

Расчет средних поверхностей уровня моря по данным спутниковой альтиметрии IMMOAD SSNA с учетом дополнительной приливной коррекции

Г.В. Шевченко ¹, А.А. Романов ²

1- Сахалинский филиал ВНИРО (СахНИРО)

2- АО ЦНИИМАС

Мотивация

Данные о средней динамической топографии (MDT), аномалиях уровенной поверхности (SSHA), или мезомасштабных вихрях (META), предоставляемых на портале Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS), является популярной основой для изучения различных аспектов морской динамики, прежде всего для расчета морских течений и определения параметров мезомасштабных вихревых структур. Важной основой этих продуктов является массив спутниковых альтиметрических данных Integrated Multi-Mission Ocean Altimeter Datasets (IMMOAD v5.1) Sea Surface Height Anomalies (SSHA), представленный на портале PODDAC.

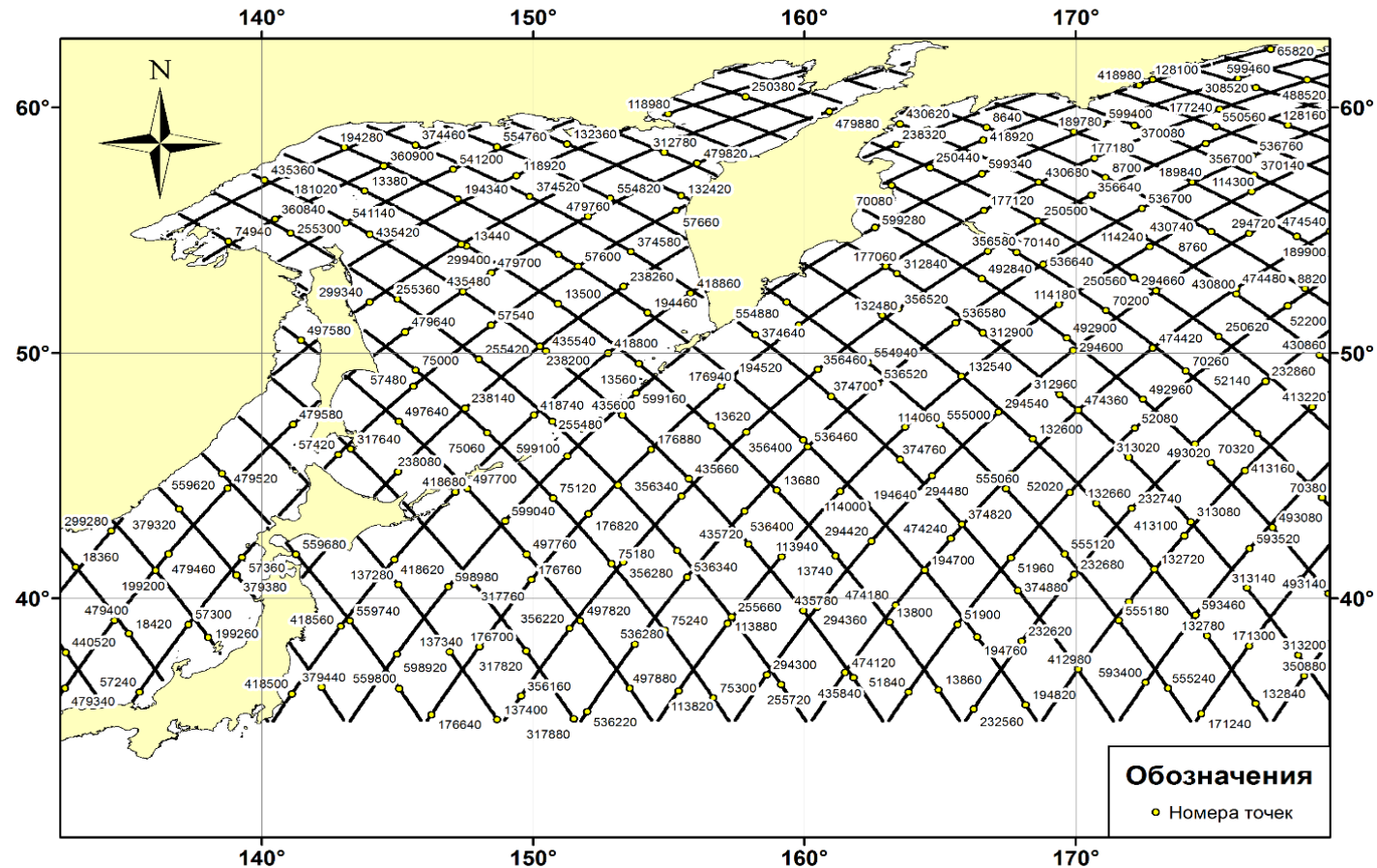
В работе [Шевченко и др., СП ДЗЗ, 2023_4] было выявлено, что несмотря на большие усилия создателей массива по фильтрации приливов из исходных альтиметрических данных, она оказалась недостаточно надежной, и требуется дополнительная фильтрация приливов. Это говорит о том, что данная недоработка ставит под сомнение результаты сотен научных исследований, основанных на указанных продуктах.

Данная работа посвящена одному из следствий данной проблемы, связанной и искажением средних поверхностей уровня моря.

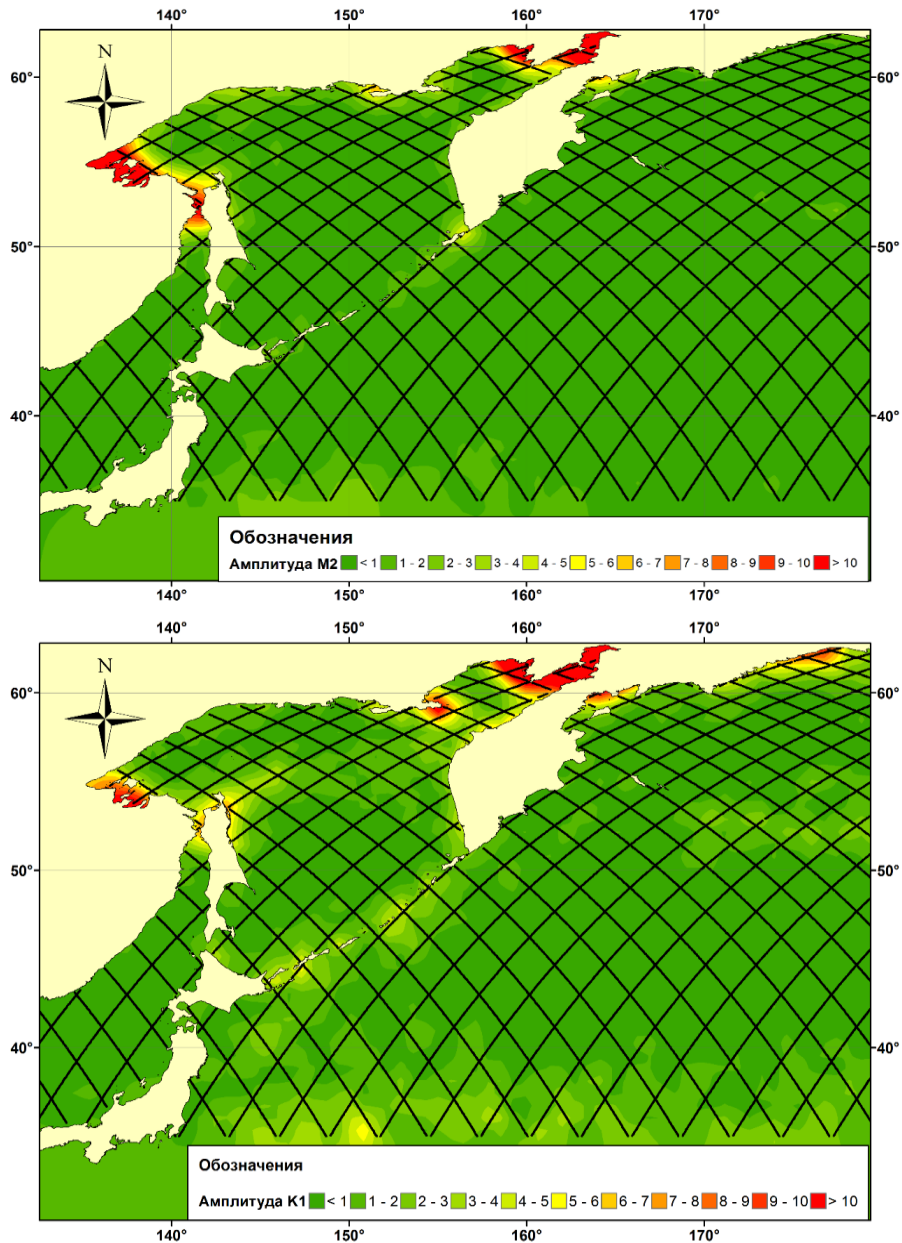
Материалы и методика

Исходные материалы – массив данных в точках подспутниковых треков ряда ИСЗ, летавших позднее по орбитам спутника ТОРЕХ/Poseidon. Данные за 29.5 лет (сентябрь 1992 – март 2022 гг), дискретность 10 суток, вдольтрековый шаг около 6 км, всего около 17500 точек.

Район – северо-западная часть Тихого океана (СЗТО) и дальневосточные моря.



В каждой точке трека по методике [Шевченко, Романов, 2004] независимо осуществлялся расчет амплитуд и фаз 8 главных приливных волн суточного и полусуточного диапазона (Q1, O1, P1, K1, N2, M2, S2, K2), определялись характеристики предвычисленного приливного и остаточного рядов (среднее, дисперсия, экстремумы). Остаточные ряды – это массив данных с дополнительной приливной коррекцией.



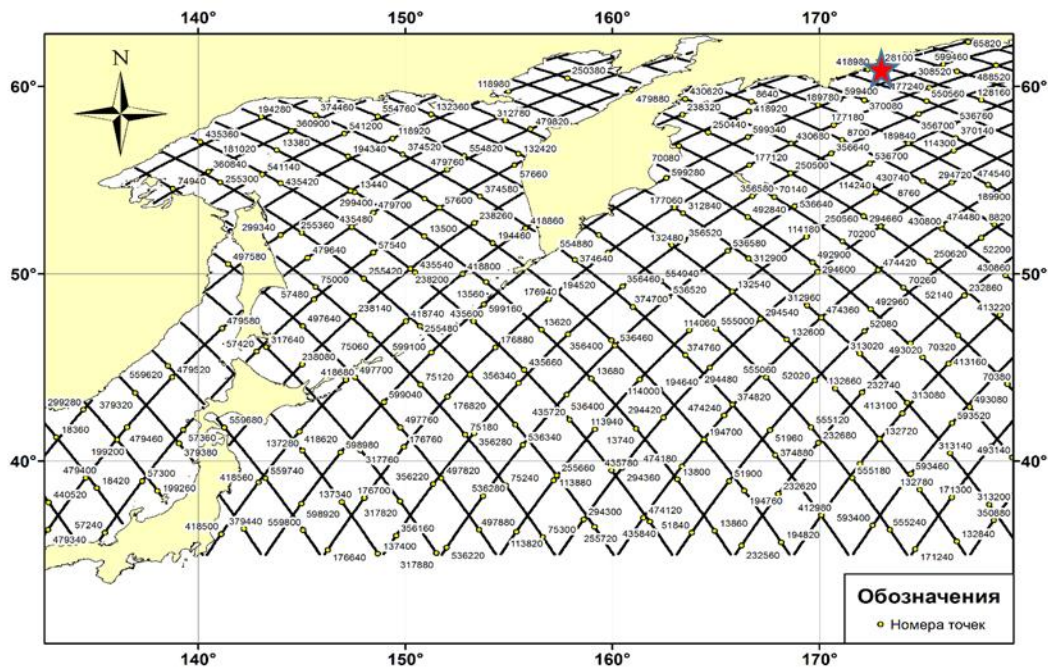
Пространственное распределение амплитуд главных полусуточной M2 и суточной K1 приливных волн (в см) в изучаемой области (назовем остаточным приливом в данных SSHA). На значительной части акватории они меньше 1, что можно считать хорошим показателем. Однако в ряде районов величина амплитуд составляет несколько см, а в северо-восточной и северо-западной частях Охотского моря превышает 10 см.

Можно понять трудности правильного моделирования приливов программой GOT (GlobalOceanTide) в Пенжинской или Удской губах, там и сложная батиметрия, и ледяной покров, и большие приливы. Но недостаточная точность фильтрации приливов в открытом океане, в зоне Куроисио, понять достаточно сложно. Явная недоработка создателей массива, ведь GOT предусматривает ассимиляцию данных, то есть включение в модель амплитуд и фаз приливных волн, полученных из данных альтиметрии.



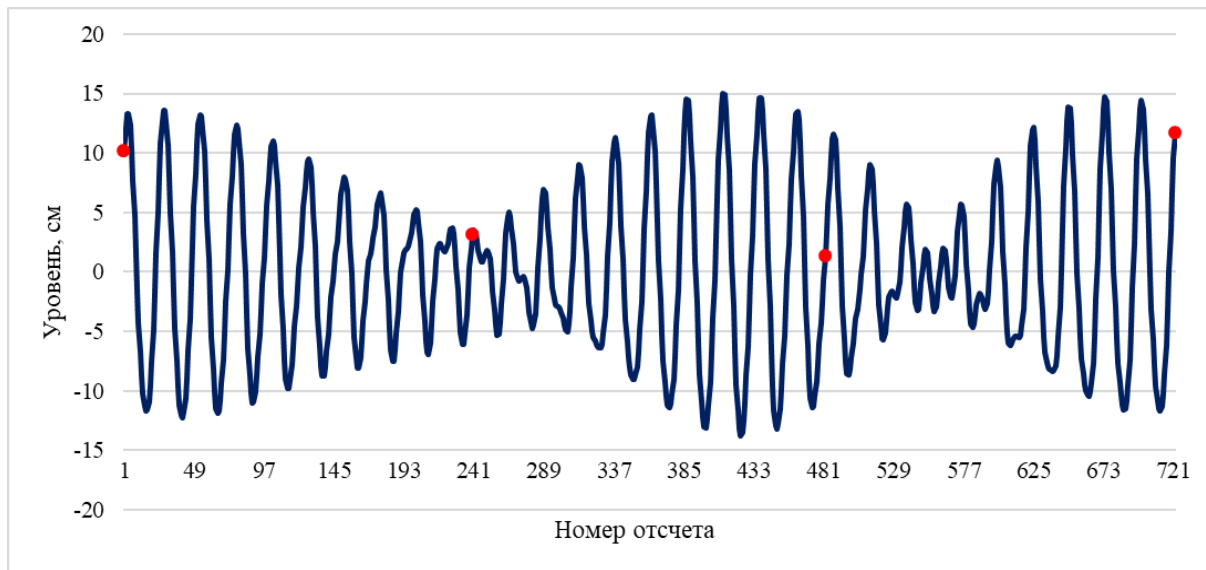
Точка номер 128100 у северо-западного побережья Берингова моря (отмечена звездочкой). Исходные вариации уровня – синяя линия, предвычисленный прилив – оранжевая.

Влияние прилива существенное, минимум -8.1 см, максимум 19.3 см среднее 4.7. Выделяются циклические вариации с годовым периодом, менее явные с периодами полгода и 3 месяца. В наборе волн не было составляющих с такими периодами.



Чтобы выяснить причину их появления, был предвычислен ежечасный приливной ряд на 19 лет для этой точки и делались выборки через 240 отсчетов. Годовые колебания выделяются, это явно эффект дискретности. Появляются и другие составляющие, с периодами около 3 и 6 месяцев. Именно специфическая дискретность является причиной многих проблем, в том числе и искажения средних поверхностей.

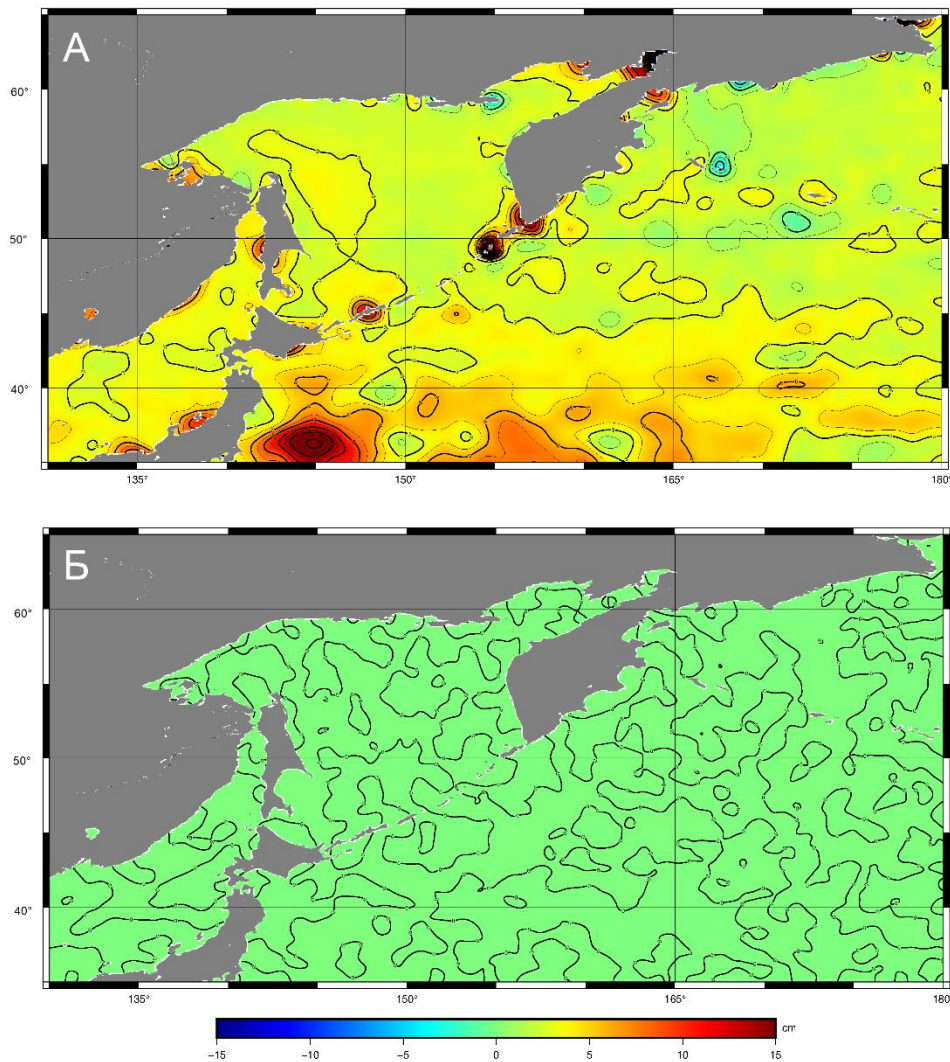
Рассмотрим эту проблему более детально.



Фрагмент предвычисленного приливного ряда с дискретностью 1 час для точки 128100 (январь 2020 г.). Красным цветом отмечены точки, выбранные с дискретностью 10 суток (через 240 часовых отсчетов). Если среднее по месячной серии равно 0 (положительных и отрицательных отклонений одинаковое число), то среднее по этим четырем точкам составляет 6.7 см.

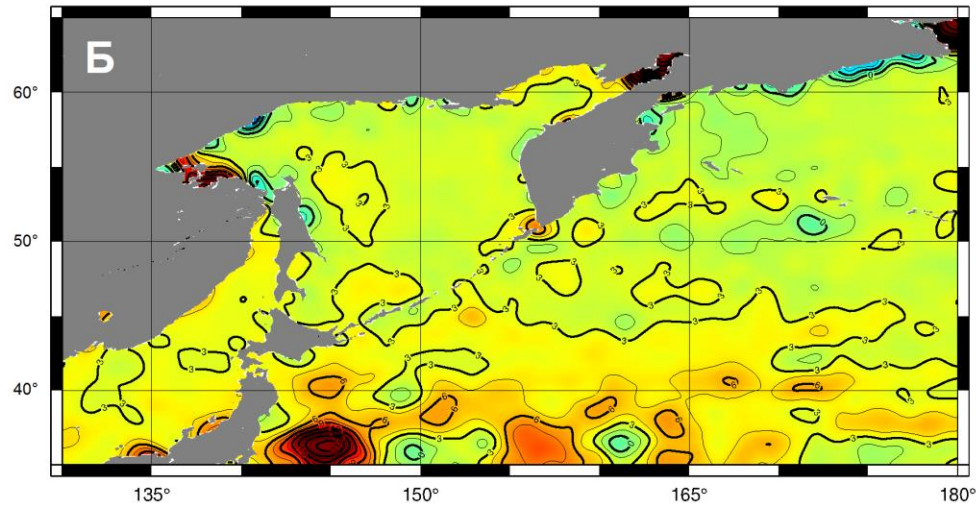
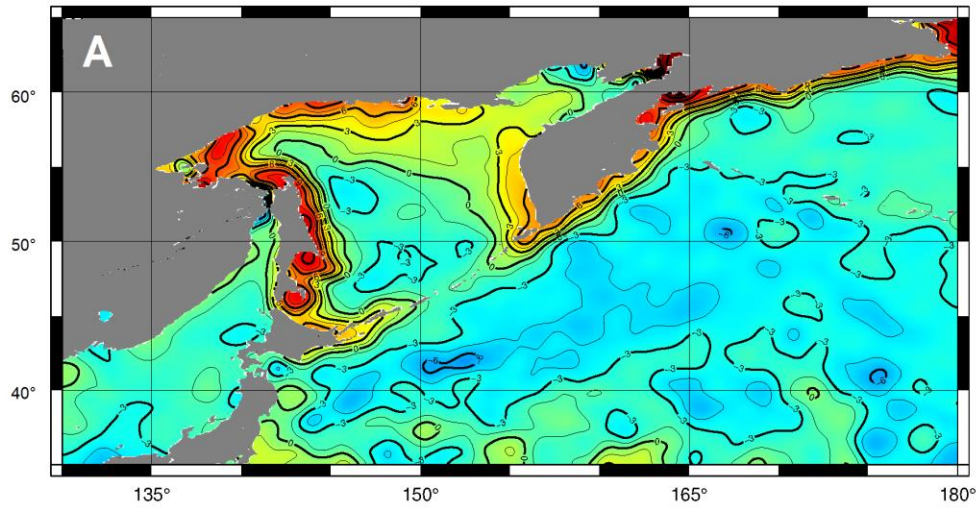
Это означает, что наличие остаточного прилива в данных IMMOAD SSHA вместе со специфической дискретностью приводит как к появлению ложных колебаний, так и к искажению усредненных поверхностей уровня моря. Именно исследование искажений средней поверхности как одно из главных следствий наличия остаточного прилива и было темой данного исследования.

Ниже рассматриваются усредненные уровенные поверхности для разных сезонов и для полного года за период полных лет 1992-2021 гг. с учетом и без учета дополнительной приливной коррекции. Сезоны по традиции смещены на месяц по сравнению с календарными, зима это январь-март, так как март более «зимний» месяц чем декабрь, также как сентябрь более «летний» чем июнь.



Среднее многолетнее распределение аномалии уровенной поверхности (в см) в дальневосточных морях и СЗТО без учета приливной коррекции (А) и с ее включением (Б). Поскольку это аномалии, то они являются поправкой к основной уровенной поверхности (соответственно характеризуют некое дополнительное поле течений)

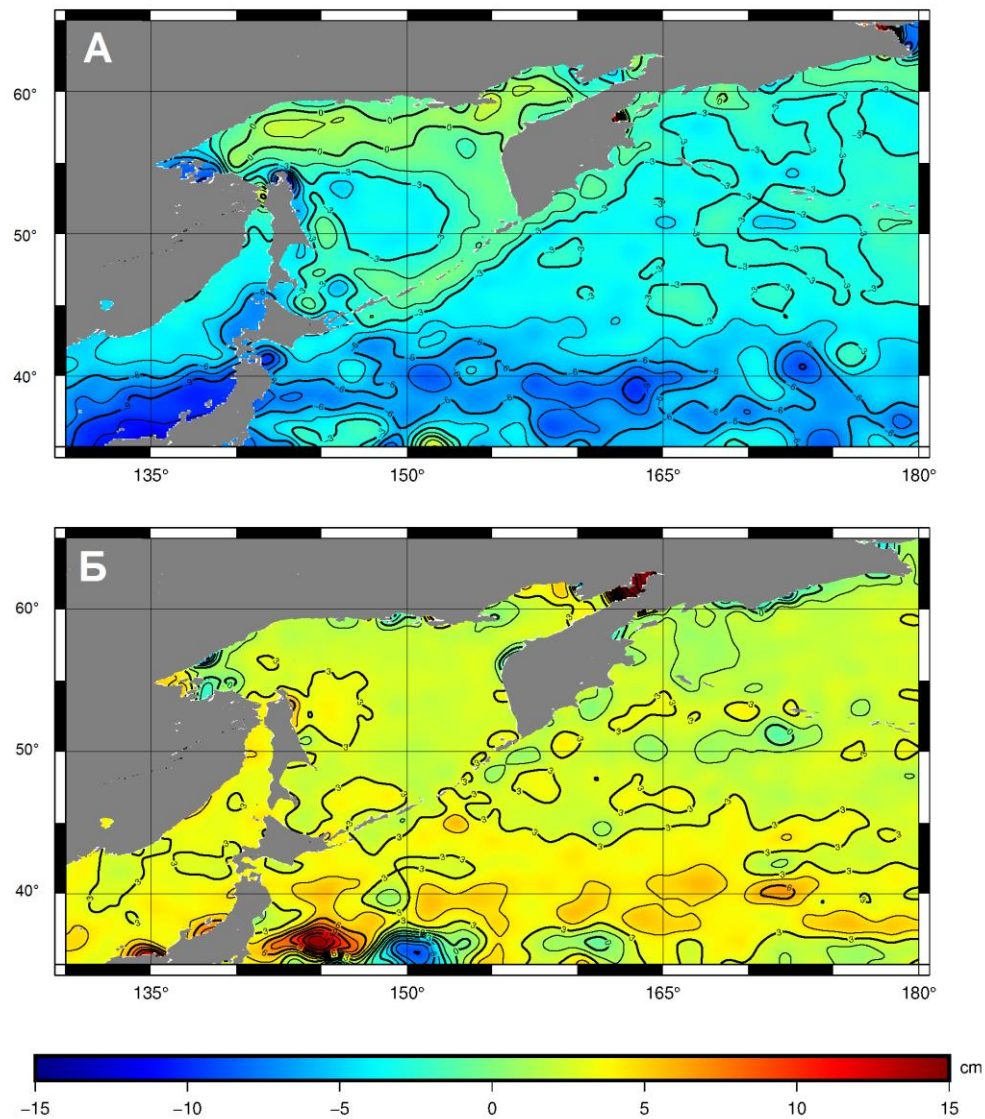
Рисунок показывает, что усредненная уровенная поверхность, рассчитанная по ряду с дополнительной приливной коррекцией, близка к нулю во всем изучаемом регионе. Следовательно, эта поправка очень хорошо исправляет массив SSHA, среднее многолетнее по которому существенно отличается от нуля (в некотором смысле это совсем не аномалии). Наиболее значимые искажения в зоне Курошио, в некоторых заливах Охотского моря и у Курильских островов.



Среднее многолетнее распределение аномалии уровенной поверхности (в см) в дальневосточных морях и СЗТО с учетом приливной коррекции (А) и рассчитанные по остаточному приливу (Б) зимой (январь-март).

Зимой вдоль побережья Охотского и Берингова морей наблюдаются высокие значения уровня, что указывает на формирование градиентных течений, ориентированных вдоль изолиний уровенной поверхности вправо, если смотреть в сторону более низких значений. Это соответствует усилению циклонической циркуляции в первом из указанных бассейнов и формирование потока юго-западного направления во втором начиная от полуострова Чукотка.

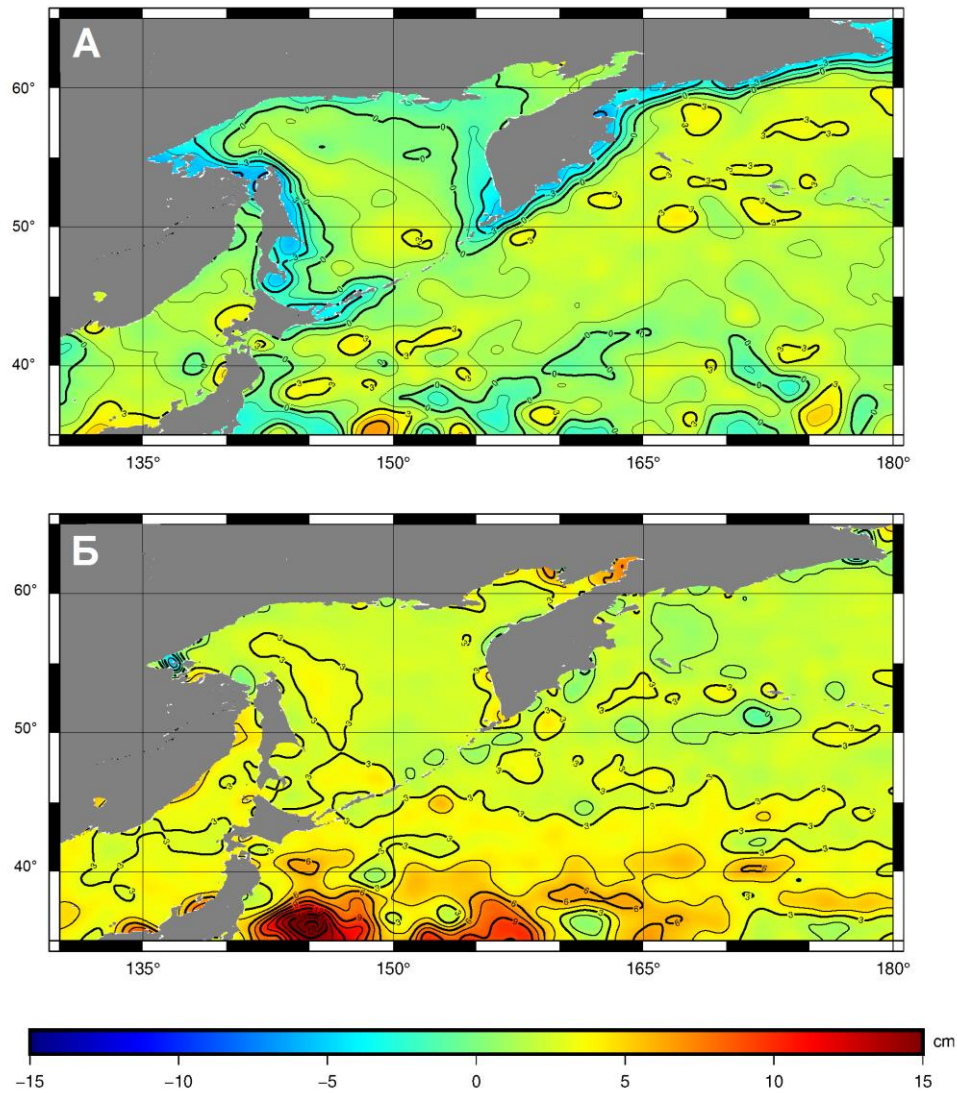
Поскольку мы рассматриваем аномалии уровня моря, то речь идет не о собственно циркуляции, а о сезонной поправке к усредненному полю течений.



Среднее многолетнее распределение аномалии уровенной поверхности (в см) в дальневосточных морях и СЗТО с учетом приливной коррекции (А) и рассчитанные по остаточному приливу (Б) весной (апрель-июнь).

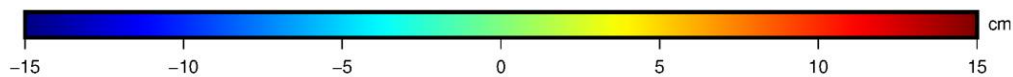
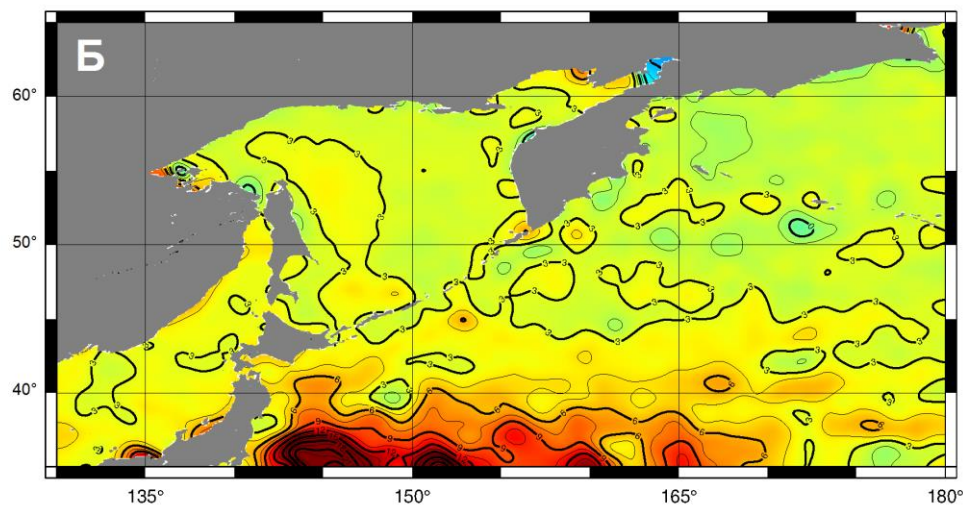
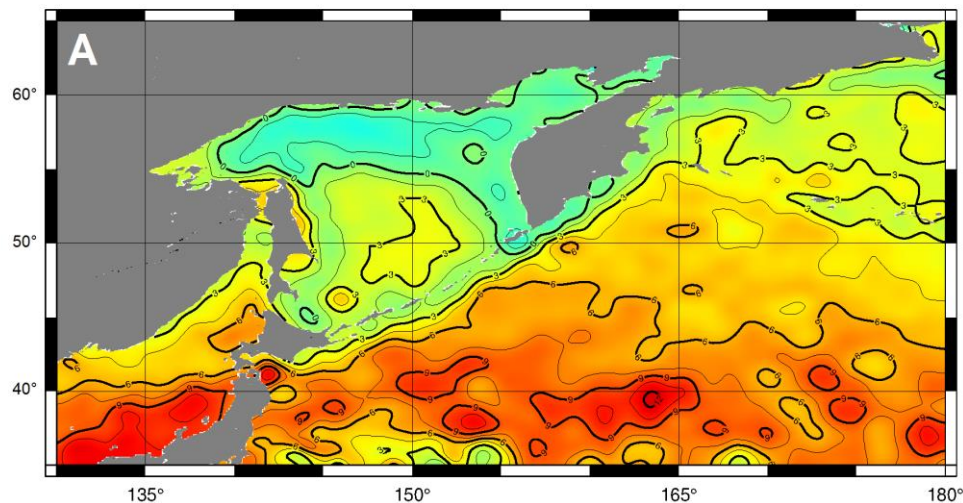
Весной градиенты уровенной поверхности в целом незначительные. Обращает внимание ее плавная крупномасштабная изменчивость, выраженная в низких значениях в южной части изучаемой акватории, как в зоне теплого Цусимского течения в Японском море, так и в СЗТО. Наиболее высокие уровни отмечены на северном шельфе Охотского моря, у западного берега Камчатки и у южного Чукотки, а также вдоль Курильской островной гряды.

Слабо выраженные градиенты и плавные вариации параметра указывают на повсеместное ослабление циркуляции вод в пределах всего рассматриваемого региона по сравнению с зимним периодом (это относительно сезонной поправки к основному полю течений).



Среднее многолетнее распределение аномалии уровенной поверхности (в см) в дальневосточных морях и СЗТО с учетом приливной коррекции (А) и рассчитанные по остаточному приливу (Б) летом (июль-сентябрь).

Летом распределение усредненной уровенной поверхности противоположно зимнему: в центральной части Охотского моря слабо выраженное поднятие, и низкие значения по его периферии. В меньшей степени понижение уровня выражено на северном шельфе моря. Такой характер уклонов свидетельствует о формировании противотечений Восточно-Сахалинскому и Западно-Камчатскому течениям в теплый период года. У восточного берега Сахалина наиболее выраженные градиенты отмечены на некотором удалении от берега, это означает, что поток северного румба формируется за свалом глубин, в открытом море. Аналогичная картина наблюдается и вдоль всего восточного побережья Берингова моря и океанского берега юго-восточной Камчатки.



Среднее многолетнее распределение аномалии уровенной поверхности (в см) в дальневосточных морях и СЗТО с учетом приливной коррекции (А) и рассчитанные по остаточному приливу (Б) осенью (октябрь-декабрь).

Если весной в зоне влияния теплых течений Цусимское и Куроисио наблюдались низкие значения уровня, то осенью здесь отмечены положительные аномалии. Отрицательные выявлены прежде всего на северном шельфе Охотского моря, где они являются следствием масштабного апвеллинга, развивающегося под действием зимнего муссона. Вдоль западного берега Берингова моря и у побережья Приморья наблюдаются более слабые отрицательные аномалии, хорошо выражены они только у юго-восточного берега Камчатки. Вдоль восточного побережья Сахалина выделяется узкая полоса с положительными аномалиями, что соответствует начальной (прибрежной) фазе активизации Восточно-Сахалинского течения, наблюдающейся в октябре-ноябре.

Заключение

Погрешности, вносимые остаточной приливной компонентой, в различные сезоны имеют сходное распределение (только в некоторых случаях они принимают разные знаки при существенных значения по абсолютной величине). Наибольшей величины они достигают вблизи южной границы изучаемого региона, в части СЗТО южнее сороковой параллели, а также в заливах в северо-восточной и северо-западной частях Охотского моря.

Очищенный от остаточного прилива массив аномалий уровенной поверхности не содержит ложных составляющих в средних полях, и его можно использовать для решения широкого круга океанологических исследований. Об этом свидетельствует и четкая, имеющая ясное физическое объяснение, картина сезонных вариаций уровня моря в СЗТО и дальневосточных морях. Поэтому выявленное нами недостаточное устранение прилива из этого массива представляется нам весьма важным, и, мы надеемся, будет полезным в дальнейшем при подготовке данных CMEMS