dissipation Source Functions for Ocean Waves. Part I: Definition, Calibration, and Validation // J. Phys. Oceanogr., 2010. - Vol. 40 (9). - P. 1917 - 1941.

4 A unified spectral parameterization for wave breaking: From the deep ocean to the surf zone // - Vol. 117. - C00J08, doi:10.1029/2011JC007784. - 19 p.

5 Tolman H.L. A third-generation model for wind waves on slowly varying, unsteady and inhomogeneous depths and currents // J. Phys. Oceanogr. - 1991. - No. 21. - pp. 782 - 797.

**ФОНОВЫЙ ПРОГНОЗ С БОЛЬШОЙ  
ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ СРЕДНЕГО МЕСЯЧНОГО  
ПОЛОЖЕНИЯ КРОМКИ ЛЬДА НА АКВАТОРИЯХ  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ**

**Введение**

Дальневосточные моря Тихого океана играют значимую роль в экономике района. Главное направление производственной деятельности в этих морях - добыча и переработка рыбы и различных морепродуктов, освоение нефтегазоносных районов, а также работа морского транспорта. Берингово и Охотское моря особенно трудны для плавания, поскольку ледовый период на них длится более полугода.

Ледовый режим морей в значительной степени определяется его физико-географическими особенностями. Дальневосточные моря не только в целом отличаются друг от друга разнообразием региональных климатообразующих факторов, но даже по акватории одного моря выделяются области с различными условиями формирования синоптических процессов [6 - 8].

Одним из главных показателей ледового режима моря является ледовитость. От данных по ледовитости с помощью эмпирических зависимостей можно перейти к данным об удаленности кромки льда от берегов и другим важным ледовым характеристикам. Например, в [10] найдена тесная синхронная и асинхронная связь между ледовитостью Баренцева моря и кромкой льда на отдельных меридианах акватории моря, а в [12] установлена тесная корреляционная зависимость между ледовитостью и кромками льда на акваториях дальневосточных морей.

Знания об изменениях положения кромки льда в течение ледового сезона могут позволить рациональнее планировать хозяйственную деятельность на морях.

Положение кромки льда в течение месяца в отдельных случаях может существенно изменяться. Известно, что неустойчивый лед может перемещаться в зависимости от метеорологических условий над морем. Поэтому, прогнозируя среднее месячное положение кромки льда, мы даем достаточно сглаженную картину. Но в целом, колебания кромки льда будут происходить вблизи основного (фонового) положения.

### **Метод и исходные данные**

Для проведения исследований были привлечены архивы данных гидрометеорологических параметров, сформированные по архивам реанализа и другим источникам. Эти материалы использовались при разработке метода прогноза ледовитости дальневосточных морей [2, 3, 5, 15]. Архивы (поля гидрометеопараметров северного полушария: давление, приведенное к уровню моря; геопотенциал поверхности 500 гПа; температура земной поверхности; температура воздуха на уровне 850 гПа; поля относительной топографии  $OT_{1000}^{500}$ , а также индекс Южного Колебания – SOI, ледовитость морей) пополнялись в оперативном порядке и расширялись за счет новых характеристик. В частности, подготовлены файлы, содержащие информацию по кромкам льда на дальневосточных морях. Расширение области прогнозирования ледовых элементов, тем не менее, позволяет применить единую систему сбора, обработки и хранения информации.

Способ построения положения кромки льда на акватории моря приведен в монографиях по Охотскому, Японскому и Берингову морям [6-8]. Для численного представления положения кромки льда

использовалась система фиксированных направлений. Таких направлений выбрано 18 на акватории Японского моря; 21 - в Охотском и 31 - в Беринговом морях. Среднее месячное положение кромки льда рассчитывалось как арифметическое среднее из 3-х декадных значений. По каждому из направлений (лучей) сформированы временные ряды на периоде с 1961 по 2013 гг. Расчет средних величин ( $N$ ) и среднего квадратического отклонения ( $\sigma$ ) осуществлялся на базовом периоде 1971 - 2000 гг., который использовался ранее для расчетов статистических параметров ледовитости и всех упомянутых выше метеопараметров.

### **Результаты и обсуждение**

*Метод прогноза среднего месячного положения кромки льда на акватории Охотского моря*

Основой при создании метода прогноза среднего месячного положения кромки льда (СМКЛ) на акватории Охотского моря послужила методика, разработанная ранее для визуальной интерпретации категорических прогнозов ледовитости Дальневосточных морей, базирующаяся на предположении о наличии связи ледовитости моря с кромками льда [4]. По результатам авторских и оперативных испытаний оправдываемость прогнозов средней месячной ледовитости в среднем за сезон по вариантам модели, принятым к использованию, превысила 80%. Поэтому упомянутый подход к прогнозу СМКЛ можно считать обоснованным.

В целях прогноза положения кромки льда потребовалось более точно указать местонахождение границы распространения льда, выбрав из двух границ класса ледовитости (минимальной и максимальной) наиболее вероятную. Был опробован следующий простой способ отбора границы: в каждом классе выбирались минимальное и максимальное

значения ледовитости. Граница выбиралась по минимальной разности между прогностическим и экстремальными значениями ледовитости.

Более трудоемкий способ выбора границы состоял в следующем: для лучей, которые в большой степени характеризуют границу льда в Охотском море (1 - 4, 11, 14, 15), были построены прогностические модели. Схема расположения лучей в Охотском море представлена на рисунке 1.



*Рис. 1. Система лучей для снятия положения границы зоны льда в Охотском море*

Применялся алгоритм, разработанный для создания прогноза ледовитости моря [2, 3, 5, 15]. Расстояния по лучам до границы льда использовались в качестве предиктанта, а предикторы отыскивались в упомянутых выше полях гидрометеопараметров [9]. Полученные по модельному прогнозу значения расстояний до кромки льда затем сравнивались со значениями местоположения двух граничных кромок в отобранном классе ледовитости. В качестве прогностического

положения кромки льда оставлялась граница, где отмечалась наибольшая близость значений.

На ограниченном наборе случаев оба способа выбора прогностических кромок показали близкие результаты.

Данная методика отработывалась «в концепции идеального прогноза» (для оправдавшихся прогнозов ледовитости) на периоде 2001/2002-2007/2008 гг.. Качество прогнозов оценивалось при визуальном сравнении изображений на карте прогностической и фактической кромок. На отдельных участках разница между положением кромок льда была очевидна, но конфигурация обеих кромок, в целом, достаточно хорошо совпадала.

В качестве примера приведем прогноз положения кромки льда на акватории Охотского моря с использованием второго способа выбора граничной кромки для оправдавшегося прогноза ледовитости в январе 2007 г. (рис. 2).

*Метод прогноза среднего месячного положения кромки льда на акватории Японского моря*

Для прогноза среднего месячного положения кромки льда на акватории Японского моря был использован другой подход.

Как отмечалось в [11], если повторяемость значительных изменений кромки льда велика, то прогнозировать ее целесообразно. При малой вероятности больших изменений кромки прогнозировать её положение не следует, так как в этом случае можно вполне ограничиться нормой. Это утверждение использовалось для разработки метода прогноза среднего месячного положения кромки льда на акватории Японского моря.





*Факт - красная кривая. Прогноз: зеленая -  
минимальная граница в классе «норма»*

*Рис. 2. Среднее месячное положение кромки льда в январе 2007 г.*

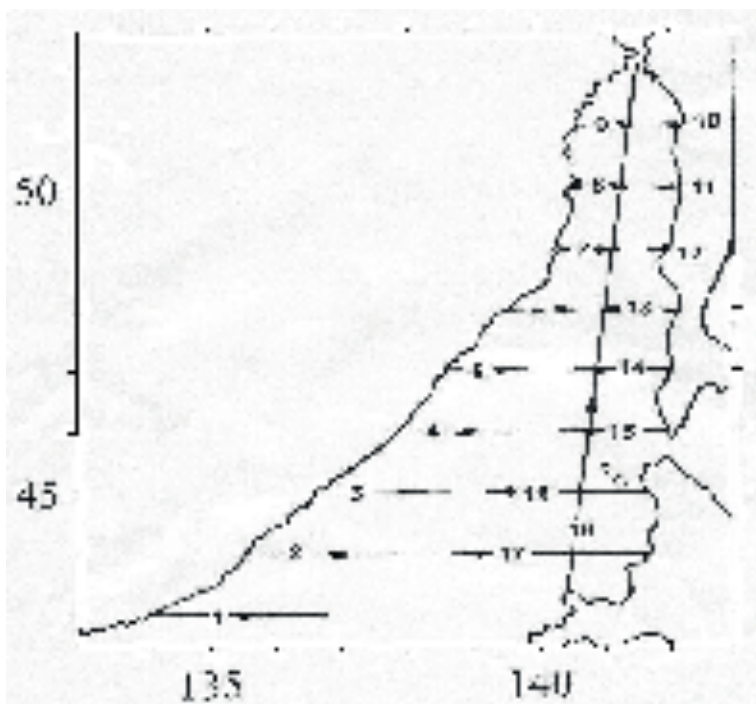
Исследования в настоящей работе проводились по следующему алгоритму.

По каждому из лучей на 30-летнем базовом периоде рассчитывались статистические характеристики. Система лучей в Татарском проливе для снятия положения границы льда приведена на рис. 3.

Затем на 7-летнем периоде проверочной выборки (2001/02 – 2007/08 гг.) осуществлялся и оценивался климатологический прогноз.

Для оценки качества прогноза использовались критерии, применяемые для проверки успешности прогнозов средней месячной ледовитости моря [13]. Оправдываемость (Р%) прогнозов рассчитывалась по отдельному лучу. Для заблаговременности более 6 месяцев Р% составляла 100% в случае ошибки (разности

прогностического и фактического расстояний до кромки льда) прогноза менее  $\pm \sigma$ .



*Рис. 3. Система лучей в Татарском проливе для снятия положения границы льда*

Оправдываемость прогноза всей кромки определялась как среднее арифметическое из оправдываемостей по всем лучам.

По результатам оценки выявлялись лучи, по которым средняя оправдываемость климатологических прогнозов на независимой выборке составляла 100%, что свидетельствовало об отсутствии значительных изменений кромки на упомянутом периоде. Как правило, эти случаи совпадали с небольшими значениями  $\sigma$ . По остальным лучам проводились вычислительные эксперименты с использованием всех наборов данных, упомянутые выше, для выявления оптимальных (с максимальной оправдываемостью) прогностических моделей. В качестве предиктанта использовалось расстояние по лучу до границы льда. Когда

по конкретному направлению не удавалось найти прогностическую модель с оправдываемостью, превышающей оправдываемость климатологического прогноза, в методе прогнозировалось среднее многолетнее значение.

В итоге, методический прогноз среднего месячного положения кромки льда по всей акватории моря формировался из прогнозов по отобраным для большинства лучей моделям (назовем его модельным) и климатологических прогнозов, осуществленных по оставшимся лучам. Таким образом, создана смешанная («гибридная») схема прогноза среднего за месяц положения кромки льда.

Проведем сравнение модельного и климатологического прогнозов, осуществленных по отдельным лучам. В таблице 1 приводится оправдываемость таких прогнозов. Пустые ячейки свидетельствуют об отсутствии модельного прогноза в данном месяце по данному лучу.

В случае средней за сезон оценки ледовитости, рассчитанной по всем 5 месяцам ледового сезона (лучи 5 - 7, 12 и 18), безусловное преимущество на стороне модельных прогнозов. Для 4-го луча схема была найдена только для января, при этом климатологический прогноз оказался успешнее. По 11 лучу оправдываемость обоих видов прогноза совпала для декабря, января и марта, а в апреле Р% климатологического прогноза превысила Р% модельного прогноза. Однако средняя абсолютная ошибка модельных прогнозов даже в апреле оказалась меньше, чем климатологических.

В таблице 2 приведены характеристики неоправдавшихся модельных и климатологических прогнозов. Почти все аномалии в положении кромки льда отмечаются по упомянутой совокупности направлений (по 11 лучам из 18). По другим лучам (1 - 3, 14 - 17) таких

аномалий отмечено за этот же 7-летний период с января по март всего 5 случаев. Из них 3 случая приходится на 3-й луч. Заметим, что климатологический прогноз, по определению, не оправдывается только при наличии фактической аномалии, превышающей  $\sigma$ , тогда как методический прогноз может быть неуспешным, если указанная в прогнозе аномалия больше  $\sigma$ , не осуществилась.

Таблица 1

**Оправдываемость прогнозов среднего месячного положения кромки льда в Японском море по 11 лучам на периоде проверочной выборки**

Ме- сяц	Прог ноз	Луч										
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	18
XII	мод		86	100	100	71	86	71	71	86		100
	кл		86	86	86	57	71	57	71	86		86
I	мод	86	86	100	86				100	100	100	100
	кл	100	71	71	86				100	43	100	100
II	мод		100	100	86					86	100	100
	кл		86	86	86					86	100	86
III	мод		100	86	57				100	71	100	71
	кл		100	71	57				100	71	86	43
IV	мод		100	100	100	100	86	86	86	100		100
	кл		100	100	100	100	86	100	100	100		100
XII- IV	мод	86	94	97	86	86	86	79	89	89	100	94
	кл	100	89	83	83	79	79	79	93	77	95	83

*Примечание:* мод — модельные и кл — климатологические прогнозы

Как свидетельствуют данные таблицы 2, основные ошибки модельного прогноза СМКЛ связаны с аномальностью ледовых условий (столбцы 6 и 8). При этом модельные прогнозы аномалий более

среднеквадратического отклонения, успешнее климатологических (столбцы 4 и 8).

Таблица 2

**Оценки успешности прогнозов кромки льда на акватории Японского моря на периоде проверочной выборки по 11 лучам (4-13, 18)**

Месяц прогноза	Общее число прогнозов	Неоправдавшиеся прогнозы					
		климатологические		модельные			
		Число случаев	%	Общее число сл.	%	Аномалия $>\sigma$	
						число сл.	%
1	2	3	4	5	6	7	8
Декабрь	63	15	23,8	9	14,3	6	9,5
Январь	56	9	16,1	3	5,4	2	3,6
Февраль	42	5	11,9	2	4,8	2	4,8
Март	49	12	24,5	8	16,3	7	14,3
Апрель	63	1	1,6	3	4,8	0	0

Наконец, приведем оценки прогноза среднего за месяц положения всей кромки льда. В таблице 3 помещены средние на проверочной выборке оценки методического («гибридного») (Метод) и климатологического (Климат) прогнозов, а также разность значений методического и климатологического прогнозов (эффективность – Эфф.).

Отрицательная величина разности абсолютных ошибок и положительные значения разности оправдаваемости свидетельствуют об эффективности методического прогноза.

Методические прогнозы, также как и модельные, только в апреле по оправдаваемости незначительно уступают климатологическим. Средние за сезон оценки указывают на преимущество методических прогнозов.

**Оценки прогнозов среднего месячного положения кромки льда на акватории Японского моря на периоде проверочной выборки**

прогноз	Месяц											
	XII		I		II		III		IV		XII - IV	
	$ \Delta $	P	$ \Delta $	P	$ \Delta $	P	$ \Delta $	P	$ \Delta $	P	$ \Delta $	P
Метод.	6,7	93	4,3	97	6,1	97	6,6	92	3,9	98	5,52	95,4
Климат.	7,7	88	5,1	92	6,8	95	7,5	89	4,8	99	6,38	92,6
Эфф.	-1,0	5	-0,8	5	-0,7	2	-0,9	3	-0,9	-1	-0,86	2,8

*Примечание:*  $|\Delta|$  — абсолютная ошибка, P(%) — оправдываемость

*Метод прогноза среднемесячного положения кромки льда на акватории Берингова моря*

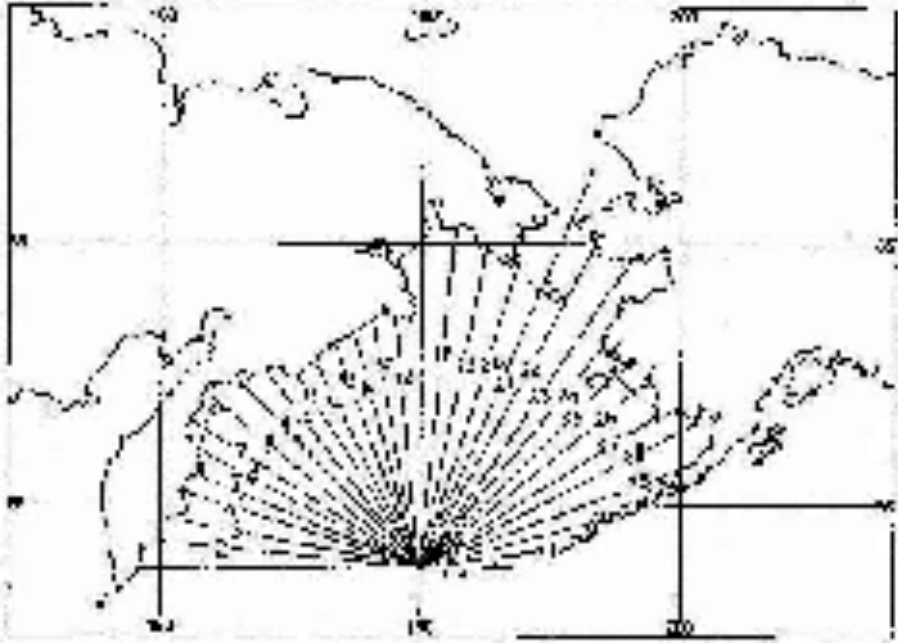
В отличие от других морей, все лучи в Беринговом море исходят из одного узла. Настоящее исследование проводилось по 31 направлению, которые использовались для фиксирования положения кромки льда в Беринговом море. Их расположение и нумерация представлены на рис. 4.

При создании метода прогноза средней месячной кромки льда в Беринговом море использовался опыт, приобретенный при разработке метода прогноза этого параметра в Японском море.

Результаты прогнозов оценивались на независимой выборке в 11 лет (2001/2002-2011/2012 гг.).

Следует отметить, что в [14] обращено внимание на сходство и различия процессов формирования кромки льда на различных участках Берингова моря. В данном исследовании также можно выделить некоторые особенности в использовании вида прогнозирования кромки льда на акватории моря. Так, по 30 и 31 лучам в качестве прогностического всегда используется климатическое значение кромки

льда. В секторе от 1 до 6 луча часто прогнозируются как N, так и значения, полученные по прогностической модели, где в число предикторов входят предшествующие значения положения границы льда.



*Рис. 4. Система лучей для снятия положения границы зоны льда в Беринговом море*

В целом, по каждому месяцу климатологические прогнозы используются по 4-6 лучам и только в начале и конце ледового сезона – больше. В декабре - по 7, а в мае – по 10 лучам. По другим лучам удалось отобрать прогностические модели, успешность которых, в основном, достаточно высокая (оправдываемость - более 80%) и превосходит успешность климатологических прогнозов.

Результаты оценки методических и климатологических прогнозов всей кромки льда в Беринговом море, осредненные за период 2001/02-2011/12 гг. проверочной выборки, представлены в таблице 4. Также в

ней помещены данные об эффективности предложенного метода прогноза.

Таблица 4

***Средняя за период проверочной выборки оправдываемость (%) прогнозов всей кромки в Беринговом море***

Способ прогноза	Месяц						сезон
	XII	I	II	III	IV	V	
Методический	89,3	86,9	90,7	87,8	91,9	91,6	89,7
Климатологический	61,5	62,7	67,4	65,7	71,8	68,2	66,3
Эффективность	27,8	24,2	23,3	22,1	20,1	23,4	23,4

Высокая (более 20%) эффективность методических прогнозов отмечается во все месяцы ледового сезона.

*Опытный прогноз положения кромки льда по акваториям дальневосточных морей на месяцы ледового сезона 2012/2013 гг.*

Для проверки предложенных методик по всем морям осуществлен прогноз положения кромки льда на месяцы ледового сезона 2012/2013 гг. и проведена его оценка. Этот сезон не вошел в период исследований. Аналогичные оценки получены для климатологического прогноза.

Для визуального сравнения на каждый месяц ледового сезона были построены рисунки, где по акваториям Японского, Охотского и Берингова морей изображались три кромки: фактическая, климатическая и методическая. Для примера приведем рисунки для 2-х месяцев: декабря - начало ледового сезона (рис. 5); февраля – месяца с устойчивым ледяным покровом (рис. 6).

В качестве основного параметра, характеризующего качество прогноза, использовалась оправдываемость. Напомним, что  $P(\%)$



рассчитывалась как среднее арифметическое из оправдываемостей, рассчитанных по каждому из лучей.

Для Японского моря в сезоне 2012/2013 гг. эффективнее оказались методические прогнозы. Средняя за сезон оправдываемость климатологических прогнозов среднего месячного положения кромки льда составила 78,9%, а методических – 87,8%. Наименее успешными методические прогнозы были в начале и конце сезона (83% - в декабре и 78% - в апреле), климатологические – в феврале (72%).

Эффективность методических прогнозов с января по март превысила 11%. В апреле оправдываемость методического и климатологического прогнозов оказалась равной, а в декабре - на 5% выше.

Визуальный анализ кромок соответствует представленным выше оценкам оправдываемости прогнозов.

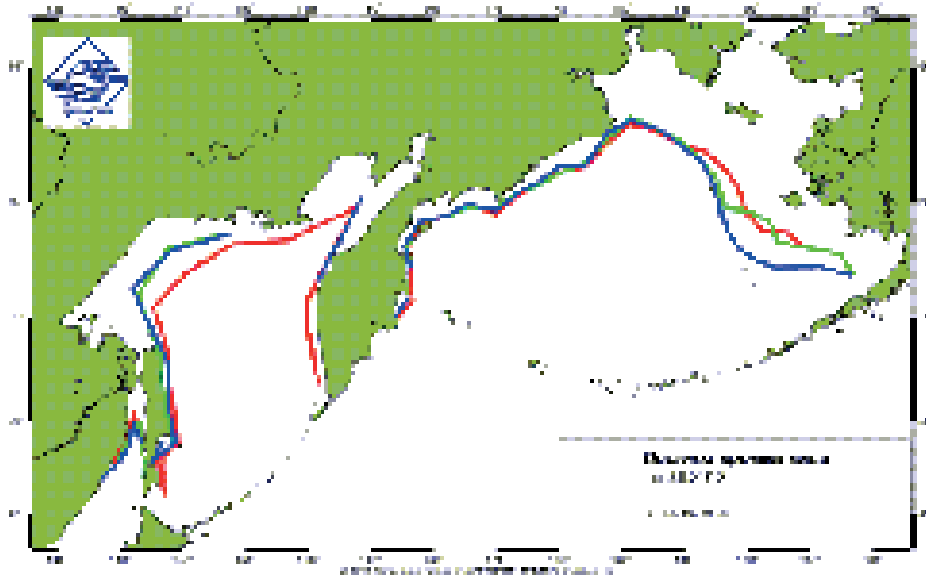
Результаты квазиоперативного методического и климатологического прогнозов положения кромки льда на акватории Берингова моря в ледовый сезон 2012/2013 гг. помещены в таблице 5.

Сезон 2012/2013 гг. в Беринговом море был экстремально ледовитым. В течение всего периода (с декабря по май) аномалии средней месячной ледовитости превысили стандартные отклонения для этих месяцев более чем в два раза.

Таблица 5

***Оправдываемость (%) и эффективность прогнозов кромки льда в Беринговом море в сезон 2012/2013 г.***

Способ прогноза	Месяц						сезон
	XII	I	II	III	IV	V	
Методический	77,4	96,8	67,7	87,1	96,8	100	87,6
Климатологич.	64,5	61,3	22,6	51,6	80,6	71	58,6
Эффективность	12,9	35,5	45,1	35,5	16,2	29	29



Красная линия – климатологический прогноз; зеленая – методический; синяя – фактическая кромка льда

Рис. 5. Прогностическое и фактическое среднее месячное положение кромки льда в декабре 2012 г.

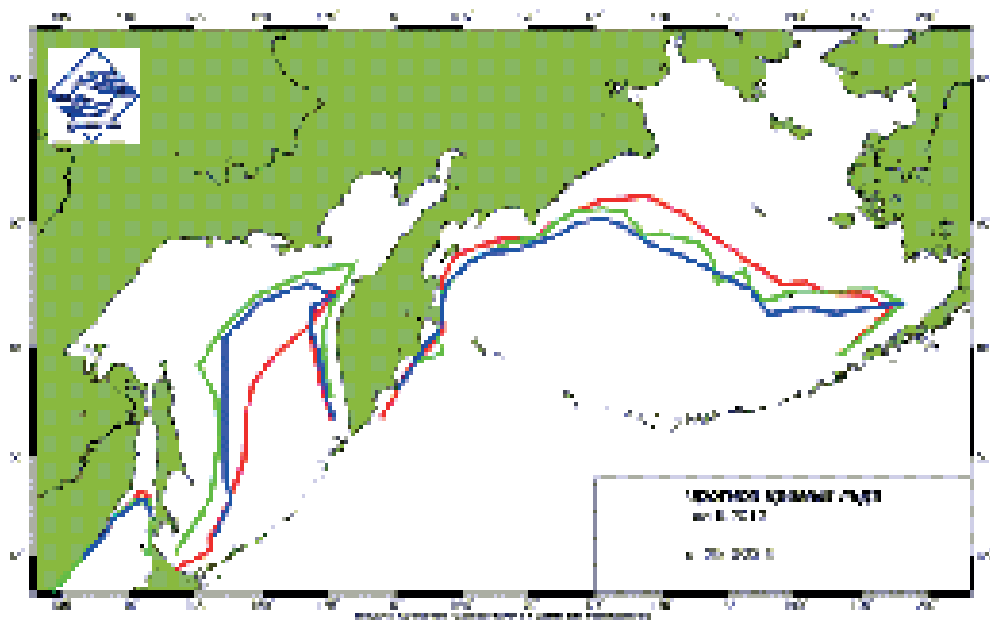


Рис. 6. Прогностическое и фактическое среднее месячное положение кромки льда в феврале 2013 г.

В этом ледовом сезоне минимальная оправдываемость методического прогноза положения кромки льда на акватории Берингова моря отмечалась в феврале 2013 г., а максимальная – в мае. При этом эффективность методических прогнозов в феврале оказалась наибольшей из всех месяцев сезона. Более детальный (по лучам) анализ результатов прогноза в эти месяцы показал следующее.

В феврале 2013 г. из климатологических прогнозов, составленных по 31 лучу, не оправдалось 24 прогноза. Методические прогнозы не оправдались в 10 случаях, из которых 1 прогноз (по 13 лучу) реализовывался по среднему многолетнему значению. Семь не оправдавшихся прогнозов отмечались по лучам в западной части моря, а 3 – по лучам от 26 по 28 - в восточной части.

В мае зафиксированы значительные (превышающие  $\sigma$ ) аномалии по 9 лучам. Методические прогнозы кромки льда по всем лучам оказались успешными.

В феврале наибольшее расхождение в положении кромки льда отмечается от  $186^\circ$  до  $196^\circ$  в.д. В мае на этом участке фактическая и методическая прогностическая кромки располагаются очень близко. При визуальном анализе (рисунок 6) видно, что методическая кромка, на всей акватории моря, ближе к фактической, по сравнению с кромкой, построенной по климатическим данным.

В Охотском море прогноз положения кромки льда на месяцы ледового сезона 2012/2013 гг. по предложенной методике оценивался не только качественно, но и количественно. Заметим, что в этом сезоне оправдываемость прогноза ледовитости на акватории Охотского моря составила 100%.

Визуальный анализ позволил выделить как весьма успешный прогноз кромки льда на всей акватории моря в декабре (рис. 5). В

остальные месяцы можно обнаружить участки, где конфигурация прогностической кромки заметно отличается от конфигурации фактической кромки льда. Такие же свойства кромки отмечаются в случае климатологического прогноза (например, рис. 6). Для количественной оценки качества методического и климатологического прогнозов по каждому из лучей рассчитывалась их оправдываемость и абсолютная разность между прогностическим и фактическим значениями расстояний до кромки льда ( $|\Delta|$ ). Величины этих параметров, осредненные по 21 лучу, помещены в таблицу 6.

Количественные оценки, показали преимущество методических прогнозов по сравнению с климатологическими на всей акватории Охотского моря в декабре (на 19%) и марте (эффективность - 5%). В апреле оправдываемость методического и климатологического прогнозов оказалась одинаковой. В январе, феврале и мае эффективнее оказались климатологические прогнозы.

Тем не менее, если проанализировать оценки прогнозов по отдельным лучам, то можно отметить, что в январе только в восточной части моря (лучи 15 - 21) климатологический прогноз кромки льда оказался точнее. В феврале методический прогноз в северной части моря (11 - 14 лучи) удачнее климатологического, а в мае методический и климатологический прогнозы кромки льда на западе и востоке акватории моря оказались на одном уровне.

**Оценки прогноза кромки льда по акватории Охотского моря  
в ледовый сезон 2012/2013 гг.**

Способ прогноза	Месяц						
	XII	I	II	III	IV	V	сезон
Оправдываемость							
Методический	90,5	71,4	66,7	76,2	61,9	66,7	72,2
Климатологич.	71,4	95,2	90,5	71,4	61,9	85,7	79,4
Эффективность	19,1	-23,8	-23,8	4,8	0	-19,0	-7,2
Абсолютная ошибка							
Методический	11,9	4,1	1,3	12,8	19,1	11,9	10,2
Климатологич.	21,4	0,7	2,2	13,9	20,0	0,3	9,8
Эффективность	-9,5	3,4	-0,9	-1,1	-0,9	11,6	0,4

Для предвычисления СМКЛ на акватории Охотского моря была опробована гибридная схема. Предварительные оценки позволяют надеяться на повышение качества прогнозов. Однако при недостатке времени для проведения расчетов или отсутствии данных, предложенный подход также может быть применен для фонового долгосрочного прогноза среднего месячного положения кромки льда на акватории Охотского моря.

### **Выводы**

Разработаны методы прогноза среднего месячного положения кромки льда по акваториям дальневосточных морей. Испытаны два подхода к решению этой задачи. Для Охотского моря метод строился на основе прогноза ледовитости, с использованием экстремальных граничных кромок. На акваториях Японского и Берингова морей методика создавалась на основе прогностических физико-статистических моделей, построенных по большинству фиксированных направлений, и климатологических прогнозов – по оставшимся лучам. Более успешным оказался второй подход.

Осуществлен квазиоперативный прогноз среднемесячного положения кромки льда на ледовый сезон 2012/2013 гг. Самыми эффективными оказались методические прогнозы в Беринговом море. Превышение оправдываемости методических прогнозов над климатологическими в среднем за сезон составило 29%. В Японском море эффективность методических прогнозов с января по март превысила 11%. В апреле оправдываемость методического и климатологического прогнозов оказалась равной, а в декабре - на 5% выше. На всей акватории Охотского моря преимущество методических прогнозов по сравнению с климатологическими выявлено в декабре (19%) и марте (5%). В апреле оправдываемость методического и климатологического прогнозов оказалась одинаковой. В январе, феврале и мае эффективнее оказались климатологические прогнозы. Хотя можно выделить участки моря, когда и в эти месяцы методические прогнозы кромки льда лучше или на уровне климатологических.

Полученные результаты подтверждают выводы о принципиальной возможности прогноза среднего месячного положения кромки льда на акваториях дальневосточных морей с большой заблаговременностью по предложенным методам.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Алдошина Е.И. Изменение ледовитости и положения кромки льда в Японском и Охотском морях в весенне-летнее время // Труды ГОИН, 1960. - Вып. 54. - С. 22 - 34.

2 Анжина Г.И., Вражкин А.Н., Щербинина Т.П., Примачев Е.В. Автоматизированный метод прогноза средней месячной ледовитости Охотского, Японского и Берингова морей с заблаговременностью до одного года // Информационный сборник №40, 2013. - М.; Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2013. - С. 80 - 96.

3 Анжина Г.И., Вражкин А.Н. Ансамблевый подход к долгосрочному прогнозу ледовитости Берингова моря и метод прогноза ее средних месячных значений с большой заблаговременностью // Труды ДВНИГМИ - Юбилейный

вып. ДВНИГМИ - 60 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2010. - С. 145 - 157. - ISBN 978-5-8044-1164-1.

4 Анжина Г.И., Вражкин А.Н. Визуальная интерпретация категорических прогнозов ледовитости дальневосточных морей // Труды ДВНИГМИ. - Вып.154. - Владивосток: Дальнаука, 2012. - С. 91 - 100. - ISBN 978-5-8044-1360-7.

5 Анжина Г.И., Вражкин А.Н. Ледовитость Японского моря с заблаговременностью более 6 месяцев // Труды ДВНИГМИ - Юбилейный вып. ДВНИГМИ - 60 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2010. - С. 134 - 144.- ISBN 978-5-8044-1164-1.

6 Гидрометеорология и гидрохимия морей. В 10 т. Том X: Берингово море. Выпуск 1: Гидрометеорологические условия. - СПб: Гидрометеиздат, 1999. - 300 с. - ISBN 5-286-01447-X.

7 Гидрометеорология и гидрохимия морей. В 10 т. Том IX: Охотское море. Выпуск 1: Гидрометеорологические условия. - СПб: Гидрометеиздат, 1999.- 344 с. - ISBN 5-286-01447-X.

8 Гидрометеорология и гидрохимия морей. В 10 т. Том VIII: Японское море. Выпуск 1: Гидрометеорологические условия. - СПб: Гидрометеиздат, 2003. - 400 с. - ISBN 5-286-01447-X.

9 Жежко Р.Я., Толмачева М.А. О способе выявления информативных предикторов // Труды ДВНИГМИ. - Вып.136. - СПб: Гидрометеиздат, 1990. - С. 110 - 118.

10 Каракаш А.И. Прогноз положения кромки льда на Баренцевом море // Метеорология и гидрология, 1958. - № 9 - С. 16 - 21.

11. Каракаш Е.С. Об изменчивости положения кромки льда в Северном Каспии и возможности её предсказания // Труды ГОИН, 1964 - Вып. 76. - С. 80 - 103.

12 Крындин А.Н. Сезонные и межгодовые изменения ледовитости и положения кромки льда на дальневосточных морях в связи с особенностями атмосферной циркуляции // Труды ГОИН, 1964 - Вып. 71. - С. 5 - 82.

13 Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов: РД 52.27.284-91: ввод в действие с 01.01.92. - СПб.: Гидрометеиздат, 1991. - 152 с.

14 Плотников В.В. Об одном методе вероятностного прогноза смещения кромки льда в Беринговом море // Метеорология и гидрология, 1984. - № 2 - С. 62 - 68.

15 Anzhina G.I., Vrazhkin A.N. Long-term forecasting Method of the ice cover in the Okhotsk sea using physical-statistical model // Pacific Oceanography, 2008. - V. 4, №1-2.- P. 45-49.

*А. В. Севастьянов, Т. С. Лишавская, Т. В. Чаткина  
ФГБУ «ДВНИГМИ», г. Владивосток*

## **МОНИТОРИНГ САМООЧИЩЕНИЯ МОРСКИХ ВОД И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ УССУРИЙСКОГО ЗАЛИВА В РАЙОНЕ БЫВШЕГО ГОРОДСКОГО ПОЛИГОНА БЫТОВЫХ ОТХОДОВ (БУХТА ГОРНОСТАЙ)**

### **Введение**

В 2010 г. администрацией г. Владивостока было принято решение о ликвидации полигона захоронения твердых бытовых отходов на берегу Уссурийского залива (залив Петра Великого Японского моря), где происходила их утилизация с частичным захоронением отходов в морскую среду бухты Горностай Уссурийского залива. В период 2010-2011 гг. была проведена рекультивация данного объекта.

Для оценки современного состояния морской среды и донных отложений прилегающей акватории Уссурийского залива после проведения рекультивационных мероприятий была выполнена работа по систематизации, обработке и анализу проб донных отложений и морской воды на поверхности и у дна на трех станциях: 108, 100 и 103с системы Общегосударственной службы наблюдений (ОГСН).

Цель исследования: анализ экологической ситуации в водной среде и донных отложениях рассматриваемого района Уссурийского залива.

### **Исходные данные**

Наблюдения за гидрологическим, гидрохимическим режимом и загрязнением морских вод на сети станций ОГСН в прибрежных районах залива Петра Великого проводятся уже на протяжении около пятидесяти лет совместно ФГБУ «ДВНИГМИ» и Приморским УГМС. Данные наблюдения проводятся ежегодно, с марта по ноябрь. Полученные в



ходе исследований данные обрабатываются, анализируются и заносятся в специальные Отчеты и Ежегодники, которые используются в дальнейшем организациями, связанными с изучением и оценкой современного экологического состояния залива Петра Великого.

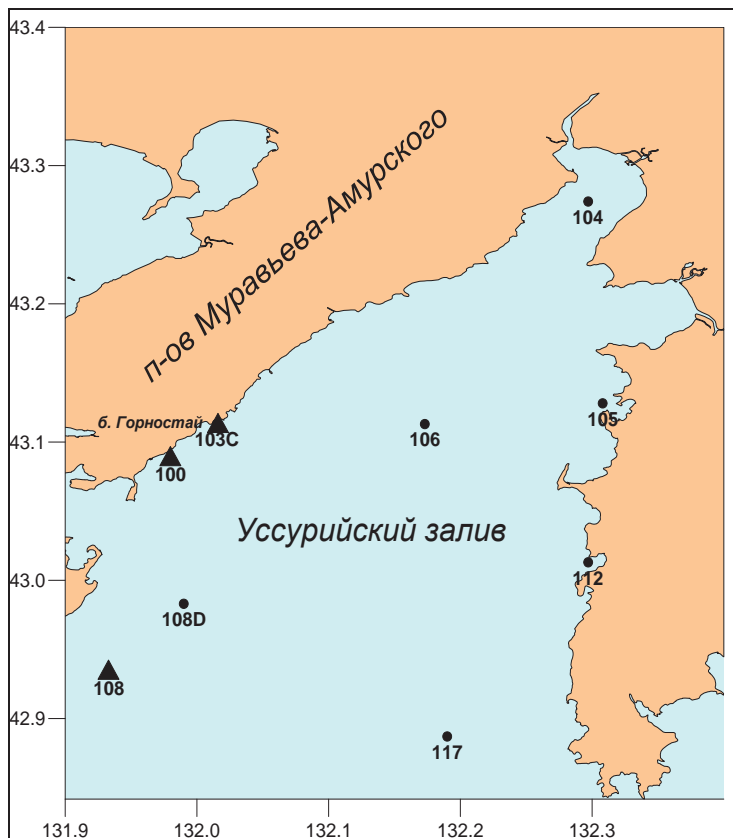
Для оценки загрязнения морской среды проводятся наблюдения за нефтяными углеводородами (НУ), тяжелыми металлами (ТМ), хлорорганическими пестицидами (ХОП), фенолами и детергентами.

По материалам проводимых на сети станций ОГСН исследований можно качественно оценивать экологическую ситуацию в заливе Петра Великого в целом и его отдельных бухт и заливов в частности и прогнозировать дальнейшее развитие ситуации с целью оценки уровня антропогенной нагрузки на морскую среду [1, 2, 6, 13].

Ст. 100 и 103с были выбраны в связи с тем, что они находятся в непосредственной близости от бывшего полигона захоронения твердых бытовых отходов г. Владивостока. Ст. 108 была выбрана в качестве фоновой станции, или станции сравнения, так как расположена в открытой части Уссурийского залива. Расположение станций ОГСН в Уссурийском заливе представлено на рис.1.

Исследования на ст. 103с были начаты в 2001 г., поэтому временной ряд наблюдений был выбран за последние двенадцать лет, с 2001 по 2012 гг. включительно. В 2003 г. наблюдения на сети станций ОГСН прибрежных акваторий залива Петра Великого не проводились по причине отсутствия в этом году финансирования.

Для анализа сложившейся экологической ситуации рассматриваемого района Уссурийского залива в качестве приоритетных поллютантов были выбраны нефтяные углеводороды, хлорорганические пестициды и тяжелые металлы: свинец (Pb), медь (Cu), ртуть (Hg), кадмий (Cd), цинк (Zn), никель (Ni).



*Рис. 1. Схема расположения станций ОГСН в Уссурийском заливе.  
Треугольниками выделены станции 100, 103с и 108*

Определение углеводородов нефти в компонентах морской экосистемы проводилось методом инфракрасной спектрофотометрии с предварительной экстракцией проб гексаном, очисткой экстракта с помощью колоночной хроматографии на окиси алюминия и последующем определении концентрации нефтяных углеводородов на спектрофотометре. Хлорированные углеводороды определяли хроматографическим методом. Содержание тяжелых металлов - непламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрией. Все анализы выполнялись сотрудниками Приморского УГМС с применением

---

---

Труды ФГБУ «ДВНИГМИ»  
действующих руководств и стандартных методик Росгидромета РФ [3, 4,  
5, 9, 10].

### Результаты и обсуждение

На рис. 2 - 4 представлено изменение концентраций загрязняющих веществ (НУ, ХОП, ртуть и цинк) в поверхностном и придонном слоях морской воды на станциях Уссурийского залива.

В табл. 1 даны предельно-допустимые концентрации изучаемых загрязняющих веществ в морской воде [8].

Таблица 1

#### *Предельно допустимые концентрации исследуемых загрязняющих веществ в морской воде*

Ингредиент	НУ	ХОП	Pb	Cu	Hg	Cd	Zn	Ni
Ед. изм.	мг/л	нг/л	мкг/л					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПДК	0,05	10	10	5	0,01	10	50	10

Анализ полученных данных показал, что содержание пестицидов и всех анализируемых ТМ (за исключением ртути) в поверхностном слое анализируемых станций Уссурийского залива в 2001 - 2012 гг. не превышало установленной для них ПДК и имело тенденцию к снижению. Концентрации ртути в воде на всех станциях превышали ПДК в 2-6 раз до 2012 г. В 2012 г. происходит существенное снижение концентраций Hg, что может быть связано с прекращением сбросов твердых бытовых отходов в морскую среду.

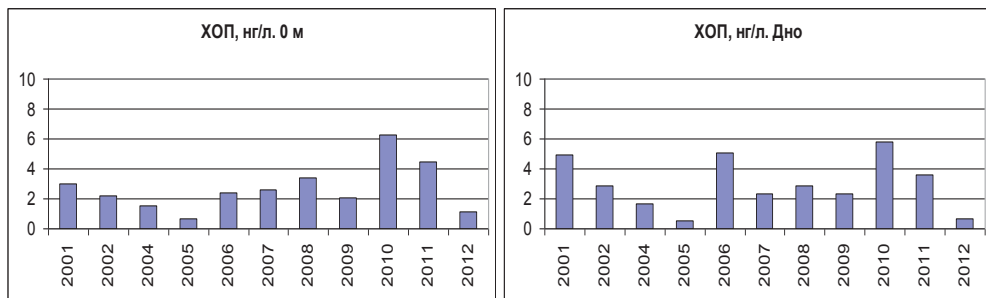


Рис. 2. Изменение концентраций ЗВ в морской воде в поверхностном и придонном слоях станции 103 в 2001-2012 гг.

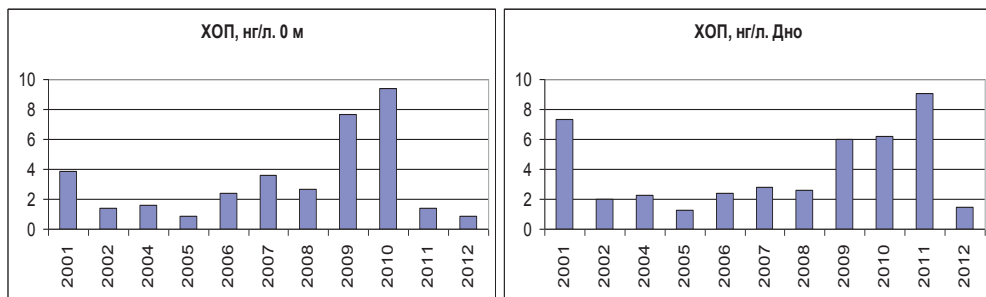


Рис. 3. Изменение концентраций ЗВ в морской воде в поверхностном и придонном слоях станции 100 в 2001-2012 гг.

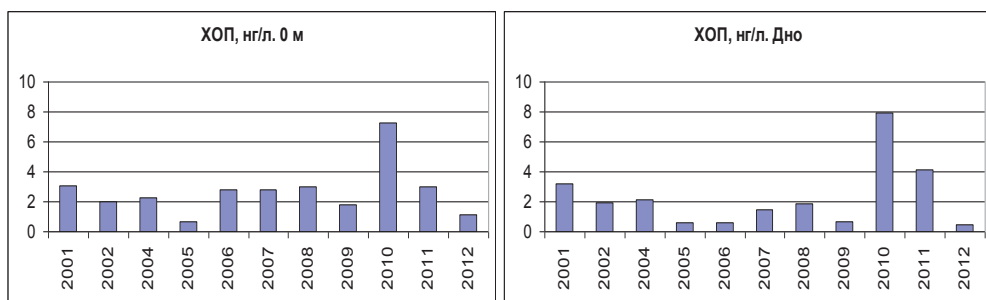


Рис. 4. Изменение концентраций ЗВ в морской воде в поверхностном и придонном слоях станции 108 в 2001-2012 гг.

Концентрации нефтяных углеводородов в воде на всех станциях высоки и превышали ПДК в 2 - 3 раза. Отмечена устойчивая тенденция к их снижению на станциях 103с и 108 в последние годы.

В придонном горизонте анализируемых станций ОГСН сложилась идентичная картина той, что и на поверхности (за исключением содержания в морской воде нефтепродуктов). Содержание пестицидов и всех анализируемых ТМ (за исключением ртути) в воде у дна в 2001 - 2012 гг. не превышало установленных ПДК и имело тенденцию к снижению. Концентрации ртути в придонной воде на всех станциях превышали ПДК в 2-8 раз. В 2012 г. также происходит существенное снижение концентраций до 0.01 мкг/л.

Ситуация с нефтепродуктами такова, что на станциях 100 и 103с их концентрации в воде превышали ПДК в 2 - 3 раза, имея устойчивую тенденцию к увеличению со временем. На фоновой станции 108 концентрации НУ в воде близки к ПДК. В 2012 г. они увеличиваются, превышая ПДК более чем вдвое. Превышение ПДК нефтепродуктов может быть связано с завершением в этом году строительства объектов Саммита АТЭС и увеличившимся в связи с этим судоходством вблизи побережья острова Русский.

Исследования последних лет показали, что в Уссурийском заливе происходит перенос более теплых и менее соленых морских вод вдоль западного побережья залива, поступление их в восточную часть пролива Босфор Восточный и распространение затем вдоль восточного побережья о-ва Русский [11]. Таким образом, загрязнение морской среды в районе ст. 108 может быть обусловлено загрязнением морских вод пролива Босфор Восточный в 2008 - 2012 гг. в связи со строительством объектов Саммита АТЭС на о. Русский.

В таблице 2 приведено осредненное содержание загрязняющих веществ в донных отложениях Уссурийского залива в период с 2001 по 2012 гг.

Таблица 2

**Содержание ЗВ в донных отложениях Уссурийского залива в 2001-2012 гг.**

Станция	НУ	ХОП	Рb	Сu	Ni	Zn	Cd	Hg
	мг/г	нг/г	мкг/г					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>2001 г.</b>								
103с	0,05	1,1	25,0	16,8	8,2	27,0	0,4	0,07
100	0,06	11,8	65,0	51,0	12,3	36,0	1,3	0,07
108	0,03	1,7	13,0	6,3	9,2	28,0	0,2	0,07
<b>2002 г.</b>								
103с	0,04	4,2	46,0	40,0	13,4	55,3	0,8	0,10
100	0,03	6,1	33,7	19,7	7,1	51,3	1,4	0,06
108	0,03	2,2	11,1	4,7	9,1	26,7	0,7	0,06
<b>2004 г.</b>								
103с	0,05	3,1	64,5	60,5	7,8	99,0	0,4	0,16
100	0,03	3,4	18,0	8,0	3,3	25,5	0,7	0,15
108	0,06	1,5	7,6	6,2	4,2	25,5	2,3	0,11
<b>2005 г.</b>								
103с	0,03	10,5	45,0	42,5	5,8	87,0	0,1	0,29
100	0,01	10,3	16,0	11,5	4,6	36,0	0,2	0,35
108	0,11	д/о	8,3	5,5	4,7	25,5	0,2	0,18
<b>2006 г.</b>								
103с	0,06	1,0	52,0	62,0	8,0	104,0	0,0	0,11
100	0,05	11,4	16,0	9,7	0,0	23,0	0,0	0,04
108	0,17	0,4	8,2	5,6	6,2	33,0	0,5	0,13
<b>2007 г.</b>								
103с	0,19	8,7	25,0	57,3	5,7	77,3	0,0	0,12
100	0,11	12,0	23,0	14,3	5,4	38,7	0,0	0,15
108	0,12	2,4	7,7	4,8	4,6	29,3	0,0	0,07

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>2008 г.</b>								
103с	0,04	6,6	31,0	46,0	7,7	57,0	0,5	0,04
100	0,04	9,6	13,0	15,0	4,6	16,0	0,1	0,07
108	0,25	2,8	2,6	6,2	6,0	12,0	0,2	0,03
<b>2009 г.</b>								
103с	0,06	4,1	31,3	18,2	0,9	33,0	0,0	0,04
100	0,07	5,4	20,7	10,5	2,0	26,0	0,0	0,04
108	0,10	3,6	11,3	5,3	5,0	22,0	0,3	0,02
<b>2010 г.</b>								
103с	0,04	5,5	37,7	27,7	4,1	52,0	0,0	0,08
100	0,07	11,1	26,7	18,0	3,8	35,7	0,1	0,09
108	0,07	2,7	9,8	5,3	4,9	26,3	0,0	0,03
<b>2011 г.</b>								
103с	0,20	6,5	21,3	9,3	2,5	28,0	0,0	0,03
100	0,09	11,4	43,5	28,3	6,6	71,3	0,1	0,22
108	0,13	8,0	9,7	5,2	6,5	24,7	0,1	0,02
<b>2012 г.</b>								
103с	0,08	1,5	29,5	25,0	4,5	61,5	0,1	0,02
100	0,11	6,5	18,5	8,4	1,1	32,0	0,0	0,31
108	0,11	1,1	7,1	4,4	4,8	32,5	0,2	0,02
<b>ERL</b>	<b>0,1-1,0</b>	<b>10</b>	<b>47-85</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>150</b>	<b>0,8</b>	<b>0,30</b>

В табл. 2 аббревиатура ERL (effects range-low) – это предельно-допустимый уровень (ПДУ). В настоящее время в России не установлены ПДК для поллютантов, находящихся в донных отложениях, поэтому специалисты - экологи в своей работе опираются на «пороговые» концентрации. Пороговые концентрации, или предельно-допустимые уровни, это концентрации, ниже которых неблагоприятное влияние на биоту не наблюдается или наблюдается незначительно. Уровни содержания загрязняющих веществ получены экспериментальным путем и у разных авторов могут отличаться [7, 12]. При превышении указанных пороговых концентраций начинается уменьшение обилия бентоса и снижение его видового разнообразия

вплоть до катастрофического состояния. Под катастрофическим понимается такое состояние экосистемы, при котором начинается массовая гибель морских животных. К таким последствиям приводят так называемые ураганные концентрации, превышающие ПДУ на порядок и более.

На рис. 5 представлено изменение наиболее показательных загрязнителей (НУ и ХОП) в пробах донных отложений Уссурийского залива в анализируемый период.

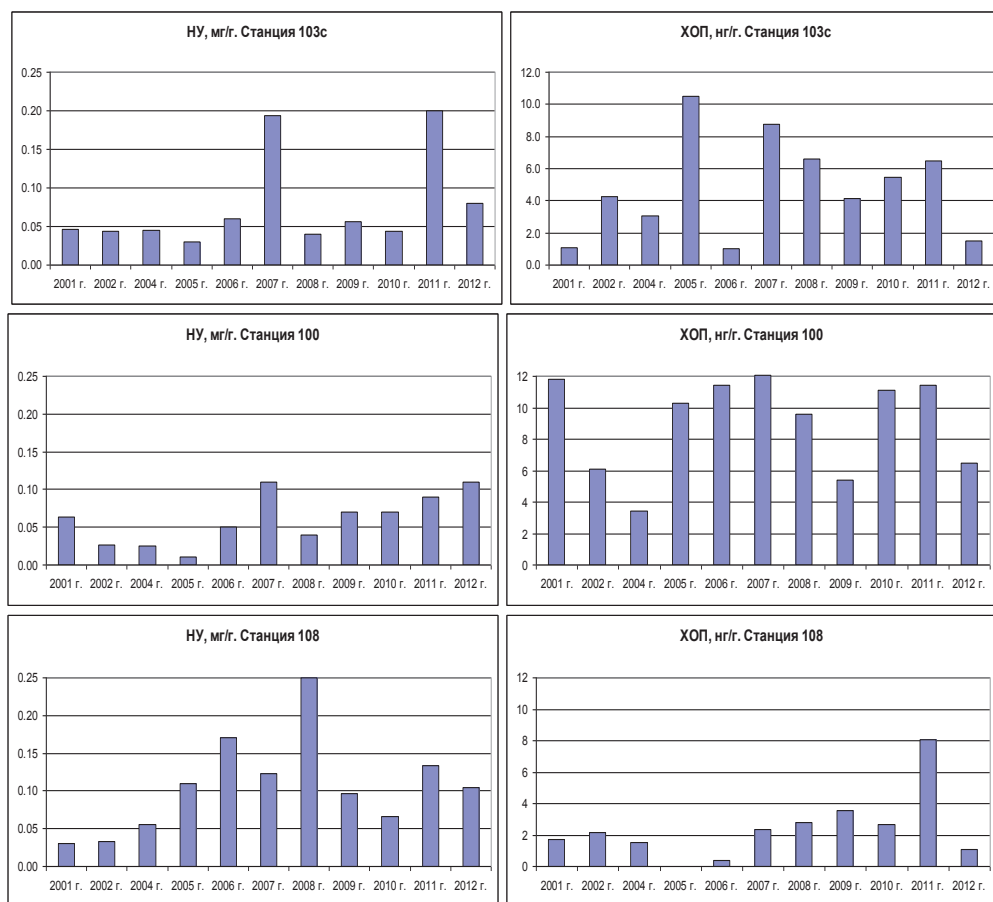


Рис. 5. Изменение концентраций ЗВ в донных отложениях Уссурийского залива в 2001-2012 гг.



Анализ содержания приоритетных поллютантов в пробах грунтов показал, что содержание нефтепродуктов в них ниже верхнего предела ПДУ (1 мг/г) и имело устойчивую тенденцию к снижению.

На ст. 100 происходило накопление пестицидов в пробах грунта и ПДУ пестицидов здесь превышен. В 2012 г. концентрации ХОП уменьшаются. На ст. 103с и 108 сложилась благополучная ситуация, концентрации пестицидов были ниже ПДУ.

Анализ содержания ТМ в донных отложениях залива показал, что происходило существенное превышение ПДУ меди на ст. 100 и кадмия на ст. 103с в 2001 - 2004 гг.; концентрации меди превышали ПДУ в 2002-2008 гг. В последние годы имеется устойчивая тенденция к снижению концентраций всех рассмотренных ТМ (за исключением ртути). Содержание ртути в пробах донных отложений на ст. 100 незначительно превысило ПДУ в 2012 г. Концентрации остальных ТМ в донных отложениях были меньше ПДУ.

### **Выводы**

В морской воде исследуемого района в период с 2001 по 2012 гг. содержание пестицидов и ТМ (за исключением ртути) в поверхностном и придонном горизонтах практически не превышало установленных ПДК и имело тенденцию к снижению. Концентрации ртути в воде всех станций превышали ПДК в 2-8 раз. В 2012 г. происходило их существенное снижение до фонового уровня 0.01 мкг/л. Нефтяные углеводороды в поверхностном слое морской воды на всех станциях превышали ПДК в 2 - 3 раза, наблюдалась устойчивая тенденция к их снижению в последние годы на ст. 103с и 108. В придонном слое морской воды концентрации НУ на ст. 100 и 103с превышали ПДК в 2 - 3 раза, наблюдалась тенденция к их увеличению. На фоновой ст. 108

концентрации нефтепродуктов приближались к значению ПДК, а в 2012 г. их содержание превысило ПДК более чем вдвое. Такое обстоятельство может быть связано с завершением в этом году строительства объектов Саммита АТЭС и выносом загрязненных нефтепродуктами морских вод из пролива Босфор Восточный в Уссурийский залив.

Анализ содержания всех рассмотренных ЗВ в пробах донных отложений показал, что концентрации НУ, ХОП и ТМ (за исключением ртути) имели устойчивую тенденцию к снижению. Содержание ртути в пробах грунта на ст. 100 незначительно превысило ПДУ в 2012 г.

Таким образом, по состоянию на 2012 г. включительно не произошло существенного улучшения экологической ситуации в водной среде рассматриваемого района Уссурийского залива.

Материалы для написания статьи предоставлены РЦОД ФГБУ «ДВНИГМИ».

## ЛИТЕРАТУРА

1 Гипоксия придонных вод прибрежных районов залива Петра Великого / А.В. Севастьянов, Т.С. Лишавская, Т.В. Чаткина // Сборник трудов ДВНИГМИ. Вып. №. 154. - Владивосток, Дальнаука, 2012. - С. 226 - 245. - ISBN 978-5-8044-1360-7.

2 Концентрации загрязняющих веществ в заливе Петра Великого (Японское море) в 2004-2008 гг. / А.С. Чернова, Т.С. Лишавская, А.В.Севастьянов // Известия ТИНРО: сб. науч. тр. - Владивосток, 2011. - Т. 164. - С. 330 - 339.

3 Методические указания по определению загрязняющих веществ в морских донных отложениях № 43. - М.: Гидрометеиздат, 1979. - 39 с.

4 Методические указания по определению токсичных загрязняющих веществ в морской воде на фоновом уровне №45. - М.: Гидрометеиздат, 1982. - 28 с.

5 Методические указания по химическому анализу распресненных вод морских устьевых областей рек и эпиконтинентальных морей № 46. - М.: Гидрометеиздат, 1984. - 83 с.

6 Мониторинг загрязнения прибрежных районов залива Петра Великого / Т.С. Лишавская, А.В. Севастьянов, А.С. Чернова, Т.В. Чаткина //

Сборник трудов ДВНИГМИ. Юбилейный выпуск. - Владивосток, Дальнаука, 2010. - С. 97 - 112.- ISBN 978-5-8044-1164-1.

7 Патин С. А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. - М.: Изд - во ВНИРО, 1997. - 349 с.

8 Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. - М.: ВНИРО, 1999.

9 Руководство по методам химического анализа морских вод. - Л.: Гидрометеиздат, 1977. - 208 с.

10 Руководство по химическому анализу морских вод. - СПб.: Гидрометеиздат, 1993. - 264 с.

11 Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря. - Москва: ГЕОС, 2008. С. 49 - 55.

12 Long E.R., Macdonald D.D., Smith S.L., Calder F.D. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments // Environment Management. 1995. Vol. 19. P. 81 - 97.

13 Sevastyanov A, Chernova A, Lishavskaya T. Results of long-term pollution monitoring in Peter the Great Bay (Sea of Japan)/ PICES 2010 Annual Meeting / P. 133.- Portland, USA. October, 2010.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ СРЕДЫ И  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА  
МОРСКИХ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ  
ВБЛИЗИ ВЛАДИВОСТОКА**

**Введение**

Во второй половине XX столетия угроза прибрежным экосистемам во многих внутренних и окраинных морях достигла критического уровня, что связано, прежде всего, с поступлением в морскую среду сотен тысяч различных загрязняющих веществ. Исследования свидетельствуют, что прибрежные зоны становятся районами хронического загрязнения высокотоксичными соединениями: тяжелыми металлами, нефтяными и хлорированными углеводородами, биогенными элементами. Темп поступления последних в морскую среду продолжает нарастать, и области эвтрофикации, как и поля хронического загрязнения, расширяются. В условиях высокой антропогенной нагрузки, когда опасность деградации экосистем достигает критического уровня, важна информация об уровне загрязнения и об особенностях структуры и обилия морских прибрежных экосистем, что необходимо для оценки их фактического состояния.

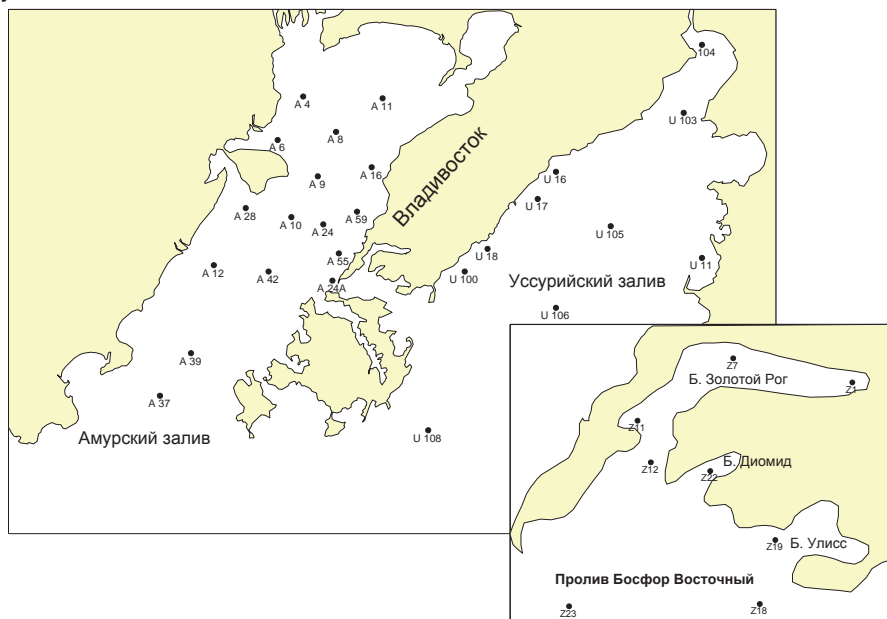
Цель настоящего исследования заключается в оценке антропогенной нагрузки (загрязнения) на отдельные акватории зал. Петра Великого в начале нового столетия, а также об особенностях обилия, видового состава и структуры макрозообентоса на акваториях с различным уровнем загрязнения.

### **Методы и исходные данные**

Исходными материалами послужили пробы макрозообентоса и донных отложений, собранные на акватории зал. Петра Великого Японского моря (рис. 1) летом 2001 г. На каждой из 34 станций отбирали по четыре пробы грунта дночерпателем Ван Вина ( $0.11 \text{ м}^2$ ) за исключением двух станций (24А, А-55) в Амурском заливе и пяти станций (Z-1, 7, 19, 22, 23) в б. Золотой Рог и прилегающих акваториях, где удалось отобрать только по две пробы.

Фиксацию и обработку проб бентоса выполняли по стандартным методикам [8]. Грунт промывали через сито с ячейей 1 мм, организмы макрозообентоса фиксировали 4% буферным раствором формальдегида. Сырую массу определяли на аптечных и торсионных весах. Все данные пересчитывали на 1 кв. м площади

Содержание органического углерода (С орг.) в донных осадках определяли методом Тюрина [4]. Анализ содержания в грунтах тяжелых металлов (ТМ), общего содержания нефтяных углеводородов (ОСНУ) и хлорорганических пестицидов (ХОП), главным образом, ДДТ и его метаболитов выполняли с применением стандартных методик Росгидромета [3]. Для характеристики уровня загрязнения районов использовали метод анализа главных компонент. Для разграничения донных сообществ использовали иерархический аггломеративный кластерный анализ [15].



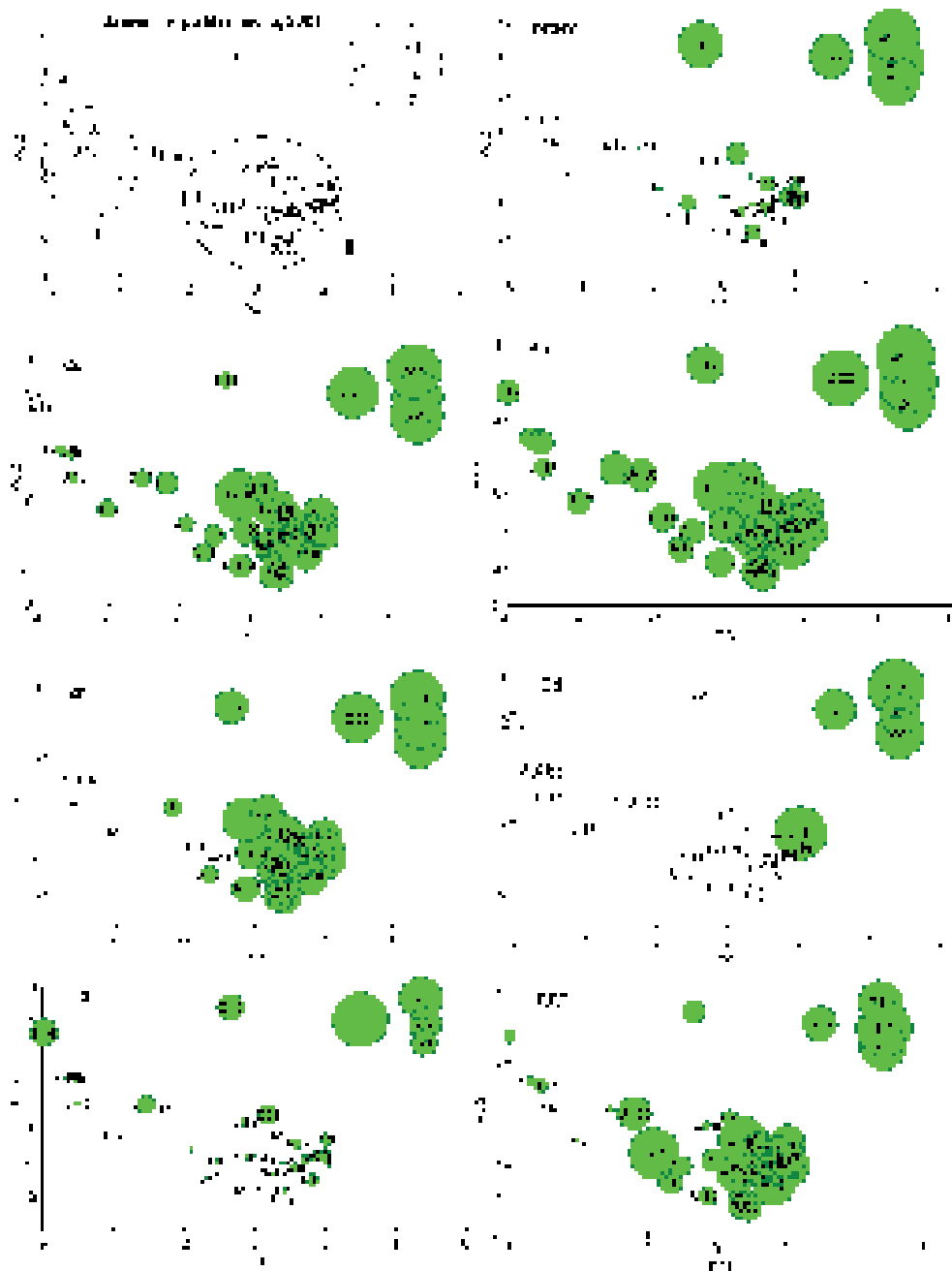
*Рис. 1. Карта-схема отбора проб на морских прибрежных акваториях вблизи Владивостока*

## Результаты и обсуждение

В табл. 1 приведены диапазоны концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) в донных отложениях на отдельных акваториях зал. Петра Великого в 2001 г. На рис. 2. приведены результаты анализа содержания ЗВ и некоторых факторов среды методом анализа главных компонент - ОСНУ,  $\Sigma$ ДДТ, металлы: Cu, Co, Cd, Pb, Ni, Zn, Fe, Mn, Hg, Cr, глубина, тип грунта, содержание С орг.

Таблица 1.  
 Диапазоны концентраций загрязняющих веществ в донных отложениях на отдельных акваториях зал. Петра Великого в 2001 г.

Акватория	С орг., мг/г	НУ, мг/г	Pb, мкг/г	Cu, мкг/г	Zn, мкг/г	Ni, мкг/г	Cd, мкг/г	ΣДДТ, нг/г
Б. Золотой Рог	92.8- 127.4	1.54-2.83	35.0-221	6.0-225.0.	25.0- 665.0	2.0-18.0	0-3.2	4.0-31.4
Б. Диомид	7.3	1.30	175.0	150.0	325.0	18.0	1.2	8.8
Б. Улисс	4.6	0.02	10.0	1.0	-	1.0	-	2.0
Пролив Босфор Восточный	4.6-31.8	0.02-0.29	20.0-40.0	5.0-23.0	0-25.0	7.0-10.0	-	1.5-3.0
Зал. Амурский	8.2-53.7	0.01-0.20	13.0-75.0	7.0-33.0	0-120.0	14.0-39.0	0-2.5	1.4-15.4
Зал. Уссурийский	2.7-32.8	0-0.04	7-120.0	3.0-130.0	0-132.0	2.0-26.0	0	0.8-8.4



*Рис. 2. Залив Петра Великого, 2001. Ординация факторов среды методом анализа главных компонент. Нагрузка на две главные компоненты – 70,4%.*

*I – низкий уровень загрязнения; II – высокий и умеренный уровень; III – экстремально-высокий уровень загрязнения. Кругами обозначены уровни содержания отдельных ЗВ*



К наиболее загрязненным относится группа станций III - акватория морского порта Владивосток – бухты Золотой Рог и Диомид (ст. Z-1, 7, 11, 22). Содержание ЗВ в донных осадках характерно для высоко загрязненных индустриальных прибрежных районов и во много раз превышают фоновые уровни [14]. Причем концентрации многих ЗВ находятся на уровне максимальных пороговых значений (ERM), способных оказывать негативное воздействие на организмы бентоса и их сообщества [12]. Это район экстремально-высокого загрязнения. Необходимо отметить, что одни только вышеперечисленные токсиканты, рассматриваемые здесь и присутствовавшие в донных осадках бухт Золотой Рог и Диомид, способны вызывать массовую гибель животных. Однако это далеко не полный перечень всех ЗВ, поступающих в воды и отложения, а совокупное их воздействие на донные организмы, безусловно, превосходит токсичное влияние отдельно рассматриваемых поллютантов.

Вторая группа включает большинство станций Амурского и Уссурийского заливов и одну станцию в проливе Босфор Восточный, которые оцениваются как умеренно загрязненные ОСНУ и сильно загрязненные ТМ и ХОП (рис. 2, табл. 1). Особенно выделяются ст. U-100, U-11, А-24, А-10, где зафиксированы очень высокие концентрации пестицидов, превышающие ERM, а также ст. U-18, где содержание ТМ также превышает уровень ERM. Эти участки приурочены к прибрежным районам вдоль городской черты. Так, ст. U-100 находится рядом с районом золоотвала городской ТЭЦ-2 и жилым массивом; ст. U-18 расположена в районе полигона твердых бытовых отходов; ст. А-24, А-10 испытывают влияние сточных вод г. Владивостока.

Третья группа объединяет 4 станции, расположенные в Уссурийском заливе (U-16, 17, 106, 108), которые характеризуются низким уровнем загрязнения (рис. 2, табл. 1). Станции, не входящие в выделенные группы I и II (Z-12, 18, 19, U-105), занимают промежуточное положение между ними.

Таксономический и видовой состав, а также видовое обилие бентоса различных акваторий залива отражают различный уровень антропогенной нагрузки. Кластер-анализ выделил шесть группировок (сообществ) бентоса (рис. 3, табл. 2). Следует отметить, что ст. Z-1 (кют б. Золотой Рог) и Z-7 (срединная часть) сильно обособлены от других станций и рассматриваются по-отдельности. Здесь зарегистрировано самое низкое видовое разнообразие: на ст. Z-1 живых организмов макрозообентоса не было обнаружено вовсе, два вида найдено на ст. Z-7.

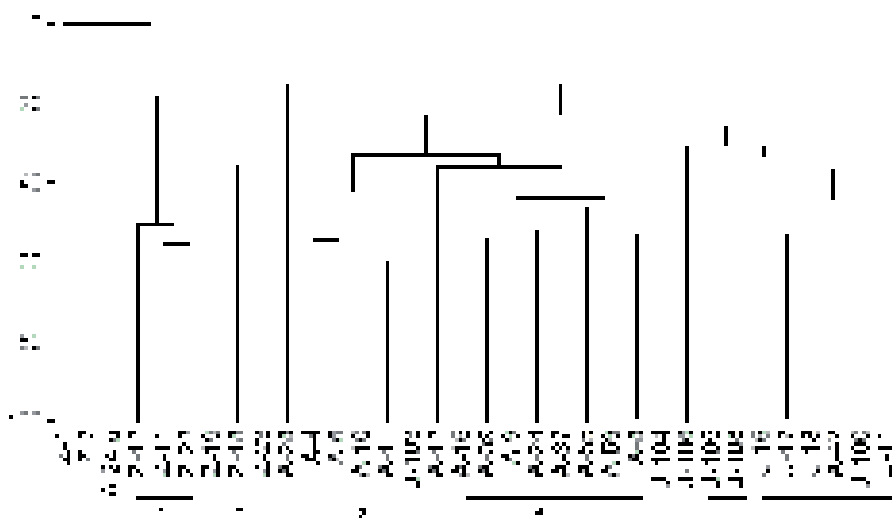


Рис. 3. Дендрограмма видового сходства на основе данных по биомассе видов (по вертикали - уровень видового подобию Брэя-Кертиса, %; по горизонтали - номера станций; 1 и б – донные сообщества)

Таблица 2  
Сравнительные характеристики рассматриваемых акваторий по биологическим показателям в 2001 г.

Акватория		S <sub>total</sub>	H±SE	B±SE	A±SE	Доминирующие виды
Б. Золотой Рог	Кутовая часть (ст. Z-1)	-	-	-	-	Живых организмов макрозообентоса нет
	Срединная часть (ст. Z-7)	2	1,0	2,4	18	<i>Nereis vexilosa</i>
	На выходе из бухты и б. Диомид (ст. Z-11, 12, 22)	10	1.2±0.3	11.3±7.6	2058.9±879.3	<i>Thalys pacifica</i> , <i>Capitella capitata</i> , <i>Schistomeringos japonica</i>
Пролив Босфор Восточный и б. Улисс (ст. Z-18, 19, 23)	71	2.8±0.1	35.8±7.7	2646.3±520.3	<i>Th. pacifica</i> , <i>Dipolydora cardalia</i> , <i>Glycera capitata</i>	
Кутовые части Амурского и Уссурийского зал. (ст. А-4,6,10, 11, U-103)	45	1.6±0.2	201.5±148.0	694.5±144.8	<i>Lumbrineris longifolia</i> , <i>Scapharca broughtoni</i>	
Амурский зал., восточная часть (ст. А-8, 9, 16, 24, 37, 39, 55, 59)	93	2.0±0.2	116.4±30.5	2207.5±383.1	<i>Th. pacifica</i> , <i>Masoma orientalis</i>	
Уссурийский зал. и ст. А-42	89	3.9±0.1	399.7±119.9	2959.8±749.9	<i>Serripes groenlandicus</i> , <i>Ophiura sarsi vadicola</i> , <i>O. sarsi</i>	
Прибрежная часть (ст. U-11, 16, 17, 18, 100, А-42)	119	3.0±0.2	252.9±47.4	2411.8±415.3	<i>Echinocardium cordatum</i> , <i>Acila insignis</i> , <i>Polydora</i> sp. 1	

Примечание: S<sub>total</sub> - общее число видов, H - индекс видового разнообразия, B - общая биомасса, A - общая численность, SE - стандартная ошибка

Первая группировка бентоса (кластер 1, рис. 3) охватывает станции акватории порта на глубинах от 18 до 24 м, две из них (Z-11 и 22), отнесены к группе III с экстремально высокими концентрациями ЗВ. Ст. Z-12 занимает промежуточное положение между экстремально-высоким и высоким уровнем загрязнения (рис. 2). Всего в сообществе идентифицировано 10 видов, относящихся к четырем таксономическим группам, и представленных, в основном, многощетинковыми червями (7 видов). По частоте встречаемости, биомассе и плотности поселения доминирует представитель класса многощетинковых червей, вид-оппортунист *Tharyx pacifica* [2]. 100% встречаемостью и высокой плотностью поселения характеризовалась полихета *Capitella capitata* – известный индикатор органического загрязнения [9, 13]. На третьем месте находится еще один вид-индикатор загрязнения - *Schistomeringos japonica* [1, 11]. Для данного сообщества характерны самые низкие значения видового разнообразия и общей биомассы (табл. 3), но высокая плотность поселения за счет массового развития видов-индикаторов загрязнения, основную долю среди которых составлял *Th. pacifica* (33%). Таким образом, бентос наиболее загрязненной акватории представлен оппортунистическими видами многощетинковых червей, наиболее значимые из которых: *Th. pacifica*, *C. capitata*, *Sch. japonica* – признанные индикаторы загрязнения.

Второе сообщество (кластер 2) объединяет две станции в проливе Босфор Восточный и одну - в б. Улисс на глубине от 12 до 19 м. Донные отложения представлены мелким песком и илами. Одна станция (Z-23) отнесена к группе II, две другие (Z-18, 19) занимают промежуточное положение между группами I и II.

В сообществе найден 71 вид, принадлежащих к 11 таксонам, из которых шесть видов имеют 100% встречаемость – полихеты *Th.*

*pacifica*, *Glycera capitata*, *C. capitata*, *Dipolydora cardalia*, *Scolecopsis fuliginosa*, брюхоногий моллюск *Philine argenata*. По значениям всех показателей абсолютным доминантом в сообществе выступает *Th. pacifica*, за ним следует *G. capitata*, а на третьем месте находится *D. cardalia*. В сообществе отмечена невысокая общая биомасса (35.8 г/м<sup>2</sup>), но довольно высокое значение видового разнообразия и плотности поселения (табл. 2).

Третье сообщество (кластер 3, рис. 3) объединяет пять станций в кутовых частях заливов Амурский (4 ст.) и Уссурийский (1 ст.) на глубине от 6 до 20 м на участках дна с мягкими илами. Рассматриваемые участки акваторий входят в группу станций II (рис. 2). В сообществе идентифицировано 45 видов, относящихся к 11 таксонам более высокого ранга. Четыре вида были встречены на всех станциях: полихеты *Lumbrineris longifolia*, виды сем. Capitellidae, *Sigambra bassi*, двустворчатый моллюск *Theora lubrica*. Среди этих видов по всем показателям доминирует *L. Longifolia*. По значениям биомассы видо-доминантом сообщества выступает двустворчатый моллюск *Scapharca broughtoni*, а по значению плотности поселения - полихета *L. longifolia*. В сообществе отмечено невысокое видовое разнообразие, но высокая суммарная биомасса (более 200 г/м<sup>2</sup>, табл. 3), благодаря присутствию двустворчатых моллюсков *S. broughtoni*, *Dosinia angulosa*, *Callithaca adamsi*, *Macoma tokyoensis*.

Следующее сообщество (кластер 4) охватывает восемь станций, расположенных в Амурском зал. на мягких илах в интервале глубин 17-35 м. Станции отнесены к группе II, при этом, здесь отмечены самые высокие для Амурского зал. значения ОСНУ, ТМ, ХОП и С орг. (рис. 2). В сообществе обнаружено 93 вида (16 групп), из которых восемь видов встречались на всех станциях. Это полихеты *Scalibregma inflatum*, *Th.*

*pacifica*, *S. bassi*, *D. cardalia*, *Lumbrineris* sp. *Sch. japonica*, двустворчатый моллюск *Theora lubrica*, а также немертины. Из них доминирующим по биомассе видом выступает *S. inflatum*, вторым по значению биомассы следует *Th. pacifica*. Значение индекса Н в сообществе невелико (2.0), биомасса в среднем составляет 116.4 г/м<sup>2</sup> (табл. 3), формируясь благодаря вкладу двустворчатого моллюска *M. orientalis* (57% от биомассы сообщества) и полихеты-индикатора загрязнения *C. cirratus* (31%) Основу численности группировки создает индикатор загрязнения *Th. pacifica* (61%).

Сообщество (кластер) 5 включает две станции (U-105, 108) в глубоководной части Уссурийского залива (41 - 48 м) на илисто-песчаных грунтах. Ст. U-108 характеризуется низким загрязнением, тогда как ст. U-105 занимает промежуточный уровень между группой станций I и II. В сообществе идентифицировано 89 видов. Из наиболее встречаемых видов по биомассе лидирует двустворчатый моллюск *Serripes groenlandicus*, по величине плотности поселения доминируют полихеты-капителлиды. Для этого сообщества характерны самые высокие значения плотности поселения, индекса разнообразия (3.9) и общей биомассы (399.7 г/м<sup>2</sup>, табл. 3) благодаря вкладу моллюсков *M. orientalis*, *S. groenlandicus* (12%), змеехвосткам *Ophiura sarsi vadicola* и *O. sarsi* (в сумме 15%). Основу численности создают мелкие полихеты: капителлиды, спионицы, *Scoloplos armiger* и *Chaetozone setosa*. В сообществе довольно многочисленны бокоплавцы: *Melita* sp., *Protomedeia epimerata*.

Кластер 6 включает пять станций в прибрежной части Уссурийского залива и одну ст. А-42 в южной части Амурского залива на мелких песках и илисто-песчаных осадках на глубине от 14 до 22 м. Этот район, где зафиксированы очень высокие значения суммы ДДТ (ст.

U-11, 100, 18), превышающие пороговые, а на ст. U-18 – превышающие ERM концентрации меди, цинка и свинца. Четыре станции (ст. U-11, 100, 18, А-42) отнесены к группе II, а две ст. U-16 и U-17 к группе I.

В рассматриваемом сообществе найдено 119 видов (13 таксономических групп). Из них только три вида встречались на всех станциях, это три вида полихет: *Goniada maculata*, *L. longifolia*, *Glycera* sp. Из них абсолютным доминантом явилась *G. maculata*. По величине биомассы в сообществе лидирует шаровидный еж *Echinocardium cordatum*, на втором месте – моллюск *Acila insignis*. По величине плотности поселения доминируют полихеты-полидориды (44% от суммарной). Здесь отмечены высокие значения индекса Н (3.0), а также общей биомассы (282.5 г/м<sup>2</sup>), сформированной шаровидным ежом *E. cordatum* (35%), моллюском *A. insignis* (21%), звездой *Patiria pectinifera* (15%).

Известно, что состав и распределение бентосных животных определяется, главным образом, гранулометрическим составом донных отложений, и, соответственно, содержанием С орг. В конце прошлого столетия появился еще один фактор, непосредственно влияющий на структуру сообществ бентоса – химическое загрязнение донных осадков. На исследованной акватории зал. Петра Великого выделены три области, различающиеся по уровню антропогенной нагрузки, и шесть донных сообществ. Как свидетельствуют данные, прямая связь между структурой сообществ и уровнем загрязнения прослеживается при экстремально-высоком и высоком загрязнении – в бухтах Золотой Рог, Диомид, восточной части Амурского залива. Это полузакрытые акватории, со слабым водообменом, илистыми грунтами, высокими значениями в них С орг. и ОСНУ. Максимальное содержание С орг. зафиксировано в кутовой части б. Золотой Рог - 127.4 мг/г. В восточной

части Амурского залива максимум С орг. составил 54.7 мг/г на ст. А-59. Самое высокое ОСНУ зафиксировано в срединной части б. Золотой Рог (2.83 мг/г), в восточной части Амурского залива максимум ОСНУ составил 0.20 мг/г. По литературным данным, обратимые изменения в донных сообществах начинаются при значении ОСНУ 0.01 – 0.10 мг/г. Начиная с концентрации 1.0 – 4.0 мг/г, происходит значительное снижение обилия и видового разнообразия бентоса, а также 50% гибель животных в токсикологических экспериментах [6, 7]. Риск снижения видового богатства бентоса существенно возрастает также при содержании С орг. в грунтах > 35 мг/г [10].

Как следствие, в наиболее загрязненных районах - бухтах Золотой Рог и Диомид донные сообщества характеризовались как низкой биомассой, так и низким видовым и таксономическим разнообразием и преобладанием толерантных к загрязнению видов полихет: *Th. pacifica*, *C. capitata*, *Sch. japonica*.

В донном сообществе Амурского залива, находящемся в зоне высокого загрязнения, в составе доминирующих видов присутствуют и на многих станциях преобладают индикаторы загрязнения - полихеты *Th. pacifica*, *C. cirratus*. При этом основа численности создается исключительно толерантными к загрязнению видами. В сообществе многочисленны мелкие виды полихет, немертин и моллюсков и, наоборот, редки животные с длительным жизненным циклом - крупные моллюски, иглокожие, ракообразные.

Уссурийский залив, являясь очень открытой акваторией и принимая меньшую долю загрязненных сточных вод, существенно менее загрязнен, за исключением трех прибрежных станций с высоким уровнем загрязнения У-100, 11, 18. Кроме того, на большинстве станций преобладали песчанистые грунты с низким содержанием углерода, за



---

---

исключением ст. U-100, находящейся вблизи золоотвала ТЭЦ-2 (32.8 мг/г).

На наименее загрязненных глубоководных станциях Уссурийского залива наблюдались высокие величины биомассы и разнообразия бентоса. Однако группировку глубоководных станций U-105 и U-108 стоит рассматривать отдельно, поскольку условия среды на этих станциях значительно отличаются от условий на остальных станциях. В прибрежном сообществе Уссурийского залива, несмотря на высокие концентрации ТМ и ХОП на отдельных станциях, отмечено высокое таксономическое и видовое разнообразие и преобладание видов с длительным жизненным циклом – шаровидных морских ежей, звезд, двустворчатых моллюсков.

В кутовых частях Амурского и Уссурийского заливов, где загрязнение умеренно, наиболее массовыми видами оказались такие виды полихет, как *L. longifolia*, *S. bassi*, *M. sarsi* относящиеся к видам-индикаторам чистых районов [2], а также крупные двустворчатые моллюски *S. broughtoni*, *D. angulosa*, *C. adamsi*, *M. tokyoensis*. Невысокое видовое и таксономическое разнообразие сообществ в кутовых участках во многом определяют природные факторы, главным из которых является заиление донных отложений и опреснение [5].

### **Выводы**

Количественные и структурные показатели бентоса отражают различный уровень антропогенной нагрузки. Наиболее очевидная связь между уровнем загрязнения донных отложений и структурой сообществ проявляется в экстремально-загрязненных и загрязненных участках акваторий – бухтах Золотой Рог и Диомид, а также в восточной части

Амурского залива. Бентос этих акваторий характеризуется следующими чертами:

- низкими величинами биомассы и индекса видового разнообразия, но высокой плотностью поселения. Высокая плотность создается за счет массового развития мелких организмов, главным образом, экологически пластичных видов полихет, имеющих короткий жизненный цикл и высокие темпы репродукции;

- снижением числа таксономических групп, за счет элиминации иглокожих, многих видов двустворчатых моллюсков, ракообразных;

- преобладанием толерантных к загрязнению видов: полихет *Th. pacifica*, *C. capitata*, *Sch. japonica*, *D. cardalia*, *C. cirratus*.

В умеренно загрязненных и слабо загрязненных участках донное население отличается высокими значениями биомассы, видового и таксономического разнообразия, доминированием видов с длительным жизненным циклом – крупных двустворчатых моллюсков, морских ежей.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Багавеева Э.В. К экологии многощетинковых червей бухты Золотой Рог (Японское море) // Исслед. фауны морей - Т. 43 (51). - 1992. - С. 115 - 129.

2 Белан Т.А. Особенности обилия и видового состава бентоса в условиях загрязнения (залив Петра Великого, Японское море): Дис. ... канд. биол. наук. - Владивосток: ДВГУ. - 2001. - 150 с.

3 Методические указания. Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси // РД 52.10.556-96. М.: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1996. - 56 с.

4 Методическое руководство по анализу органического вещества донных отложений: под ред. Е.М. Заславского. - М.: ВНИРО, 1980. - 64 с.

5 Мощенко А.В., Белан Т.А. Придонные условия среды и таксоцены полихет северной части Амурского залива (залив Петра Великого Японского моря) // Известия ТИНРО, 2010. - Т. 163. - С. 264 - 285.

6 Обзорная информация. Нефтяные углеводороды в морских донных отложениях: химические и биологические аспекты / Под. Ред. И.А.Шлыгина. - Обнинск, 1986. - 46 с.

7 Патин С.А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. - М.: ВНИРО, 1997. - 349 с.

8 Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений. - Л.: Гидрометеиздат, 1983. - 239 с.

9 Grassle I.P., Grassle I.F. Sibling species in marine pollution indicators *Capitella capitata* (Polychaeta) // *Science*, 1976. - Vol. 192. - No. 4329. - P. 567 - 569.

10 Hyland J. et al. Organic carbon content as an indicator of stress in the marine benthos // *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2005. - Vol. 295. - P. 91 - 103.

11 Levings et al. Biological effects of dredged-material disposal in Alberni Inlet // *Wastes in the Ocean*. Malabar, Publ. Co., 1985. - Vol. 6. - P. 131 - 155.

12 Long, E.R. et al. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments // *Environmental Management*, 1995. - V. 19. - P. 81 - 97.

13 Rygg, B. Distribution of species along pollution-induced diversity gradients in benthic communities in Norwegian Fjords // *Mar. Pollut. Bull*, 1985. - V. 16. - № 12. - P. 469 - 474.

14 Tkalin A.V., Belan T.A., Shapovalov E.N. The state of the marine environment near Vladivostok, Russia // *Mar. Pollut. Bull*, 1993. - V. 26. - № 8. - P. 418 - 422.

15 UNEP: Statistical analysis and interpretation of marine community data. Reference Methods for Marine Pollution Studies. UNEP, 1995. - № 64.

## **КОНФИГУРАЦИИ МОДЕЛИ WRF-ARW ДЛЯ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ В ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ РЕГИОНЕ**

### **Введение**

Современные методы прогнозирования будущего состояния атмосферы основаны на интерпретации выходной продукции гидродинамических моделей. Каждый метеорологический центр имеет (эксплуатирует и развивает) свои модели прогноза погоды. Это может быть одна или несколько различных моделей. Чем более развита модель, чем более адекватно она описывает все многообразие процессов происходящих в атмосфере, тем более точный и детализированный прогноз она дает.

Многие явления погоды, в том числе опасные, носят локальный характер и порождаются процессами мезомасштаба. Горизонтальные размеры таких процессов составляют от нескольких сот метров до нескольких десятков километров. Для возможности их прогнозирования необходимо не только детальное описание физики процесса, но и высокое пространственно-временное разрешение модели.

Для интегрирования моделей высокого пространственного разрешения требуется высокопроизводительная вычислительная техника. Это особенно важно для прогнозирования погоды, т.к. время, затраченное на расчет модели и подготовку выходной продукции, очевидно, сокращает заблаговременность прогнозов.

При наличии модели и вычислительных средств для систематического получения прогнозов погоды к регламентированному сроку необходима разработка технологии функционирования модели в оперативном режиме (режиме реального времени). Оперативная

технология включает как минимум три фазы: этап подготовки исходных данных для модели (начальные и граничные данные); собственно запуск и расчет модели (численное интегрирование уравнений); этап формирования и передачи прогнозов потребителю. Совокупность модели и технологии производства прогнозов погоды называют системой численных прогнозов погоды (ЧПП).

В статье приведено краткое описание системы ЧПП, разработанной для регионального специализированного метеорологического центра в г. Хабаровске (РСМЦ Хабаровск) на базе модели Weather Research and Forecasting – Advanced Research WRF (WRF-ARW) на высокопроизводительной вычислительной платформе SGI Altix 4700.

### **Модель и исходные данные**

РСМЦ Хабаровск является центром с географической специализацией Всемирной службы погоды Всемирной метеорологической организации (ВМО) в рамках глобальной системы обработки данных (ГСОД). Такой статус требует организации и совершенствования процесса производства и доведения до потребителя широкого перечня аналитической и прогностической продукции в соответствии с регламентом ВМО.

На рис. 1 представлена общая схема производственного цикла, из которой видно, что для выпуска регламентированных видов продукции необходимо иметь соответствующее информационное обеспечение, методы и модели анализа, диагноза и прогноза параметров текущего и будущего состояния атмосферы, технические средства для расчета моделей, приема информации и передачи готовой продукции.

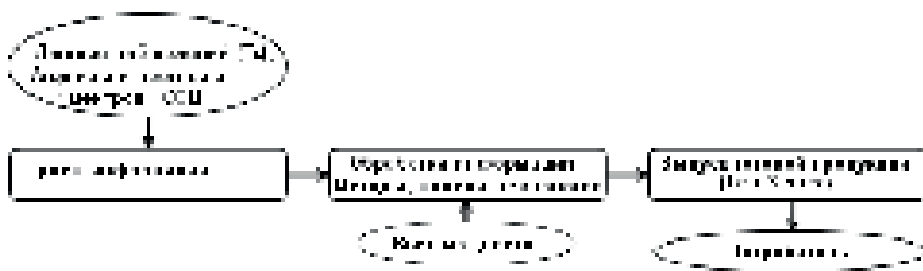


Рис. 1. Общая схема производственного цикла выпуска информационной гидрометеорологической продукции

Для выполнения функций РСМЦ в рамках Проекта технического переоснащения учреждений и организаций Росгидромета в РСМЦ Хабаровск в 2009 г. установлен вычислительный комплекс, в основу которого положен суперкомпьютер G-Scale S4700. В состав комплекса входит вычислитель и совокупность серверов различного назначения с общей системой хранения данных [6]. Такой вычислительный комплекс позволяет использовать достаточно совершенные модели прогноза погоды с широким набором параметризаций, детализированным пространственным разрешением и большим спектром выходной продукции.

### *Модель*

Выбор модели для подготовки детализированных численных прогнозов погоды и опасных метеорологических явлений выполнялся в целях развития системы ЧПП РСМЦ Хабаровск. В качестве основы для новой версии системы краткосрочного прогноза погоды в ДВ-регионе выбрана, разработанная Национальным центром исследований атмосферы (США), универсальная модель WRF-ARW [14].

Универсальность модели состоит в том, что она позволяет рассчитывать оперативный прогноз (глобальный и региональный) и может применяться для научных экспериментов [16]. Исходные коды модели свободно распространяются в сети Интернет. В исследовательских целях модель широко используется разными авторами для изучения возможности моделирования атмосферных процессов и явлений. Гидрометцентр России апробировал модель для прогноза погоды по Европейской части РФ [4].

Основные требования, предъявляемые к базовой модели краткосрочного прогноза погоды в Дальневосточном регионе, вытекают из необходимости обеспечения выпуска полного перечня продукции, регламентированной документами ВМО, с учетом особенностей физико-географического положения рассматриваемой территории, ее климатических характеристик. Кроме прогнозов общего назначения на Дальнем Востоке весьма важны прогнозы возникновения, развития и перемещения тайфунов, тропических и южных циклонов над акваторией дальневосточных морей и прилегающей территории суши, штормовых нагонов. Прогнозы резких колебаний суточных экстремумов температуры воздуха у земли во внутримассовых условиях на территории Якутии и Забайкалья, а также внутриконтинентальных районов Хабаровского края и Амурской области. Прогнозы местоположения и количества осадков в летний период года, приводящих к формированию высоких уровней дождевых паводков на реках Дальнего Востока. Прогнозы резких усиления ветра (шквалов и шквалистых ветров) по территории Забайкалья и Амурской области и более продолжительных сильных ветров на побережьях и по акваториям дальневосточных морей, и другие виды прогнозов.

Особые трудности предсказания погодных условий на всей территории Дальнего Востока в рамках единой версии модели обусловлены большим разнообразием климатических зон, существенно отличающихся друг от друга природой формирования приземной погоды и совокупностью факторов, определяющих неблагоприятные погодные условия. Так для территории Приморского края, юга Хабаровского края, Сахалинской области, Камчатки совокупность неблагоприятных погодных условий формируется в основном динамическими факторами и связана с выходом тайфунов, тропических и южных циклонов. А на территории Якутии, Забайкалья, Амурской области весьма существенная часть неблагоприятных погодных условий приходится на внутримассовые процессы: интенсивное радиационное выхолаживание подстилающей поверхности зимой; активное развитие процессов термической конвекции летом, приводящих к сильным ливням с грозами, градам и шквалам.

Особенности формирования наиболее сложных для прогнозирования погодных условий обуславливают различные требования потребителей к ассортименту и качеству продукции моделей. В каждой климатической зоне синоптики предъявляют наиболее высокие требования к прогнозу тех характеристик, которые составляют совокупность неблагоприятных погодных условий на их территории ответственности. Вышеуказанные причины привели к необходимости создания нескольких вариантов модели для различных климатических зон Дальнего Востока и типов прогнозов.

#### *Краткое описание модели WRF-ARW*

Вычислительное ядро модели WRF-ARW основано на численном решении негидростатических уравнений для сжимаемой жидкости.



Уравнения записаны в декартовых осях  $(x, y)$  по горизонтали. По вертикали введена специальная массовая координата  $\eta$ :

$$\eta = \frac{p_h - p_{ht}}{p_{hs} - p_{ht}} = \frac{p_h - p_{ht}}{\mu}, \quad (1)$$

где  $p_{hs}$  – гидростатическая часть давления на земле,  $p_{ht} = const$  – гидростатическая часть давления на верхней границе атмосферы,  $p_h$  – гидростатическая часть давления. В модели  $\eta$  определяется относительно сухого столба атмосферы.

Очевидно, поверхность земли соответствует  $\eta = 1$ . Количество  $\eta$ -уровней не является постоянным и в каждом конкретном случае, пользователь сам может задать количество и расположение уровней. При оперативных расчетах оптимальное количество вертикальных уровней находится в интервале от 30 до 40 штук.

Вертикальная координата  $\eta$  записана только относительно гидростатической компоненты давления и для нее выполняется уравнение гидростатики. Это одна из особенностей вычислительного ядра модели, позволяющая записать уравнения в дивергентной форме:

$$\frac{\partial \phi'}{\partial \eta} = -\alpha_d' \overline{\mu_d} - \alpha_d \mu_d'. \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + m_x \left( \frac{\partial(Uu)}{\partial x} + \frac{\partial(Vu)}{\partial y} \right) + \frac{\partial(\Omega u)}{\partial \eta} + \left( \mu_d \alpha \frac{\partial p'}{\partial x} + \mu_d \alpha' \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} \right) + \\ + \frac{\alpha}{\alpha_d} \left( \mu_d \frac{\partial \Phi'}{\partial x} + \frac{\partial p'}{\partial \eta} \frac{\partial \Phi}{\partial x} - \mu_d' \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) = F_U, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + m_y \left( \frac{\partial(Uv)}{\partial x} + \frac{\partial(Vv)}{\partial y} \right) + \frac{m_y}{m_x} \frac{\partial(\Omega v)}{\partial \eta} + \left( \mu_d \alpha \frac{\partial p'}{\partial y} + \mu_d \alpha' \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} \right) + \frac{\alpha}{\alpha_d} \left( \mu_d \frac{\partial \Phi'}{\partial y} + \frac{\partial p'}{\partial \eta} \frac{\partial \Phi}{\partial y} - \mu'_d \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) = F_V, \quad (4)$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} + m_x \left( \frac{\partial(U\omega)}{\partial x} + \frac{\partial(V\omega)}{\partial y} \right) + \frac{\partial(\Omega\omega)}{\partial \eta} - \frac{g\alpha}{m_y \alpha_d} \left( \frac{\partial p'}{\partial \eta} - \mu_d (q_v + q_c + q_r) \right) + \frac{\mu_d' g}{m_y} = F_W, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \Phi'}{\partial t} + \frac{1}{\mu_d} \left[ m_y m_x \left( U \frac{\partial \Phi}{\partial x} + V \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) + m_y \Omega \frac{\partial \Phi}{\partial \eta} - g W m_y \right] = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial \mu_d'}{\partial t} + m_x m_y \left( \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} \right) + m_y \frac{\partial \Omega}{\partial \eta} = 0, \quad (7)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} + m_x m_y \left( \frac{\partial(U\theta)}{\partial x} + \frac{\partial(V\theta)}{\partial y} \right) + m_y \frac{\partial(\Omega\theta)}{\partial \eta} = F_\Theta, \quad (8)$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial t} + m_x m_y \left( \frac{\partial(Uq_m)}{\partial x} + \frac{\partial(Vq_m)}{\partial y} \right) + m_y \frac{\partial(\Omega q_m)}{\partial \eta} = F_Q, \quad (9)$$

Неизвестными в системе (2)–(9) являются следующие величины  $u(x, y, \eta, t)$ ,  $v(x, y, \eta, t)$ ,  $w(x, y, \eta, t)$  – компоненты скорости ветра;  $\Phi(x, y, \eta, t)$  – геопотенциал;  $\theta(x, y, \eta, t)$  – потенциальная температура;  $q_m(x, y, \eta, t)$  – влагосодержание;  $\alpha_d(x, y, \eta, t)$  – удельный объем;  $m_x$ ,  $m_y$  – масштабные множители сетки,  $\mu_d$  – масса сухого воздуха в столбе. Вид правых частей  $F_U$ ,  $F_V$ ,  $F_W$ ,  $F_\Theta$ ,  $F_Q$ , описывающих источники и стоки энергии, зависит от используемых параметризаций и настроек конкретной сборки модели. Штрихами обозначены возмущения метеовеличин. Большими буквами обозначены члены, получаемые

умножением соответствующих метеополей на  $\mu_d$  с поправкой на масштабный множитель. Остальные переменные и константы имеют стандартные обозначения.

Модель позволяет проводить вычисления на вложенных в горизонтальной плоскости доменах при условии, что они ориентированы одинаково, а размер ячейки вложенной сетки кратен шагу основной.

Вид граничных условий зависит от размеров домена и его ранга. На основной сетке можно ставить условия открытой границы, условия периодичности или задавать краевые условия I-ого рода. На вложенных сетках задаются только граничные условия I-ого рода, значения метеорологических элементов для которых берутся из родительского домена. Дополнительно, на вложенной сетке устанавливается зона релаксации, внутри которой расчетные значения адаптируются к граничным. На верхней границе области расчета принято условие непротекания  $p'(x,y,0,t)=0$ .

Для численного решения уравнений системы используется вычислительная схема с расщеплением по времени. Медленные и низкочастотные моды (именно те, которые имеют значение для прогноза погоды) интегрируются с использованием модернизированной схемы Рунге-Кутты, тогда как высокочастотные акустические моды интегрируются с меньшим шагом по времени во избежание вычислительной неустойчивости. Соответственно низкочастотные моды описываются адвективными слагаемыми уравнений системы, а высокочастотные связаны с адаптацией полей давления и скорости ветра. Интегрирование высокочастотных мод реализовано в форме коррекции решения, полученного после применения метода Рунге-Кутты.

В качестве сетки по горизонтали в модели WRF-ARW используется "C" сетка Аракавы [9]. Используемая численная схема описана в ряде работ авторов вычислительного ядра ARW, например в [2].

Модель WRF-ARW содержит большое количество различных схем описания подсеточных физических процессов. В том числе параметризуются (в скобках указаны названия основных параметризаций):

- конвекция (схемы Бетса-Миллера-Янича, Каина-Фритча и другие);
- микрофизические процессы (схемы Кеслера, Томпсона, Линя, семейство схем WSM и прочие);
- длинноволновая радиация (схемы RRTM, CAM3, RRTMG и другие);
- коротковолновая радиация (схемы Дудьи, GFDL, RRTMG, RRTM и другие);
- пограничный слой (схемы университета Йонсей, Меллора-Ямады-Янича и прочие);
- приземный слой (схемы MM5, Eta и другие);
- процессы на поверхности и в глубине почвы (схемы термической диффузии, Noah и прочие);
- физические процессы, вызванные урбанизацией (схемы Кусаки, Мартилли и другие).

Кратко ознакомиться с описанием параметризаций можно в [2, 3, 16], а также в соответствующих статьях авторов схем. Большое количество параметризаций подсеточных процессов позволяет настроить модель на конкретный вид прогнозов и физико-географические условия расчетной области.

*Модель WRF-FRW, используемые версии*

В настоящее время в вычислительном центре РСМЦ Хабаровск в оперативном режиме функционируют две версии модели WRF-ARW: версия 3.1.1 (установлена в 2010 г.) и версия 3.4.1 (выпущена в августе 2012 г., установлена в июле 2013 г.).

Кратко укажем основные особенности и изменения версии 3.4.1 в сравнении с 3.1.1 [16] важные для данной работы. Существенно были изменены пре- и постпроцессинг модели. В версии 3.1.1 постпроцессинг для моделей WRF-ARW и WRF-NNM различный, в версии 3.4.1 разработан Единый постпроцессор (United Post-processor или UPP). Добавлен ряд новых параметризаций для микрофизики, конвекции, пограничного слоя и др. Для существующих параметризаций были уточнены расчетные соотношения с учетом результатов последних исследований. Например, в параметризации Томпсона (микрофизика) были изменены расчет скорости падения и распределение, описывающее размеры граупелей. Мелкие правки были внесены в параметризацию пограничного слоя университета Йонсей: уточнен расчет в случае «тонкого» приземного слоя и исправлена мелкая ошибка в вычислении числа Прандтля. В универсальной схеме подстилающей поверхности Noah включен учет вегетативного развития растений (сезонный ход), и введена динамика водных ресурсов. В схеме параметризации длинноволновой радиации (RRTMG) уточнен расчет температуры в стратосфере.

В вычислительном ядре изменена процедура вертикальной интерполяции: в версии 3.4.1 температура интерполируется как логарифм от давления, а давление интерполируется по высоте как линейная функция; вместо количества пара в воздухе интерполируется поле относительной влажности и прочее.

*Параметризации физических процессов*

Приведем краткое описание наиболее важных для данной работы параметризаций – конвекции, микрофизики, пограничного и приземного слоев. Другие параметризации одинаковы для всех конфигураций модели: коротковолновая и длинноволновая радиация рассчитывается по схемам Дудьи и RRTM в связи с их надежностью и экономичностью; для описания процессов в почве используется унифицированная схема Noah, которая согласована с параметризациями приземного слоя.

*Параметризации микрофизических процессов в атмосфере*

В исследовании были апробированы три параметризации – схема WSM5, которая достаточно проста и подходит для сеток с большим шагом, схема Томпсона [15] и схема Феррьеера [13]. Основное отличие этих схем заключено в количестве гидрометеоров.

В схеме Феррьеера неизвестными считаются водяной пар, жидкая вода в облаках, дождь и лед (облачный и осаждающийся на землю). Уравнения разрешаются относительно удельной влажности и общего конденсата. Затем определяются доли водности и ледности облаков и осадков, составляющих общий конденсат. Осадки у поверхности земли даются в виде дождя, замерзшего дождя, снега в виде хлопьев, крупы и мокрого снега. Вид осадков определяется по их плотности и температуре воздуха.

В параметризации Томпсона используются удельная влажность  $q_v$ , водность облаков  $q_{cw}$ , ледность облаков  $q_{ci}$ , водность дождя  $q_r$ , ледность снега  $q_s$ , ледность граупелей  $q_g$ . Также как и в параметризации Феррьеера частицы снега, дождя и граупелей распределены по экспоненциальному закону Маршалла-Пальмера. Параметризация позволяет обеспечить появление осадков в виде мороси. Ледяные частицы образуются вследствие процесса нуклеации при  $q_v > q_{si}$ .

Ввиду того, что параметризации для дождя, снега, льда и т.д. работают параллельно друг другу, по завершении вычислений подсчитывается баланс влаги (производится сравнение суммы осадков и наличия для них соответствующей субстанции). При появлении отрицательного баланса производится уменьшение скорости процессов, обеспечивающее нулевой баланс.

Схема Томпсона, учитывающая граупели и большое количество микрофизических процессов (облачный лед, снег, граупели, град) является более дорогой по времени, но в то же время и более богатой для версий модели, которые интегрируются на мелких сетках без использования параметризации конвекции, т. е. когда модели рассчитываются с шагом до 5 км.

Схемы семейства WSM содержат как минимум 4 класса гидрометеоров ( $q_{cw}$ ,  $q_{ci}$ ,  $q_r$ ,  $q_s$ ), гидрометеоры в разных фазах не взаимодействуют. При температуре ниже 0 С облачность и осадки присутствуют только в кристаллической фазе, а при положительных температурах облачность и осадки являются жидкими. Таяние и замерзание частиц облаков и осадков происходит мгновенно после пересечения нулевой изотермы.

#### *Параметризации пограничного слоя атмосферы*

Рассмотрены две схемы параметризации пограничного слоя. Схема, разработанная в университете Йонсей (Ю. Корея), выбрана вследствие того, что она создана учеными Дальнего Востока и возможно более точно описывает особенности приземного слоя этого региона (далее YSU) [10]. Вторая схема Меллор-Ямада-Янича (далее MYJ) является рекомендуемой схемой для WRF. Она имеет длительную историю разработки и изначально создана для модели Eta [11].

Обе параметризации используют теорию подобия Монина-Обухова для вычисления коэффициентов турбулентности и подсеточных турбулентных потоков количества движения, влаги и тепла.

В параметризации YSU высотой пограничного слоя считается высота, на которой критическое число Ричардсона равно нулю. Для каждой прогностической переменной записывается соответствующее уравнение турбулентной диффузии, которое включает член, описывающий поток со слоя инверсии, и поправку к локальному градиенту, которая учитывает вклад в общий поток движения, вносимый крупными вихрями (т.е. схема нелокальная). После определения высоты пограничного слоя вычисляются коэффициенты турбулентности и уточняются значения метеорологических элементов.

Параметризация MYJ строится на решении системы уравнений описывающих эволюцию турбулентной кинетической энергии (ТКЭ). Значения ТКЭ, полученные на предыдущем шаге по времени, используется для вычисления коэффициентов турбулентного обмена на текущем шаге. Расчет ТКЭ проводится во всей толще атмосферы.

Как видно из вышеизложенного, параметризации отличаются достаточно сильно, в том числе неизвестными в них являются различные переменные, хотя они основаны на теории Монина-Обухова. Параметризации пограничного слоя тесно связаны с параметризациями приземного слоя (рассчитываются приземные потоки тепла, влаги и количества движения): схема YSU должна работать в паре со схемой подобия MM5, а MYJ – со схемой подобия модели Eta. Здесь и далее эти пары параметризаций рассматриваются как одно целое, т.к. YSU может работать только со схемой MM5, а MYJ – со схемой Eta; иначе будут нарушены условия замыкания турбулентных потоков.



*Параметризации конвективных процессов*

Изучено поведение двух параметризаций – схема Бетса-Миллера-Янича (далее ВМЈ) [11] и схема Каина-Фритча (далее КФ) [12]. Ранее они были апробированы в Гидрометцентре России [4].

Заметим, что в сборках модели на сетке с шагом менее 5 км, параметризация конвекции не использовалась, т.к. при таких шагах конвективные процессы могут разрешаться самими уравнениями. Однако вычислительные средства не позволяют перейти к шагам порядка 3 – 5 км в оперативном режиме по всей территории Дальнего Востока, поэтому были апробированы две схемы конвекции.

Суть параметризаций сводится к определению конвективных потоков тепла в ячейке сетки. В схеме ВМЈ неизвестной является статическая влажная энергия (СВЭ), и в случае мелкой конвекции, когда осадки предполагаются отсутствующими, уравнения просто перераспределяют температуру и влажность в облачном слое. В случае глубокой конвекции профиль СВЭ строится из условия сохранения энтальпии влажного воздуха. Если при расчете схемы возникли отрицательные осадки, то параметризация глубокой конвекции не включается. Она не производится и при отрицательной тенденции СВЭ, даже если осадки положительны.

Основное отличие параметризации КФ состоит в новом подходе к расчету вовлечения и истечения в рамках одномерной модели облака. В схеме предполагается, что смесь, приобретающая отрицательную плавучесть, вытекает из облака, а смесь, приобретающая положительную плавучесть, наоборот вовлекается в облако. Такой процесс перемешивания оценивается по слоям и обеспечивает двухсторонний обмен массой между облаком и внешней средой. В схеме рассчитываются тенденции температуры и влажности, определяющие

воздействие конвекции на модельные поля. Замыкание осуществляется посредством образования восходящих и нисходящих потоков, имитирующих конвективное перемешивание, что требует удаления около 90% первоначально доступной потенциальной энергии.

Как видно, две схемы параметризации конвекции используют совершенно разные подходы к расчету конвективной энергии.

#### *Варианты сборки модели*

В данном разделе представлены геометрия области расчета и параметры моделей для используемых в оперативной практике сеансов прогноза:

- сеанс по ДВ-региону (Хабаровский сеанс) с шагом 15 км,
- два сеанса для Забайкалья с шагами 30 км, 3 и 9 км (вложенные домены),

Вертикальная структура одинакова для всех сеансов прогноза. Используется 31  $\eta$ -уровень: 1.000, 0.994, 0.983, 0.968, 0.950, 0.930, 0.908, 0.882, 0.853, 0.821, 0.788, 0.752, 0.715, 0.677, 0.637, 0.597, 0.557, 0.517, 0.477, 0.437, 0.397, 0.357, 0.317, 0.277, 0.237, 0.197, 0.157, 0.117, 0.077, 0.037, 0.000.

#### *Сеанс по ДВ-региону с шагом 15 км*

Первым был апробирован сеанс прогноза по обширной территории ДВ-региона с горизонтальным разрешением 7,5 км на основе модели версии 3.1.1 с центром в г. Хабаровске, покрывающей практически весь Дальний Восток (за исключением северных районов Якутии и Чукотки), восточную Азию и западную часть Тихого океана с разрешением сетки 1001  $\times$  801 узла. Область расчета приведена на рисунке 2. Здесь использовались следующие параметризации: микрофизика – схема Томпсона, коротко- и длинноволновая радиация – схемы Дудьи и RRTM, пограничный слой – нелокальная K-модель YSU,

процессы в почве – универсальная схема Noah, конвекция – BMJ. Шаг по времени 30 сек. Заблаговременность расчета до 72 ч., время счета 11 ч. Исходные данные – прогнозы модели Global Forecasting System (США) с шагом полградуса.

Однако в связи с большим временем расчета и необходимостью освободить вычислительные ресурсы для других сеансов с 17 июля 2013 г. в этом сеансе был осуществлен переход на шаг в 15 км и более современную версию модели 3.4.1 с сохранением геометрии области прогноза. В процессе опытной эксплуатации выяснилось, что использование параметризации Томпсона для 15 км версии негативно влияет на экспериментальный прогноз балла облачности (облачность и выпавшие осадки не совпадают по местоположению), поэтому параметризация Томпсона летом 2013 г. была заменена на более простую схему WSM5. На расчет одного сеанса прогноза на 72 ч. вперед при такой сборке модели требуется 3 ч. машинного времени. Эта версия модели ниже обозначена как «Хаб-15».

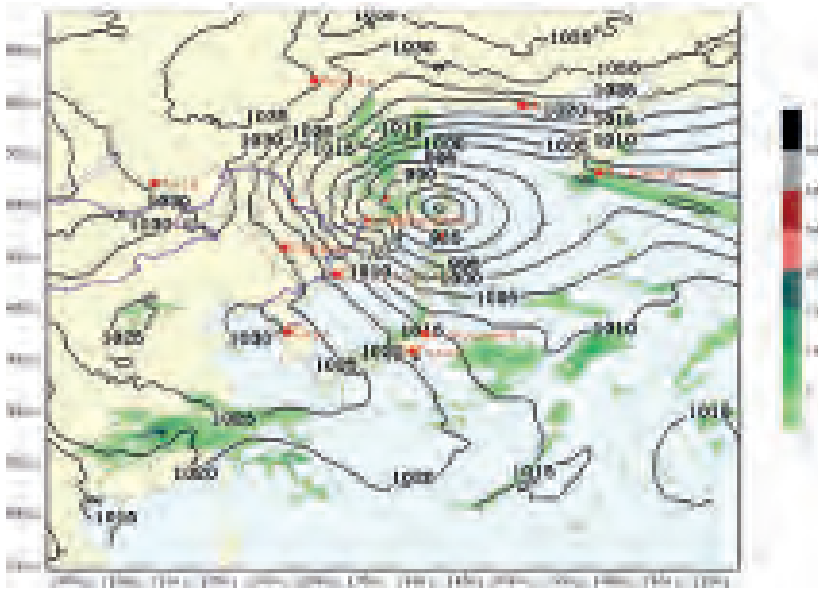
Расчеты прогнозов по этой сборке модели выполняются ежедневно в оперативном режиме от срока 00 ч. ВСВ, начиная с 19 марта 2011 г.

Продукция модели (с учетом динамики ее изменений) ежедневно поступает в прогностические подразделения ФГБУ «Дальневосточное УГМС» (с марта 2011 г.) и «Сахалинское УГМС» (с декабря 2013 г.), а также в Ситуационный центр Росгидромета (с 19 марта 2011 г.).

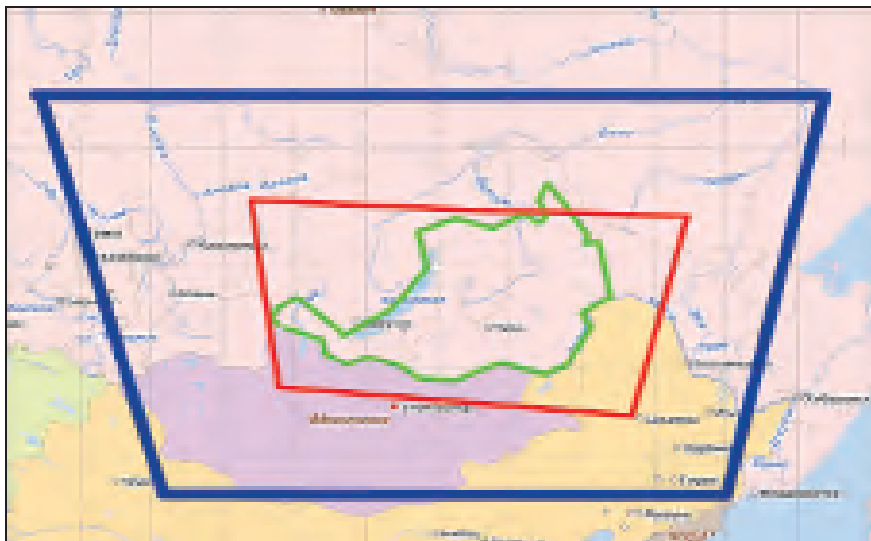
*Сеанс по Забайкалью с шагом 3/9 км (Заб–3) для прогноза опасных явлений погоды*

Этот сеанс применяется для прогнозирования шквалов, сильных ливней и очень сильных осадков в Забайкалье [1]. Вычисления организованы на двух вложенных доменах с горизонтальным шагом 3 и

9 км соответственно рисунку 3: синей линией обозначены границы внешней сетки, красной – вложенной, зеленым – административная граница Забайкалья.



*Рис. 2. Область прогноза по моделям 15 км и 7,5 км с центром в г. Хабаровске*



*Рис. 3. Набор вложенных доменов модели прогноза опасных явлений погоды на территории Забайкалья*

Все пункты наблюдений, расположенные на территории Забайкалья, попадают внутрь вложенного домена и находятся на расстоянии не ближе 150 км к его границе. Размеры составляют 332 на 250 точек внешней сетки и 618 × 339 точек вложенной области. Версия модели 3.1.1. Настройки аналогичны варианту для Хабаровска, но применены как параметризация YSU, так и MYJ, т.е. фактически существуют два варианта сборки модели. Расчеты выполняются с заблаговременностью до 24 ч. Для прогноза опасных явлений погоды используются только данные, полученные на внутреннем домене. Расчеты выполняются в теплый период года (апрель – октябрь).

*Сеанс по Забайкалью с шагом 30 км (Заб–30) для прогнозов общего пользования*

Разработан отдельный сеанс расчета модели WRF-ARW с шагом в 30 км для прогнозов общего пользования по территории Забайкалья. Настройки полностью совпадают с настройками модели для ДВ-региона с шагом в 15 км за исключением: микрофизика – Томпсон, пограничный слой – MYJ. Размер сетки – 251 × 201 точек (включая центр и север Дальнего Востока России, Монголию, частично Западную и Восточную Сибирь, рисунок 4). Версия модели – 3.4.1. Шаг по времени – 150 сек.

Этот сеанс прогноза функционирует в оперативном режиме с 24 июля 2013 г. Расчет выполняется один раз в сутки от 12 ч. ВСВ на 60 ч. вперед (время счета 1,5 ч.). Прогностическая продукция передается в ФГБУ «Забайкальское УГМС».



*Рис. 4. Область прогноза для Забайкалья с шагом в 30 км*

#### *Оперативная технология расчета прогнозов в РСМЦ Хабаровск*

В РСМЦ Хабаровск технология расчета прогнозов по модели WRF-ARW развернута на трех вычислительных узлах: серверах xwork2 и ifront и суперкомпьютере G-Scale S4700. Все узлы используют сетевую файловую систему, которая физически расположена на отдельном массиве жестких дисков. Конфигурация серверов xwork2, ifront и суперкомпьютера G-Scale S4700 представлена в таблице 1.

Блоки этапа подготовки исходных данных (препроцессинга) и этапа формирования прогностической продукции (постпроцессинга) выполняются на сервере xwork2. Это связано с тем, что библиотеки для работы со стандартным форматом передачи и хранения метеорологических полей кодом GRIB2, разработаны только для архитектуры x86\_64. Ядро ARW выполняется на вычислителе G-Scale S4700. Скрипты закачки исходных данных, запуска динамического ядра модели и управления всем технологическим циклом функционируют на сервере ifront.

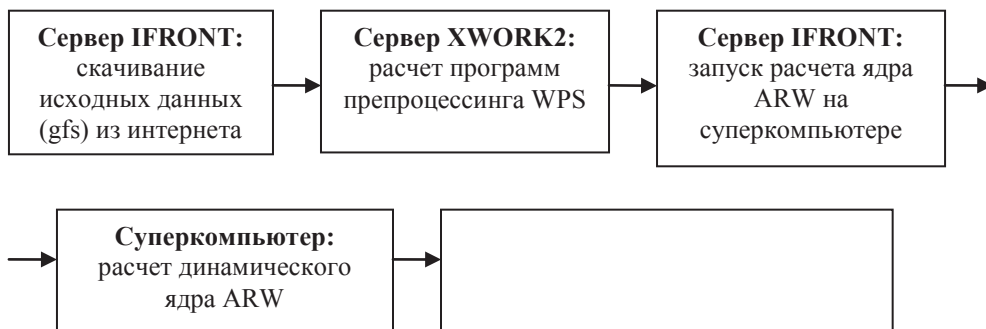
**Конфигурация серверов xwork2, ifront и суперкомпьютера G-Scale S4700**

Параметры / сервер	G-Scale S4700	Ifront	Xwork2
Количество процессорных ядер	104	8	8
Оперативная память	208 ГБ	8 ГБ	8 ГБ
Тип процессоров	Intel Itanium 2	Intel Itanium 2	Intel Xeon X5355
Архитектура	ia64	ia64	x86_64
Операционная система	SLES 10 ia64	SLES 10 ia64	SLES 10 x86_64

Технологическая схема включает следующие этапы:

- получение исходных и граничных данных модели Global Forecasting System (GFS) из Интернет;
- подготовка начальных и граничных полей, интерполяция в сетку прогноза и т.д. (препроцессинг);
- расчет модели: интегрирование динамического ядра ARW;
- интерполяция на r-уровни и вычисление диагностических полей (встроенный постпроцессинг);
- построение прогностических слайдов, расчет элементов погоды в пунктах, вычисление оценок качества прогнозов, производство специализированных прогнозов (собственный постпроцессинг).

Общая схема технологии приведена на рисунке 5.



*Рис. 5. Схема технологической цепочки расчета прогнозов по модели WRF-ARW в РСМЦ Хабаровск*

В процессе разработки оперативной технологии решались следующие задачи: организация закачки данных с серверов гидрометеослужбы США; построение технологии согласно архитектуры вычислительных средств (часть программ должна выполняться на процессорах типа Xeon (x86\_64), а часть на Itanium (ia64)); организация передачи данных удаленному потребителю; полная автоматизация рабочего цикла.

В Хабаровском РСМЦ организована технология скачивания прогностической продукции глобальной модели GFS по протоколу ftp из сети Интернет с сервера ftp.ncsr.noaa.gov.

Задача адаптации технологии к архитектуре вычислительных средств заключалась в необходимости синхронизации работы компонент модели на нескольких независимо функционирующих серверах и вычислителе G-Scale S4700. Эта задача решена путем удаленного исполнения скриптов по протоколу ssh. С удаленного сервера отслеживается факт функционирования процесса расчета модели, оптимальный интервал обращения к серверу определялся экспериментально. Полная автоматизация прогностического цикла достигается исполнением головного скрипта управления технологическим процессом по расписанию.

На этапе препроцессинга выполняется горизонтальная интерполяция рельефа и статических параметров в сетку прогноза; извлекаются начальные и граничные данные из файлов в коде GRIB2, переводятся в промежуточный формат модели; производится горизонтальная интерполяция метеорологических полей в сетку прогноза.

Далее, с сервера ifront через систему очереди задач на суперкомпьютере G-Scale S4700 запускается программа интерполяции



начальных и граничных данных на модельные уровни. Этой программе выделяется 16 ядер. На этом процесс подготовки исходных данных завершается и на суперкомпьютере запускается расчет динамического ядра ARW с выделением 92 ядер и 184 ГБайт оперативной памяти. Модель продуцирует выходные файлы в формате NetCDF каждый модельный час.

Основная задача встроенного постпроцессора – интерполяция выходной продукции на стандартные изобарические поверхности и запись этих данных в коде GRIB. Здесь же осуществляется расчет диагностических полей (вихря скорости, балла облачности и т.д.).

Далее, запускается собственный постпроцессинг. В него входит скрипт построения слайдов на базе программы GrADS, который так же осуществляет вырезку и сохранение полей в коде GRIB для передачи потребителям. Скрипт имеет блок специализированных прогнозов: рассчитывает прогноз элементов и явлений погоды в пунктах и выполняет оценку качества расчетов. Передача прогнозов удаленному потребителю выполняется по ftp и электронной почтой автоматически.

#### *Продукция системы ЧПП РСМЦ Хабаровск*

На базе выходной информации оперативных сеансов расчета различных версий модели WRF-ARW в системе ЧПП РСМЦ Хабаровск выпускается широкий спектр прогностической продукции. Форма представления, состав и содержание продукции, как правило, согласуется с потребителями.

Система выпускает прогнозы полей всех основных метеорологических величин на стандартных изобарических поверхностях:

– приземного давления и геопотенциала на уровнях от 1000 до 50 гПа (1000, 975, 950, 925, 900, 875, 850, 825, 800, 775, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 450, 400, 350, 300, 250, 200, 150, 100, 50 гПа);

– приземной температуры и температуры на высотах от 1000 до 50 гПа;

– компонент скорости ветра приземного и на всех стандартных уровнях от 1000 до 50 гПа;

– влажности воздуха на всех стандартных уровнях от 1000 до 50 гПа и на уровне земли;

– поля интенсивности осадков и балла облачности;

– поля накопленных осадков с дискретизацией не менее часа.

Кроме того, рассчитываются прогнозы элементов погоды в пунктах ДВ-региона: срочные и экстремальные значения температуры воздуха у земли; значения скорости и направления приземного ветра; полусуточные и шестичасовые суммы осадков.

Максимальная заблаговременность прогнозов составляет до трех суток в зависимости от назначения сборки модели и прогнозируемых элементов погоды. Все приземные и высотные поля выпускаются с детализацией 1 раз в 3 ч., фиксируются в папках базы данных и распространяются потребителям, как в числовом виде (GRIB), так и в форме электронных карт с наноской различной совокупности метеорологических полей изолиниями, заливкой или специальными значками.

#### *Метеорологические поля на стандартных p-уровнях*

Поля метеорологических элементов по высотам выпускаются, в основном, в числовом виде в форматах GRIB и NetCDF.

В виду больших объемов передаваемой потребителям информации и отсутствия необходимости в высокой пространственной

детализации высотных полей, построение слайдов высотных полей осуществляется только в специальных случаях, хотя технология построения таких карт предусмотрена во всех сеансах прогноза. На рисунке 6 представлен пример высотной карты на изобарической поверхности 500 гПа (продукция модели «Хаб-15»).

В Забайкальском сеансе по варианту модели с разрешением 30 км строятся ежечасные карты геопотенциала, температуры и ветра на уровне 500 гПа по запросу прогнозистов ФГБУ «Забайкальское УГМС».

*Приземные поля метеорологических элементов*

В сеансе «Хаб-15» предусмотрено несколько вариантов компоновки приземных карт. Основной – поля приземного давления и трех часовых сумм осадков (пример представлен на рисунке 2).

Изолинии приземной температуры не наносятся из-за слишком высокой пространственной изменчивости. Проведение процедуры сглаживания сводит на нет высокую пространственную детализацию расчетов, поэтому потребителю предоставляются таблицы значений приземной температуры в пунктах. В дальнейшем предполагается добавить изолинии температуры на приземные карты для определения местоположения фронтов и зон резких изменений температуры воздуха у земли.

Строятся карты с наноской изолиний приземного давления и поля ветра на высоте 10 м стандартными значками («перьями») в узлах сетки с шагом 300 км. Заливкой отмечаются зоны сильных ветров (рисунок 7).

Для гидрологических и агрометеорологических прогнозов строятся карты прогноза накопленных осадков с детализацией 3 ч.

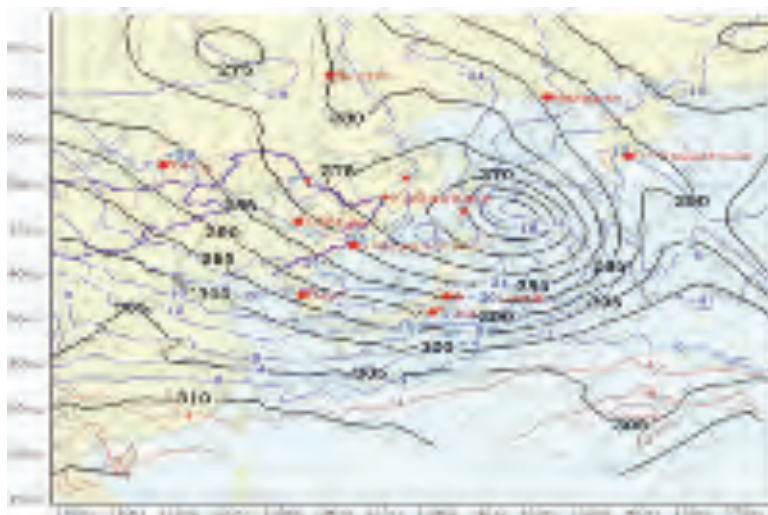


Рис. 6. Пример слайда высотных прогностических карт

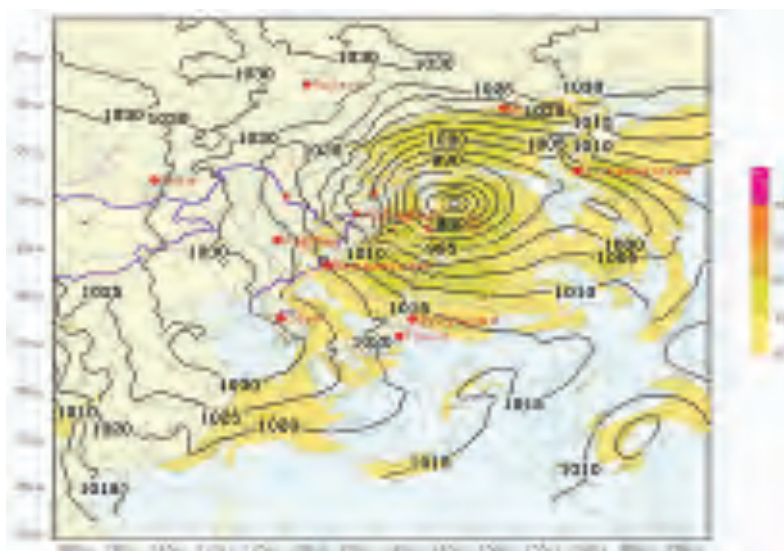
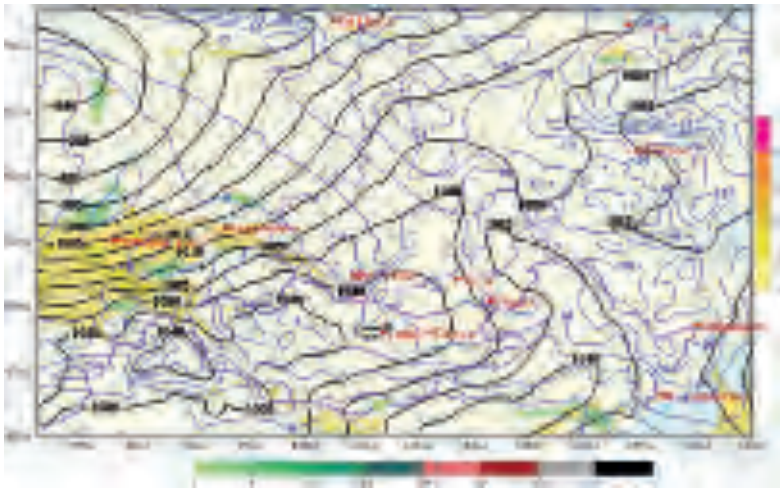


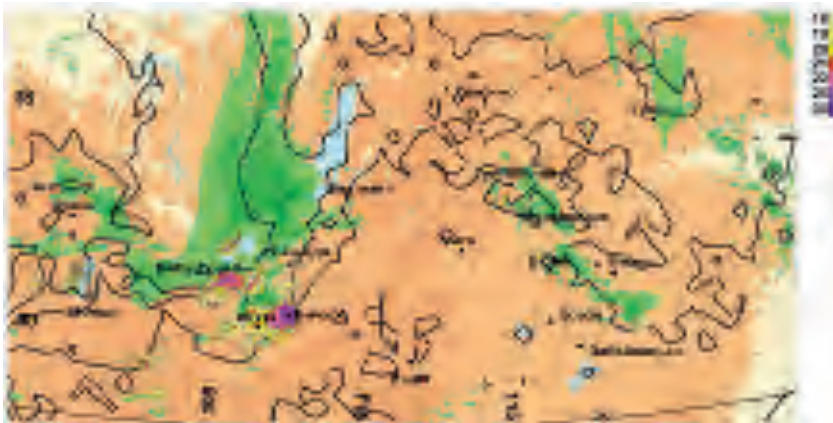
Рис.7. Пример карты прогноза полей приземного давления и ветра (заливка для областей скорости ветра выше 10 м/с) по модели «Хаб-15»

В технологии «Заб-30» предусмотрено построение карт основного стандарта (приземное давление и трех часовые суммы осадков) и слайдов совокупности полей приземного давления, температуры, трех часовой суммы осадков и поля ветра. Существенно

меньший охват территории позволяет выполнить такое построение без потери информативности. При совпадении местоположения зон осадков и сильных ветров, заливка зоны осадков покрывает заливку зоны ветров (рисунок 8).



*Рис.8. Пример приземной карты по модели сеанса «Заб-30»*



*Рис.9. Пример приземной карты прогноза опасных явлений погоды на территории Забайкалья*

В технологии прогноза опасных явлений погоды для Забайкалья по версии модели с горизонтальным разрешением 3 км строятся

приземные карты специального индекса шквалистых ветров и почасовой интенсивности осадков [1].

Прогнозы рассчитываются с заблаговременностью до 24 ч. Карты строятся ежечасно. Пример приземной карты, приведен на рисунке 9. Зоны шквалов и шквалистых ветров нанесены заливкой желто-розового спектра согласно шкале, приведенной в правом верхнем углу. Числа шкалы указывают интервалы скоростей шквалистых ветров. Цвета и градации шкалы осадков соответствуют стандарту, принятому для прогнозов общего назначения (рисунок 8). При совпадении зон осадков и шквалистых ветров заливка зоны шквалов покрывает осадки.

*Таблицы значений элементов погоды в пунктах ДВ-региона*

Одним из основных видов продукции модели являются таблицы прогноза всех основных метеорологических элементов погоды в пунктах ДВ-региона.

Технология «Хаб-15» продуцирует 5 видов таблиц по 77 станциям территории обслуживания ФГБУ «Дальневосточное УГМС»: Амурской области, Хабаровского края, Еврейской автономной области на интервале интегрирования уравнений модели (до 72 ч.):

- таблицы срочных значений температуры воздуха у земли с интервалом в 3 ч.;
- таблицы суточных экстремумов температуры воздуха у земли;
- таблицы значений скорости и направления ветра у земли с интервалом 6 ч.;
- таблицы полусуточных сумм осадков;
- таблицы шести часовых сумм осадков.

Технология «Заб-30» выпускает перечисленные виды таблиц по 93 станциям территории обслуживания ФГБУ «Забайкальское УГМС»:

Забайкальскому краю и территории республики Бурятия на интервале интегрирования модели (до 60 ч.).

В заключение следует отметить, что возможности системы ЧПП не ограничиваются выпуском указанного перечня метеорологических параметров, элементов погоды, пунктов прогноза и временной детализации. Выпуск продукции возможен с любой детализацией, кратной шагу интегрирования по времени, вплоть до нескольких минут и секунд. Возможен также прогноз элементов погоды в любой точке или совокупности точек области прогноза. Точка прогноза задается в информационных файлах координатами: широтой, долготой и высотой. Возможен так же выпуск других видов продукции, в том числе для специализированных прогнозов, а также для формирования исходных данных для численных моделей специального назначения. Так, например, в настоящее время в варианте модели «Хаб-15» формируются файлы значений скорости и направления приземного ветра для модели прогноза суммарных уровней моря на побережье и акватории Охотского моря.

### ***Качество прогнозов***

Вопросы степени достоверности прогнозов являются отдельным большим исследованием, выходящим за рамки данной статьи. Они многообразны и, так или иначе, рассматривались в различных публикациях [1, 4 - 8]. Это сравнительное исследование характеристик качества прогнозов барических полей [4, 7], анализ качества прогнозов различных элементов погоды в пунктах [5, 8], исследования возможности прогнозирования шквалов и шквалистых ветров на территории Забайкалья [1].

Полномасштабные исследования данного вопроса в любом случае разделяются на два направления: анализ качества прогноза полей метеоэлементов и анализ степени успешности прогноза элементов и явлений погоды в пунктах. Первое направление – сугубо специальное и рассматривается, как правило, только специалистами по гидродинамическому моделированию атмосферных процессов. Второе направление представляет интерес для широкого круга специалистов в области численных прогнозов погоды и потребителей прогностической продукции.

Анализ качества прогноза каждого из продуцируемых элементов или явлений погоды является отдельным исследованием, при этом результаты могут быть отличными для различных областей применения. Кроме того, числовые значения характеристик качества прогноза элементов и явлений погоды в пунктах в значительной степени зависят не только от модели, ее содержания и конфигурации, но и от подхода к определению (расчету) значения элемента погоды в пункте. Выбор такого подхода требует отдельного исследования и во многом зависит от прогнозируемого элемента и горизонтального разрешения модели. В этой связи для логического завершения изложенного материала приведем только иллюстрации качества прогноза элементов погоды без числовых характеристик и их анализа.

Ниже представлены графики временного хода прогностических и фактических значений приземной температуры, скорости ветра и количества осадков на метеостанции г. Владивостока в период с 25 августа по 10 сентября 2012 г. (период проведения саммита АТЭС). Прогнозы взяты по сборки модели для ДВ-региона с горизонтальным шагом 15 км.



На рисунке 10 представлены графики временного хода прогностической и фактической приземной температуры. На рисунке 11 представлен временной ход скорости ветра. На рисунке 12 приведен временной ход значений трех часовых сумм осадков за исследуемый период.

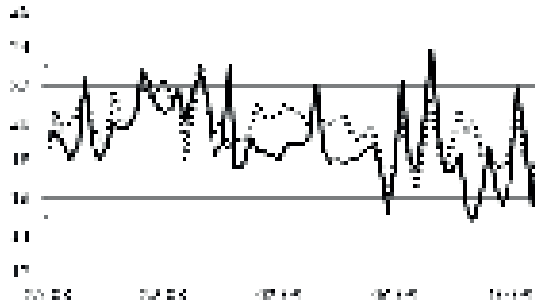


Рис. 10. Фактические и прогностические значения приземной температуры (наблюдения – сплошная линия, прогноз – точки)

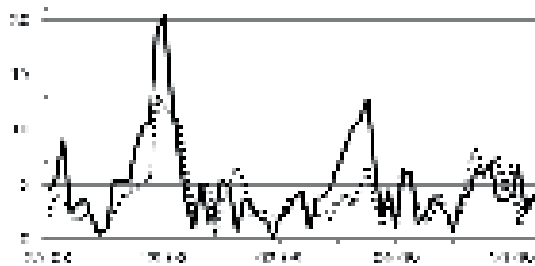


Рис. 11. Фактические и прогностические значения скорости приземного ветра (обозначения как на рисунке 10)

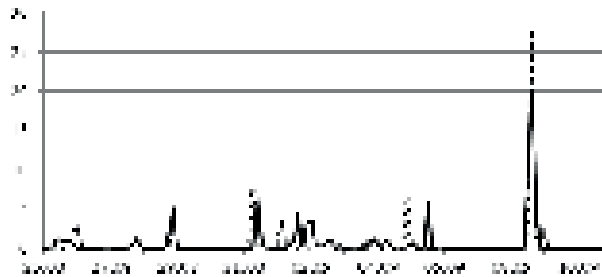


Рис.12. Фактические и прогностические значения трех часовых сумм осадков (обозначения как на рисунке 10)

Из рисунков видно, что прогноз скорости ветра хорошо коррелирует с фактом, но максимальная скорость ветра занижена, что особенно заметно в период прохождения тайфуна Bolaven (28 - 29 августа). Модель в целом хорошо прогнозирует периоды выпадения и отсутствия осадков, иногда занижает их количество или сдвигает пик интенсивности во времени. Что касается приземной температуры, то, как видно из рисунка 10, корреляция не так высока, как в случае скорости ветра или количества осадков, но существенные различия в значениях (более трех градусов) наблюдались только в период с 8 по 10 сентября.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Адаптация выходной продукции модели WRF-ARW, функционирующей в РСМЦ Хабаровск, к физико-географическим условиям Забайкалья с целью прогнозирования опасных явлений погоды конвективной природы (очень сильный дождь, сильный ливень, шквал): Отчет о НИР (заключ.): 1.7.37 / ДВНИГМИ; рук. Е.М. Вербицкая; исполн.: С.О. Романский, М.М. Хамуева. - Хабаровск, 2012. - 137 с.

2 Вельтищев Н.Ф., Жупанов В.Д. Информация о модели общего пользования WRF-NMM. - М.: ГВЦ, 2007. - 158 с.

3 Вельтищев Н.Ф., Жупанов В.Д. Численные прогнозы погоды по негидростатическим моделям общего пользования WRF-ARW и WRF-NMM. // В кн. 80 лет Гидрометцентру России. - М.: ТРИАДА ЛТД, 2010. - С. 95 - 142.

4 Вельтищев Н.Ф., Жупанов В.Д. Эксперименты по численному моделированию интенсивной конвекции. // Гидрология и метеорология. - 2008. - №9. - С. 30 - 44.

5 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 - Вып.154. - Владивосток: Дальнаука, 2012. - С. 22 - 40. - ISBN 978-5-8044-1360-7.

6 Вербицкая Е.М. Перспективы развития системы численных прогнозов погоды в региональном специализированном метеорологическом центре Хабаровск. // Труды ДВНИГМИ - Юбилейный вып. ДВНИГМИ - 60 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2010. - С. 12 - 24. ISBN 978-5-8044-1164-1.

7 Результаты опытной эксплуатации модели WRF-ARW применительно к территории Дальневосточного региона в РСМЦ Хабаровск: Отчет о НИР (заключ.): 1.1.1.п.5 / ДВНИГМИ; рук. Е.М. Вербицкая; исполн.: С.О. Романский, А.А. Савченко. - Хабаровск, 2010. - 29 с.

8 Романский С.О., Вербицкая Е.М. Краткосрочный численный прогноз погоды по Владивостоку на базе модели WRF-ARW в период саммита АТЭС-2012. // Вестник ДВО РАН. - 2014 (в печати).

9 Arakawa A., Lamb V.R. Computational design of the basic dynamical process of the UCLA general circulation model. – New York: Academic Press, 1967. - P. 173 - 265.

10 Hong S., Yign N., Dudhia J. A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. // Monthly weather review. - 2008. - №134. - P. 2318 - 2341.

11 Janjic I. The step-mountain Eta coordinate model: further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes. // Monthly weather review. - 1997. - №122. - P. 927 - 945.

12 Kain S. The Kain–Fritsch convective parameterization: an update. // Journal of applied meteorology. – 2004. - №43. - P. 170 - 181.

13 Rogers E., Black T., Ferrier B. Changes to the NCEP meso Eta analysis and forecast system. // NWS Technical Procedures Bulletin 488, NOAA/NWS. - 2001.

14 Skamarock W.C., Klemp J.B. A time-split nonhydrostatic atmospheric model for research and NWP applications. // Journal of compute physics, special issue on environmental modeling. - 2009. - P. 3465 - 3485.

15 Thompson G., Paul R., Hall D. Explicit forecasts of winter precipitation using an improved bulk microphysics scheme. // Monthly weather review. - 2008. - №136. - P. 5095 - 5115.

16 WRF-ARW User's Guide v. 3.4. - Boulder: National center for atmospheric research, 2012. 384 p.

*В. В. Крохин, Г. Г. Баранов,  
А. Ю. Филь, Л. И. Евдокимова  
ФГБУ «ДВНИГМИ», г. Владивосток*

## **ОЦЕНКА ПРОГНОЗИРУЕМОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТАЙФУНОВ МОДЕЛЬЮ WRF**

### **Введение**

Тропические циклоны (ТЦ) являются, пожалуй, самыми разрушительными из всех погодных явлений с точки зрения ущерба для человека, экономики и природы. Негативное воздействие ТЦ становится особенно неблагоприятным как при выходе ТЦ в районы интенсивного судоходства, так и при выходе ТЦ на сушу.

В отличие от тропических и субтропических районов, территория России в меньшей степени подвержена влиянию ТЦ. В основном, ТЦ доходят до территории нашей страны в качестве слабых тропических штормов и даже тропических депрессий, или уже трансформированными внетропическими циклонами [12]. Однако данное правило нередко нарушается. Поэтому, выход ТЦ на территорию России не является чем-то исключительным.

Прогнозирование положения и эволюции тропических циклонов, влияющих на российский Дальний Восток, и доведение информации о них до потребителей выполняется в настоящее время в оперативных подразделениях Росгидромета, в основном, на базе прогностической продукции отечественных и зарубежных глобальных моделей. В ряде управлений Гидрометслужбы и научно-исследовательских учреждениях Росгидромета, с 1997 года ведутся работы по адаптации региональных негидростатических гидродинамических моделей высокого разрешения на регион Дальнего Востока [1, 2, 5, 7]. С мая 2012 г. в ДВНИГМИ

выполняются экспериментальные расчеты траектории и эволюции ТЦ с использованием модели WRF [9].

За последние несколько десятилетий наблюдался очевидный прогресс в области прогнозирования ТЦ. Так, например, если ошибка прогноза положения ТЦ в конце 80-х годов на период 24 часа составляла около 146 - 235 км [3], то в конце 90-х годов уже была равна 153 - 178 км [16], и в начале 10-х лет 21 века уменьшилась до 92 - 131 км (по данным Объединенного центра предупреждения о тайфунах США (Joint Typhoon Warning Centre – JTWC) и Японского метеорологического агентства (JMA) за период 2007 - 2011).

Большую роль в этом сыграл качественный скачок «класса моделей» (по выражению И. Г. Ситникова [10]), имевший место в 90-е годы 20 века, когда на смену баротропным и бароклиным моделям постепенно пришли гидродинамические модели с высоким пространственным разрешением, параметризацией физических процессов и вложенными движущимися сетками. Этот качественный скачок позволил перейти от прогноза только положения ТЦ к прогнозу эволюции ТЦ. В этой же работе [10], И. Г. Ситников предвидел этапы развития численных моделей ТЦ на десятилетия вперед:

1. Прогноз положения ТЦ.
2. Прогноз положения и эволюции ТЦ.
3. Прогноз жизненного цикла ТЦ.

Согласно этой парадигме, численное моделирование ТЦ начала 10-лет лет 21 века находится на втором этапе. Численный прогноз всего жизненного цикла ТЦ, начиная от прогноза зарождения - это, пока, дело будущего.

Проблема или задача прогнозирования ТЦ имеет как теоретические, так и практические аспекты. С точки зрения теории

динамических систем прогноз ТЦ - это частный случай общей проблемы атмосферной предсказуемости [6]. С точки зрения практики - это проблема чувствительности модели ТЦ к начальным данным (начальные и граничные условия). В данной работе рассматривается прогнозируемость как практический аспект предсказуемости ТЦ, как с точки зрения анализа качества исходных данных наблюдений за ТЦ, так и на основе анализа качества модельных прогнозов положения ТЦ, на примере модели HWRP.

### **Модель и исходные данные**

#### *Данные наблюдений за тропическими циклонами*

При моделировании ТЦ численной моделью HWRP использовались уточненные данные текстовых телеграмм Объединенного центра предупреждения о тайфунах США (Joint Typhoon Warning Centre, JTWC), обновляющиеся на серверах Глобальной системы прогнозов Национального центра экологического прогноза США. В перечень данных о ТЦ входят:

- имя ТЦ;
- дата и срок наблюдения (BCB);
- координаты центра, широта и долгота (градусы с десятичными);
- минимальное атмосферное давление в центре ТЦ (гПа);
- максимальная скорость ветра вблизи центра ТЦ (м/с);
- радиус максимального ветра (в км)
- стадия развития.

В работе использовались данные по 17 ТЦ за период 1979 - 2012 гг. Более развернутое подробное описание этих ТЦ и их жизненного

цикла выходит за рамки данной работы и приведено в [9]. В данной работе задача определения истинного центра ТЦ не ставилась.

#### *Архивы начальных данных (реанализы)*

При моделировании ТЦ использовались следующие исторические наборы данных (реанализы): NNRP-2 (NCEP/NCAR 2) [14]; JRA-25 [18], NCEP GFS / Final Analysis [23], ERA-INTERIM [13].

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики перечисленных наборов данных.

#### **Модель исследования**

Численные эксперименты с ТЦ проводились с моделируемыми данными для региональной модели высокого разрешения Hurricane WRF. Шаг сетки по горизонтали в модели был равен 27 км, в окрестностях ТЦ – 9 км, по вертикали рассматривалось 43 стандартных эта-уровня. Полное описание конфигурации модели HWRF содержится в документации [14], здесь описаны лишь основные детали. Далее по тексту модель будет именоваться как HWRF-R27r9L43.

Приведем краткий перечень физических параметризаций модели HWRF:

- 1) параметризация подстилающей поверхности: однослойная схема «GFDL SLAB» с постоянным коэффициентом теплопроводности;
- 2) параметризация приземного слоя: схема по Монину – Обухову с масштабом шероховатости по Зилитинкевичу;
- 3) параметризация планетарного пограничного слоя: схема высокого разрешения GFS PBL с неявным представлением слоя вовлечения как части нелокального по K- слою смешения;

**Сравнительные характеристики архивов повторного анализа  
(реанализа)**

	Название набора			
	JRA-25	NNRP2	NCEP FNL	ERA INTERIM
Организация	Японское метеорологическое агентство (JMA)	Национальный центр по прогнозированию окружающей среды (NCEP), Национальный центр атмосферных исследований США (NCAR)	Национальный центр по прогнозированию окружающей среды (NCEP)	Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды
Период	1979–2004	1979–2006	2004 – по наст. время	1979 – по наст. время
Пространственное разрешение	1,25° x 1,25°	2,5° x 2,5°	1° x 1°	1,0° x 1,0°, 0,75° x 0,75°, 0,5° x 0,5°, 0,25° x 0,25°
Усвоение данных	3D-VAR	3D-VAR	3D-VAR	4D-VAR, 12 ч окно
Количество модельных уровней	40 / гибридная координата	28 сигма-уровней	64 / гибридная координата	60 / гибридная координата
Ковариационная матрица ошибок модели	постоянная	постоянная	постоянная	постоянная только в начальный момент времени
Гидрологические и термодинамические процессы в почве	данные по почве непригодны для усвоения WRF	2 слоя	5 слоев	4 слоя
Схема интегрирования по времени	эйлерова	полу-лагранжева	эйлерова	полу-лагранжева

4) глубокая конвекция параметризуется на основе подхода «потока массы» по Аракаве – Шуберту;



5) схема параметризации для микрофизических процессов Феррье, описывающая многофазные процессы в облаках;

б) параметризация радиации по методу Лаборатории геофизической гидродинамики (GFDL) США: в схеме учитывается поглощение водяным паром, диоксидом углерода, озоном, а также микрофизические эффекты. Радиация в экспериментах рассчитывалась каждые 30 мин.

Во время счета положение модельного ТЦ вместе с вложенной сеткой отслеживалось по методу Марчека [17]. Для определения координат центра ТЦ используются 6 основных и 3 вспомогательных параметра нижнего слоя тропосферы. Основными параметрами являются: относительная завихренность на уровне 850 гПа, относительная завихренность на уровне 700 гПа, относительная завихренность на уровне 10 м, геопотенциал на уровне 850 гПа, геопотенциал на уровне 700 гПа, давление на уровне моря. Вспомогательными параметрами являются: минимум скорости ветра на уровне 850 гПа, минимум скорости ветра на уровне 700 гПа, минимум скорости ветра на высоте 10 м.

### **Результаты и обсуждение**

Согласно общепринятым в настоящее время взглядам, сформировавшимся под влиянием работ К. Поппера [8] и Г. Теннекеса [19], детерминированный модельный прогноз не может являться «научным» без оценок его успешности (дословно: «no forecast is complete without a forecast of forecast skill», Г. Теннекес [1987]). Таким образом, прогнозируемость гидрометеорологического процесса или явления может быть оценена (и оценивается) путем оценки успешности результатов прогноза (forecast skill). Например, для положения центра

ТЦ – это такие характеристики, как средняя минимальная ошибка положения ТЦ (собственный предел прогнозируемости) – *inherent limit of predictability*, согласно [16], и средняя абсолютная ошибка прогноза положения ТЦ [4] – (практический предел прогнозируемости – *practical limit of predictability*, согласно [16]).

К сожалению, до сих пор исследование прогнозируемости ТЦ имеет очень ограниченное применение [11]. Данная проблема решается, как правило, традиционным способом, а именно, построением устойчивого ансамбля из нескольких моделей. Достаточно полный обзор по данной теме содержится в [6, 11]. Тем не менее, имели место попытки выстроить оригинальное направление решения задачи путем эмпирического анализа данных модельных прогнозов ТЦ.

В случае прогноза ТЦ, заблаговременность именно успешных прогнозов не превышает 3 - 5 суток. Поэтому, указывается в работе [16], прогнозируемость ТЦ в большей степени определяется начальными данными, и менее всего зависит от граничных условий. Это позволяет свести поле исследования к следующим основным источникам неопределенности при численном прогнозе ТЦ. Во-первых, это ошибки в начальных данных (*errors in the initial state specification*). Во-вторых, ошибки, присущие самой модели (*model formulation errors*).

Кроме того, по мнению авторов данной статьи, необходимо прибавить и третий источник неопределенности. Это – ошибки определения прогностических параметров ТЦ из модельных полей на этапе пост-прогнозирования.

Однако, как справедливо указывает Г. Теннекес [20] для более полного анализа успешности численного прогноза необходимо также оценивать и модельные статистики успешности второго порядка (*second-order skill*).

Перечисленные выше источники неопределенности прогнозирования ТЦ будут более подробно разобраны далее.

### *Точность представления положения вихря ТЦ*

Точность представления вихря ТЦ в исходных данных зависит от двух факторов:

- точности данных положения ТЦ – (текстовые телеграммы TCVITALS);
- точности полей глобального анализа.

### *Оценка точности текстовых телеграмм TCVITALS*

Качество телеграмм TCVITALS является важным для численного прогноза. Часто оперативные наборы данных TCVITALS содержат повторения (дубли), повторения данных за предыдущие сроки. Реже оперативные данные о ТЦ могут содержать нереальные (нефизические) величины (для ТЦ-сезонов 2012 – 2013 гг. нами не было отмечено). Кроме того, данные о ТЦ могут просто-напросто отсутствовать. Все это приводит к тому, что производство оперативного прогноза оказывается под вопросом – и отменяется.

В условиях ограниченного времени при подготовке оперативного прогноза ТЦ качество наборов данных TCVITALS о положении и интенсивности ТЦ должно страдать ввиду ограниченного набора данных (включая спутники, метеорадары, зонды и др.) для метода Дворака [22].

Известно [22], что на долю спутниковых данных приходится свыше 90% от общего количества данных, используемых для определения координат центра тропических циклонов.

Качество определения центра ТЦ зависит от двух факторов – типа спутникового сенсора и индекса качества позиции PCN (Position Confidence Number). Остановимся кратко на описании этих факторов.

Фактор №1 – тип спутникового сенсора. Для определения центра ТЦ в JTWC и других центрах используются данные с трёх типов спутниковых сенсоров (датчиков) – микроволновых радиометров, скаттерометров и сенсоров видимого и инфракрасного диапазона. В частности, в настоящее время в JTWC используется информация от следующих моделей сенсоров – SSMIS, TMI, AMSR-2 (микроволновые радиометры), OSCAT, WINDSAT (скаттерометры) и сенсоров видимого и инфракрасного (VIS/IR) диапазона высокого разрешения, установленных на геостационарных спутниках серии MTSAT.

Фактор №2 – индекс качества позиции PCN – предназначен для комплексной характеристики качества географической привязки изображения и степени организации облачной структуры ТЦ, определяемой по методу Дворака. При этом качество определения позиции центра растёт с увеличением интенсивности ТЦ и наличием береговой черты на изображении. Величина индекса PCN может изменяться от 1 до 6, где значение 1 соответствует наивысшему качеству. Наименьшие ошибки при определении центра ТЦ получаются при использовании сенсоров VIS/IR-диапазона. Для этих сенсоров при изменении среднего значения индекса качества позиции PCN от 1,2 до 5,6 средняя абсолютная ошибка определения центра ТЦ может изменяться от 13 до 48 км.

Исследование влияния качества наборов оперативных и уточненных данных о положении и интенсивности ТЦ было проведено С. Траханом и Д. Старлингом в NOAA [21]. Они исследовали качество наборов TCVITALS по шести регионам: NHC North Atlantic, JTWC West

Pacific, NHC East Pacific, JTWC Southern Hemisphere, JTWC Indian Ocean. Согласно их оценкам, качество наборов «JTWC West Pacific» является лучшим в группе по регионам ответственности JTWC США, но худшим по сравнению с качеством наборов по регионам ответственности NHC США. Сравнение оценок положения и интенсивности ТЦ по оперативным (TCVITALS) по сравнению с уточненными данными (BEST TRACKS) показало следующее. Ими было получено, что за период 2005–2009 гг. средняя абсолютная ошибка положения ТЦ по TCVITALS составила около 2 км (максимальная – 4 км), средняя арифметическая (систематическая) ошибка аппроксимации давления в центре составила ~0,3 гПа (завышение), средняя арифметическая (систематическая) ошибка аппроксимации скорости максимального ветра составила ~ 0,8 узла (занижение).

Таким образом, качество оперативных телеграмм TCVITALS можно признать хорошим.

#### *Неопределенность положения ТЦ в полях начального анализа*

В данном разделе приводятся количественные оценки точности положения вихря ТЦ по данным повторного анализа ERA-INTERIM и NNRP-2.

В таблице 2 приведены некоторые оценки моделью HWRF положения центра ТЦ (км) при инициализации вихря ТЦ и без неё, а также оценки, показывающие степень завышения минимального давления в центре ТЦ. Также, для сравнения приведены оценки ошибки положения центра ТЦ в начальных полях двумя тайфунными моделями, использовавшимися в австралийском метеорологическом агентстве (АМА): баротропной и бароклинной – пространственным разрешением 15 км [16].

**Сравнительная оценка точности аппроксимации положения ТЦ в начальных полях повторного анализа**

Модель / Метод	Параметр					
	Пространственная невязка, км			Завышение минимального давления, гПа		
	мин	среднее	макс	мин	среднее	макс
Реанализ ERA-INTERIM (1° x 1°) с HWRF-инициализацией вихря, поле глобального анализа скорректировано.	10	24	75	0	0	0
Реанализ ERA-INTERIM (1° x 1°) без инициализации вихря	33	87	168	6	31	93
Реанализ NNRP-2 (2,5° x 2,5°) без инициализации вихря	60	263	748	3	31	96
Баротропная модель AMA 97	44	81	-	-	-	-
Бароклинная модель AMA 97	38	73	-	-	-	-

*Примечание:* знак «-» показывает отсутствие информации.

Анализ таблицы 2 показывает, что в случае проведения инициализации вихря ТЦ пространственная ошибка положения ТЦ колеблется в пределах 65 км, изменяясь от 10 до 75 км. При отсутствии инициализации вихря пространственная ошибка возрастает примерно в три раза, изменяясь от 33 до 168 км, т.е. на величину более одного

градуса. Такие же примерно ошибки у численных моделей Австралийского Метеорологического Агентства, не использующие инициализацию вихря ТЦ.

Анализ ошибок представления давления в центре ТЦ по исходным немодифицированным инициализацией ТЦ реанализам указывает на очень сильную связь качества этого представления с пространственным разрешением набора данных. Так, средняя абсолютная ошибка для разрешения  $1^\circ \times 1^\circ$  (набор ERA-INTERIM) составляет около 90 км, тогда как для разрешения  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  (набор NNRP-2) эта величина выше в три раза (порядка 260 км). В тоже время порядок завышения минимального давления при отсутствии инициализации вихря по этим двум наборам (ERA-INTERIM  $1^\circ \times 1^\circ$  и NNRP-2  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ ) примерно одинаков, и составляет около 20 – 30 гПа, достигая в отдельных случаях значений около 90 гПа.

Таким образом, поля начального анализа не могут описывать количественно вихрь ТЦ. Особенно это касается набора данных NNRP-2 с пространственным разрешением  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ , в меньшей степени – повторный анализ ERA-INTERIM с разрешением  $1^\circ \times 1^\circ$ . По-видимому, это обстоятельство можно объяснить тем, что поля повторного анализа изначально создавались именно для исследования климата, а не природы ТЦ.

#### *Неопределенность положения ТЦ в полях прогноза*

В настоящей работе была также предпринята попытка оценить количественно точность положения вихря ТЦ по данным прогнозов как модели HWRF-R27r9L43. так и данных прогнозов других моделей.

Как упоминалось выше, под оценками собственной и практической прогнозируемости понимаются минимальная абсолютная и средняя абсолютная ошибки прогноза положения ТЦ, соответственно.

Оценки собственной и практической прогнозируемости положения ТЦ (в км) моделью HWRF-R27r9L43 за сезон 2012–13 гг. и сравнение с оценками по другим моделям приведены в Таблицах 3–5.

Таблица 3

***Оценки собственной и практической прогнозируемости прогнозов положения ТЦ (в км) моделью HWRF-R27r9L43 за сезон 2012–13 гг.***

	Заблаговременность прогноза, час					
	12	24	36	48	60	72
Собственная прогнозируемость положения ТЦ, км	11	11	11	11	22	22
Практическая прогнозируемость положения ТЦ, км	56	81	111	151	197	237

Анализ результатов показывает, что оценки собственной прогнозируемости ТЦ моделью высокого разрешения HWRF-R27r9L43 (9 км в окрестностях ТЦ) почти не зависят от заблаговременности, составляя около одной или двух десятых градуса. Аналогичные оценки собственной прогнозируемости положения ТЦ бароклинной моделью австралийского метеорологического агентства, выполненные [16], напротив, увеличиваются с заблаговременностью, составляя примерно 0,6 от соответствующих оценок практической прогнозируемости положения ТЦ. Также, можно отметить, что оценки практической прогнозируемости положения ТЦ моделью HWRF-R27r9L43 и ведущих



Труды ФГБУ «ДВНИГМИ»  
зарубежных метеорологических агентств JMA и JTWC – практически  
одного порядка.

Таблица 4

**Оценки собственной и практической прогнозируемости положения  
ТЦ (в км) бароклининой моделью АМА [16]**

	Заблаговременность прогноза, час					
	12	24	36	48	60	72
Собственная прогнозируемость положения ТЦ, км	78	98	123	151	182	205
Практическая прогнозируемость положения ТЦ, км	131	162	195	243	292	334

Таблица 5

**Оценки практической прогнозируемости прогнозов положения ТЦ  
(средняя абсолютная ошибка прогноза положения ТЦ в км)  
зарубежными метеорологическими агентствами JMA и JTWC  
за сезоны 2007–2011 гг.**

Прогностический центр	Заблаговременность прогноза, час		
	24	48	72
Данные Японского метеорологического агентства (JMA)	113	203	305
Данные Объединенного центра предупреждения о тайфунах США	92	172	275

Можно высказать предположение (которое, конечно, требует подтверждения на дополнительном материале), что для моделей высокого класса, к которому, принадлежит модель HWRF-R27r9L43, собственная прогнозируемость, т.е. минимально возможная ошибка

прогноза положения, действительно, почти не зависит от заблаговременности, и определяется свойствами самой модели.

*Оценка прогнозируемости положения ТЦ модельными статистиками успешности второго порядка*

Известно, что в зависимости от различных начальных данных полей результаты прогноза будут отличаться. Как было показано в разделе 2, каждый набор данных повторного анализа (NNRP-2, JRA-25, NCEP GFS FNL, ERA-INTERIM) был получен с использованием различных схем усвоения исходных данных. Таким образом, можно сказать, что каждому архиву объективного реанализа имеет свойство качества, обладают различным качеством. Поэтому, степень «разбегания» различных модельных прогнозов, а в нашем случае, это – оценка устойчивости оценок прогноза положения ТЦ в зависимости от того, какие данные были использованы, сама по себе представляет отдельный интерес.

В настоящем разделе сделана попытка оценить среднюю степень «разбегания» прогнозов положения ТЦ, обусловленную двумя факторами:

- видом набора данных (например, реанализа);
- различным пространственным разрешением набора данных (реанализа).

Определим термином «невязка» количественное значение – расстояние между двумя прогностическими положениями центра ТЦ.

Следуя [4], определим среднюю абсолютную невязку прогнозов положения ТЦ как среднее расстояние между двумя различными прогнозами в срок прогноза с точностью до 10 км. При этом, если количество прогнозов для данного срока прогноза (данной

заблаговременности) равно  $m$ , то общее число комбинаций – расстояний между двумя разными прогнозами будет равно  $m*(m-1)/2$ . Очевидно, что средняя невязка будет характеризовать некоторую тенденцию разбегания прогнозов в абсолютных единицах – в км.

Также определим среднюю относительную невязку. Средней относительной невязкой будем называть среднюю величину отношения величины каждой невязки (между двумя прогнозами) к величине фактического перемещения ТЦ к данному прогностическому сроку.

В численных экспериментах использовались наборы повторных анализов ERA-INTERIM ( $1^\circ \times 1^\circ$ ), NNRP-2 ( $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ ), GFS-FNANL ( $1^\circ \times 1^\circ$ ), JRA-25 ( $1,25^\circ \times 1,25^\circ$ ),.

На рисунках 1 и 2 показаны зависимость средней абсолютной и средней относительной невязки численных прогнозов положения ТЦ моделью HWRF по НАБОР-ТЦ-02 на основе:

– различных повторных анализов ERA-INTERIM ( $1^\circ \times 1^\circ$ ), NNRP-2 ( $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ ), JRA-25 ( $1,25^\circ \times 1,25^\circ$ ), GFS-FNANL ( $1^\circ \times 1^\circ$ );

– одного реанализа ERA-INTERIM, но с различным пространственным разрешением ( $1^\circ \times 1^\circ$ ;  $0,75^\circ \times 0,75^\circ$ ;  $0,50^\circ \times 0,50^\circ$ ;  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ ).

Анализ хода средних абсолютных невязок на рисунке 1 показывает их монотонный рост с увеличением заблаговременности. В тоже время необходимо отметить, что средняя абсолютная невязка по разрешениям на порядок меньше средней абсолютной невязки по реанализам. Иными словами, неопределенность прогноза положения центра ТЦ, вызванная «прореживанием» одного фиксированного набора

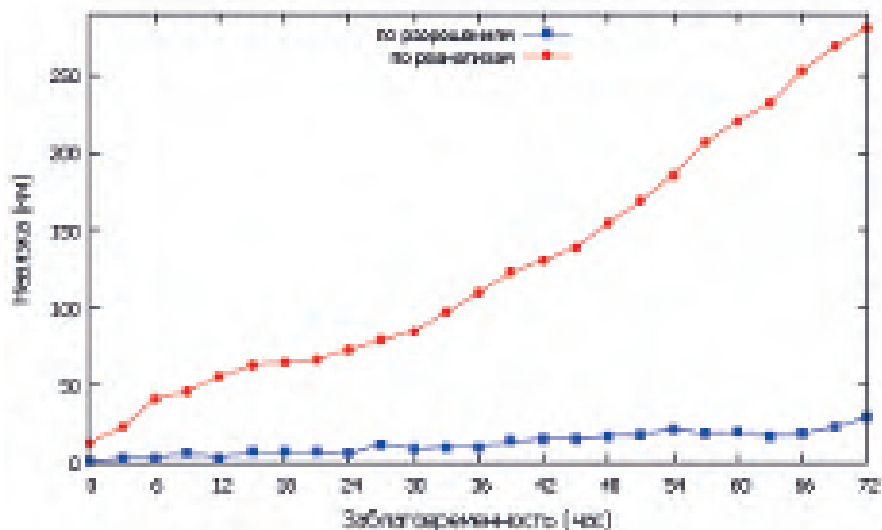


Рис. 1. Средняя абсолютная невязка численных прогнозов положения ТЦ моделью HWRF-R27r9L43 на основе разных реанализов и различных пространственных разрешений.

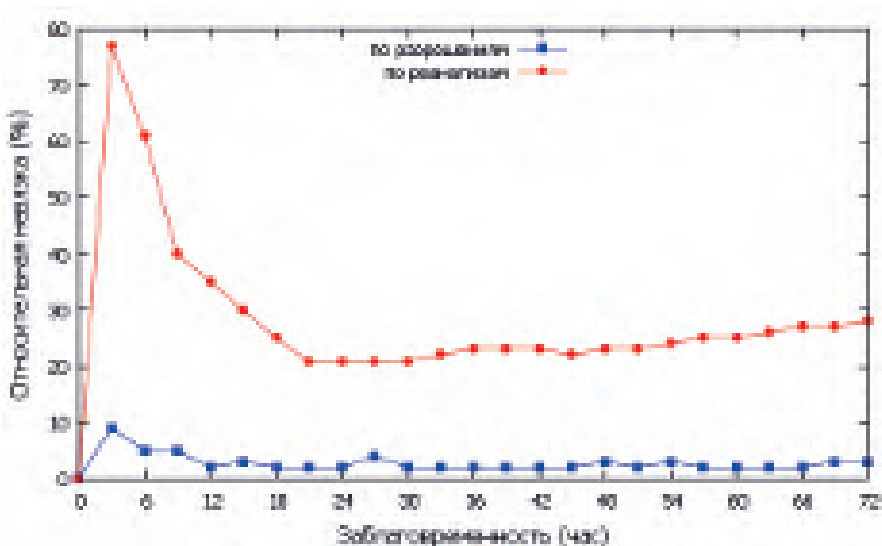


Рис. 2. Средняя относительная невязка численных прогнозов положения ТЦ моделью HWRF-R27r9L43 на основе разных реанализов и различных пространственных разрешений.

данных, достаточно мала. Это верно как для набора данных ERA-INTERIM для пространственных разрешений  $1^\circ \times 1^\circ$ ;  $0,75^\circ \times 0,75^\circ$ ;

$0,50^\circ \times 0,50^\circ$ ;  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ , так и для набора данных GFS с разрешением  $1^\circ \times 1^\circ$  и  $0,50^\circ \times 0,50^\circ$ .

Резкий рост средней абсолютной невязки по реанализам с увеличением заблаговременности обязательно следует учитывать при проведении численных экспериментов с ТЦ за даты более чем 30-летней давности – по реанализу NNRP-2 (до 1979 г.). После 1979 года использование реанализа NNRP-2 для численных экспериментов с ТЦ нецелесообразно.

Ход средних относительных невязок на рисунке 2 в зависимости от заблаговременности – идентичен. В обоих случаях имеет место рост в первые 3 – 6 часов, и минимум на интервале 24 – 48 часов, с последующим постепенным увеличением. Различия между невязками велики в первые 18 часов (на заблаговременности 3 часа – почти в 10 раз), в последующие часы различия уменьшаются (в 4 - 5 раз). Есть все основания связывать резкий пик относительной невязки положения ТЦ в первые 3 – 6 часов с «раскруткой» вихря моделью HWRF-R27r9L43. Поэтому, можно сделать вывод о том, что в течение первых 6 часов – ценность прогноза положения ТЦ моделью HWRF – минимальная, а в течение 24 – 48 часов – максимальная.

Отдельно стоит упомянуть реанализы JRA-25 и GFS-FNANL. Использование исторического набора данных JRA-25 является проблематичным, ввиду отсутствия данных о состоянии подстилающей поверхности (температура и влажность почвы). Ввиду этого, для работы с JRA-25 использовались данные о почве из исторического набора повторного анализа ERA-INTERIM.

В заключение добавим, что набор данных GFS FINAL ANALYSIS с разрешением  $1^\circ \times 1^\circ$  имеет невосполнимые пропуски, в связи с чем, для определенных дат модель HWRF-R27r9L43 либо

вообще не может быть запущена, либо необходимо увеличивать временной период обновления граничных условий (например, с 6 до 12 часов).

### **Выводы**

В данной работе были проанализированы практические аспекты прогнозируемости ТЦ моделью HWRF-R27r9L43, на примере такой характеристики, как положение ТЦ.

Качество прогноза положения ТЦ моделью HWRF-R27r9L43 за сезоны 2012–13 гг. находится на уровне официального прогноза ведущих метеорологических агенств (JMA, JTWC) за период 2007–11 гг.

Показано, что качество исходных начальных данных – полей глобального реанализа гораздо сильнее влияет на устойчивость оценок прогноза положения ТЦ моделью HWRF-R27r9L43, чем изменение только одного пространственного разрешения архива.

Результаты данных исследований могут быть использованы в дальнейшем в работах по развитию технологий краткосрочного прогноза полей метеоэлементов, тайфунов и других опасных явлений погоды в ДВ-регионе.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1 Вербицкая Е.М. Перспективы развития системы численных прогнозов погоды в региональном специализированном метеорологическом центре Хабаровск // Юбилейный вып. ДВНИГМИ - 60 лет, - Владивосток: Дальнаука. - 2010. - С. 12 - 24. - ISBN 978-5-8044-1164-1.

2 Гончуков Л.В., Ламаш Б.Е. Численный прогноз опасных явлений погоды по северу Приморского края // Вестник ДВО РАН, 2010. - № 6. - Владивосток: Дальнаука. - 2010. - С. 17 - 23.

3 Зленко В.А. Гидродинамическая схема расчета траекторий тропических циклонов // Метеорология и гидрология. - М.: Гидрометеиздат. - 1987. - №5. - С. 56 - 61.

4 Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиофизических прогнозов. РД 52.27.284–91: ввод в действие с 01.01.92 - СПб.: Гидрометеоиздат. - 1991. - 152 с.

5 Моисеев М.Б. Некоторые характеристики прогнозирования тропических циклонов атмосферными моделями // Юбилейный вып. ДВНИГМИ - 60 лет, - Владивосток: Дальнаука. - 2010. - С. 275 - 281. - ISBN 978-5-8044-1164-1.

6 Муравьев А.В., Куликова И.А. Ансамбли прогнозов: методы, проблемы и перспективы // Метеорология и гидрология. - М.: Гидрометеоиздат. - 2005. - № 3. - С. 5 - 23.

7 Наумов А. Д., Николаева А. В. Использование региональной ETA-модели для прогноза траекторий тропических циклонов по данным Гидрометцентра России // Метеорология и гидрология. - М.: Гидрометеоиздат. - 2003. - № 10. - С. 33 - 40.

8 Поппер К. Объективное знание. Эволюционный подход. Пер. с англ. Д. Г. Лахути. Отв. ред. В. Н. Садовский. - М.: Эдиториал УРСС, 2002. - 384 с.

9 Развитие технологий краткосрочных прогнозов опасных метеорологических явлений и тропических циклонов на территории Дальнего Востока с использованием модели WRF: отчет о НИР (заключ.) / ДВНИГМИ; рук. Крохин В.В.; исполн.: Вербицкая Е.М., Баранов Г.Г., Евдокимова Л.И. и др.: - Владивосток: ДВНИГМИ, 2013. - 380 с. - № гос. Регистрации 01201159032.

10 Ситников И.Г., Зленко В.А. Бароклиническая схема прогноза траекторий тропических циклонов // Метеорология и гидрология. - М.: Гидрометеоиздат. - 1991. - №3. - С. 5 - 12.

11 Ситников И.Г., Полякова И.В. Практическое применение ансамблей гидродинамических прогнозов метеорологических полей // Метеорология и гидрология. - М.: Гидрометеоиздат. - 1997. - №8. - С.113 - 119.

12 Ситников И.Г., Похил А.Э., Тунеголовец В.П. Гидрометеорологические опасности. Гл. 4: Тайфуны; Монография: Природные опасности России. Т. 5. / под ред. Г.С. Голицина, А.А. Васильева. - М.: Издательский дом КРУК. - 2001. - С. 84 - 126.

13 Dee, D.P. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system / D.P. Dee, S.M. Uppala, [et al.] // Quart. J. Roy. Meteor. Soc. - 2011. - Vol. 137. - Issue 656. - P. 553 - 597.

14 Gopalakrishnan S., Liu Q., Marchok T. et al. Hurricane Weather and Research and Forecasting (HWRF) Model 2011 Scientific Documentation, Technical Report // Boulder. Developmental Testing Center. - [http://www.dtcenter.org/HurrWRF/users/docs/scientific\\_documents/HWRFScientificDocumentation\\_August2011.pdf](http://www.dtcenter.org/HurrWRF/users/docs/scientific_documents/HWRFScientificDocumentation_August2011.pdf). (дата обращения: 25.01.2012).

15 Kanamitsu, M., NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) / M. Kanamitsu, W. Ebisuzaki, J Woollen, [et al] // Bull. Amer. Meteor. Soc. - 2002. - Vol. 83. - P. 1631 - 1643.

16 Leslie L.M., Abbey R.E., Holland L.M. Tropical Cyclone Track Predictability // Meteor.. Atmos .Phys. - 1998. - Vol. 65. - P. 223 - 231.

17 Marchok, T How the NCEP tropical cyclone tracker works / T. Marchok // 25th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology: SAIC at NCEP/GFDL - Princeton, NJ. - 2002. - 2p.

18 Onogi, K. The JRA-25 Reanalysis / Onogi K., Tsutsui Ju., Koide H., [et al] // J. Meteor. Soc. - 2007. - Vol. 85. - No. 3. - 369 - 432.

19 Tennekes, H., Baede, A.P.M. and Opsteegh, J.D. (1987) Forecasting forecast skill. In: Proceedings ECMWF Workshop on Predictability, Reading, April 1986.

20 Tennekes H (1993) Karl Popper and the accountability of numerical weather forecasting. / In: Workshop predictability and chaos in the geosciences, Boulder, 7–10 September 1993, pp. 343 - 346.

21 Trahan, S. An Analysis of NCEP Tropical Cyclone Vitals and Potential Effects on Forecasting Models / S. Trahan, L. Sparling // Wea. Forecasting - 2012. - Vol. 27. - №3. - P. 744 - 756.

22 Tropical cyclone intensity analysis using satellite data:NOAA Tech. Report / NOAA / NESDIS, 5200 Auth. Rd. / Dvorak V. - Washington. - 1984. - 47 p.

23 [http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/STATS/html/model\\_changes.html](http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/STATS/html/model_changes.html)



**ОЦЕНКА ОДНОРОДНОСТИ МНОГОЛЕТНИХ РЯДОВ  
ТЕМПЕРАТУРЫ МОРСКОЙ ВОДЫ  
НА ПРИМЕРЕ МГ-2 СОСУНОВО**

**Введение**

В последние десятилетия проблема современных климатических изменений выходит на первый план из-за всеобщего интереса, к глобальному потеплению и в связи с участвующимся проявлением опасных гидрометеорологических явлений. Известно, что тенденции изменения климата и исследования его пространственно-временной изменчивости можно выявить при наличии длительных рядов наблюдений гидрометеорологических характеристик в стационарных точках. Такие многолетние непрерывные наблюдения за температурой, соленостью, уровнем моря, волнением и льдом проводятся на станциях прибрежной сети. При однородности этих наблюдений можно исследовать не только временную, но и пространственную изменчивость наблюдаемых характеристик. Однородность наблюдений была ключевой идеей при создании прибрежной сети. Суть этой идеи состояла в том, что на всех прибрежных станциях наблюдения должны проводиться по единой методике, идентичными приборами и в единые сроки, соответствующие разряду станции. Но на практике это не всегда так, и однородность рядов нередко нарушается.

Климатически однородным считается ряд, характеристики которого изменяются от года к году или от некоторого периода лет к другому периоду лишь в соответствии с естественной изменчивостью

геофизических и геохимических процессов в рамках определенных границ статистической изменчивости рядов.

Основными факторами, нарушающими однородность многолетних рядов наблюдений на стационарной прибрежной сети, являются: изменение сроков наблюдений, изменение способов наблюдения, перенос станций на другое место и антропогенное воздействие.

### **Метод и исходные данные**

В данной статье исследуется вопрос однородности многолетних рядов температуры воды до и после переноса МГ-2 Сосуново. Исходным материалом для решения этой задачи послужил архив наблюдений за температурой воды на МГ-2 Сосуново за 1942 - 2012 гг., а также – на смежной станции МГ-2 Золотой за 1942-2009 гг. Качество наблюдений надежное, значимых пропусков нет.

Длина исходных рядов среднегодовых значений температуры воды, составившая 41 год до переноса и 29 лет после переноса станции Сосуново, достаточна для получения нормы с точностью до  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  для вод Японского моря [5].

Температура воды в течение всего периода на обеих станциях измерялась одним и тем же методом (термометром в железной оправе), сроки наблюдений не менялись [1, 2].

В 1983 году место наблюдения температуры воды было перенесено с южной части мыса Сосунова в бухту Светлая, в юго-западную часть которой впадает река Светлая [1, 2].

Положение места измерения температуры воды до и после переноса представлено на рис. 1.

В климатологии традиционно однородность рядов наблюдений проверяется с помощью критерия Стьюдента [3]. В частности, этот критерий позволяет проверять гипотезу об однородности выборочных средних, полученных для различных периодов времени. Суть этой проверки в том, что критическое значение ( $t_{кр.}$ ) критерия Стьюдента сравнивают с расчетным значением ( $t$ ).



Рис. 1. Положение гидрометпоста Сосуново до и после переноса

Вначале составляются две выборки среднегодовых значений температуры воды (до и после переноса станции), далее, для нахождения

параметра  $t$ , по формуле (1) вычисляют выборочные средние арифметические в каждой выборке:

$$\bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{1 \leq i \leq m} x_i, \quad y = \frac{1}{n} \sum_{1 \leq i \leq n} y_i \quad (1),$$

затем по формуле (2) находят выборочные дисперсии

$$s_x^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{1 \leq i \leq m} (x_i - \bar{x})^2, \quad s_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{1 \leq i \leq n} (y_i - \bar{y})^2 \quad (2),$$

после чего по формуле (3) вычисляют критерий  $|t|$

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{(m-1)s_x^2 + (n-1)s_y^2}} \sqrt{\frac{mn(m+n-2)}{m+n}} \quad (3)$$

Для заданного уровня значимости « $\alpha$ » и числа степеней свободы  $(m+n - 2)$  из таблиц распределения Стьюдента находят критическое значение  $t_{кр}$ . Если рассчитанное  $|t| > t_{кр}$ , гипотезу однородности (отсутствия различия) отклоняют, если же  $|t| \leq t_{кр}$ , то принимают. Для оценки однородности изменчивости рядов обычно применяется критерий Фишера. Для обеих частей ряда (до и после переноса станции) по формуле (4) вычисляется отношение дисперсий среднегодовых значений температуры воды:

$$F = \sigma_x^2 / \sigma_y^2 \quad (4)$$

при этом в числителе помещается большее из двух полученных значений  $\sigma$ .

## Результаты и обсуждение

### Оценка статистической однородности

В табл. 1 приведены статистические характеристики температуры воды на посту Сосуново, рассчитанные по рядам наблюдений, как за весь период (1942 -2012 гг.), так и за интервалы времени до и после переноса станции.

Таблица 1

### Статистические характеристики среднемесячных и среднегодовых значений температуры воды на МГ-2 Сосуново за различные интервалы времени, °С

Характеристика	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
За весь период наблюдений (1942-2012гг.) N=71 год													
$\bar{T}$	-1,6	-1,6	-1,1	0,8	3,7	7,4	11,8	14,7	13,6	8,8	4,0	0,1	5,1
$\pm \Delta T$	0,07	0,05	0,11	0,17	0,22	0,27	0,47	0,38	0,50	0,52	0,36	0,23	0,17
$\pm \varepsilon T$	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,19	0,25	0,26	0,18	0,12	0,08
$\sigma$	0,28	0,21	0,45	0,69	0,88	1,08	1,89	1,54	2,04	2,09	1,44	0,95	0,67
До переноса станции (1942-82гг.) n = 41год													
$\bar{T}$	-1,7	-1,7	-1,3	0,5	3,1	6,8	10,9	14,2	13,3	8,7	4,3	0,2	4,8
$\pm \Delta T$	0,07	0,04	0,11	0,19	0,19	0,57	0,57	0,48	0,69	0,70	0,45	0,30	0,20
$\pm \varepsilon T$	0,03	0,02	0,05	0,10	0,10	0,13	0,28	0,24	0,34	0,35	0,22	0,14	0,10
$\sigma$	0,22	0,13	0,35	0,60	0,66	0,82	1,79	1,48	2,16	2,18	1,40	0,89	0,62
После переноса станции (1984–2012гг.) m=29 лет													
$\bar{T}$	-1,4	-1,5	-0,8	1,3	4,4	8,3	13,0	15,7	14,1	8,9	3,7	0,0	5,4
$\pm \Delta T$	0,11	0,04	0,17	0,21	0,29	0,34	0,52	0,46	0,73	0,8	0,61	0,42	0,22
$\pm \varepsilon T$	0,05	0,04	0,08	0,10	0,14	0,17	0,25	0,22	0,36	0,39	0,30	0,20	0,11
$\sigma$	0,27	0,22	0,42	0,52	0,71	0,83	1,27	1,12	1,78	1,93	1,48	1,01	0,53

*Примечание:*  $\bar{T}$  - среднее за многолетний период значение температуры воды,  $\pm \Delta T$  - доверительные интервалы,  $\pm \varepsilon T$  - стандартная ошибка,  $\sigma$  - среднеквадратическое отклонение.

По этим формулам и приведенным в табл. 1 статистическим параметрам среднегодовых значений температуры воды до и после переноса станции Сосуново была вычислена величина  $t = 4,2$ . По таблице распределения Стьюдента [5] для числа степеней свободы  $N=68$  и  $\alpha = 0.05$  находим  $t_{кр.} = 2,0$ . Таким образом, получаем  $|t| > t_{кр.}$ , что свидетельствует о статистической неоднородности рядов среднегодовых значений температуры воды до и после переноса станции Сосуново.

По значениям  $\sigma_x = 0,62$ ,  $\sigma_y = 0,53$ ,  $m = 41$ ,  $n = 29$ , приведенным в таблице 1, находим  $F = 1,37$ . Распределение Фишера зависит от числа степеней свободы  $g_1 = m-1$  и  $g_2 = n-1$ , где  $m$  и  $n$  – число членов в каждой части ряда. Для  $g_1$  и  $g_2$  по таблице предельных значений  $F$ , приведенной в работе [4], находим его верхний предел –  $F_1$ . Задаваясь 5 %-уровнем значимости, находим  $F_1 = 1,81$ , из чего следует, что  $F_1 > F$ . Это означает, что изменчивость среднеквадратических отклонений годовых температур воды до и после переноса станции Сосуново статистически незначима.

#### *Оценка климатологической однородности*

Кроме статистической оценки однородности, в климатологии рядом авторов принята еще и климатологическая оценка [3], при этом суть метода одна и та же – по критерию Стьюдента. Разница лишь в том, что для оценки климатологической однородности вместо рядов наблюдений на одной станции исследуются разности наблюдаемых величин на смежных станциях. Для Сосуново такими станциями являются Рудная Пристань и Золотой (рис. 2).

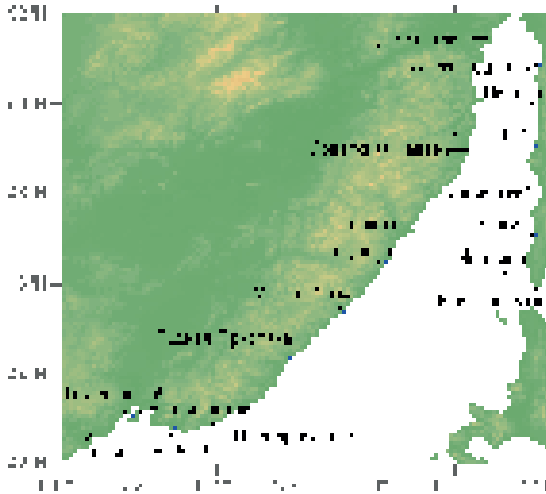


Рис. 2. Морская береговая сеть Японского моря по состоянию на 2009 г.

На рис. 3 представлены графики связи среднегодовых температур воды на станциях Сосуново - Золотой и Сосуново - Рудная Пристань.

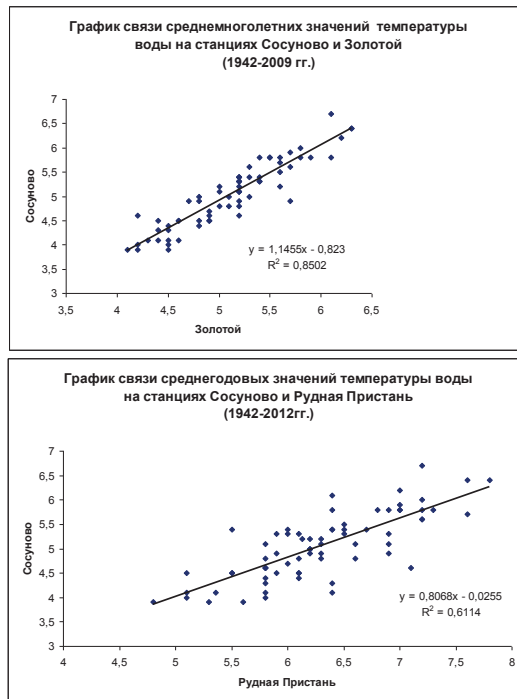


Рис. 3. Графики связи среднегодовых температур воды на станциях Сосуново – Золотой и Сосуново – Рудная Пристань

Как видно на этих графиках, связь среднегодовых температур воды между станциями Золотой - Сосуново теснее, чем между Рудной Пристанью и Сосуново, коэффициенты корреляции соответственно составляют 0.92 и 0.78 при  $R_{кр.} = 0.24$  для  $N=67$  лет ( $R_{кр.}$  – критическое значение коэффициента корреляции, рассчитанное для 95-% уровня значимости,  $N$ - длина общего ряда наблюдений на Сосуново, Золотом и Рудная Пристань). Кроме этого, ТДС Золотой выбрана в качестве опорной для Сосуново еще и по той причине, что обе станции располагались на безлюдных мысах вне зон влияния антропогенных нагрузок и естественного стока рек и ручьев. Наблюдения на этих станциях выполнялись в одни и те же сроки, по одним и тем же приборам и обе они были репрезентативны для открытой акватории Татарского пролива, в то время как наблюдения на Рудной Пристани ведутся в бухте.

В табл. 2 приведены значения коэффициентов корреляции среднемноголетних температур воды для станций Сосуново и Золотой.

Таблица 2

**Значения коэффициентов корреляции ( $R$ ) и их критических значений ( $R_{кр.}$ ) температуры воды на станциях Сосуново и Золотой за разные периоды**

Период/ R	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год	$R_{кр}$
1942- 2009	0,66	0,60	0,66	0,67	0,75	0,76	0,83	0,82	0,92	0,91	0,87	0,71	0,92	0,23
1942- 1982	0,53	0,51	0,63	0,77	0,85	0,82	0,80	0,86	0,90	0,90	0,92	0,77	0,92	0,31
1984- 2009	0,65	0,49	0,61	0,72	0,81	0,76	0,81	0,75	0,94	0,95	0,87	0,67	0,88	0,40

Длина общего ряда для этих станций за весь период наблюдений составляет 67 лет, до переноса станции Сосуново – 41 год, после



переноса – 26 лет. В первом случае значение  $R_{кр.}$  равно по абсолютной величине 0,23, во втором – 0,31, в третьем – 0,40. Следовательно, связь значений температуры воды на станциях Золотой и Сосуново во всех трех временных интервалах является статистически значимой.

На рис. 4 представлены графики многолетнего хода температуры воды на обеих станциях и их полиномиальные тренды.

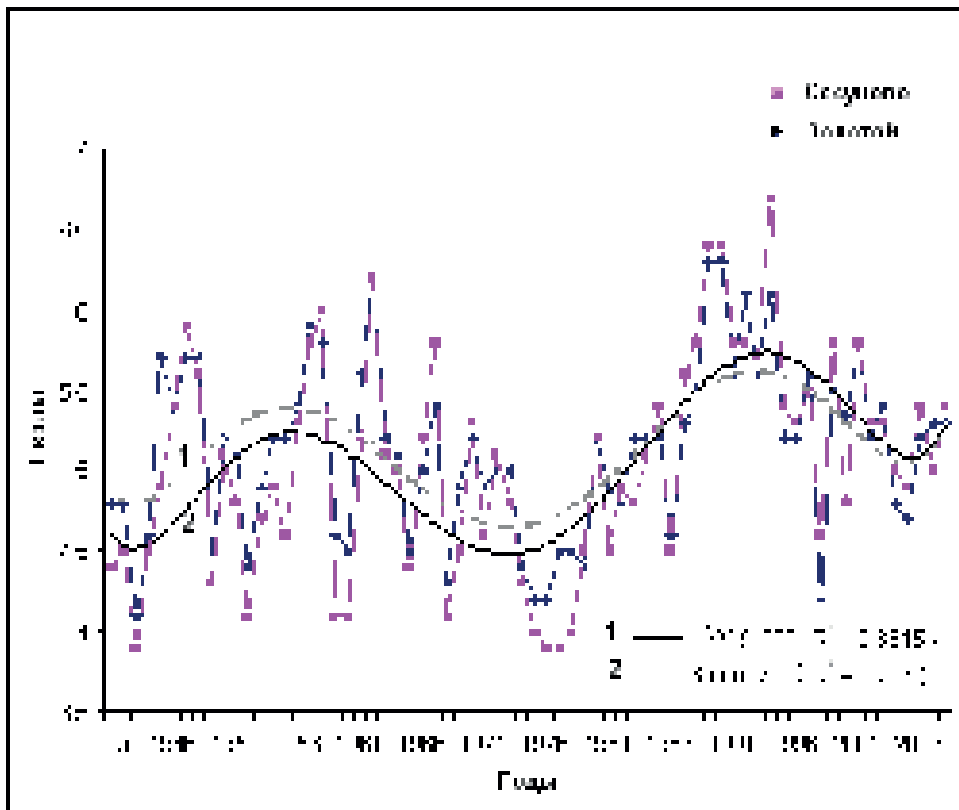


Рис. 4. Многолетний ход среднегодовых температур воды на станциях Золотой и Сосуново и их полиномиальные тренды

Полиномиальный тренд хорошо описывает ряды с колебаниями больших периодов, что и наблюдается в многолетнем ходе температуры воды на обеих станциях. Полиномиальный тренд описывается уравнением:

$$y_t = a + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + \dots + b_m \cdot t^m \quad (5),$$

где  $m$  – порядок полинома

Порядок полинома обычно определяется количеством максимумов и минимумов исследуемого ряда. В данном случае использован полином шестого порядка. Как видно на рис. 4, во временном ходе температуры воды на обеих станциях наблюдается синхронная многолетняя цикличность, но, как нетрудно заметить, имеется и существенное различие в ее ходе после переноса станции Сосуново. С 1984 г., после переноса станции Сосуново, линия тренда на ней оказалась расположенной выше, чем в предшествующий период, когда она располагалась стабильно ниже, чем на Золотом. Изменение знака разностей среднегодовых значений температуры воды, измеренных на станциях Сосуново и Золотой, хорошо прослеживается также на рис. 5.

Для оценки климатологической однородности анализируемых рядов были рассчитаны средние многолетние значения этих разностей и их среднеквадратические отклонения для двух интервалов времени – до и после переноса станции Сосуново (табл. 3). Так как в декабре и феврале-марте 2001 года были большие перерывы в наблюдениях на Золотом, данные этого года из анализа исключены.

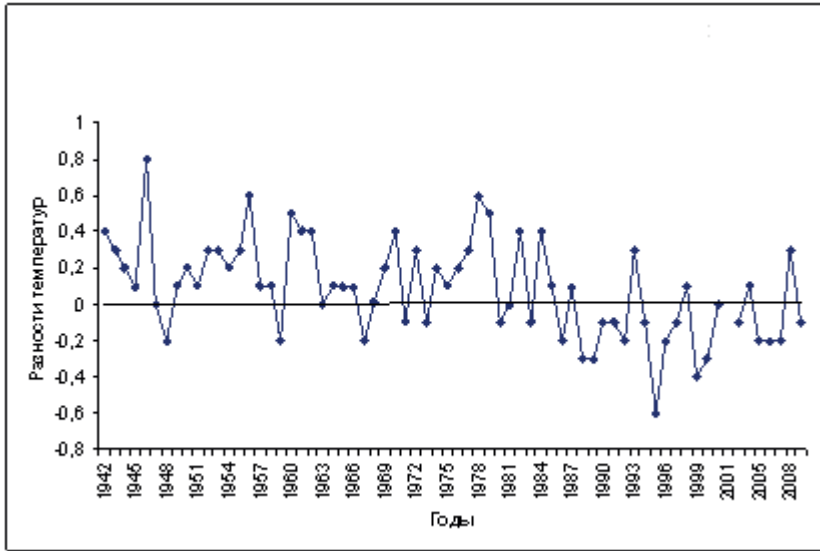


Рис. 5. Многолетний ход разностей среднегодовых значений температуры воды на станциях Золотой и Сосуново.

Таблица 3

**Средние многолетние разности температуры воды ( $\Delta T$ )  
на станциях Сосуново и Золотой  
и их среднеквадратические отклонения ( $\sigma$ ), °С**

Период наблюдения	Число лет	$\sigma$	$\Delta T$
1942-1982 гг.	41	0,28	-0,17
1984-2009 гг.	26	0.26	0,09

По данным табл. 3 вычислено значение критерия Стьюдента  $t$  аналогично выполненным ранее расчетам. Получаем  $t=3,8$  и  $t_{кр.}=2,0$ , из чего следует, что  $|t| > t_{кр.}$ . Следовательно, среднегодовые значения температуры воды на станции Сосуново до и после переноса пункта наблюдений неоднородны не только статистически, но и климатически.

По данным таблицы 5 рассчитан критерий Фишера:  $F = 1,16$ . Его предельное значение  $F_1$  равно 1,87, что указывает на однородность

среднеквадратических отклонений годовых разностей температуры воды на Сосуново и Золотом до и после переноса станции.

Таким образом, оценки статистической и климатической однородности рядов годовых температур воды до и после переноса станции Сосунова (а также их разностей с температурой воды на Золотом), показали, что эти ряды не однородны. На основании этого можно сделать вывод, что для прогнозов температуры воды и расчетов при инженерных изысканиях наблюдения температуры воды на станции Сосуново до и после ее переноса следует использовать как два самостоятельных ряда.

Нарушения однородности многолетнего ряда температуры воды после переноса станции вероятнее всего вызвано влиянием стока реки Светлой, который был блокирован мысом Сосунова до переноса станции. На рис. 6 представлены графики внутригодового хода температуры воды на Золотом и Сосуново за периоды до и после переноса станции.

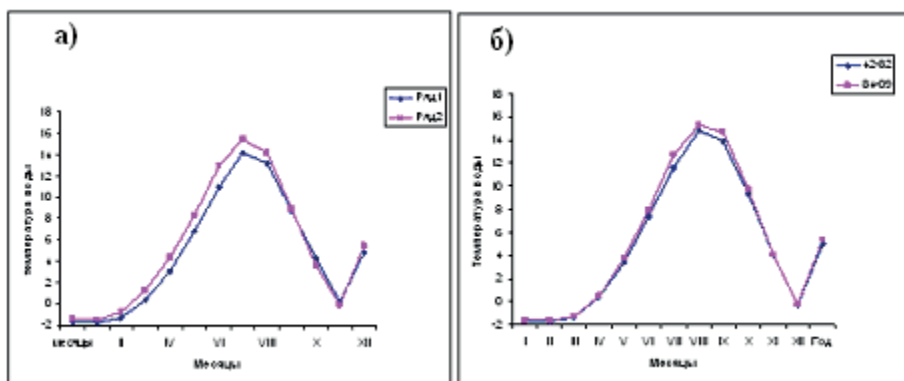


Рис. 6. Внутригодовой ход температуры воды на станциях Сосуново (а) и Золотой (б)) до переноса (ряд 1) и после переноса (ряд 2).

На графиках хорошо прослеживается, что после переноса станции Сосуново среднемесячные температуры воды в декабре - сентябре повысились, а в октябре - ноябре снизились. Вероятно, это является следствием того, что большую часть года (за исключением второй половины осени) температура речных вод выше, чем морских. На станции Золотой такие изменения не наблюдались.

### **Выводы**

1. Выполненная статистическая оценка среднегодовых значений температуры воды на МПГ-2 Сосуново показала их неоднородность до и после переноса станции в 1983 году.

2. Среднегодовые и значения температуры вод на МГ-2 Сосуново, полученные за 1942- 2012 гг., нельзя использовать как единый ряд для оценки климатического тренда.

3. Наблюдения температуры воды, выполненные в 1942-1983 гг. однородны для прибрежных вод Татарского пролива, наблюдения после 1983 года однородны для бухты Светлая. При инженерных расчетах их следует рассматривать как два самостоятельных ряда.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1 Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев. Японское море. - Владивосток, ПУГМС, 1980 . Том 10. ч 1. - С.28.

2 Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев. Японское море. - Владивосток, ПУГМС, 1985. Том 10. ч 1. - С. 31

3 Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. - Л.: Гидрометеиздат, 1978 - С. 74 – 90.

4 Пановский Г.А., Брайер Г.В. Статистические методы в метеорологии. - Л.: Гидрометеиздат, 1972 - С. 71 - 78.

Руководство по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и устьев рек при инженерных изысканиях. - М.: Гидрометеиздат. 1973. - С. 251.

## **СБОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ НАД ВОСТОЧНОЙ АЗИЕЙ В ПЕРИОД КАТАСТРОФИЧЕСКОГО НАВОДНЕНИЯ НА АМУРЕ ЛЕТОМ 2013 г.**

### **Введение**

Катастрофическое наводнение на Амуре, случившееся летом – в начале осени 2013 г., было беспрецедентным по своим масштабам: по интенсивности, продолжительности явления и территории захвата. Главными причинами наводнения стали два события: продолжительные очень сильные дожди на всем водосборе реки в период с мая по сентябрь и значительное переувлажнение почвы, по крайней мере, в среднем и нижнем течении реки, сложившиеся в предшествующем гидрологическом сезоне 2012 г. [1].

Столь нестандартное событие, безусловно, являлось следствием нарушений (сбоем) некоторых усредненных условий циркуляции в регионе. Целью настоящего исследования является выявить значимые отклонения характеристик циркуляции атмосферы от нормы над Восточной Азией и северо-западной частью Тихого океана в период наводнения на Амуре и предшествующий этому событию период. Речь идет о характеристиках циркуляции, напрямую или косвенно влияющих на погодные условия в бассейне Амура. Выявленные особенности могли бы прояснить механизм формирования столь значительных осадков, сформировавших наводнение.

## Методы и исходные данные

Для достижения поставленной цели были рассчитаны некоторые индексы, позволяющие оценить термодинамическое состояние атмосферы:

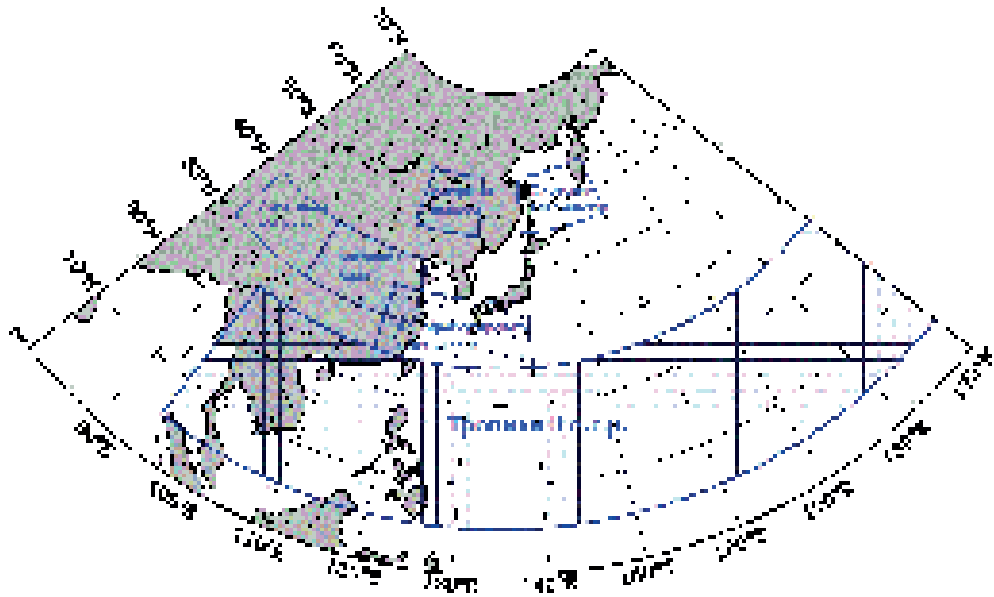
- усредненные нормированные значения атмосферного давления и геопотенциальной высоты на стандартных изобарических уровнях 700 и 500 гПа для отдельных районов;

- значения интегрального зонального ( $K_z$ ) и меридионального ( $K_m$ ) переноса массы воздуха (идея Каца А. Л., 1954) для отдельных районов [2]. Положительное значение индексов соответствует переносу воздуха с запада на восток и с юга на север, соответственно для  $K_z$  и  $K_m$ .

Для каждого месяца теплого полугодия 2013 г. были построены средние месячные карты давления воздуха у земли, геопотенциальной высоты на стандартных уровнях 700 и 500 гПа, температуры воздуха на уровне 850 гПа, относительного геопотенциала  $OT^{500/1000}$ , температуры поверхности северной части Тихого океана и их аномалий.

Исходными данными для построения индексов и карт являлись данные архива NCEP/NCAR (CDAS-NCEP/NCARReanalysis) [4] за период 1948 - 2013 гг. Районы, по которым рассчитывались индексы, указаны на рис. 1. Они получили следующие условные названия: Амурская депрессия, Азиатская депрессия, Восточная Азия, Западный отрог субтропического антициклона (максимума), Охотский антициклон (район многолетнего положения сезонного максимума давления над Охотским морем и прилегающей частью Тихого океана), Тропики II е.с.р. (естественного синоптического района).

Осадки по бассейну Амура оценивались по данным метеорологических станций за 67 лет (база данных ДВНИГМИ); положение станций, всего их 19, представлено на рис. 2.



*Рис. 1. Районы, по которым рассчитывались индексы циркуляции атмосферы*



*Рис. 2. Метеорологические станции в бассейне Амура, по которым рассчитывались суммы осадков*



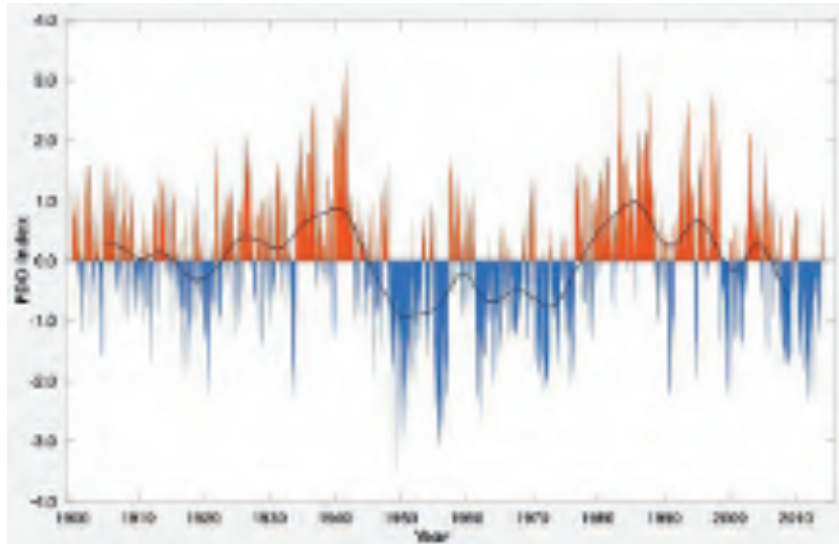
Статистики для тропических циклонов (ТЦ) получены на основе данных компании UNISYS ([www.weather.unisys.com/hurricane/w\\_pacific.php](http://www.weather.unisys.com/hurricane/w_pacific.php)) [5].

### **Результаты и обсуждение**

Анализ термических особенностей поверхности океана и тропосферы показал, что тепловой запас этих сред над Восточной Азией и северо-западной частью Тихого океана в течение теплого полугодия 2013 г. был повышенный.

Температура поверхности северо-западной части Тихого океана в умеренной зоне, в том числе температура воды Японского моря, была выше нормы 1971 - 2000 гг. на 2 - 4 °С в период с июня по сентябрь. В районе Куроисио положительные аномалии до 1 °С поддерживались с мая по сентябрь, в августе аномалия возрастала до 2 °С. В субтропиках поверхность северо-западной части океана была холоднее обычного на 1 - 2 °С; в тропической части, в зоне 10 - 20° с. ш., с мая по август вновь преобладали положительные аномалии температуры воды около 1–2 °С.

Повышенный фон температуры поверхности северо-западной части Тихого океана можно проследить с помощью индекса PDO, значения которого в течение 2013 г. находились в отрицательной фазе [6], см. рис. 3. Отрицательные значения индекса принято интерпретировать, как "нагревание" поверхности северо-западной части Тихого океана севернее 20° с. ш. и "охлаждение" северо-восточной его части [7], при этом, каждая из фаз бывает в достаточной мере неоднородна в деталях распределения температуры поверхности океана и, как следствие, барических объектов.



*Рис. 3. Многолетний ход средних месячных значений индекса PDO (1900–март 2014). Заимствовано с [6]*

Термическое состояние нижней половины тропосферы, оно проанализировано по картам  $OT_{500/1000}$  (рис. 4) и  $AT_{850}$ , в целом по региону в течение мая-сентября 2013 г. можно оценить как повышенное – преобладают положительные аномалии температуры воздуха и относительного геопотенциала. При этом, прослеживается ряд особенностей в распределении тепла. К ним относятся: 1) наличие обширного термического гребня вблизи дальневосточного побережья и термической ложбины к северо-западу от Байкала (она отсутствует лишь в августе), 2) устойчивый повышенный запас тепла над тропической частью Восточной Азии.

Аномалии относительного геопотенциала в области дальневосточного термического гребня в умеренных широтах достигали +4 - +5 дам ежемесячно, с максимумом в мае до +7 дам. Зона положительных аномалий, начиная с июня, распространилась на Охотское море, способствуя формированию над побережьем

барического гребня. В области континентальной ложбины отрицательные аномалии относительного геопотенциала составляли -3—4 дам, в мае – до -6 дам. Над тропической частью Восточной Азии в течение всего сезона сохранялось превышение нормы относительного геопотенциала на 2 – 3 дам, в августе - до 3 – 4 дам. Этот факт можно интерпретировать как большее, чем обычно количество тепла, передаваемое из тропиков в умеренные широты, в зону полярного фронта в этом регионе.

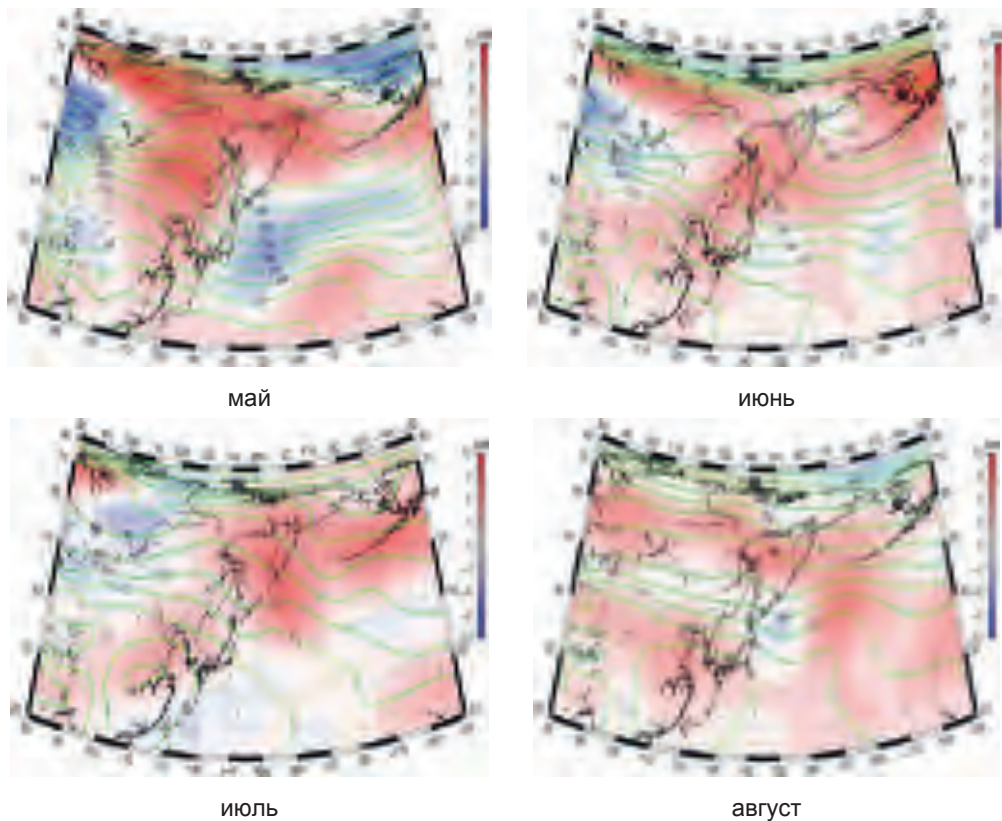


Рис. 4. Средние месячные карты  $OT^{500}/1000$  с аномалией относительного геопотенциала в виде изополос относительно нормы 1971–2000 гг.

Значительный запас тепла в тропосфере и характерное его распределение привели к сдвигу всех элементов циркуляции атмосферы над Восточной Азией и северо-западной частью Тихого океана.

Специалисты региональных гидрометеорологических центров неоднократно указывали не только на аномальное развитие депрессии в бассейне Амура летом 2013 г., но и на значительное развитие антициклона над Охотским морем и субтропического максимума.

В рамках данной работы были проанализированы барические поля над бассейном Амура, Охотским морем и прибрежной частью океана в субтропической зоне (западным отрогом субтропического максимума); таким образом, исследованы барические объекты, которые формируют погодные условия в бассейне Амура. Характеристика давления в этих объектах в виде стандартизованных значений геопотенциальной высоты изобарической поверхности 700 гПа представлена в таблице 1.

Таблица 1

**Усредненные стандартизованные, относительно среднего квадратического отклонения для 1971–2000 гг., аномалии геопотенциальной высоты  $H_{700}$  и атмосферного давления у земли**

Район	Месяц				
	май	июнь	июль	август	сентябрь
Атмосферное давление у земли					
Амурская депрессия	<b>-1,5<math>\sigma</math></b>	<b>0,6<math>\sigma</math></b>	<b>-1,9<math>\sigma</math></b>	<b>-1,9<math>\sigma</math></b>	<b>-1,0<math>\sigma</math></b>
Геопотенциальная высота $H_{700}$					
Амурская депрессия	0,6 $\sigma$	0,8 $\sigma$	-1,1 $\sigma$	-1,0 $\sigma$	-0,5 $\sigma$
Охотский антициклон	1,6 $\sigma$	1,1 $\sigma$	1,7 $\sigma$	-0,2 $\sigma$	0,3 $\sigma$
Западный отрог субтропического антициклона	0,4 $\sigma$	0,3 $\sigma$	1,4 $\sigma$	1,0 $\sigma$	0,7 $\sigma$

*Примечание:*  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение

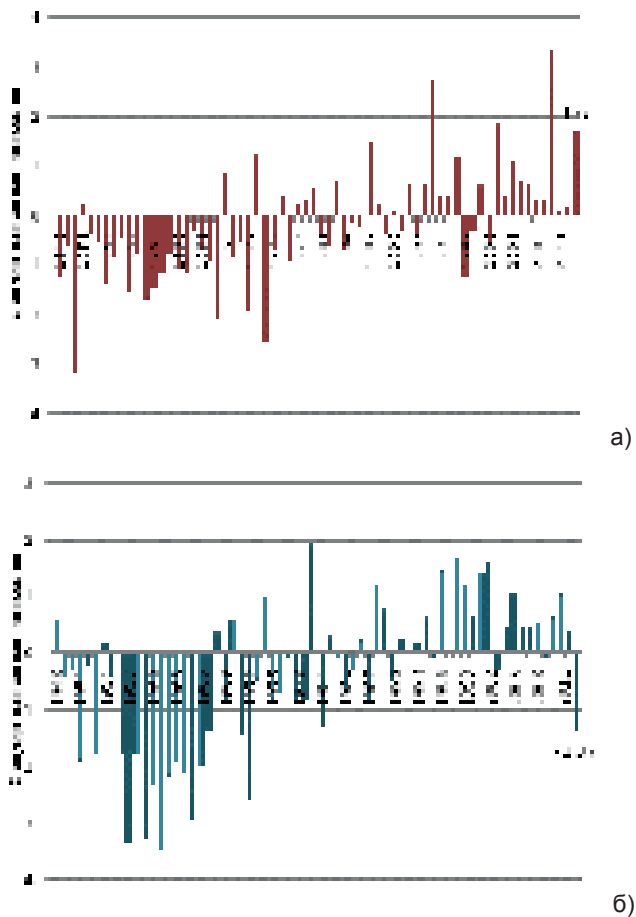
Выявлено, что все эти объекты в теплое полугодие 2013 г. были аномально развиты. В мае-июле отмечалось обострение циклонической деятельности в бассейне Амура (в мае и июле атмосферное давление у земли было ниже нормы на 1,5 $\sigma$  и 1,9 $\sigma$ , соответственно) и усиление высотного барического гребня над Охотским морем (геопотенциальные

высоты  $H_{700}$  выше обычного на  $1,1 - 1,7\sigma$ ). Во второй половине сезона, начиная с июля, получил развитие западный отрог субтропического максимума (аномалии  $H_{700}$  достигали  $1,0 - 1,4\sigma$ ), амурская депрессия оставалась активной. Таким образом, летняя барическая напряженность муссонного механизма в течение всего сезона была крайне высокой. На обострение муссонной циркуляции, как причины катастрофического наводнения на Амуре в 2013 г., указано и в [3].

На рис. 5 приведен многолетний ход стандартизованных аномалий геопотенциальных высот для уровня 700 гПа в июле-августе над западным отрогом субтропического антициклона и амурской депрессией (временные шкалы синхронны). Анализ данных позволяет выделить два периода: 50-ые - начало 70-ых годов, когда амурская депрессия находилась в активной фазе, а западный отрог субтропического максимума был деградирован, и 80-ые годы прошлого столетия - первое десятилетие XXI века, когда депрессия над Амуром была в заполненном состоянии, а западный отрог субтропического максимума чаще всего хорошо развит. Из этих наблюдений следует, что эта барическая пара, действуя асинхронно, чаще всего не являлась основной в механизме летней муссонной циркуляции над Дальним Востоком. Летом 2013 г. оба объекта были развиты сильнее обычного.

Развитию западного отрога субтропического максимума уделено особое внимание, поскольку было замечено, что тропические циклоны северо-западной части Тихого океана, которых в 2013 г. было больше обычного, в июле и августе перемещались по восточным траекториям, выходя на юго-восточную Азию. За период с июня по сентябрь 2013 г. зарегистрировано 17 тропических циклонов (в мае тайфунов не отмечалось), одиннадцать из них перемещались по восточным траекториям в широтной зоне  $15 - 28^\circ$  с. ш. Тропические циклоны над

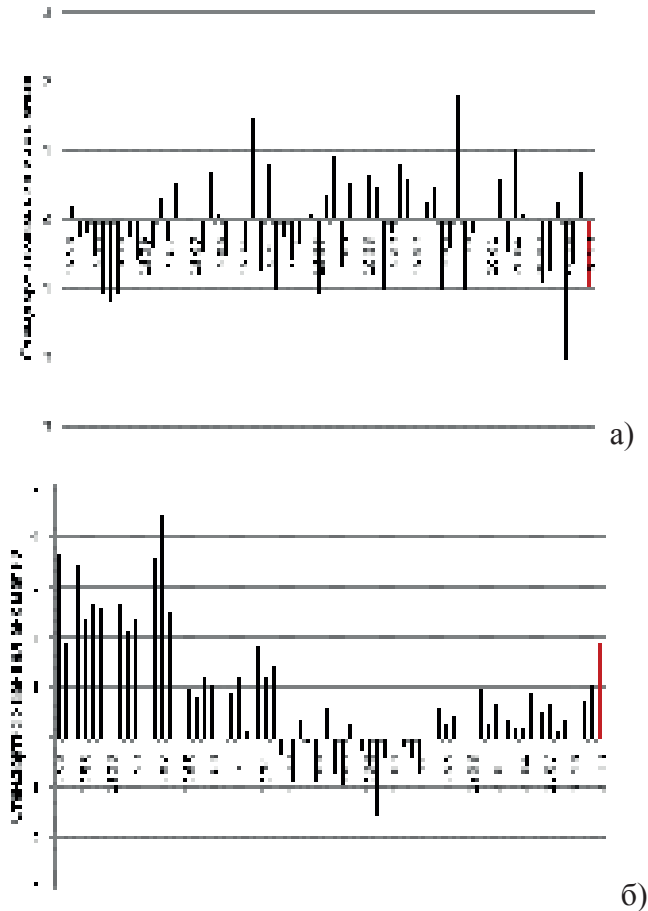
центральной частью океана не учитывались. В период наиболее сильных дождей над бассейном Амура в июле и августе 2013 г. на побережье Юго-Восточной Азии вышло 7 ТЦ, и только один из них проследовал на север, северо-запад, минуя побережье Азии.



*Рис. 5. Многолетний ход усредненных аномалий геопотенциальных высот на уровне 700 гПа в июле-августе над западным отрогом субтропического антициклона (а) и амурской депрессией (б)*

Еще одной особенностью летнего сезона 2013 г. является усиление пассатных течений над тропической частью П е.с.р. в сочетании со значительной южной компонентой переноса воздуха в средней тропосфере (рис. 6). Такая организация воздушных течений

вместе с тропическими циклонами, выход которых по параболическим траекториям блокировался субтропическим антициклоном, обеспечивала бесперебойный вынос тепла и влаги на юго-восток Азии.



*Рис. 6. Многолетний ход индекса интегрального зонального (а) и меридионального (б) переноса массы воздуха на уровне 700 гПа в июне-августе над тропической частью Пв.с.р.; последний элемент диаграммы соответствует 2013 г. Отрицательные значения зонального индекса (а) указывают на усиление пассатных течений; положительные значения меридионального индекса (б) указывают на усиление южной компоненты переноса*

Исследования воздушных течений над субтропической частью прибрежной зоны материка, "транзитным" районом между тропиками и

бассейном Амура, показали, что с мая по сентябрь над Восточной Азией в средней тропосфере количество движений воздуха с юга на север систематически превышало норму. Индекс  $K_m$  для средней тропосферы района Восточная Азия во все месяцы больше нормы на  $0,7 - 1,3\sigma$ . Он достигал  $1,3$  и  $1,1\sigma$  в июне и июле. Усиленная южная компонента меридиональных движений в этом районе в мае и сентябре сочеталась еще и с деградацией западно-восточного переноса.

Переувлажненный воздух тропиков таким образом переносился в субтропические и умеренные широты, где вовлекался в циркуляцию циклонов умеренных широт.

В бассейне Амура в теплый период 2013 г. циклонов было отмечено ровно столько, сколько их отмечалось в среднем в период 1996 – 2013 гг. Их было 10, 6, 7, 5 и 4 в мае, июне, июле, августе и сентябре, соответственно. При этом, они были глубже обычного примерно на 5 гПа, за исключением июня. Траектории их перемещения не отличались значительно от средних многолетних. Циклоны следовали по западным траекториям в мае, преимущественно южным в июне и июле и юго-западным в августе и сентябре.

Активная циклоническая деятельность в бассейне Амура, вероятно, определялась повышенным теплозапасом нижней тропосферы со стороны субтропиков и наличием холодного воздуха над бассейном Ангары и верхним течением Енисея. Барический гребень вблизи побережья часто блокировал перемещение циклонов, заставляя их стационарировать над средним течением Амура.

В результате сложившейся синоптической ситуации на водосборе р. Амур от образующих притоков до нижнего течения ежемесячно с мая по август 2013 г. наблюдались дожди, превышающие норму в среднем в 1,4 раза. Наиболее значительные осадки до 2-х и более месячных норм



наблюдались в мае на водосборах рек Шилка и Аргунь, в верхнем течении Амура, в бассейне Буреи; в июле и двух первых декадах августа в верхнем течении Амура, особенно в бассейне Зеи и Сунгари, местами Буреи и Уссури. В сентябре в среднем по бассейну осадков было около нормы. На каждой станции бассейна Амура с мая по август 2013 г. в среднем выпало 483 мм осадков, что незначительно меньше абсолютного максимума 1981 г. – 495 мм (по ряду за 67 лет).

### **Выводы**

Повышенный тепловой запас поверхности северо-западной части Тихого океана и нижней тропосферы над Восточной Азией в теплый период 2013 г. способствовали усилению субтропического антициклона и барического гребня вблизи побережья Азии в умеренных широтах. В тропиках это сопровождалось (вероятно, определяясь усилением субтропического антициклона) усилением пассатных течений во всем секторе II е.с.р. и активным тропическим циклогенезом. Тропические циклоны северо-западной части Тихого океана в июле и августе, перемещаясь преимущественно по восточным траекториям, выходили на юго-восток Азии. Их выход по параболическим траекториям блокировался западным отрогом субтропического максимума.

Устойчивые меридиональные движения воздуха в средней тропосфере над Восточной Азией, превышающие норму примерно на  $1\sigma$  в течение всего сезона, осуществляли вынос переувлажненного тропического воздуха с низких широт в умеренные. Это стало причиной усиления барического гребня вблизи побережья в умеренных широтах и обострения ложбины над Амуром, поскольку вынос тепла осуществлялся в тыл гребня и в переднюю часть ложбины. В умеренных широтах над Восточной Азией обострилась фронтальная зона, в области

которой формировались необычайно глубокие циклоны с давлением ниже нормы примерно на 5 гПа.

Таким образом, активный тропический циклогенез и сильные пассатные течения нагнетали тепло и влагу на юго-восток материка, усиленные меридиональные воздушные течения с юга над Восточной Азией переносили их в умеренные широты. Тропический воздух вовлекался в циркуляцию циклонов умеренных широт, способствуя их усилению. Барический гребень вблизи побережья препятствовал выходу циклонов с бассейна Амура. Такая система циркуляции определила очень сильные дожди затяжного характера. Вместе с условиями значительного переувлажнения почвы, сложившимися в предшествующем гидрологическом сезоне, они стали причиной катастрофического наводнения на Амуре.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Гарцман Б.И., Мезенцева Л.И., Меновщикова Т.С., Попова Н.Ю., Соколов О.В. Условия формирования экстремально высокой водности рек Приморья в осенне-зимний период 2012 года // Метеорология и гидрология, НИЦ «Планета». - 2014. - № 4. - С. 77 - 92.

2 Кац А. Л. Об изучении и оценке общей циркуляции атмосферы // Метеорология и гидрология. - 1954. - № 6. - С. 13 - 18.

3 Семенов Е.К., Соколихина Н.Н., Татаринovich Е.В., Тудрий К.О. Синоптические условия формирования катастрофического наводнения на Амуре в 2013 г. // Метеорология и гидрология. - 2014. - № 8. - С. 25 – 34.

4 CDAS-NCEP/NCAR Reanalysis [Electronic resource] - Режим доступа: [http://nomad3.ncep.noaa.gov/ncep\\_data/index.html](http://nomad3.ncep.noaa.gov/ncep_data/index.html).

5 Hurricane/Tropical Data for Western Pacific [Electronic resource] - Режимдоступа: [www.weather.unisys.com/hurricane/w\\_pacific/2013/index.php](http://www.weather.unisys.com/hurricane/w_pacific/2013/index.php).

6 Deser Clara; Alexander Michael A.; Xie Shang-Ping; Phillips Adam S. Sea Surface Temperature Variability: Patterns and Mechanisms // Annual Review of Marine Science. - January 2010. - V. 2 (1). - P. 115 - 143.

7 Mantua Nathan J. et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production // Bulletin of the American Meteorological Society. - 1997. - V.78(6). - P. 1069 - 1079.

**ОБ УЧАСТИИ ФГБУ «ДВНИГМИ» В ОПЕРАТИВНЫХ  
МЕРОПРИЯТИЯХ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ УРОВНЯ ВОДЫ  
В УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ АМУРА ВО ВРЕМЯ  
КАТАСТРОФИЧЕСКОГО НАВОДНЕНИЯ 2013 Г.**

**Введение**

В августе-сентябре 2013 г. в бассейне Амура в результате продолжительных дождей большой интенсивности сформировался катастрофический паводок. Уровень воды на среднем и нижнем Амуре значительно превысил его максимальные значения, наблюдавшиеся ранее за многолетний период времени. Например, в Хабаровске уровень воды над нулем графика достиг отметки 808 см при историческом (более чем за 120 лет) максимуме 642 см, в Комсомольске-на-Амуре – 912 см при историческом максимуме 701 см.

В соответствии с прогнозами специалистов Дальневосточного УГМС, прохождение пика паводка на устьевом участке Амура (замыкающий створ реки – с. Богородское) ожидалось во второй половине сентября.

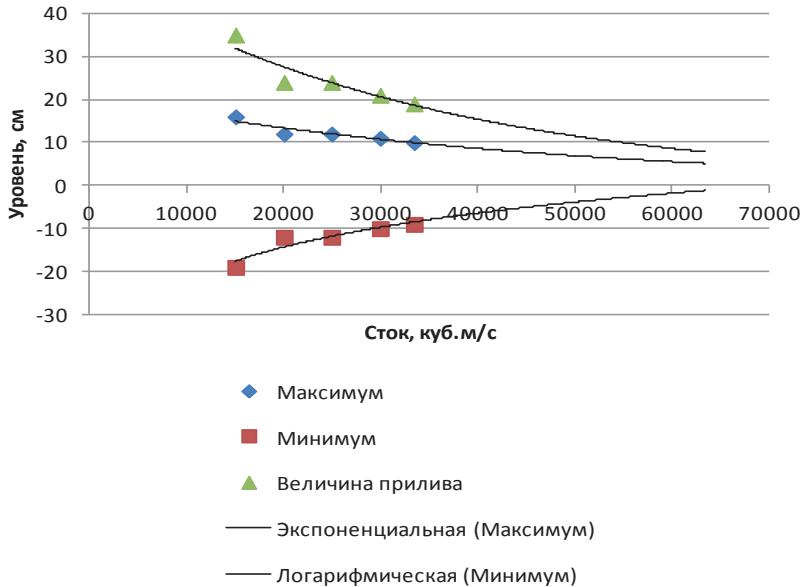
Динамика вод в устьевых областях рек имеет очень сложный характер, так как определяется взаимодействием речных и морских процессов. Поэтому расчет и прогноз гидрологических характеристик в устьевых областях рек не может ограничиваться применением методов, традиционно используемых в гидрологии суши. Это привело к необходимости привлечения к оперативной работе по обеспечению противопаводковых мероприятий сотрудников отдела гидрометеорологических исследований и прогнозов (ОГМИП) ФГБУ «ДВНИГМИ» (г. Хабаровск).

### Результаты и обсуждение

На начальном этапе работ (9 сентября), для принятия руководством Хабаровского края и МЧС РФ решения о необходимых высотных отметках строящихся защитных сооружений, были рассчитаны ежечасные значения приливных колебаний уровня воды в Николаевске-на-Амуре для периода времени по 31 октября 2013 г. включительно.

Следует отметить, что при решении данной задачи возникли определенные проблемы, связанные с тем, что величина прилива на устьевом участке реки зависит от стока Амура – при увеличении расхода воды приливы уменьшаются [1, 4]. Так как гармонические постоянные волн прилива, по которым выполняются расчеты, вычисляются по ежечасным наблюдениям над уровнем воды в рассматриваемом пункте, для ожидаемого экстраординарного стока реки они отсутствовали.

Предпринималась попытка экстраполяции характеристик приливов, рассчитанных для Николаевска-на-Амуре при различной величине расходов воды, в область больших значений стока реки (рис. 1). Тем не менее, экспериментально было установлено, что ввиду относительно небольшой величины приливов в Николаевске-на-Амуре при значительном стоке Амура, в первом приближении в расчетах можно использовать гармонические постоянные волн прилива, вычисленные для наибольшего расхода  $33400 \text{ м}^3/\text{с}$ , при котором выполнялись ежечасные наблюдения над уровнем воды. Справедливость данного подхода позже подтвердилась результатами сравнения рассчитанных и наблюдавшихся приливов (рис. 2).



*Рис. 1. Зависимость характеристик прилива в Николаевске-на-Амуре от стока Амура*

10 сентября с помощью численного гидродинамического моделирования для трех возможных сценариев развития событий были рассчитаны наибольшие возможные значения уровня воды в Николаевске-на-Амуре и в пунктах, расположенных на побережье Амурского лимана, во время прохождения пика паводка.

Для выполнения этих расчетов потребовалось модифицировать численную модель, положенную в основу метода прогноза суммарных уровней моря в устьевой области Амура во время штормовых нагонов [2]. Был увеличен диапазон изменений значений стока Амура, учтены вариации гармонических постоянных волн прилива в отдельных пунктах на устьевом взморье реки в зависимости от величины расхода воды, предусмотрен расчет уровня воды в Николаевске-на-Амуре при наличии ледостава на устьевом участке реки.

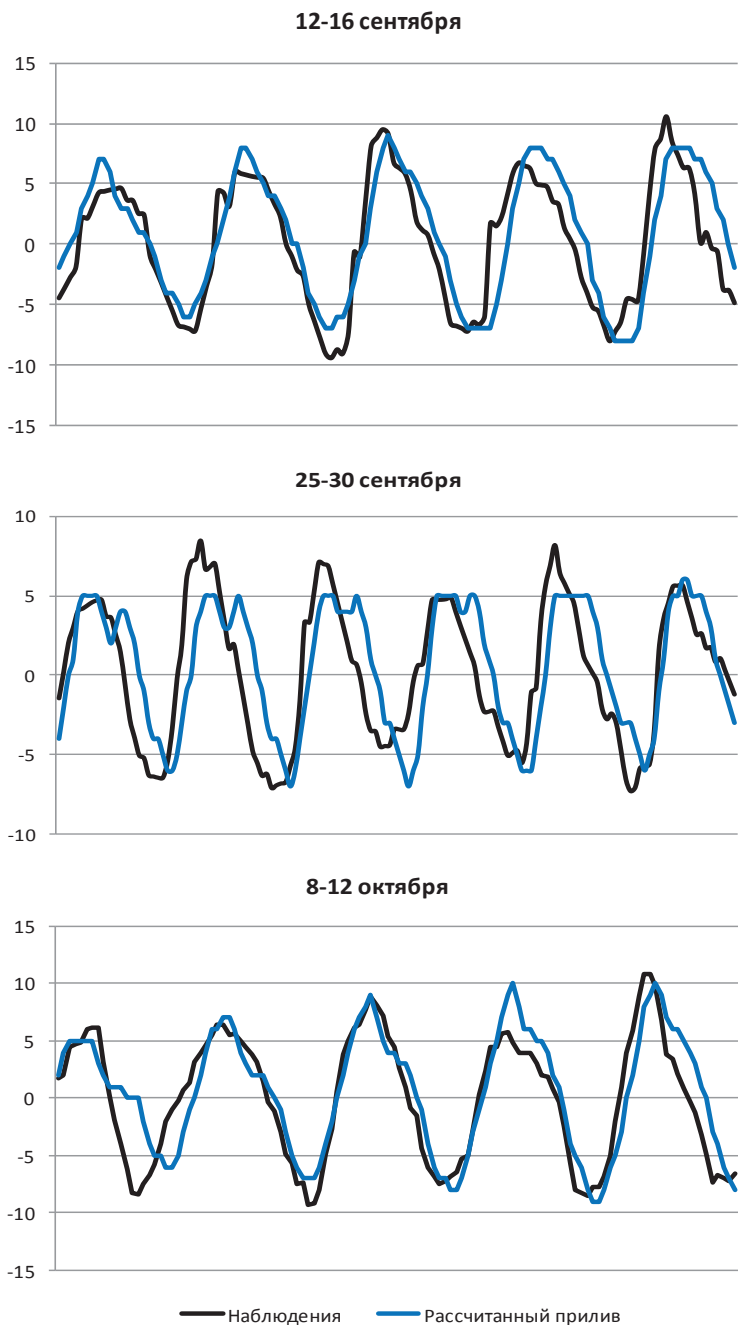


Рис.2. Рассчитанные 9 сентября и измеренные приливные колебания уровня воды в Николаевске-на-Амуре, см

Во всех численных экспериментах учитывались одни и те же значения максимального уровня воды в замыкающем створе реки – с. Богородское (630 см над нулем графика) и даты ожидаемого прохождения пика паводка в Николаевске-на-Амуре (17 сентября), прогнозируемые специалистами Дальневосточного УГМС. Значение уровня воды в с. Богородское использовалось для приближенного вычисления величины стока Амура, дата прохождения пика паводка – для определения астрономических параметров, необходимых для расчета приливов.

В рамках первого сценария принималось, что изменения уровня воды в устьевой области Амура будут определяться только стоком реки и приливом при отсутствии условий для возникновения стонно-нагонных колебаний уровня моря. Результаты расчетов хорошо согласуются с полученными позже материалами наблюдений. Например, максимальный измеренный уровень воды в Николаевске-на-Амуре составил 268 см, расчетное значение было равно 276 см (табл. 1). Не ожидалось значительное повышение уровня воды в Амурском лимане из-за влияния большого стока. Действительно, как свидетельствуют данные наблюдений, стоковые изменения уровня воды в Амурском лимане составили всего 25 – 40 см.

Второй сценарий предусматривал возможность формирования в устьевой области Амура умеренного штормового нагона (такие нагоны возникают практически ежегодно [3]) во время прохождения пика паводка. Моделирование нагона выполнялось на основе полей приземного атмосферного давления и ветра, соответствующих штормовому нагону 18 – 19 ноября 2012 г. Было установлено, что при сочетании перечисленных условий подъем уровня воды в Николаевске-на-Амуре будет относительно небольшим, в Амурском лимане

превышение критической отметки возможно только в одном береговом пункте (табл. 1).

Третий сценарий предполагал вероятность возникновения крайне неблагоприятных условий, при которых в момент прохождения пика паводка возникнет катастрофический штормовой нагон (в расчетах воспроизводился наибольший нагон в устьевой области Амура за всю историю наблюдений). В этих условиях максимальное рассчитанное для Николаевска-на-Амуре значение уровня воды составило 345 см над нулем графика (при величине нагона 70 см) (табл. 1). Так как возможность формирования столь экстраординарной ситуации ничтожно мала, было сделано заключение, что полученная величина может быть использована в качестве предельной при принятии решения о высоте строящихся защитных сооружений.

Таблица 1

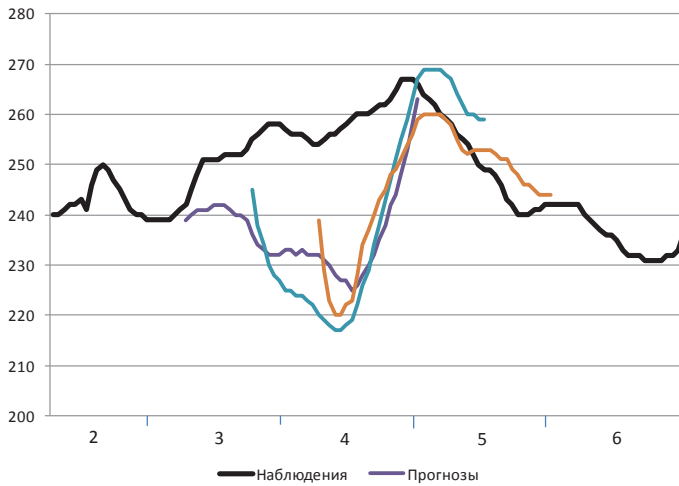
*Рассчитанные по гидродинамической модели максимальные возможные значения уровня воды над условными нулями графика/постов (числитель) и величины нагона (знаменатель), см*

Сценарий	Пункт			
	Николаевск-на-Амуре	м. Пронге	Озерпах	о. Байдукова
Сток реки и прилив	$\frac{276}{0}$	$\frac{129}{0}$	$\frac{138}{0}$	$\frac{151}{0}$
Сток реки, прилив и умеренный штормовой нагон	$\frac{288}{13}$	$\frac{176}{48}$	$\frac{169}{33}$	$\frac{236}{89}$
Сток реки, прилив и катастрофический штормовой нагон	$\frac{345}{70}$	$\frac{288}{158}$	$\frac{251}{123}$	$\frac{380}{232}$

Непосредственно во время прохождения паводка в устьевой области Амура осуществлялась авторская поддержка оперативных прогнозов изменений уровня воды по методу [2].



Наиболее сложная ситуация возникла 4 – 5 октября, когда на акваторию северо-западной части Охотского моря вышел глубокий циклон. Падение приземного атмосферного давления и сильные ветры над морем сформировали штормовой нагон в Сахалинском заливе, Амурском лимане и на устьевом участке Амура (рис. 3). По величине этот нагон можно отнести к категории умеренных штормовых нагонов.



*Рис.3. Фактические и прогнозируемые изменения уровня воды в Николаевске-на-Амуре 2–6 октября (местное время)*

Несмотря на то, что в прогнозах неудачно были рассчитаны изменения уровня воды в начале явления, характеристики максимума нагона были определены с высокой точностью и достаточной заблаговременностью (рис. 3).

Впервые возможность возникновения штормового нагона в устьевой области Амура была предусмотрена прогнозом от 00 час Всемирного согласованного времени (ВСВ) (11 час местного времени (МВ)) 2 октября. Данная возможность была подтверждена прогнозами от 12 час ВСВ (23 час МВ) 2 октября и 00 час ВСВ (11 час МВ) 3 октября (рис. 3). Заблаговременность прогноза времени формирования

максимального значения уровня воды в Николаевске-на-Амуре при этом составила 42 час и 30 час соответственно.

По результатам прогнозов было составлено штормовое предупреждение, переданное в руководящие органы Хабаровского края и МЧС РФ, и размещенное в Интернете на сайте Дальневосточного УГМС:

#### **ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ**

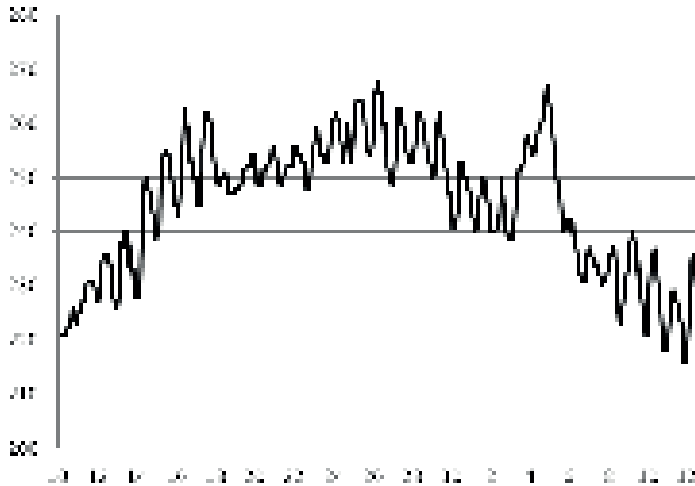
В Сахалинском заливе и в Амурском лимане в ближайшие сутки возможно возникновение штормового нагона величиной более 100 см, на Амуре на участке с.Тахта-г.Николаевск-на-Амуре до 20-30 см. В Амурском лимане ожидается волнение высотой 1,0-1,5 м. Имеется вероятность подтопления хозяйственных объектов в г.Николаевск-на-Амуре, населенных пунктах Подгорное, Красное, Чныррах, Озерпах.

Рассчитанные прогнозы и штормовое предупреждение полностью оправдались. Максимальная величина штормового нагона по материалам наблюдений в Сахалинском заливе достигла 120–150 см, в Амурском лимане – 50 - 100 см, в г. Николаевске-на-Амуре – 25 см. Ошибки прогноза максимального уровня воды во время нагона в г. Николаевске-на-Амуре составили для различной заблаговременности прогноза 4, –2, 7 см, времени его формирования – от 2 до 4 часов. В пунктах Озерпах и м. Пронге наблюдалась ветровое волнение высотой 1м.

#### **Выводы**

Подводя итоги выполненной работы, можно сделать вывод, что сотрудники ОГМИП ФГБУ «ДВНИГМИ» успешно справились со всеми поставленными перед ними задачами по расчету и прогнозу изменений уровня воды в устьевой области Амура во время катастрофического дождевого паводка 2013 года, несмотря на сложность процессов

динамики вод объекта (рис. 4). Эффективной оказалась практика привлечения научных работников для совместной работы со специалистами прогностических подразделений Дальневосточного УГМС для решения проблем, возникших в период экстраординарного природного явления.



*Рис. 4. Изменения уровня воды в Николаевске-на-Амуре 10 сентября – 12 октября 2013 г. по данным наблюдений, см*

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Козловский В.Б. О распространении приливов на устьевом участке р. Амур в безледный период // Труды ГОИН. - 1979. - Вып. 143. - С. 77 - 82.
- 2 Любичкий 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 вып. ДВНИГМИ - 60 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2010. - С. 57 - 73. - ISBN 978-5-8044-1164-1.
- 3 Любичкий Ю.В., Швецов А.Е. Штормовые нагоны на устьевом взморье Амура // Водные ресурсы. - 1994. - Т. 21. - № 6. - С. 609 - 614.
- 4 Пономарева Т.Г. Процессы проникновения приливных волн в устье р. Амур // Труды ДВНИГМИ. - Вып. 137. - СПб: Гидрометеоздат, 1992 - С. 198 - 203.

**Перспективы использования данных измерений автоматизированных постов службы цунами для формирования многолетних массивов наблюдений над уровнем моря / Любицкий Ю.В., Манько А.Н., Соколов О.В. // Юбилейный вып. ДВНИГМИ – 65 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2015. - С. 8 – 32**

Рассмотрена возможность создания многолетних массивов материалов наблюдений над уровнем моря по данным измерений сети автоматизированных постов (АП) службы цунами, созданной на побережье дальневосточных морей России.

Проанализированы основные проблемы, возникающие при регистрации колебаний уровня моря автоматизированными постами, предложены алгоритмы и технологии обработки и первичного критического контроля данных измерений АП.

Сформулирован перечень мероприятий, необходимых для усовершенствования существующей системы наблюдений.

Табл. 1. Ил. 8. Библ. 9.

**Оценка возможности расчета режимных характеристик уровня моря по данным наблюдений сети Российской службы предупреждения о цунами / Любицкий Ю.В., Като Л.Н., Соломатина Л.Н. // Юбилейный вып. ДВНИГМИ – 65 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2015. - С. 33 - 51**

В результате выполненных исследований установлено, что в настоящее время автоматизированные посты (АП) сети службы цунами, успешно решая задачу регистрации цунами в прибрежной зоне моря, не обеспечивают в полной мере высокое качество наблюдений над уровнем моря, необходимое для получения режимной информации,

востребованной руководящими органами, проектными, изыскательскими и строительными организациями.

В основном это связано с отсутствием высотной привязки нулей постов и регулярного контроля за их положением, нестабильностью работы устройств АП. Эти причины не позволяют получить надежные оценки годового (сезонного) хода уровня моря и его средние годовые значения.

Материалы наблюдений АП службы цунами могут использоваться для расчета гармонических постоянных волн прилива и характеристик сгонно-нагонных колебаний уровня моря.

Табл. 8. Ил. 4. Библ. 4.

УДК 551.461(265.5)

**Об оценке качества прогнозов суммарных уровней приливного моря / Любицкий Ю.В. // Юбилейный вып. ДВНИГМИ – 65 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2015. - С. 52 - 62**

Установлено, что при оценке качества работы методов краткосрочного прогноза суммарных уровней приливного моря нельзя сравнивать результаты методических и инерционных прогнозов, как предписывается действующими руководящими документами.

Для получения объективного заключения о надежности и точности метода прогноза рекомендуется сравнивать методические прогнозы с предвычисленным приливом для периодов времени, в которые наблюдались сгонно-нагонные явления.

Табл. 5. Ил. 1. Библ. 6.

**Роль физико-географических факторов в кинематике приливных течений обусловленные суточными волнами в шельфовой зоне острова Сахалин / Яричин В.Г., Власов Н.А., Марьина Е.Н., Гришина М.А. // Юбилейный вып. ДВНИГМИ – 65 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2015. - С. 63 - 84**

На основе приливных карт приливных течений суточных составляющих волн прилива делается вывод о том, что структурные особенности приливных карт течений "чутко" реагируют на физико-географические условия шельфовой зоны острова Сахалин.

Структурные особенности полей отдельных элементов приливных карт таких как: пространственное распределение фазы, амплитуды и вектора максимального приливного течения отражают особенности береговой черты о. Сахалин, её изгибы и ширину шельфа и исследуемая акватория характеризуется тремя локальными районами. Первый район (северный): зал. Одопту - мыс Левенштерна, второй район (центральный): зал. Одопту - зал. Набильский и третий южный район: зал. Набильский - зал. Луньский.

Соответствие структурных особенностей приливных карт течений физико-географическим условиям является вполне естественным явлением, которое обеспечивается волновыми процессами дифракцией приливной волны на препятствиях.

Ил. 7. Библ. 20.

**Формирование особенностей волновых движений на восточном шельфе острова Сахалин под влиянием полусуточных приливных волн / Яричин В.Г., Власов Н.А., Марьина Е.Н., Гришина М.А. // Юбилейный вып. ДВНИГМИ – 65 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2015. - С. 85 - 96**

Процессы дифракции, отражения и взаимодействия приливной полусуточной волны M2, S2 и N2 в отдельности находят своё отражение на приливных картах, что в совокупности позволяет произвести более цельный комплексный анализ о волновых процессах, происходящих в шельфовых зонах морей. Каждая приливная волна, раскрывая с помощью приливных карт течений свои волновые свойства, помогает рассматривать весь приливной процесс как цельное природное явление.

Шельфовая зона восточного побережья острова Сахалин по существу представляет собой диссипативную систему, в которой часть энергии поступающей приливной волны за счёт придонного трения, процессов рефракции, дифракции, частичного отражения от неровностей береговой черты рассеивается, и приливные движения переходят в систему неупорядоченных волновых колебаний.

Ил. 5. Библ. 18.

**Кинематика и динамика векторного поля приливного течения на акватории шельфовой зоны восточного Сахалина.** / Яричин В.Г., Марьина Е.Н., Власов Н.А., Гришина М.А. // Юбилейный вып. ДВНИГМИ – 65 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2015. - С. 97 - 113

Представлены результаты анализа экспериментальных расчетов суммарных приливных течений, рассчитанных на основе гармонических постоянных семи основных волн прилива: K1, O1, Q1, P1, M2, S2 и N2.

Прежде всего, векторные поля суммарных приливных течений представляют собой интерференционную картину, которая проявляется в пространственной неравномерности распределения значений вектора скорости и его неоднородной ориентации на плоскости. Пространственная неоднородность характеризуется периодическим формированием в векторном поле приливного течения "гребней" и "ложбин"

Векторные композиции ежечасных полей приливных течений в исследуемом районе представляют собой "живую" движущуюся картину с её основной перестройкой через половину суточного приливного периода.

Ил. 4. Библ. 14.

УДК 551.

**Оценка прогнозов волнения по инструментальным данным в Японском и Беринговом морях** / Вражкин А.Н. // Юбилейный вып. ДВНИГМИ – 65 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2015. - С. 114 - 123

Рассмотрены оценки успешности прогнозов ветрового волнения по морским акваториям. Проведено сравнение с инструментальными наблюдениями на стационарных буйках. Показано преимущество новой



версии волновой модели по сравнению с оценками оперативных испытаний 2008 г. Сделан вывод о влиянии батиметрии на точность расчётов характеристик волнения.

Табл. 2. Ил. 2. Библ. 5

УДК 551.

**Фоновый прогноз с большой заблаговременностью среднего месячного положения кромки льда на акваториях дальневосточных морей / Анжина Г.И., Вражкин А.Н. // Юбилейный вып. ДВНИГМИ – 65 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2015. - С. 124 - 143**

В статье излагаются два подхода к решению задачи прогноза среднего месячного положения кромки льда по акваториям дальневосточных морей с заблаговременностью более 6 месяцев. Для Охотского моря метод прогноза строился на основе прогноза ледовитости, с использованием экстремальных граничных кромок. На акваториях Японского и Берингова морей разработан «гибридный» метод прогноза, который создавался с применением прогностических физико-статистических моделей, построенных по большинству фиксированных направлений, и климатологических прогнозов – по оставшимся лучам.

По разработанным методикам был осуществлен «квазиоперативный» прогноз среднемесячного положения кромки льда на сезон 2012/2013 гг.

Проведен сравнительный анализ предвычисленных и фактических значений кромки льда по фиксированным направлениям и кромки в целом. Получены аналогичные оценки климатологического прогноза кромки. Показано, что методические прогнозы среднего за

месяц положения кромки льда в Японском и, особенно, в Беринговом морях эффективнее климатологических.

Табл. 6. Ил. 5. Библ. 15

УДК 504.42.054(265.54)

**Мониторинг самоочищения морских вод и донных отложений Уссурийского залива в районе бывшего полигона бытовых отходов (бухта Горностай) / Севастьянов А.В., Лишавская Т.С., Чаткина Т.В. // Юбилейный вып. ДВНИГМИ – 65 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2015. - С. 144 - 155**

Рассмотрена оценка современного состояния морской среды и донных отложений акватории Уссурийского залива после ликвидации полигона захоронения твердых бытовых отходов г. Владивостока в районе бухты Горностай, где происходила их утилизация с частичным захоронением отходов в морскую среду залива. Выполнены работы по систематизации, обработке и анализу проб донных отложений и морской воды на поверхности и у дна на трех станциях системы ОГСН. Сделан вывод, что по состоянию на 2012 г. включительно не произошло существенного улучшения экологической ситуации в водной среде рассматриваемого района Уссурийского залива.

Табл. 2. Ил. 5. Библ. 13

504.42.054

**Сравнительная характеристика условий среды и показателей сообществ макрозообентоса морских прибрежных акваторий вблизи Владивостока / Белан Т.А. // Юбилейный вып. ДВНИГМИ – 65 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2015. - С. 156 - 171**

Приводятся данные по уровню загрязнения донных отложений и показателям бентоса отдельных прибрежных акваторий зал. Петра Великого Японского моря. Выделены наиболее загрязненные участки залива, выявлены особенности видового состава и структуры бентоса в условиях загрязнения. К наиболее загрязненным отнесены акватория морского порта Владивосток в б. Золотой Рог и б. Диомид. Показано, что структура и обилие бентоса отражают различный уровень антропогенной нагрузки акваторий. Наиболее очевидная связь между уровнем загрязнения донных отложений и структурой сообществ проявляется в экстремально-загрязненных и сильно загрязненных участках акваторий – бухтах злотой Рог и Диомид, а также в восточной части Амурского залива.

Табл. 2. Ил. 3. Библ. 15.

УДК 551.509

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

Представлено описание конфигураций модели WRF - ARW, разработанных для прогноза погоды в Дальневосточном регионе России. Дано краткое описание модели, используемые параметризации и конфигурации вариантов модели, рассчитываемых в оперативном

режиме в ФГБУ «Дальневосточное УГМС» (РСМЦ Хабаровск). Сборки модели для прогнозов общего пользования по территории ДВ-региона с горизонтальным разрешением 15 км и по территории Забайкалья 30 км, и сборка модели для прогноза опасных явлений погоды (сильных ливней, очень сильных дождей, шквалов и шквалистых ветров) по территории Забайкалья с горизонтальным разрешением 3 км. Дано краткое описание технологии расчетов, приведены примеры выходной продукции, обсуждается качество выпускаемых прогнозов элементов погоды.

Табл. 1. Ил. 12. Библ. 16.

УДК 551.5:001.891.57

**Оценка предсказуемости перемещения тайфунов моделью WRF** / Крохин В.В., Баранов Г.Г., Филь А.Ю., Евдокимова Л.И. // ДВНИГМИ – 65 лет // Юбилейный вып. ДВНИГМИ – 65 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2015. - С. 204 - 224

Рассматриваются вопросы практической предсказуемости тропических циклонов (ТЦ) северо-западной части Тихого океана моделью HWRF. Подробно разобраны факторы, влияющие на точность представления ТЦ как в начальных полях анализа, так и в модельных прогностических полях. Проведены оценки собственной и практической предсказуемости положения ТЦ моделью HWRF и выполнено их сравнение с уровнем официальных прогнозов JMA и JTWC.

Табл. 5. Ил. 2. Библ. 23

УДК 551.465.62

**Оценка однородности многолетних рядов температуры морской воды на примере МГ-2 Сосуново / Алисимчик Н.Г. // ДВНИГМИ – 65 лет // Юбилейный вып. ДВНИГМИ – 65 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2015. - С. 225 - 237**

Выполнена оценка статистической и климатической однородности многолетних рядов температуры морской воды, наблюдавшейся на МГ-2 Сосунова до и после переноса станции.

Статистическая однородность оценивалась по наблюдениям до и после переноса станции, а климатическая однородность – по разности среднегодовых значений температур воды на гидрометстанциях Золотой и Сосуново.

Установлено, что многолетние ряды среднегодовых значений температуры воды до и после переноса станции Сосуново не однородны. Рекомендовано для прогнозов и инженерных расчетов использовать их, как два самостоятельных ряда.

Табл. 3. Ил. 6. Библ. 5.

УДК 556.54

**Сбой циркуляции атмосферы над восточной Азией в период катастрофического наводнения на Амуре / Мезенцева Л.И., Соколов О.В., Друзь Н.И. // Юбилейный вып. ДВНИГМИ – 65 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2015. - С. 238 - 250**

В работе исследуются элементы атмосферной циркуляции и термические особенности океана и атмосферы над Восточной Азией и северо-западной частью Тихого океана в период катастрофического наводнения на Амуре в 2013 г. Выявлены значимые отклонения температуры поверхности океана и температуры нижней тропосферы в

теплое полугодие 2013 г., способствующие усилению субтропического антициклона и антициклона над Охотским морем. На основе анализа ряда индексов атмосферной циркуляции сделаны выводы об интенсивности воздушных течений и преобладающих барических системах в некоторых районах, которые, по мнению авторов, являются ответственными за формирование полей осадков в бассейне Амура. Сделаны оценки циклонической деятельности в бассейне Амура и в тропической зоне региона.

Табл. 1. Рис. 6. Библ. 7.

УДК 556.54

**Об участии ФГБУ «ДВНИГМИ» в оперативных мероприятиях по прогнозированию уровня воды в устьевой области Амура во время катастрофического наводнения 2013 г. / Любицкий Ю. В. // Юбилейный вып. ДВНИГМИ – 65 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2015. - С. 251 - 259**

Рассмотрены методы и технологии, использованные для расчета и прогноза изменений уровня воды на устьевом участке Амура и в Амурском лимане в период прохождения наибольшего за всю историю наблюдений дождевого паводка.

Приведены основные результаты расчетов, выполненных для обеспечения планирования противопаводковых мероприятий, пример оперативного краткосрочного прогноза колебаний уровня воды во время штормового нагона 4–5 октября 2013 г.

Табл. 1. Рис. 4. Библ. 4.

Научное издание  
**ДВНИГМИ – 65 ЛЕТ**

Юбилейный выпуск

*Под редакцией  
канд. геогр. наук. Е.В. Карасева*

Отпечатано с оригинал – макета, подготовленного в ФГБУ «ДВНИГМИ»,  
минуя редподготовку в «Дальнауке»

