

© Авторы 2022 г. Открытый доступ.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)



© The Authors 2022. Open access.
Content is available under Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)

УДК 551.466.7

<https://doi.org/10.30730/gtr.2022.6.3.246-255>
<https://www.elibrary.ru/dgwmst>

Пространственная структура приливов у юго-западного побережья Камчатки по данным береговых наблюдений и спутниковой альтиметрии

Г. В. Шевченко^{*1,2}, А. Т. Цой¹

^{*}E-mail: shevchenko_zhora@mail.ru

¹ Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства
и океанографии, Южно-Сахалинск, Россия

² Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

Реферат. На основе известных данных об амплитудах и фазах основных приливных волн в береговых пунктах юго-западной Камчатки проанализирована их вдольбереговая изменчивость. Показано, что амплитуды и фазы волн возрастают в направлении с юга на север. Однако точно оценить эти вариации сложно из-за того, что береговые измерители уровня, которые были установлены, как правило, в эстуариях рек, испытывали искажающее влияние донного трения. Для более точной характеристики пространственной изменчивости величины приливов привлечены данные спутниковой альтиметрии. Эти данные были получены при пролетах ИСЗ TOPEX/Poseidon в 1992–2002 гг. по исходным орбитам и в 2002–2005 гг. по орбитам, смещенным на половину межтрекового расстояния. Выявлено, что амплитуды как суточных, так и полусуточных волн резко возрастают в северном направлении, причем это увеличение ограничено зоной шельфа юго-западной Камчатки. Значительные пространственные вариации характеристик приливных волн являются причиной сильных вдольбереговых течений в данном районе. Оценки, полученные на основе расчета разности прилива в точках различных подспутниковых треков, показали, что скорость прибрежного потока может достигать 1–1.3 узла. Главный вклад в формирование приливных течений дают суточные составляющие.

Ключевые слова: приливы, суточные и полусуточные приливные волны, амплитуды, фазы, береговые наблюдения, спутниковая альтиметрия

Spatial structure of the tides near the southwestern coast of Kamchatka according to coastal observations and satellite altimetry data

Georgy V. Shevchenko^{*1,2}, Alexander T. Tsoy¹

^{*}E-mail: shevchenko_zhora@mail.ru

¹ Sakhalin Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

² Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Abstract. Based on the known data on the amplitudes and phases of the main tidal waves in coastal areas of southwestern Kamchatka, their alongshore variability was analyzed. It is shown that they increase from south to north. However, it is difficult to accurately assess these variations due to the fact that coastal tide gauges, which were usually installed at the mouths of rivers, are affected by the distorting effect of bottom friction. Satellite altimetry data were used for a more accurate characterization of the spatial variability of tide magnitude. These data were obtained during the passes of the TOPEX/Poseidon satellite in 1992–2002 on the original and 2002–2005 on the orbits shifted by half the inter-track distance. The amplitudes of both diurnal and semidiurnal waves have been revealed to increase sharply in the north direction, and this increase is limited by the shelf zone of southwestern Kamchatka. Significant spatial variations in the tidal wave characteristics are the cause of strong alongshore currents in this area. Estimates obtained on the basis of calculating the difference in the tidal level at the points of various sub-satellite tracks have shown that the speed of the coastal flow can reach 1–1.3 knot. The main contribution to the formation of tidal currents is made by diurnal components.

Keywords: tides, diurnal and semidiurnal tidal waves, amplitudes, phases, coastal observations, satellite altimetry

Для цитирования: Шевченко Г.В., Цой А.Т. Пространственная структура приливов у юго-западного побережья Камчатки по данным береговых наблюдений и спутниковой альтиметрии. *Геосистемы переходных зон*, 2022, т. 6, № 3, с. 246–255. <https://doi.org/10.30730/gtr.2022.6.3.246-255>; <https://www.elibrary.ru/dgwmst>

Благодарности и финансирование

Авторы благодарят уважаемых рецензентов, чьи рекомендации позволили улучшить текст этой статьи.

For citation: Shevchenko G.V., Tsoy A.T. Spatial structure of the tides near the southwestern coast of Kamchatka according to coastal observations and satellite altimetry data. *Geosistemy perexodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2022, vol. 6, no. 3, pp. 246–255. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtr.2022.6.3.246-255>; <https://www.elibrary.ru/dgwmst>

Acknowledgements and Funding

The authors would like to thank the respected Reviewers whose recommendations allowed to improve the text of this article.

Введение

Пространственной структуре приливов в Охотском море посвящен ряд работ, основанных на анализе наблюдений на береговых станциях [1–3], численном моделировании [4–6], а также данных спутниковой альтиметрии [7, 8]. Из этих работ следует, что важную роль в формировании приливных движений в масштабах моря играют процессы в его юго-восточной части, примыкающей к северным Курильским островам и юго-западному побережью п-ова Камчатка, так как приливные волны проникают в него из Тихого океана прежде всего в этом районе. Особенности пространственной изменчивости амплитуд и фаз основных приливных волн на этом участке бассейна мало изучены и представляют существенный интерес. Помимо этого данная задача имеет и выраженный прикладной аспект. Приливы во многом определяют воз-

можности выхода рыболовного флота в море из устьев рек, где расположено большинство населенных пунктов и рыбоперерабатывающих предприятий, что в большинстве случаев возможно только на полной воде прилива. Тем самым колебания уровня моря оказывают существенное влияние на хозяйственную деятельность в одной из важнейших рыбопромысловых зон Дальневосточного региона, точное знание их характеристик и правильный расчет позволяют снизить ущерб от неоправданного простоя судов.

В большинстве таких пунктов измерения уровня моря продолжительностью 0.5–2 мес. были выполнены в первой половине прошлого века, и на их основе были рассчитаны гармонические постоянные главных приливных волн (они приведены в работах [1, 2] и ниже в таблице, положение станций показано на рис. 1). Измерения производились в устьях рек, в которых

Таблица. Гармонические постоянные главной суточной K1 и полусуточной M2 приливных волн в береговых пунктах юго-западной Камчатки (данные по [1, 2])

Table. Harmonic constants of the main diurnal K1 and semidiurnal M2 tidal waves in the coastal points of southwestern Kamchatka (data according to [1, 2])

Пункт	Широта	Долгота	HK1, см	GK1, °	HM2, см	GM2, °
р. Ича (пос. Ичинский)	55°37.3'	155°36.8'	63.5	32.2	62.1	278.4
пос. Крутогоровский	55°02.8'	155°35.0'	79.2	19.7	74.6	260.7
р. Крутогорова	55°02.8'	155°35.1'	52.1	31	37	299
р. Колпаковка	54°48.0'	155°38.5'	55.2	19.4	45.3	275.5
пос. Кировский	54°13.6'	155°48.4'	77	15.5	66.3	249.9
р. Воровская	54°10.9'	155°49.7'	71.4	17.5	61.1	260.4
р. Кихчик	53°29.0'	156°01'	70.4	6.7	63.1	239.6
Микояновский рыбокомбинат	52°40'	156°15'	55.5	25.5	35.5	218.5
р. Большая, устье	52°33.1'	156°17.9'	44.8	5.6	39.5	232.3
пос. Опала	51°59'	156°29'	46.1	6.3	40.5	209.1
р. Опала, устье	51°58.0'	156°29.2'	24.3	11.2	17.7	238.4
пос. Озерновский	51°29.7'	156°29.2'	38.7	15.2	34.2	249.7
р. Озерная, устье	51°29.8'	156°29.5'	25.7	8.9	13.8	237.8

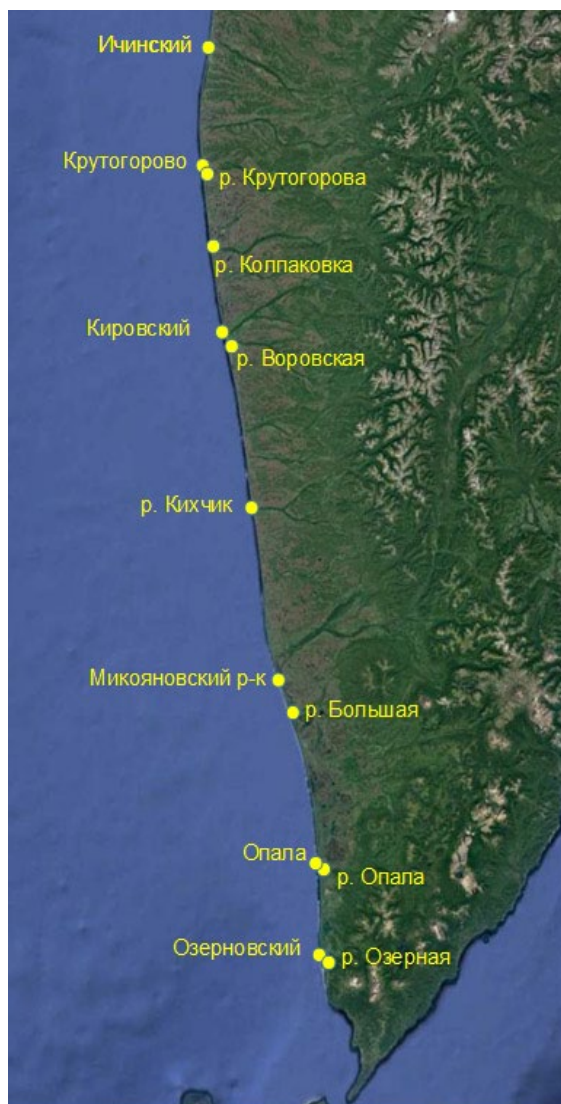


Рис. 1. Положение береговых пунктов, в которых известны гармонические постоянные основных приливных волн.

Fig. 1. The location of coastal points where the harmonic constants of the main tidal waves are known.

приливные колебания в разной степени искажаются влиянием песчаных баров, отгораживающих эстуарии от моря. Как показали инструментальные измерения длинноволновых процессов в районе пос. Озерновский [9, 10], различия амплитуд и фаз в открытом море и во внутренней акватории могут быть весьма существенными. Поэтому сведения о характеристиках приливных волн, не искаженных мелководными эффектами, интересны с точки зрения их пространственной изменчивости, а также имеют важное прикладное значение для обеспечения погрузо-разгрузочных работ судов рыболовного и торгового флота, при проектировании промышленных объектов на побережье, для геодезии и картографии [11],

и т.д. Ввиду большой важности точных сведений о характеристиках прилива для хозяйственной деятельности, постоянно появляются работы, посвященные их уточнению по многолетним рядам наблюдений (в качестве примера можно привести такое исследование для побережья Финского залива [12]), но на охотоморском побережье Камчатки наблюдения за уровнем в последние десятилетия не проводятся, если не считать установки датчика Службы предупреждения о цунами в пос. Озерновский.

Возможность получения необходимых данных об амплитудах и фазах приливных составляющих предоставляет спутниковая альтиметрия, методика расчета указанных параметров в точках подспутниковых треков приведена в работе [7]. Как показано в более позднем исследовании [8], расчеты на основе данных искусственного спутника Земли TOPEX/Poseidon (ИСЗ Т/Р) оказались наиболее точными по сравнению с другими спутниками (остаточная дисперсия была меньше, чем при оценках по данным спутников Jason и Envisat, не говоря об ERS, альтиметры которых характеризовались наиболее значительными погрешностями). Причем качественные оценки были получены не только по 10-летнему ряду (1992–2002 гг.), но и по более короткому, когда орбиты ИСЗ Т/Р были смещены на половину межтрекового расстояния (2002–2005 гг.), хотя здесь имелись определенные нюансы, которые обсуждаются ниже. Обзор современных представлений о возможностях использования данных альтиметрии для анализа приливов приведен в [13].

В данной работе вдольбереговые вариации амплитуд и фаз главных приливных волн суточного и полусуточного диапазона рассмотрены на основе данных береговых станций, более общее исследование их пространственной изменчивости выполнено с использованием данных альтиметра ИСЗ Т/Р по исходным и смещенным трекам.

Изменения гармонических постоянных приливов вдоль западного берега Камчатки

В таблице представлены значения амплитуд и фаз главных суточной K1 и полусуточной M2 волн по [1, 2], а также полученные при проведении натурного эксперимента по

измерению длинных волн в районе пос. Озерновский со стороны открытого моря [9, 10]. Фазы приведены в Гринвичском времени, так как в этом времени даны анализируемые ниже данные спутниковой альтиметрии. Начнем рассмотрение вдольбереговых вариаций амплитуд и фаз основных приливных волн с их сравнения в эстуариях рек и на открытых участках побережья, которые имеются для населенных пунктов Опала и Озерновский.

Обращает на себя внимание существенное уменьшение амплитуд главных приливных волн M2 и K1 во внутренней акватории по сравнению с полученными на открытых участках побережья. Так, в пункте Опала их величины в эстуарии составили 43.7 и 52.7 % от значений на внешней станции (в абсолютном выражении они были меньше на 22.8 и 21.8 см соответственно), хотя расстояние между уровнями постами было невелико (около 1 мин по широте).

Для пос. Озерновский аналогичный расчет дал близкие соотношения – 40.6 и 66.4 % в относительном и 20.4 и 15.9 см в абсолютном выражении. Фазовые сдвиги, в особенности для суточных волн, менее существенны. Этот пример показывает важность проблемы – при таких обстоятельствах находящиеся на рейде суда или рыбодобывающий флот не могут ориентироваться на характеристики прилива, рассчитанные по измерениям во внутренних акваториях, это обстоятельство существенно осложняет заход в эстуарии и выход судов в море.

На рис. 2 приведены графики вдольбереговых вариаций амплитуд и фаз главных суточной и полусуточной волн по данным береговых измерений. Юго-западный берег Камчатки имеет ориентацию, близкую к меридиональ-

ной, поэтому данные о широте пунктов измерения уровня были пересчитаны в расстояния, отсчитанные от пос. Озерновский на юге до пос. Ичинский на севере (расстояние между ними чуть менее 450 км). На графики не наносились данные, полученные в устьях рек, если они имели ту же широту, что и полученные на более открытых участках побережья (реки Крутогорова, Воровская, Опала и Озерная).

Из рис. 2 видно значительное нарастание амплитуды и фазы обеих волн в направлении с юга на север. Для главной полусуточной составляющей прилива M2 средняя скорость увеличения амплитуды составляет около 8 см на 100 км, фазы – на 15° . Для суточной гармоник K1 эти цифры несколько меньше, около 7 см и 5° на такое же расстояние.

Хотя общая тенденция хорошо просматривается, влияние отмеченных выше эффектов, обусловленных сложностью измерений уровня на открытых участках юго-западного побережья Камчатки, не позволяет установить точную картину пространственной изменчивости амплитуд и фаз главных приливных волн в данном районе. Обращает на себя особое внимание резкое снижение амплитуд обеих волн K1 и M2 в устье р. Колпаковка, хотя в устье р. Крутогорова, данные по которой не представлены на графике, уменьшение амплитуд приливных волн еще более существенное (см. таблицу). Отметим, что, как и в южной части изучаемого побережья, в устьях указанных рек на северном участке фазовые сдвиги не такие значительные, как уменьшение амплитуд. Для более точной оценки пространственной изменчивости характеристик прилива были использованы материалы дистанционных измерений.

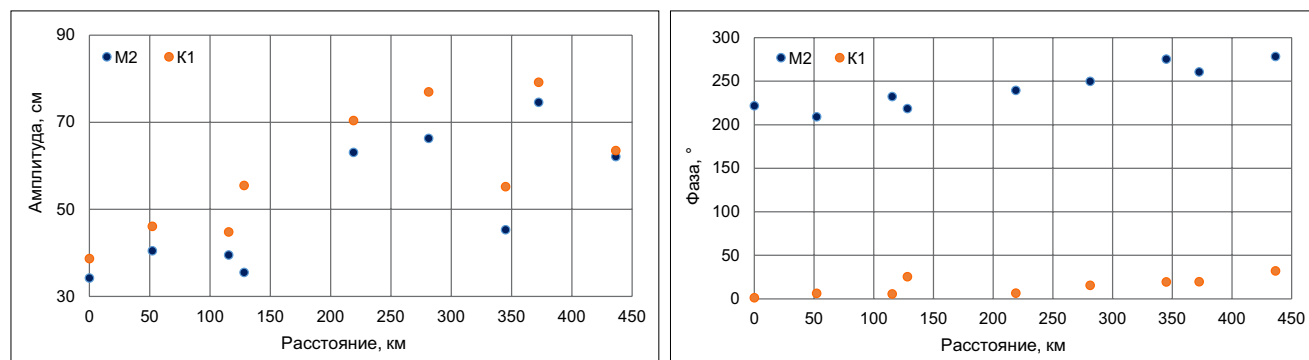


Рис. 2. Вариации амплитуды (в см, рисунок слева) и фазы (в $^\circ$ GMT, справа) главных суточной и полусуточной волн K1 и M2 вдоль юго-западного берега Камчатки от пос. Озерновский (принят за 0) до пос. Ичинский.

Fig. 2. Variations in the amplitude (in cm, left) and phase (in $^\circ$ GMT, right) of the main diurnal K1 and semidiurnal M2 tidal waves along the southwestern coast of Kamchatka from the Ozernovsky village (taken as zero) to the Ichinsky village.

Пространственная изменчивость амплитуд и фаз основных приливных волн по данным спутниковой альтиметрии

На рис. 3 показаны точки подспутниковых треков ИСЗ Т/Р, в которых методом наименьших квадратов [7] были рассчитаны амплитуды и фазы 8 основных приливных волн – 4 суточного (Q1, O1, P1, K1) и 4 полусуточного диапазона (N2, M2, S2, K2). Синим цветом отмечены номера восходящих, красным – нисходящих треков, пересекающих изучаемую область. Чтобы рассчитать набор гармоник для всех точек, необходимо, чтобы для ряда данных было не менее 90 значений. Зеленым цветом отмечены «старые» треки, соответствующие орбитам, по которым ИСЗ Т/Р дви-

гался в 1992–2002 гг., желтым – «новые», отвечающие орбитам 2002–2005 гг., смещенные на половину межтрекового расстояния. Для последних расчеты выполнялись для 6 волн, суточная P1 и полусуточная K2 составляющие не рассматривались, так как из-за близости их частот с частотами гармоник K1 и S2 оценки их характеристик были неустойчивыми (длины рядов составляли 60–80 отсчетов). При этом на качество расчета амплитуд и фаз основных волн исключение этих составляющих не повлияло. Длина рядов в точках «старых» треков превышала 400 значений, что позволяло вычислить амплитуды и фазы всех основных волн, не прибегая к искусственным приемам даже в прибрежных точках, несмотря на то что при пролете ИСЗ вблизи береговой границы обычно теряется часть данных и ряды более короткие, чем в более удаленных (минимальная длина в точке 735732 трека 236 составила 290 отсчетов).

Высокая плотность данных, полученных в точках с учетом как «старых», так и «новых» треков, позволила построить качественные карты пространственной изменчивости амплитуд и фаз главных суточной (K1, рис. 4) и полусуточной (M2, рис. 5) приливных волн.

В районе северных Курильских островов со стороны Тихого океана амплитуда волны K1 принимает наименьшие значения (около 30 см), примерно такие же значения и в удаленной от берега части Охотского моря на юго-западе изучаемой акватории.

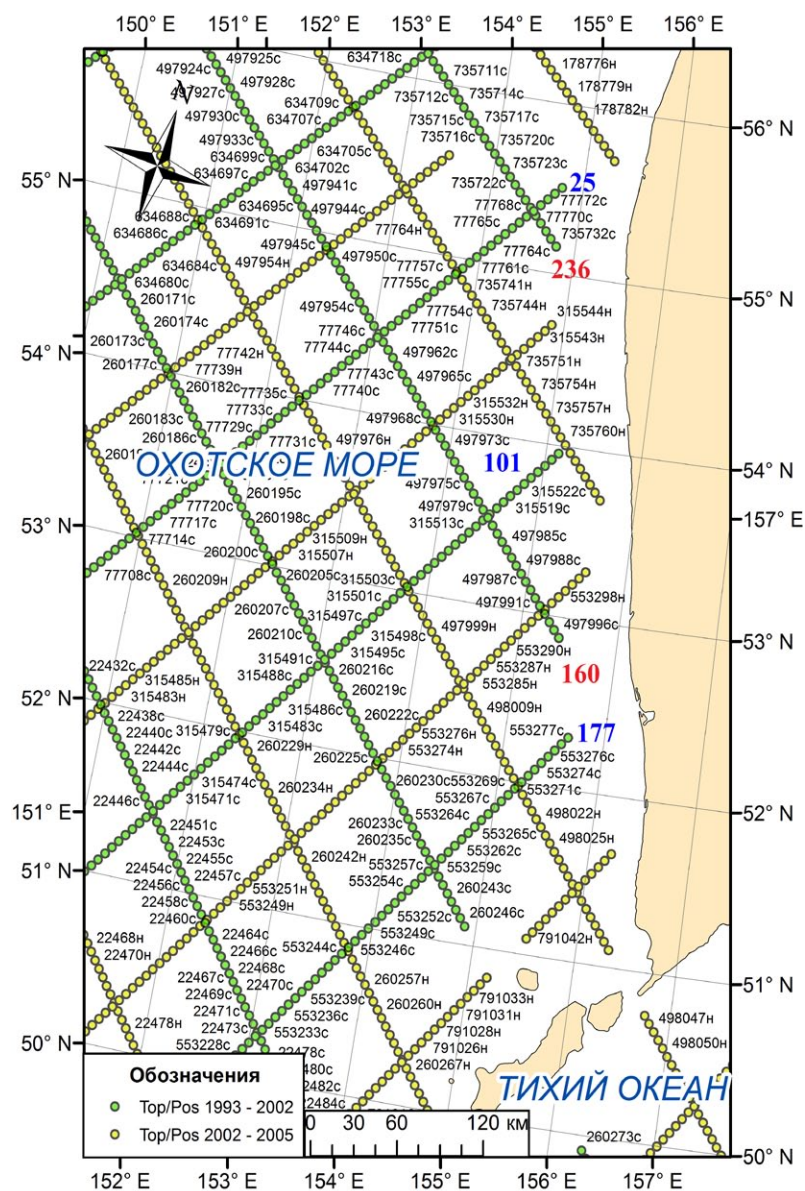


Рис. 3. Точки подспутниковых треков ИСЗ Т/Р, в которых были рассчитаны амплитуды и фазы основных приливных волн (зелеными кружками отмечены соответствующие орбитам 1992–2002 гг., желтыми – 2002–2005 гг.). Синим цветом отмечены номера восходящих, красным – нисходящих треков, пересекающих изучаемую область.

Fig. 3. Points of sub-satellite tracks of the T/P satellite, in which the amplitudes and phases of the main tidal waves were calculated (green circles correspond to the orbits of 1992–2002, yellow – 2002–2005). The numbers of ascending tracks crossing the study area are highlighted in blue, and the numbers of descending ones are highlighted in red.

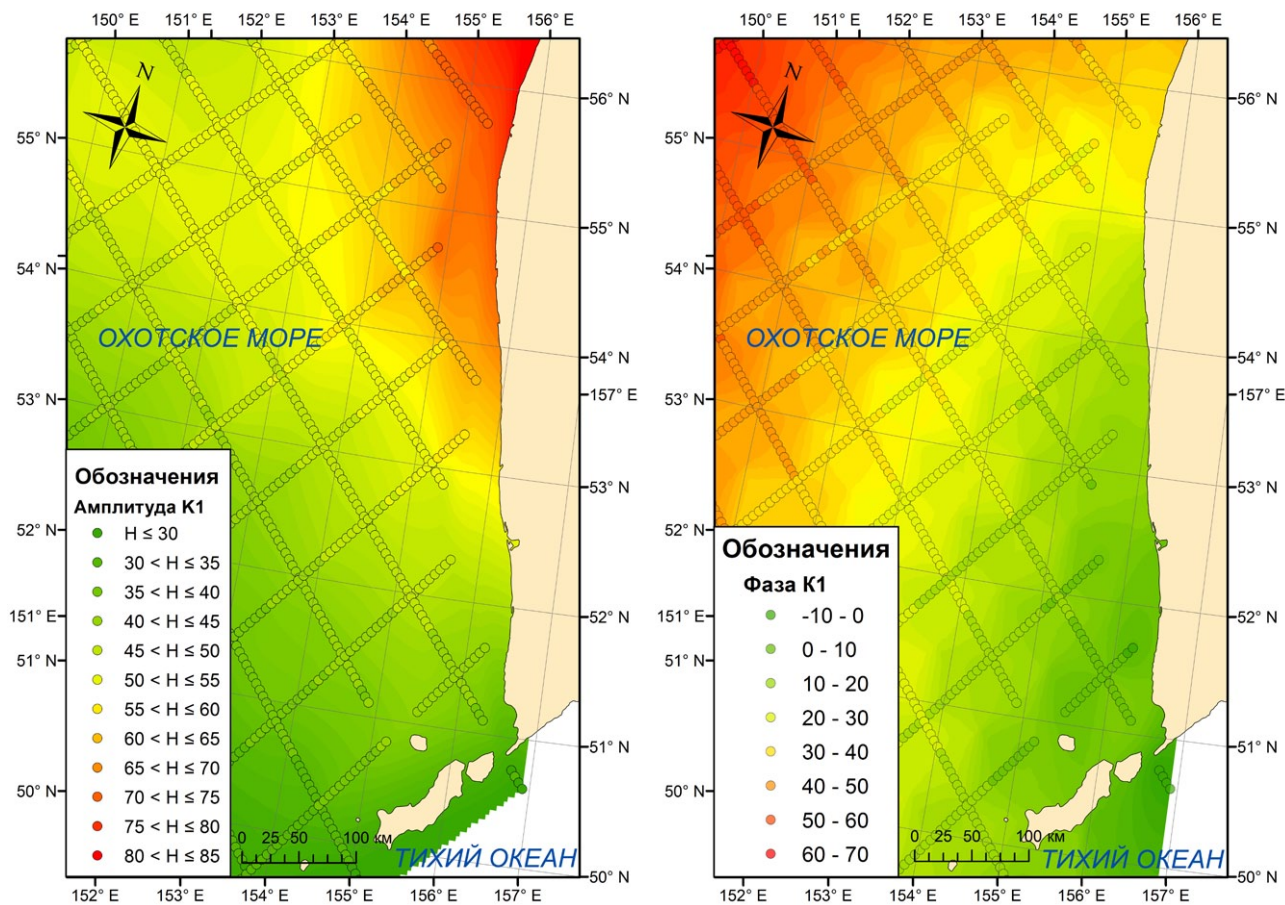


Рис. 4. Пространственная структура амплитуды (слева, в см) и фазы (справа, в °GMT) главной суточной приливной волны K1 по данным альтиметра ИСЗ Т/Р.

Fig. 4. Spatial structure of the amplitude (left, in cm) and the phase (right, in °GMT) of the main diurnal tidal wave K1 according to the T/P satellite altimeter data.

Ее значения возрастают в прибрежной полосе в северном направлении, особенно резко в районе 53° с.ш. В северной части района значения амплитуды этой составляющей превышают 80 см, т.е. она увеличивается почти в 3 раза по сравнению с прибрежными районами северных Курильских островов. Ширина этой полосы составляет около 2° по долготе (154–156° в.д.), охватывая зону весьма широкого в данном районе шельфа. За ее пределами амплитуда убывает до примерно 50 см в открытом море. Фаза этой волны возрастает от близких к нулю значений на юго-востоке рассматриваемой области до 40–50° в северо-западной. Такой характер ее вариаций указывает на распространение волны от о. Парамушир в направлении центра Охотского моря, однако картина достаточно сложная. Это заметно и на более общей карте в масштабах всего бассейна, на которой видно, что волна, войдя через прол. Крузенштерна, огибает Парамушир и поворачивает на северо-запад [7].

Пространственное распределение амплитуды полусуточной волны M2 сходно с рассмотренным выше для волны K1. Только быстрое ее возрастание вблизи берега начинается несколько севернее, в районе 54° с.ш., и ее значения быстрее убывают по мере удаления от берега в направлении открытого моря. Распределение фазы носит более простой характер и характеризуется ее закономерным и достаточно быстрым возрастанием от северных Курильских островов в направлении центральной части моря.

Таким образом, анализ данных спутниковой альтиметрии показал, что вдольбереговая изменчивость характеристик главных приливных волн вдоль юго-западного берега Камчатки носит закономерный характер монотонного возрастания в направлении с юга на север. Скачкообразные вариации амплитуд и фаз по береговым данным, очевидно, обусловлены влиянием локальных топографических условий.

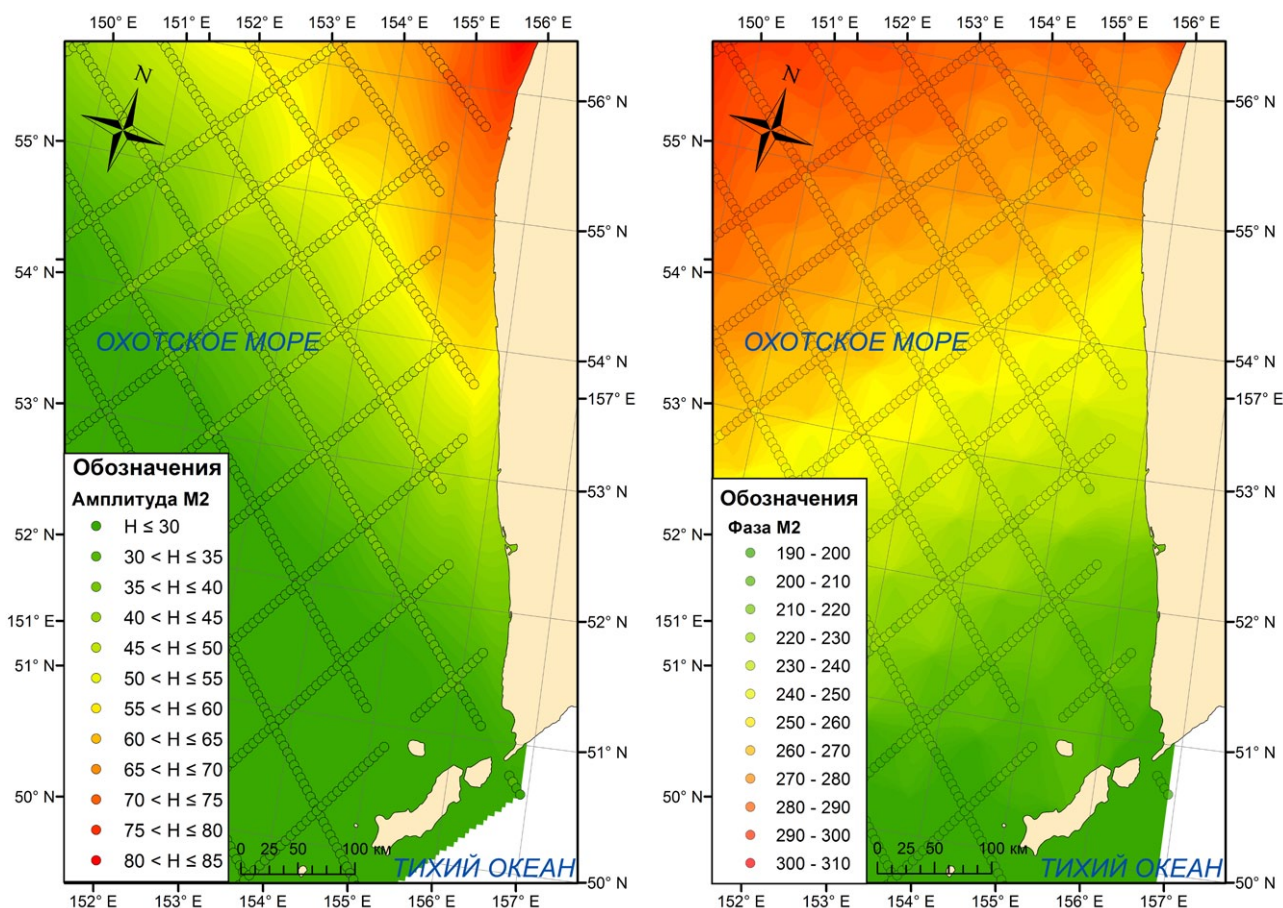


Рис. 5. Пространственная структура амплитуды (слева, в см) и фазы (справа, в °GMT) главной полусуточной приливной волны M2 по данным альтиметра ИСЗ Т/Р.

Fig. 5. Spatial structure of the amplitude (left, in cm) and the phase (right, in °GMT) of the main semidiurnal tidal wave M2 according to the T/P satellite altimeter data.

Оценка скорости приливных течений

Для акваторий, характеризующихся значительной пространственной изменчивостью величины приливов, большой интерес представляет также возможность оценки скоростей приливных течений на основе полученных гармонических постоянных для уровня моря. В работе [7] для реализации этой задачи на основе оценок приливных колебаний уровня вблизи северо-западного побережья Камчатки использовалось следующее уравнение движения в упрощенной форме, которое обычно используют для оценки приливных потоков в каналах (без учета членов, отражающих влияние вращения Земли и нелинейных эффектов):

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x},$$

где u – скорость, t – время, g – ускорение свободного падения, ζ – отклонение уровня

поверхности от положения равновесия, x – пространственная переменная. Для расчета скоростей течений были выбраны несколько пар точек на «старых треках», в которых длина рядов была не менее 290 значений и в которых были надежно определены гармонические постоянные 8 основных приливных волн.

Расчет скорости течений выполнялся для достаточно большого набора пар точек, из которых наибольшего внимания заслуживают концевые (наиболее близкие к юго-западному берегу Камчатки) точки восходящих треков 25 (точка TP77782), 101 (TP315526) и 177 (TP553278), а также нисходящих – 160 (TP497996) и 236 (TP735732) (см. рис. 3).

На основе рассчитанных по альтиметрическим данным гармонических постоянных приливов были предвычислены приливные ряды длительностью 1 год. Расчет производился для 2026 г., который для районов с преобладанием суточных приливов будет годом

«больших приливов» в рамках хорошо выраженной цикличности с периодом 18.6 года. 2022 г. также относится к периоду высоких значений величины приливных колебаний (дисперсия примерно на 3 % меньше, чем в 2026, экстремальные высоты различаются на 1–3 см в зависимости от выбранной точки). В годы «малых приливов» (ближайший период низкой интенсивности приливных колебаний ожидается в 2032–2033 гг.) дисперсия приливных колебаний на 30 % ниже, чем в 2026 г., а различия в экстремальных высотах достигают 25–30 см.

Разностная аппроксимация пространственной производной по уровню вычислялась как разность значений приливного уровня в соседних точках в одни и те же моменты времени, поделенная на расстояние между ними. Приливные скорости определялись по схеме первых разностей, отнесенных к временному интервалу 1 ч. При интегрировании уравнения возникает неопределенная константа, которая выбиралась таким образом, чтобы среднее значение скорости по всему ряду равнялось нулю. Полученные результаты представлены на рис. 6 и 7.

В вариациях скорости течений наблюдается типичная для районов с преобладанием суточных приливов сезонная (с увеличением интенсивности на дни зимнего и летнего солнцестояний и уменьшением на дни весеннего и осеннего равноденствий), а также полумесячная изменчивость, характерная для тропических и экваториальных приливов. Максимальная амплитуда скорости была получена при расчете для северной части изучаемого района (концевые точки восходящих 25 и 101 треков – TP77782 и TP315526), она составляет около 65 см/с, что является значительной величиной для акваторий, удаленных от проливов, выдающихся в море мысов или иных особенностей локальной топографии.

Немного меньше скорости приливных течений, рассчитанные

по разности прилива в концевых точках нисходящих треков 236 (TP735732) и 160 (TP497996). Фрагмент полученного ряда за январь 2026 г. приведен на рис. 7. Полученные оценки относятся приблизительно к середине отрезка между выбранными точками, к центральной части изучаемого района. Главный вклад в приливные течения дают суточные составляющие, это хорошо видно из рис. 7. Вклад полусуточных волн в формирование поля течений невелик, он становится заметен только в период ослабления вклада суточных волн при экваториальных приливах.

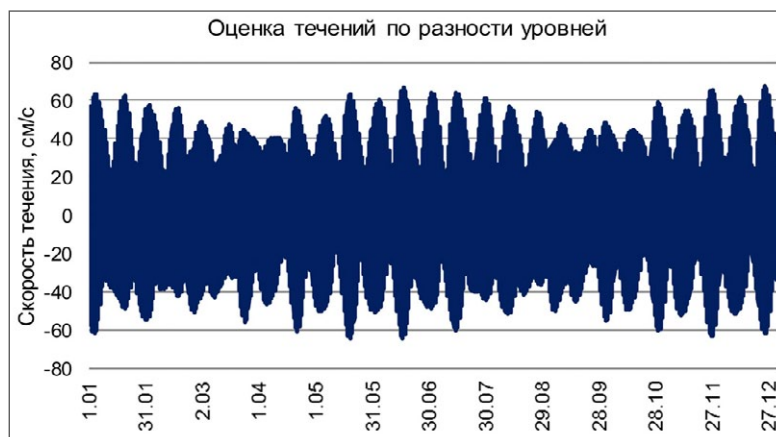


Рис. 6. Вариации скоростей приливных течений, рассчитанных по разности приливных колебаний уровня в точках TP77782 и TP315526 по предвычислению на 2026 г.

Fig. 6. Variations in the velocities of tidal currents calculated from the difference in tidal level fluctuations at the points TP77782 and TP315526 according to the prediction for 2026.



Рис. 7. Вариации скоростей приливных течений, рассчитанных по разности приливных колебаний уровня в точках TP735732 и TP497996 по предвычислению на январь 2026 г.

Fig. 7. Variations in the velocities of tidal currents calculated from the difference in tidal level fluctuations at the points TP735732 and TP497996 according to the prediction for January 2026.

Более заметное уменьшение амплитуды приливных течений, до 55 см/с, наблюдается в южной части изучаемого района (оценка получена для концевых точек треков 101 и 177), но и здесь скорости вдольбереговых приливных потоков являются аномально высокими.

Заключение

В результате анализа изменений амплитуд и фаз основных приливных волн вдоль юго-западного побережья Камчатки на основе известных оценок, полученных по данным наблюдений в береговых пунктах [1, 2], выявлено существенное возрастание этих параметров с юга на север (как для суточных, так и для полусуточных приливов). Однако получить точную характеристику возрастания оказалось затруднительно из-за того, что большинство измерений выполнялось в эстуариях рек, в различной степени отделенных от моря песчаными барами, что приводит к значительному искажению характеристик прилива, главным образом к уменьшению амплитуд по сравнению с близко расположенными пунктами наблюдения на более открытых участках побережья. Наиболее существенны эти искажения для устьев рек Озерная, Опала и Крутогорова, где амплитуды уменьшались в 1.5–2 раза. Из-за этого возникает ложное впечатление о немонотонном возрастании характеристик главных приливных волн.

Детальные карты пространственной изменчивости амплитуд и фаз основных приливных волн, построенные по результатам гармонического анализа данных альтиметра ИСЗ TOPEX/Poseidon, дают более объективную картину. Амплитуды как суточных, так и полусуточных волн резко, почти в 3 раза, возрастают в северном направлении (начиная с 53° с.ш. в первом и с 54° во втором случае) для главных составляющих K1 и M2, причем это увеличение ограничено зоной весьма протяженного шельфа юго-западной Камчатки. На удалении от берега этот эффект выражен существенно слабее.

Фазы полусуточных волн равномерно возрастают с юга на север, указывая направление их распространения от проливов Курильской гряды в северную часть Охотского моря. Фазовый сдвиг в пределах изучаемой акватории достигал 110° (немногим менее 4 ч). Фазы суточных волн возрастают от о. Парамушир в северо-западном направлении, что соответ-

ствует направлению их распространения в центральную часть данного бассейна. Максимальный сдвиг фаз составляет около 60°, или те же примерно 4 ч. Значительные пространственные вариации амплитуд и фаз приливных волн являются причиной сильных вдольбереговых течений у юго-западного побережья Камчатки. Оценки, полученные на основе расчета разности приливного уровня в точках различных подспутниковых треков, показали, что скорость прибрежного потока может достигать 1–1.3 узла и главный вклад в формирование приливных течений вносят суточные составляющие.

Список литературы

1. *Таблицы приливов. Воды азиатской части СССР и прилегающих зарубежных районов.* 1960. Л.: Гидрометеониздат, 29 с.
2. Деева Р.А. 1970. *Уровень Охотского моря.* Л., 530 с. (Труды ГОИН; 15).
3. Sudzuki K., Kanari S. 1986. Tides in the Sea of Okhotsk. *Marine Science*, 18(7): 445–463.
4. Kowalik Z., Polyakov I. 1998. Tides in the Sea of Okhotsk. *Physical Oceanography*, 28(7): 1389–1409. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1998\)028<1389:titsoo>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1998)028<1389:titsoo>2.0.co;2)
5. Choi B.H., Kim. D.H., Fang Y. 1999. Tides in the East Asian seas from a fine-resolution global ocean tide model. *Marine Technology Society J.*, 33(1): 36–44. <https://doi.org/10.4031/mts.33.1.5>
6. Некрасов А.В., Романенков Д.А. 2003. Прогностическая оценка приливных колебаний уровня при крупномасштабном гидротехническом строительстве на побережье Белого и Охотского морей. В кн.: *Колебания уровня в морях.* Санкт-Петербург: РГГМУ, с. 57–78.
7. Шевченко Г.В., Романов А.А. 2004. Определение характеристик прилива в Охотском море по данным спутниковой альтиметрии. *Исследование Земли из космоса*, 1: 49–62.
8. Шевченко Г.В., Романов А.А. 2008. Энергетические характеристики приливных и неперiodических колебаний уровня Охотского моря по данным спутниковой альтиметрии. *Исследование Земли из космоса*, 6: 67–76.
9. Ковалев П.Д., Рабинович А.Б., Ковбасюк В.В. 1989. Гидрофизический эксперимент на юго-западном шельфе Камчатки (КАМШЕЛ-87). *Океанология*, 29(5): 738–744.
10. Ковалев П.Д., Шевченко Г.В. 2008. *Экспериментальные исследования длинноволновых процессов на северо-западном шельфе Тихого океана.* Владивосток: Дальнаука, 216 с.
11. Гусев И.В., Лебедев С.А. 2013. Учет влияния океанических приливов при наблюдении геодезических искусственных спутников Земли. *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*, 1: 25–32.
12. Войнов Г.Н. 2018. Новые сведения о приливах в Финском заливе Балтийского моря. *Ученые записки РГГМУ*, 53: 83–96. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36928472>
13. Ray R.D., Egbert G.D. 2017. Tides and satellite altimetry. In: Stammer D., Cazenave A. (eds) *Satellite altimetry over oceans and land surfaces.* CRC Press, p. 427–458. <https://doi.org/10.1201/9781315151779>

References

1. *Tablitsy prilivov. Vody aziatskoy chasti SSSR i prilegayushchikh zarubezhnykh rayonov* [Tide tables. Waters of the Asian part of the USSR and the surrounding foreign areas]. 1960. Leningrad: Gidrometeoizdat, 29 p. (In Russ.).
2. Deyeva R.A. 1970. *Uroven' Okhotskogo morya* [The level of the Sea of Okhotsk]. Moscow; Leningrad, 530 p. (Trudy GOIN; 15). (In Russ.).
3. Sudzuki K., Kanari S. 1986. Tides in the Sea of Okhotsk. *Marine Science*, 18(7): 445–463.
4. Kowalik Z., Polyakov I. 1998. Tides in the Sea of Okhotsk. *Physical Oceanography*, 28(7): 1389–1409. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1998\)028<1389:titsoo>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1998)028<1389:titsoo>2.0.co;2)
5. Choi B.H., Kim. D.H., Fang Y. 1999. Tides in the East Asian seas from a fine-resolution Global Ocean tide model. *Marine Technology Society J.*, 33(1): 36–44. <https://doi.org/10.4031/mts.33.1.5>
6. Nekrasov A.V., Romanenkov D.A. 2003. [Prognostic assessment of the tidal level fluctuations in large-scale hydrotechnical construction on the coast of the White and Okhotsk seas]. In: *Kolebaniya urovnya v moryakh* [Sea level fluctuations]. Saint-Petersburg: RGGMU, p. 57–78. (In Russ.).
7. Shevchenko G.V., Romanov A.A. 2004. Tides characteristics in the Sea of Okhotsk definition from Topex/Poseidon sea level data. *Issledovaniye Zemli iz kosmosa*, 1: 49–62. (In Russ.).
8. Shevchenko G.V., Romanov A.A. 2008. Energetic characteristics of tidal and residual level oscillations in the Okhotsk Sea from satellite altimetry data. *Issledovaniye Zemli iz kosmosa*, 6: 67–76. (In Russ.).
9. Kovalev P.D., Rabinovich A.B., Kovbasyuk V.V. 1989. [Hydrophysical experiment at the southwestern shelf of Kamchatka (KAMSHEL-87)]. *Oceanology*, 29(5): 738–744. (In Russ.).
10. Kovalev P.D., Shevchenko G.V. 2008. [Experimental study of the long-wave processes at the Northwest Pacific shelf]. Vladivostok: Dal'nauka, 216 p. (In Russ.).
11. Gusev I.V., Lebedev S.A. 2013. [Consideration of the impact of ocean tides in the observation of geodetic artificial Earth satellites]. *Izv. vuzov. Geodeziya i aerofotos'yemka*, 1: 25–32. (In Russ.).
12. Voynov G.N. 2018. The new of data of tides in the Gulf of Finland in the Baltic Sea. *Uchenyye zapiski RGGMU*, 53: 83–96. (In Russ.). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36928472>
13. Ray R.D., Egbert G.D. 2017. Tides and satellite altimetry. In: Stammer D., Cazenave A. (eds) *Satellite altimetry over oceans and land surfaces*. CRC Press, p. 427–458. <https://doi.org/10.1201/9781315151779>

Об авторах

Шевченко Георгий Владимирович (<https://orcid.org/0000-0003-0785-4618>), доктор физико-математических наук, зав. лабораторией океанографии, Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), ведущий научный сотрудник лаборатории цунами, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, shevchenko_zhora@mail.ru

Цой Александр Тесуевич, старший специалист лаборатории океанографии, Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), Южно-Сахалинск

About the Authors

Shevchenko, Georgy V. (<https://orcid.org/0000-0003-0785-4618>), Doctor of Physics and Mathematics, Head of the Laboratory of oceanography, Sakhalin Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Leading Researcher of the Laboratory of tsunami, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, shevchenko_zhora@mail.ru

Tsoi, Alexander T. Senior specialist of the Laboratory of oceanography, Sakhalin Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk

Поступила в редакцию 12.07.2022
После рецензирования 16.08.2022
Принята к публикации 29.08.2022

Received 12 July 2022
Revised 16 August 2022
Accepted 29 August 2022