

УДК 551.435.3

© Г. В. Шевченко, А. О. Горбунов, П. Ю. Королев

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск
g.shevchenko@imgg.ru

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В РАЙОНЕ СТРОИТЕЛЬСТВА «ПОРТА «ВЕРА» (УССУРИЙСКИЙ ЗАЛИВ)

Статья поступила в редакцию 27.12.2016, после доработки 29.03.2017.

В сентябре-ноябре 2014 г. в районе м. Открытый (восточное побережье Уссурийского залива Японского моря), в котором планируется строительство угольного морского терминала «Порт «Вера», были проведены комплексные океанологические и геоморфологические исследования. Их целью было изучение динамических процессов в прибрежной зоне (течения, волнения, инфрагравитационных волн) и их влияния на состояние берега и транспорт прибрежно-морских наносов. Для решения этих задач были установлены два измерителя волнения на различной глубине, измеритель течений и колебаний уровня моря, выполнено маршрутное обследование побережья, батиметрические работы на четырех поперечных берегу галсах и на них отобраны пробы поверхностного донного грунта. Для изучения влияния погодных условий, была установлена цифровая метеостанция. Показано, что в течение периода наблюдений наблюдалось усиление прибрежного потока, ориентированного на юг, что могло быть причиной транспорта мелкофракционных осадков из северной части Уссурийского залива. Их транзит и аккумуляция выявлены по результатам отбора проб и промерных съемок на глубинах более 15 м, в прибрежной части наблюдалась обстановка размыва. Несмотря на интенсивное волнение и подверженность абразии мысовых участков побережья, сложенных твердыми и прочными породами, поступление на подводный береговой склон большого количества рыхлых осадков непосредственно в районе строительства маловероятно. Существенную роль в прибрежной динамике играют прибойные биения (инфрагравитационные волны).

Ключевые слова: волнение, инфрагравитационные волны, течение, уровень моря, аккумуляция, наносы, батиметрия.

G. V. Shevchenko, A. O. Gorbunov, P. Yu. Korolev

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

HYDRODYNAMIC AND GEOMORPHOLOGICAL CONDITIONS IN THE CONSTRUCTION AREA OF THE «PORT «VERA» (USSURI BAY)

Received 27.12.2016, in final form 29.03.2017.

The comprehensive oceanographic and geomorphological studies were conducted in September and November 2014 in the area of Cape Otkrytyi (the east coast of Ussuri Bay, the Sea of Japan), in which the construction of the coal-sea terminal «Port Vera» is planned. The aim was to study the dynamic processes in the coastal zone (currents, waves, infra-gravity waves) and their influence on the coast state and transport of marine sediment. To address these objectives two wind-wave recorders were installed at different depths as well as a measuring instrument of sea level and currents; a coast route survey and surveying works on the four cross-shore tacks were performed, the bottom sediments were sampled (twice). To study the effect of weather conditions, a digital weather station was installed. It is shown that during the observation period there was an increase of coastal south-directed flow, which could be the cause of transport of fine sediments from the northern part of Ussuri Bay. Their transit and accumulation were identified by the results of sampling and surveying filming at depths greater than 15 m, the situation of erosion was observed in the coastal part. In spite of the intense wind waves and the abrasion exposure of cape areas of the coast composed of hard rocks, the flow of unconsolidated sediments to the coastal slope in the area of the port construction is unlikely. Surf beats (infra-gravity

Ссылка для цитирования: Шевченко Г. В., Горбунов А. О., Королев П. Ю. Гидродинамические и геоморфологические условия в районе строительства «Порта «Вера» (Уссурийский залив) // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2017. Т. 10, № 2. С. 49—62.

For citation: Shevchenko G. V., Gorbunov A. O., Korolev P. Yu. Hydrodynamic and geomorphological conditions in the construction area of the "Port "VERA" (Ussuri Gulf). *Fundamentalnaya i prikladnaya gidrofizika*. 2017, 10, 2, 49—62.

DOI: 10.7868/S2073667317020071.

waves) play a significant role in the coastal dynamics. Key words: wind waves, infra-gravity waves, current, sea level, accumulation, sediments, bathymetry.

Key words: wind waves, infra-gravity waves, current, sea level, accumulation, sediments, bathymetry.

Особенности динамических процессов в прибрежной зоне и их влияния на абразию берегов и транспорт прибрежно-морских наносов является актуальной задачей в связи с интенсификацией строительства на побережье, развитием марикультурного хозяйства и других задач. Именно масштабный проект по развитию марикультурных хозяйств в ряде бухт Уссурийского залива, который является частью залива Петра Великого Японского моря (наиболее крупного — в бухте Суходол в северной его части), побудил Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН (ТОИ ДВО РАН) провести масштабные экспериментальные исследования в данном бассейне в 2008 г., включавшем постановку нескольких автономных буйковых станций с измерителями течений. Основное внимание при анализе полученных данных было уделено изучению циркуляции вод в изучаемом бассейне и оценке максимальных скоростей, была подтверждена антициклоническая циркуляция в заливе с максимальными скоростями южного направления до 35 см/с у восточного берега залива [1, 2]. Ранее сведения о циркуляции вод в Уссурийском заливе основывались на расчетах динамическим методом и численном моделировании [3], инструментальные измерения не проводились.

В сентябре-ноябре 2014 г. Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения РАН (ИМГиГ ДВО РАН) проводил геоморфологические и гидрометеорологические исследования в районе строительства угольного терминала «Порт «Вера» (мыс Открытый на восточном побережье Уссурийского залива, рис. 1). Задачей предусматривалась постановка двух донных станций (одна ближе к берегу, вторая — на большем удалении), которые включали измерители придонного гидростатического давления, предназначенные для регистрации ветрового волнения и колебаний уровня моря. На одной из станций на специальной раме был установлен акустический доплеровский измеритель течений SonTek Argonaut XR. Полученные материалы использовались для характеристики гидродинамических процессов в районе строительства порта — особенностей ветрового волнения (наличие двух станций позволяло оценить формирование инфрагравитационных волн — прибойных биений), распределений по градиентам скорости и направлений суммарных, приливных и непериодических течений, а также вариаций уровня моря. Инструментальные исследования динамических процессов в прибрежной акватории сопровождалось измерениями метеорологических параметров, для чего вблизи берега была установлена автономная цифровая метеостанция.

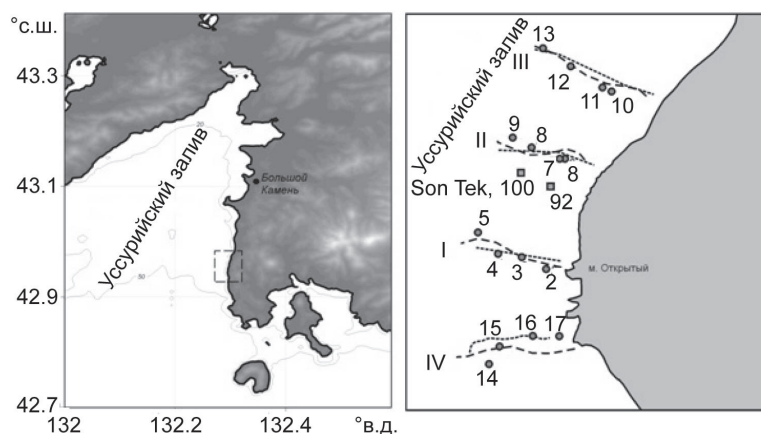


Рис. 1. Схема Уссурийского залива (залив Петра Великого Японского моря, слева).

Прямоугольником выделен район работ, приведенный справа.

Штриховые линии — галсы промера (отмечены римскими цифрами, частые штрихи отвечают сентябрьской, редкие — ноябрьской съемке), кружки и цифры — точки отбора проб донного грунта, квадратики — места постановки автономных донных станций.

Fig. 1. The scheme of the Ussuri Bay (the Peter the Great Gulf, the Sea of Japan, left).

The rectangle highlights the study area shown in the right figure. The dashed lines show the sounding measurements (marked with Roman numerals, more frequent strokes correspond to September, more rare — to the November survey), circles with numerals show sampling locations of the bottom soil, squares show the places of the autonomous bottom stations installation.

Для выявления абразионных участков в зоне проектирования и других экзогенных геологических процессов, было выполнено маршрутное геоморфологическое обследование побережья протяженностью около 1.5 км. Для изучения динамики прибрежно-морских наносов в условиях переходного сезона, дважды была выполнена батиметрическая съёмка на системе из четырех поперечных берегу галсов с отбором проб донного грунта на гранулометрический анализ.

Проведенные исследования, помимо узкой задачи предпроектных оценок, позволили получить важные сведения о характере динамических процессов в прибрежной зоне и их влияния на транспорт прибрежных наносов, что и было основной целью данной работы. Наибольший интерес представляли инструментальные измерения волнения и инфрагравитационных волн, полученные, по нашим сведениям, у восточного берега Уссурийского залива впервые. Также интерес представляло сравнение характеристики морских течений со станцией POD-7 [1], располагавшейся несколько мористее. Метеорологические наблюдения носили вспомогательный характер и использовались для оценки влияния погодных условий на формирование ветрового волнения и прибрежных течений.

Организация наблюдений и полученные материалы. Геоморфологическое обследование берега в пределах участка будущего строительства «Порта «Вера» и прилегающих участков берега осуществлено 12 сентября 2014 г. Обследование проведено от мыса Открытый в северном направлении; заложено 9 точек полевого описания геоморфологических особенностей берега и побережья, пройдено по маршруту 1660 м (около 185 м на одну точку описания).

При описании берега учитывались следующие параметры элементов и форм берегового рельефа, обычно рассматриваемые при подобных исследованиях [4]: характер простираения береговой линии; морфометрические параметры пляжа и состав его наносов; наличие низкой аккумулятивной прилегающей современной террасы, ее высота и ширина; состояние клифа (активный, отмерший), состав горных пород, обнажающихся в клифе, характер их залегания. Также оценивалась подверженность берега экзогенным геологическим процессам склонового (оползни, обвалы, осыпи) и флювиального генезиса (плоскостная и струйчатая эрозия), действующим в настоящее время.

Первоначальный отбор проб поверхностных донных отложений проведен 16.09 и 19.09 на четырёх галсах, которые совпадают с галсами батиметрической съёмки. Перерыв в отборе проб был обусловлен уточнением границ при проведении батиметрической съёмки, в результате чего четвёртый промерный галс был заложен несколько южнее м. Открытый.

Пробоотбор осуществлялся дночерпателем грейферного типа конструкции Ван Вина с маломерного судна. Изначально отбор проб донных наносов планировалось провести в четырех точках на каждом галсе, а расположение точек было выбрано равномерное по глубине: 5, 10, 15 и 20 м. Однако дночерпание на первом же створе (на траверзе м. Открытый) показало, что донные наносы на глубине 5 м отсутствуют, не было их и на глубинах в диапазоне 6—9 м, в связи с чем в план отбора были внесены коррективы. На створах I, II и IV отбор проб проведен с глубин 10, 15, 20 и 25 м. На северном створе III первая проба грунта взята на глубине 8 м, а далее на указанных выше глубинах.

Повторный отбор проб донных наносов выполнен 16 ноября 2014 г., по прошествии двух месяцев; отбор донного грунта осуществлялся в тех же точках, гранулометрический анализ выполнялся в лаборатории ИМГиГ ДВО РАН согласно [5].

Промерные работы выполнялись по четырем перпендикулярным линии берега трекам. Использовался цифровой эхолот Lowrance 525C-DF, промерный излучатель которого закреплялся жестко на дне маломерного судна. Первая съемка выполнялась 14 сентября, схема галсов представлена на рис. 1. Из-за наличия ставного невода, первоначальная схема галсов была несколько изменена, и промерные работы были закончены 19 сентября.

Для определения метеорологических условий в период проведения инструментальных измерений волнения, колебаний уровня моря и течений в районе порта Вера, были выполнены инструментальные измерения метеопараметров. Измерения производились при помощи автономной цифровой метеостанции OregonScientific WMR200. Метеостанция была установлена 10 сентября в районе портпункта Подъяпольский на расстоянии около 120 м от берега (высота места около 2 м над уровнем моря). Выбор места постановки определялся возможностью обеспечения сохранности аппаратуры. Высота мачты равнялась 4.8 м, таким образом, измеритель скорости ветра находился на высоте около 7 м над морской поверхностью. Дискретность измерений составляла 10 мин, что было необходимо для моделирования

ветрового волнения, а затем усреднялись с периодом 1 ч. Станция была демонтирована 17 ноября, длина полученных рядов составила 1635 часовых отсчетов.

Для изучения гидродинамических условий 16 сентября в районе строительства терминала были установлены две автономные донные станции на глубинах около 8 м (АРВ № 92) и 21 м (АРВ № 100). На регистраторах волнения и уровня измерения осуществлялись с дискретностью 1 с, длина полученных рядов составила 5 313 000 отсчетов на ближней и 5 260 000 — на дальней станции. Детальное изучение характеристик ветрового волнения не входила в задачи данной работы, основное внимание уделено такому специфическому вопросу, как формирование инфрагравитационных длинных волн (ИГ-волн), которые могут оказывать существенное влияние на транспорт прибрежно-морских наносов.

На более мористой станции были получены ряды данных векторов скорости морских течений в придонном слое, а также колебаний уровня моря. Измерения проводились с дискретностью 15 мин, длина полученных рядов составила 5836 четвертьчасовых отсчетов.

Метеорологические условия. Метеорологические условия в Приморском крае в сентябре-ноябре характеризуются переходом от летнего муссона к осенне-зимнему. Первый определяется крупномасштабной областью низкого давления над юго-восточной Азией и высокого над северо-восточной частью Тихого океана, которые создают над Дальним Востоком России ветра южного (Ю) и юго-восточного (ЮВ) румбов. Второй обусловлен взаимодействием Сибирского антициклона и Алеутской депрессии, в холодный период года оно формирует устойчивые ветра северного и северо-западного румбов. По данным наблюдений на ГМС Владивосток, повторяемость ветров южного сектора уменьшается от 42 % в сентябре до 25 % в ноябре, а северного — увеличивается от 43 до 66 % [6].

За период наблюдений среднее значение давления составило 1013.8 мбар, максимальная величина дважды (10 октября и 7 ноября) превысила 1025 мбар, а также несколько раз были отмечены резкие понижения давления, связанные с прохождением циклонов, которые участились во второй половине октября—ноябре. Наиболее существенное понижение давления (991.2 мбар) отмечено 12 ноября. Значения ниже 1005 мбар были зафиксированы еще трижды — 3 (1001.2) и 26 октября (1003.9), а также 2 ноября (997.2 мбар).

Резкие усиления скорости ветра были зафиксированы преимущественно в отмеченные выше моменты понижения атмосферного давления, причем ветровой поток был каждый раз направлен на юго-восток. Исключение составляет ситуация 29—30 сентября, когда изучаемый район находился под влиянием проходившего над материковой частью тайфуна. Во-первых, в вариациях давления влияние тайфуна практически не проявилось, во-вторых, ветровой поток был направлен сначала на северо-запад, а потом сменил направление на юг. Южная составляющая скорости ветра достигала при этом наибольших значений (средняя за 10-минутный интервал составила 15 м/с). При прохождении осенних циклонов были отмечены сильные ветра СЗ румбов.

В сентябре доля ветров южных ветров составляла более 41 %, северных — 26 %, что характерно для начального периода перестройки от летнего к зимнему муссону. В октябре перестройка воздушных потоков продолжалась, но несколько медленнее, чем обычно — преобладали ветра ЮВ (22 %), СЗ (17 %) и С (15 %) румбов, заметна была доля ветров В румба (10 %) и, что особенно удивительно, штилей (24 %). В ноябре преобладание ветров северного сектора стало более существенным (45 %) при такой же высокой доле штилей.

Температура воздуха в изучаемом районе равномерно снижалась со средней скоростью около четверти градуса за сутки. Более выраженные понижения были отмечены после прохождения тайфуна в конце сентября (первый заморозок отмечен 1 октября) и глубокого циклона в конце октября, в ноябре скорость снижения температуры возросла. В последней декаде октября ночные значения температуры воздуха нередко были ниже 0 °С, после 7 ноября это стало наблюдаться постоянно, а начиная с 13 ноября, среднесуточная температура воздуха перешла нулевую отметку. Для данного района характерны значительные суточные перепады температуры, максимальные изменения за сутки достигали 18 °С.

В районе строительства в период проведения измерений практически не было осадков. Так, за более чем два месяца сумма осадков составила около 5 мм, что примерно в 40 раз меньше среднего многолетнего значения для октября [6]. В целом, погодные условия, за исключением отрезка, начавшегося в последней неделе октября, можно характеризовать как сравнительно спокойные, о чем свидетельствует и высокая доля штилей.

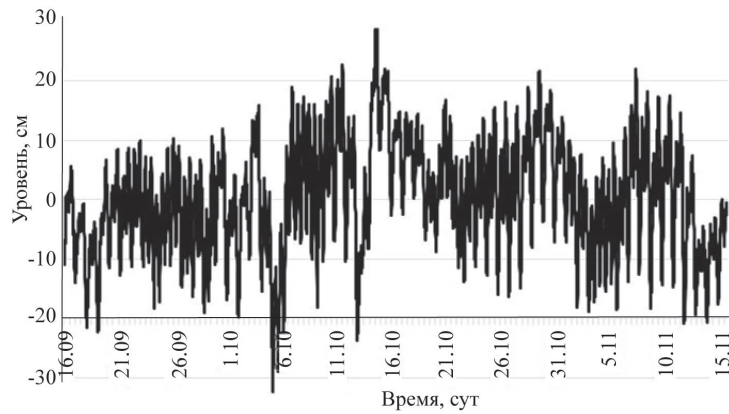


Рис. 2. График вариаций суммарного уровня моря. Район порта Вера.

Fig. 2. A plot of total sea level variations. The area of «Vera» seaport.

Колебания уровня моря. На рис. 2 представлен график измеренных вариаций суммарного уровня моря, из исходных значений было вычтено среднее значение. Расчет приливной составляющей и гармонических постоянных прилива основных приливных волн осуществлялся методом наименьших квадратов. Рассчитывались амплитуды и фазы 6 главных приливных волн — 3 суточного ($Q1$, $O1$, $K1$) и трех полусуточного диапазона ($N2$, $M2$, $S2$). Параметры еще двух важных гармоник ($P1$ и $K2$) рассчитывались при помощи поправок Зетлера, так как длина имеющегося ряда не позволяла определить их непосредственно. Результаты расчетов хорошо согласуются со значениями, приведенными в [7], для расположенных поблизости станций наблюдения (Большой Камень, Находка). Характер прилива на изучаемой площади — смешанный, с незначительным преобладанием суточных волн, отношение суммы амплитуд главных суточных и полусуточных волн [8] составляет:

$$R = (HO1 + HK1)/(HM2 + HS2) = 1.1.$$

В целом, приливы не играют определяющей роли в вариациях уровня моря в районе строительства терминала, на их долю приходится около 40 % дисперсии (энергии) колебаний. В вариациях приливной компоненты наблюдались полумесечные неравенства, типичные для районов с преобладанием суточных приливов (тропические и экваториальные приливы). Максимальное значение приливного уровня за период наблюдений (отсчитанное от нулевого среднего уровня) составило +13 см, наинизший уровень был равен -16.7 см.

Непериодические вариации, полученные путем вычитания из исходных значений предвычисленного прилива, имели более существенную величину, их средняя амплитуда составляла около 20 см, наибольшее значение непериодической составляющей — 22 см, наименьшее — 24.5 см.

Были рассчитаны распределения суммарного, приливного и непериодического изменения уровня по градациям высот. Распределение суммарного уровня имеет выраженную одномодальную структуру, сходную с нормальным распределением. Наиболее высокие значения повторяемости приходятся на диапазон высот от -10 до +10 см (немногим менее 70 %), на долю градаций -20 — -10 и +10 — +20 около 13 и 15 % соответственно, вклад остальных градаций мал.

Распределение приливных вариаций уровня также имеет выраженную одномодальную структуру и отличается существенной асимметрией между положительными и отрицательными значениями. Выделяется основной максимум повторяемости на интервале 0—10 см (52 %), в то время как интервалу -10—0 см отвечает существенно меньшее значение (33.2 %).

Распределение непериодической составляющей имеет практически такой же характер, что и суммарного уровня, и почти симметрично относительно нулевого среднего значения. Непериодические флуктуации имели в рассматриваемый период сравнительно небольшую величину, доля градаций от -10 до +10 см составляет около 87 %. Усиление непериодических (сгонно-нагонных) колебаний уровня моря отмечено дважды, в начале и в середине октября (рис. 2).

В целом, распределения приливных и непериодических колебаний уровня моря хорошо согласуются с результатами анализа данных наблюдений на расположенных на сравнительно небольшом удалении станциях Владивосток и Находка [9].

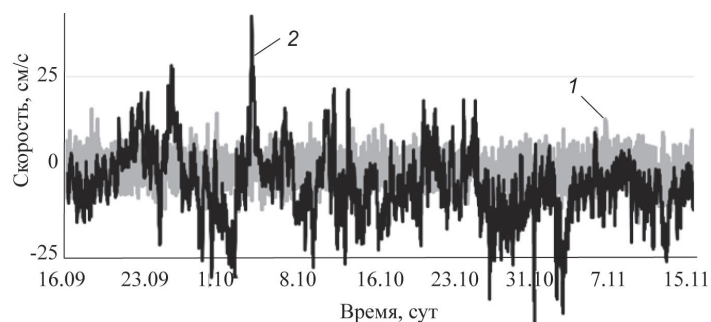


Рис. 3. Графики вариаций проекций на параллель (1 — E, см/с) и на меридиан (2 — N, см/с) векторов измеренных течений. Район порта Вера, осень 2014 г.

Fig. 3. Graphs of the measured currents vector projections in parallel (1 — E, cm/s) and in meridian (2 — N, cm/s). The area of «Vera» seaport, fall 2014.

Скорость и направление течения. Остановимся более подробно на таком важном для работы порта вопросе, как скорость и направление течений. На рис. 3 представлены проекции измеренных векторов скоростей морских течений на параллель и на меридиан, измеренных в придонном слое (прибор был установлен в специальной раме на дне на высоте около 1 м). Как видно из рисунка, главную роль играли вдольбереговые, меридионально ориентированные течения, вклад зональной составляющей незначителен. В проекции на меридиан явно доминируют непериодические вариации течений, обусловленные воздействием ветра и общей циркуляцией вод в Уссурийском заливе, роль приливной составляющей незначительна (ее доля в дисперсии данной компоненты составляла около 5 %).

Процедура расчета гармонических постоянных прилива производилась для каждой проекции отдельно по методике, приведенной выше для колебаний уровня моря. Эллипсы основных суточных сжаты и вытянуты вдоль оси север-юг, амплитуда волны $O1$ (около 2 см/с) примерно вдвое больше, чем $K1$. Полусуточные течения реверсивны, амплитуда $M2$ также около 2 см/с и примерно вдвое больше, чем $S2$).

Характер приливных течений — смешанный, с некоторым преобладанием суточных, отношение сумм амплитуд главных суточных и полусуточных волн (суммировались обе проекции) $R = 1.2$. Это соотношение говорит о том, что суточные и полусуточные течения оказывают примерно одинаковое влияние на формирование приливных течений, суточные волны играют при этом несколько более важную роль. Амплитуды скорости приливных течений в проекции на параллель очень малы (для проекции на меридиан также невелики, но существенно больше).

Экстремальные значения скорости приливных течений определялись путем предвычисления на 100-летний период для каждой проекции так же, как и для уровня моря. Для проекции на меридиан эти значения составляют 7.4 и -7.1 см/с, для проекции на параллель +1 и 1.5 см/с.

Приливные течения практически не сказываются на структуре распределения суммарных течений по градам скорости и 8 румбам (розы течений, см. табл.). Наибольшую повторяемость имеют течения Ю (46.8 %) и ЮЗ (13.7 %) румбов, доля северного направления сравнительно невелика (12.7 %).

Повторяемость (%) суммарных течений по градам скорости и 8 румбам в районе порта «Вера»

Скорость (см/с)	Направление течения							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
10	6.58	4.51	4.58	7.97	21.5	9.66	3.74	3.34
20	4.99	0.75	0.27	0.98	20.19	3.75	0.14	0.46
30	0.99	0	0	0.02	4.59	0.26	0	0
40	0.1	0	0	0	0.51	0.05	0	0
50	0.02	0	0	0	0.03	0	0	0
Всего, %	12.68	5.26	4.85	8.96	46.83	13.73	3.87	3.8
Макс. скорость	41.8	19.3	16.1	21.3	44.1	39.6	12.2	18
Сред. скорость	10.4	5.9	4.7	6	11.6	8.1	4.4	5.3

Именно на С и Ю направлениях отмечены максимальные значения скорости, достигавшие 42—44 см/с, средние значения составляли 10—11 см/с.

Такой характер суммарных (и непериодических) течений отражает переменное воздействие ветра на морскую поверхность, а также общий сток вод из Уссурийского залива вдоль его восточного берега в южном направлении, что характерно для данного бассейна в течение всего года, но особенно для осеннего сезона [1, 3]. Отметим, что общая доля течений Ю и ЮЗ румбов возрастала в течение периода наблюдений — 42.4 % в сентябре, 62.8 % в октябре и 74.9 % в ноябре. В работе [1] отмечен не только устойчивый поток на юг на станции POD-7 в районе пос. Подъяпольский, но также более высокие скорости на станции, расположенной севернее, в районе м. Лифляндский. Данные условия способствуют интенсификации транспорта донных отложений из северной части Уссурийского залива вдоль его восточного берега.

Ветровое волнение. Относительно режима волнения на акватории Уссурийского залива известны только расчетные данные, приведенные в нескольких изданиях, например, в [10]. Волнение на акватории залива Петра Великого характеризуется выраженной сезонной изменчивостью, более интенсивно оно в холодный период года (октябрь—март), наибольшие волны с высотой до 8 м возможны в восточной его части при ветрах южного и юго-западного румбов. Полученные инструментальные данные позволяют конкретизировать эти общие сведения для изучаемого участка побережья.

Данные придонного гидростатического давления были пересчитаны к высотам волн на поверхности моря по методике [11] с использованием программы, любезно предоставленной И. М. Кабатченко (ГОИН им. Н.Н. Зубова). Статистические характеристики волнения рассчитывались по последовательным 15-минутным интервалам. По каждому интервалу определялись значимая высота волнения (высоты обеспеченностью 13 %), средний период и средняя длина волны, спектр волнения, период спектрального максимума и соответствующая ему длина волны. На основе рассчитанных значений спектральной плотности, строилась диаграмма текущего спектра, в которой по одной оси откладывалась частота, а по другой — время.

На рис. 4 представлены графики значимой высоты волны по данным наблюдений на более глубоководной и прибрежной станциях. За период наблюдений отмечено 9 штормовых ситуаций, к которым мы относили такие, когда значимая высота волны превышала 1.5 м. Два шторма, имевших место 15—16 октября и 12—13 ноября, были наиболее сильными, указанная высота на удаленной станции превышала 2 м. Практически во всех случаях на расположенном ближе к берегу датчике высоты значимых волн были ниже, в среднем отношение равнялось 1.28 при учете случаев, когда высота волны была не менее 0.5 м.

Средний период волнения колебался в пределах от 3.2 до 5.2 с, что указывает на сравнительно малую роль волн зыби. Однако при наиболее сильных штормах, когда были зафиксированы ветра Ю-ЮЗ румбов, с акватории Японского моря подходили волны зыби, и период спектрального максимума возрастал до 6—7 с, а в некоторых случаях до 8 с. Но и в этих случаях более короткопериодное ветровое волнение играло существенную роль.

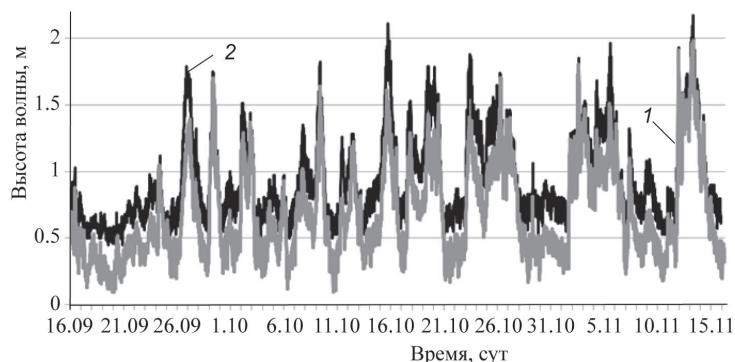


Рис. 4. Графики вариаций значимой высоты ветровых волн по измерениям на прибрежной (1 — 8 м) и удаленной (2 — 21 м) станциях. Район порта Вера, осень 2014 г.

Fig. 4. Graphs of significant wave heights according to the measurements at the coastal (1 — 8 m) and remote (2 — 21 m) stations. The area of «Vera» seaport, fall 2014.

Средние значения длины волны по 15-минутным интервалам на обеих станциях различались незначительно и колебались в пределах 17—22 м, но при штормах возрастали до 25—35 м, в нескольких случаях длины волн достигали 38—43 м.

Анализ диаграмм текущего спектра показал, что при сильных штормах, помимо резкого возрастания энергии в диапазоне периодов 3—9 с, заметное увеличение энергии наблюдалось также в диапазоне периодов ИГ-волн (30—200 с).

Прибойные биения. В указанном диапазоне периодов заметные повышения энергии колебаний происходят сравнительно редко, при наиболее сильных штормах, имевших место в течение периода наблюдений. Такие повышения отмечены в конце сентября, в первой и последней декадах октября и, наиболее выраженные, в начале и в середине ноября. Для более детального исследования были отобраны отрезки длиной 4 ч в начале суток 29 сентября, 20 октября, 5 и 13 ноября. Возможно, эти отрезки не точно соответствовали максимуму развития ИГ-волн, но в любом случае в достаточной степени отражали особенности формирования длинных волн во время штормовых ситуаций.

Расчет спектральных и взаимоспектральных характеристик выполнялся по отрезку длительностью полчаса, с половинными сдвигами, таким образом, число степеней свободы составило 30, что указывает на достаточно высокую статистическую обеспеченность полученных результатов.

Рассмотрим подробно две из указанных выше штормовых ситуаций, 20 октября и 5 ноября. На рис. 5 представлены графики спектральной плотности и сдвига фаз между датчиками № 100 и № 92, рассчитанные по данным отрезкам.

При ситуации 20 октября спектральные характеристики в диапазоне ветрового волнения несколько отличались на прибрежной и удаленной станциях. Максимум в спектре волнения, весьма острый пик на периоде 6.9 с, был несколько выше на удаленной станции, на которой также отмечен более слабый пик на периоде около 3.6 с, отсутствовавший на прибрежном датчике. На периодах 10—20 с отмечен минимум волной энергии, а на периодах 30—90 с ее заметное повышение. Здесь выделяются два максимума, на периодах около 82 и 64 с, причем на прибрежной станции уровень энергии был существенно выше, чем на удаленной. Когерентность на этих периодах высокая, более 0.8 (резкое снижение отмечено на периоде около 50 с), сдвиг фаз на втором из пиков равен 2π , что, как и нулевой сдвиг (при расположении приборов на линии, перпендикулярной берегу), отвечает распространяющимся вдоль берега краевым

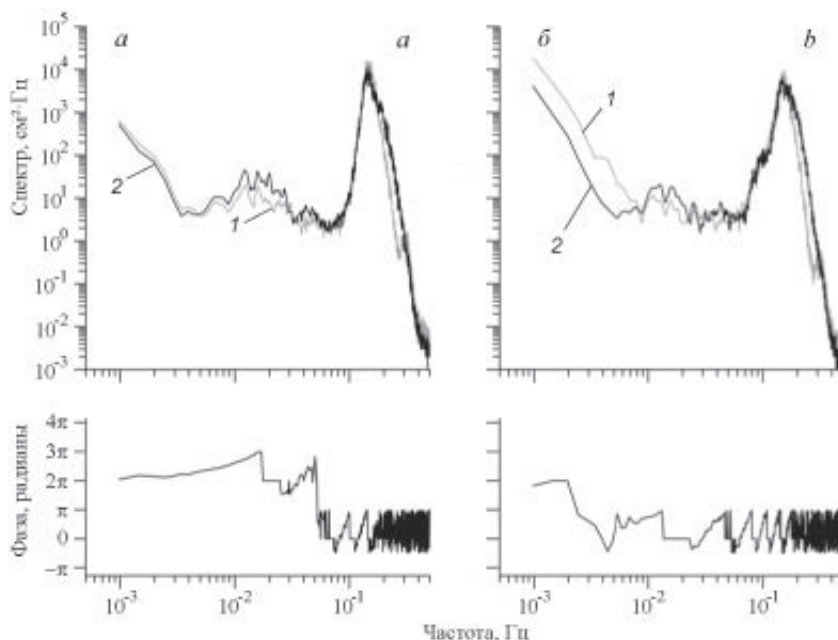


Рис. 5. Спектры волнения на глубоководной (1 – № 100) и прибрежной станциях (2 – № 92), а также фазовый сдвиг между ними, рассчитанные по 4-часовым отрезкам записи за 20 октября (а) и 5 ноября (б) 2014 г.

Fig. 5. Wind waves spectra at the deep (1 — № 100) and coastal stations (2 — № 92), and a phase shift between them, calculated using 4-hour intervals of records for October 20 (a) and November 5 (b) 2014.

захваченным волнам [12, 13]. Такой сдвиг охватывает широкий интервал периодов, от 67 до 44 с, то есть волновой захват характерен для весьма широкого диапазона ИГ-волн. Более низкочастотный пик отвечает растущей фазе, то есть волнам, распространяющимся в сторону берега. Это относится и к сравнительно слабому пику с периодом около 150 с, с данным видом ИГ-волн ассоциируется явление «волнового нагона» — повышение уровня моря за счет влияния волнения.

Спектральные характеристики записей волнения при штормовой ситуации 5 ноября мало отличались от рассмотренных выше. Максимум в спектре ветрового волнения на обеих станциях приходился на период около 5.5 с, повышение энергии в диапазоне ИГ-волн и наличие максимумов на периодах около 80 и 60 с было близко к ситуации 20 октября. Когерентность в изучаемом диапазоне периодов был также высока, нулевой сдвиг фаз наблюдался в более широком диапазоне периодов, чем в рассмотренном выше случае, он охватывал интервал 73—43 с. На периодах более 100 с на прибрежной станции пик выражен слабо, а на удаленной практически не выделяется. Сходная ситуация наблюдалась и 13 ноября, в то время как 29 сентября интенсивность волнения была существенно ниже, в диапазоне ИГ-волн был отмечен низкий уровень энергии, в фазовом спектре нулевой сдвиг отмечен только на периодах 15—20 с.

Выполненный анализ показал, что ИГ-волны (прибойные биения) играют важную роль в формировании волнового поля в районе строительства угольного терминала. Причем присутствуют как краевые захваченные волны (периоды 45—65 с и 15—20 с), так и распространяющиеся в сторону берега (более 80 с), аналогичное разделение было выявлено и у юго-восточного берега о.Сахалин [13]. Возрастание энергии в диапазоне ИГ волн (диапазон периодов 30—200 с) наблюдается только при штормовых ситуациях. Это возрастание в большей степени выражено на прибрежной станции, чем на удаленной. С захваченными краевыми волнами обычно связано формирование квазиритмических форм берегового рельефа — фестонов, однако из-за преобладания скального грунта вряд ли этот эффект имеет существенное значение в изучаемом районе. Наиболее важен, с точки зрения работы порта, учет возможности формирования связанных с краевыми волнами разрывных течений. С распространяющимися в сторону берега ИГ-волнами связаны собственно прибойные биения — колебания у берега с периодом около 80 и 150 с.

Геоморфологическое обследование. Участок обследованного берега можно разделить на три примерно равные по протяженности части: северная и южная мысовые части, выступающие в море и подверженные абразии, и средняя — вогнутость с признаками относительно стабильного берега, с отмершим клифом и причлененной террасой. Относительность стабильности проявляется в прислоненном достаточно крутом крупногалечном пляже, примыкающем к береговому уступу низкой террасы, который также имеет следы незначительного (вероятно эпизодического) размыва — обнаженный торф и почвенный покров в прибровочной части берегового откоса, местами галька с пляжа заброшена волновым прибойным потоком на поверхность низкой террасы.

Южный участок, приуроченный к м. Открытый, сложен серыми (зеленовато-серыми) прочными кварцево-полевошпатовыми песчаниками на кварцитовом цементе с хорошо выраженной слоистой текстурой. Нижняя треть клифа в настоящее время подвержена абразии, выше — развиты субаэральные рельефоформирующие процессы: струйчатая эрозия, обвалы, осыпи, вероятны оползни и селевые процессы (микросели). Таким образом, можно сделать вывод, что тип берега на данном участке абразионно-денудационный. Аналогичная структура выявлена и на северном участке обследованного побережья. На южном участке выявлены оползневые процессы, на северном они не обнаружены.

Повсеместная обнаженность подошвы клифа и его крутой уклон указывают на деструктивное влияние волнения. Однако скорость абразионного отступления берега в настоящее время низкая, признаками этого являются: 1) малочисленность свежих вывалов грунта в нижней части клифа в результате волновой подрезки подошвы склона; 2) повсеместное развитие следов растворения поверхности коренных горных пород морской водой (неглубокие каверны, микровыемки). Помимо высокой прочности песчаников, невысокую интенсивность абразии обуславливает наличие мелководного бенча, ширина которого до глубины 1 м достигает 30—50 м, что приводит к разрушению всех ординарных волн и значительной части штормовых еще до наката на берег.

На центральном отрезке берега к морю выходят две неширокие трапецевидные ингрессионные долины, разделенные невысоким отрогом, днище которых выполнено рыхлыми отложениями и перекрыто

толщами торфа. Так как первичные неровности береговой линии в настоящий момент сглажены аккумулятивным процессом (заполнение ингрессионных долин) и абразионным (сглаживание бывшего мыса на месте отрога), то такой участок берега идентифицируется как абразионно-аккумулятивно выровненный.

В настоящее время интенсивного проявления размыва и абразии на данном (среднем) участке берега не отмечено — клиф отмерший, а береговой уступ низкой террасы почти везде полностью перекрыт пляжевым материалом. Незначительные признаки размыва наблюдаются в южной части вогнутости (берег южной долины) — размывается обводненная торфяная залежь, что фиксируется по примеси торфа в составе пляжевого материала. Стоит отметить, что часть берегового уступа на момент обследования имела техногенную нарушенность — уступ осложнен следами большегрузной техники (именно здесь планируется соединение терминала с берегом), поэтому оценить величину отступления за счет размыва затруднительно.

Резюмируя информацию, полученную при обследовании берега, можно сказать, что берега данного участка еще не достигли стадии равновесия, что проявляется в их подверженности абразии. Наиболее неблагоприятная ситуация проявляется в северной и южной мысовых (выпуклых) частях, где берег практически не защищён пляжем. Прочные породы и наличие мелководного бенча обуславливают низкую скорость абразии, вероятнее всего, не превышающую 0.1 м/год в многолетнем разрезе. Центральная часть берега характеризуется относительно стабильным положением берегового уступа, выработанном в низкой террасе, причлененной к отмершему клифу, и хорошо выраженным пляжем, однако при частой повторяемости штормов велика вероятность активизации размыва низкой террасы.

Кроме абразии, опасность вызывают склоновые и лотковые селевые потоки, блоковые оползни и обвально-осыпные процессы, развитые на мысовых участках (преимущественно на южном).

В целом, несмотря на подверженность абразии, литологические особенности пород на заданном участке не способствуют формированию и поступлению на подводный береговой склон мелкофракционного осадочного материала.

Изменения гранулометрического состава донных отложений. Сравнительный анализ проб поверхностных донных отложений по двум сямкам с интервалом в 2 месяца дал следующие результаты относительно динамики наносов изучаемом районе:

1. На створе IV (южная граница участка) на глубине 10 м (проба 17) выделяются две группы наносов: гравийно-галечные и средне-мелкопесчаные. За период между отбором проб произошло увеличение доли гальки почти на 6 %, среднего и мелкого песка (суммарно — на 20 %), и уменьшение гравийного материала. Количество крупнопесчаной фракции уменьшилось, однако оно было и при первоначальном отборе совсем небольшим, поэтому существенных изменений в распределение этих наносов не проявилось. Большая доля гравийно-галечного материала указывает на обстановку размыва [15].

На 15-метровой глубине (проба 16) значительное увеличение доли средне- и мелкопесчаных фракций и существенное сокращение гравийных и крупно-песчаных указывает на активизацию аккумулятивного процесса в прошедший период, при сохранении транзита наносов.

На 20-метровой отметке (проба 15) характер распределения наносов принципиально не изменился: хорошо выраженная одномодальная структура осадка с асимметричным преобладанием мелкозернистых песков и наличием алевроито-пелитового «хвоста» указывает на преимущественное аккумулятивное состояние данного участка дна [14, 15].

На крайней точке пробоотбора (25 м) хорошо прослеживается обстановка накопления мелкопесчаных фракций и уменьшения среднего песка — проба 14. Распределение сохранило одномодальную структуру отражающую преобладание средне- и мелкопесчаных фракций со значимой долей алевроита. Но отмечено перераспределение частот песчаных фракций: увеличилась доля мелкозернистых песков и уменьшилась — среднезернистых. Достаточно большой осталась доля пелита — 13 %. Изменения отразились и на медианном размере отложений: он уменьшился с 0.16 до 0.13 мм. Указанные признаки отражают аккумулятивную обстановку на данном участке дна.

2. На створе I (траверз м. Открытый) ближнюю к берегу пробу (глубина 10 м) отобрать не удалось из-за отсутствия рыхлых отложений. Данный факт можно интерпретировать как обстановку размыва, обусловленную активным гидродинамическим режимом, либо пятнистостью распределения обломочного материала на дне.

На горизонте 15 м отмечено появление гальки (проба 3), чего не было в начале осени, это может указывать либо на её снос с более высокой части подводного уступа, либо размыв и вынос мелких фракций с обнажением крупнообломочного материала. Если анализировать изменение только гравийно-песчаных фракций (без учета) гальки, то имеет место увеличение доли песчаных фракции в диапазоне 0.16—2.0 мм и уменьшение тонкозернистой фракции песка (0.16—0.1 мм) и пелита (менее 0.05 мм). Такие факты являются признаками размыва [15]: вынос мелких фракций и за счёт уменьшения их доли, относительно возросла доля более крупных.

Глубже (20 м) распределение фракций резко изменилось с двухмодального на одномодальное — в сторону увеличения мелкозернистых наносов и пелита. Практически не встречаются при повторном отборе гравийные отложения, и исчезла галька (рис. 6, *а*). Пески и пелит, напротив, увеличили свою долю. Медианный размер сильно уменьшился с 0.315 до 0.145 мм, что отражает переход от явно транзитной обстановки к накоплению наносов.

На глубине 25 м сохранилась одномодальная структура распределения отложений (проба 5), с асимметрией в сторону мелкопесчаных фракций и пелита. Кроме того, прослеживается увеличение мелкого песка (рис. 6, *б*). Медианный размер не изменился: и в сентябре и в ноябре он был равен 0.13 мм.

3. Профиль II в ноябре характеризовался сохранением и преобладанием крупных фракций на глубине 10 м (проба 6): доля гальки хоть и сократилась до 79 %, но была преобладающей. Появилась незначительная примесь гравия (суммарно 16 %) и песка (4.2 %). Отложения отражают обстановку размыва.

На отметке 15 м наметилась тенденция к переходу распределения из одномодальной формы в двухмодальную (проба 7): характерно значительное уменьшение мелкопесчаных фракций, алеврита и пелита (суммарно на 21 %). При этом средне- и крупнопесчаные фракции, а также гравийно-галечные отложения увеличили свою долю. Такие изменения указывают на активизацию размыва и транзита наносов.

На глубине 20 м ситуация имеет обратный характер: отмечено увеличение доли тонкопесчаных фракций и алеврита (суммарно на 20 %), а также пелита, и уменьшение доли более крупных фракций песка и гравия. Медианный размер наносов незначительно уменьшился с 0.16 до 0.15 мм, но отражает преобладание мелкого песка, что, при наличии алевро-пелитов, характерно для участков потоковой аккумуляции.

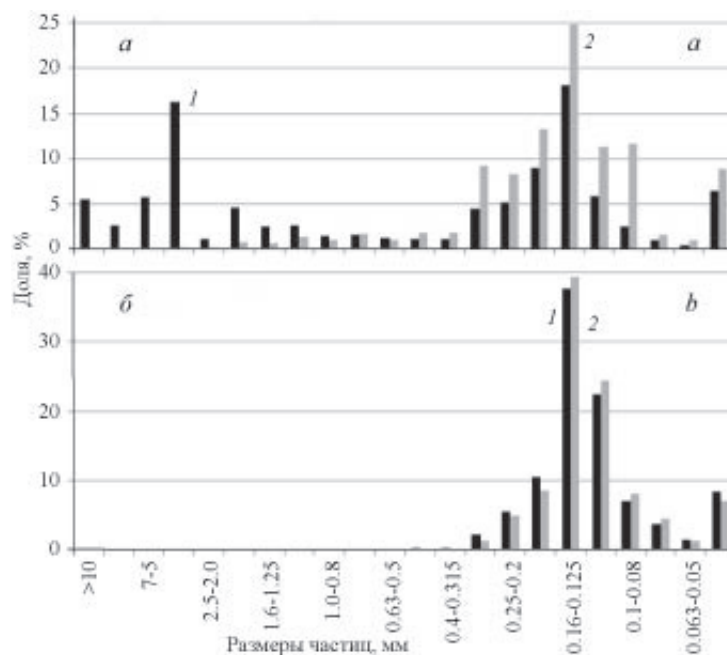


Рис. 6. Гистограммы распределения донных наносов по размерным фракциям (%) в пробах 4 (*а*) и 5, трек I (*б*) по данным отбора, выполненного в сентябре (1) и ноябре (2) 2014 г.

Fig. 6. A histogram of the distribution of bottom sediments by size fractions (%) in samples 4 (*a*) and 5, track I (*b*) according to the sampling carried out in September (1) and November (2) 2014.

На отметке дна 25 м изменения содержания фракций небольшие (проба 9): увеличилось содержание среднего песка, а мелкий и тонкий песок незначительно уменьшились, но характер распределения сохранился. Гравийные фракции и крупный песок не отмечены. Указанные признаки характерны для обстановок потоковой аккумуляции.

Для профиля в целом отмечается сохранение характера распределения наносов и сохранение обстановки размыва в верхней части профиля и стабильной или аккумулятивной обстановки в нижней части профиля.

4. Распределение донных наносов в вогнутости берега следующее: на отметках 8, 20 и 25 м изменения проявились очень слабо: редко когда фракции уменьшались или увеличивались более чем на 2—3 %. Более существенные трансформации частот фракций отмечены для глубины 15 м (проба 11): уменьшились доли практически всех гравийных фракций, гальки и крупного песка (в среднем, сократились в 2 раза), и увеличились средне- и мелкопесчаных фракций. Медианный размер сократился с 0.25 до 0.18 мм. Таким образом, обстановка осадконакопления на подводном береговом склоне вогнутости берега существенных изменений не претерпела и сохранила признаки потоковой аккумуляции.

В целом, для подводного берегового склона рассматриваемого участка, на створах IV, I и II в верхней зоне характерна обстановка размыва до глубины 15—16 м, до глубины 20 м прослеживается обстановка транзита и временной потоковой аккумуляции, а для глубины 25 м характерна аккумулятивная обстановка, которая, однако, может сменяться режимом транзита наносов. На северном профиле, приуроченном к вогнутости берега, зона аккумуляции наносов более приближена к берегу — до глубины 7—8 м (возможно ближе); в этой части участка аккумулятивная обстановка преобладает.

Особенности строения и динамики донного рельефа по результатам батиметрических съемок. Промерные работы выполнялись по четырем перпендикулярным линии берега трекам (рис. 1). Использовался цифровой эхолот Lowrance 525C-DF, антенна которого закреплялась жестко на дне маломерного судна. Первая съемка выполнялась 14 сентября и частично 19 сентября, повторная 16 ноября. Данные промера фильтровались для подавления влияния волнения, и вводилась поправка на вариации уровня моря.

Характерной особенностью донного рельефа в районе строительства является ступенчатый поперечный профиль из-за выраженного свала глубин (подводный уступ между изобатами 8—9 и 15—17 м). Данный уступ хорошо прослеживается непосредственно в районе м. Открытый (профиль I), и севернее (профили II и III); южнее распределение глубин по профилю имеет более плавную форму и бровка уступа в рельефе четко не выражена — профиль имеет плавно выпуклую форму, осложненную в верхней части небольшой продольной грядой.

Выше бровки подводного уступа поверхность дна представлена бенчем, выработанным в коренных горных породах. Поверхность бенча осложнена неглубокими микроложбинами. Общий уклон бенча на профиле I (м. Открытый) составляет 0.08 м/м, на профиле II — 0.05 м/м, на профиле III — 0.041 м/м. Южнее мыса, уклон бенча до глубины 10 м — около 0.06 м/м. Такие уклоны относятся к крутым. Интересно отметить, что подводный береговой склон ниже подводного уступа имеет также достаточно большие уклоны, соответственно для перечисленных выше: 0.04; 0.05; 0.066 и 0.074 м/м. А на самом южном даже больше, чем в верхней части. Закрепление наносов в нижней трети профиля обуславливается большими глубинами, на которых резко снижено влияние волнения, но наличие большого уклона здесь указывает на возможный вынос наносов далее — на более глубокие горизонты.

Для характеристики изменений донного рельефа построены профили глубины по результатам двух съемок, на рис. 7 в качестве примера представлены профили вдоль треков II и III в северной части изучаемой акватории. На всех треках отмечены определенные изменения донного рельефа. Характерно, что верхняя часть профилей практически не имеет изменений, в связи с тем, что дно сложено выходами прочных коренных пород с очень малой долей наносов, которые не образуют сколько-нибудь существенных покровов. Наиболее заметные деформации профилей приурочены к нижней трети глубин (глубже 15—17 м) и наиболее ярко они выражены на треке I, который заложен на траверзе м. Открытый. Сразу ниже подошвы подводного уступа заметно уменьшение глубины дна на величину около 0.3—0.4 м, которое мористее несколько нарастает, и на внешнем крае промерного профиля увеличивавшееся даже до 1.5 м. Максимальное наращивание поверхности дна приурочено к району заполнения наносами ранее сформировавшейся ложбины.

На северных промерных профилях II и III различия менее выразительны, но, в целом, заметна более гладкая форма кривой профиля глубины (рис. 7), что можно интерпретировать как общее сглаживание дна. Принимая во внимание результаты повторного отбора донных проб, можно предположить, что выравнивание произошло за счет активизации аккумуляции, отразившейся в заполнении наносами локальных ложбин донного рельефа.

Наиболее вероятной причиной активизации аккумуляции наносов на изучаемом участке является наблюдавшаяся в период измерений интенсификация прибрежного потока южного направления, который может транспортировать наносы мелких фракций из северной части Уссурийского залива.

В результате проведенных гидрометеорологических и геоморфологических исследований на участке строительства угольного терминала «Порт «Вера» на юго-восточном побережье Уссурийского залива, были получены следующие сведения относительно характера динамических процессов в прибрежной зоне и их влиянию на состояние берега и транспорт морских наносов, а также наблюдавшихся погодных условий:

1. За период наблюдений на погодные условия, которые в целом можно характеризовать как сравнительно спокойные (большое число штилей, малое количество осадков) в районе проведения экспериментальных исследований оказывала влияние серия циклонов. Максимальные скорости ветра 10-минутного осреднения С-СЗ румбов достигали 15 м/с.

2. Непериодические вариации уровня имели сравнительно небольшую величину (в пределах полуметра), но преобладали над приливами, вклад которых в общую дисперсию (энергию) колебаний не превышал 40 %.

3. Приливные течения ориентированы вдоль берега и не превышают 5 см/с по величине. Непериодические течения обусловлены воздействием ветра и общей антициклонической циркуляцией вод в заливе (доля течений Ю румбов 46.8 %), максимальные значения скорости достигали 40—45 см/с.

4. За период наблюдений отмечено 2 сильных и несколько умеренных штормов. В целом преобладало короткопериодное волнение, но при штормах главную роль играли волны зыби, приходящие с акватории Японского моря.

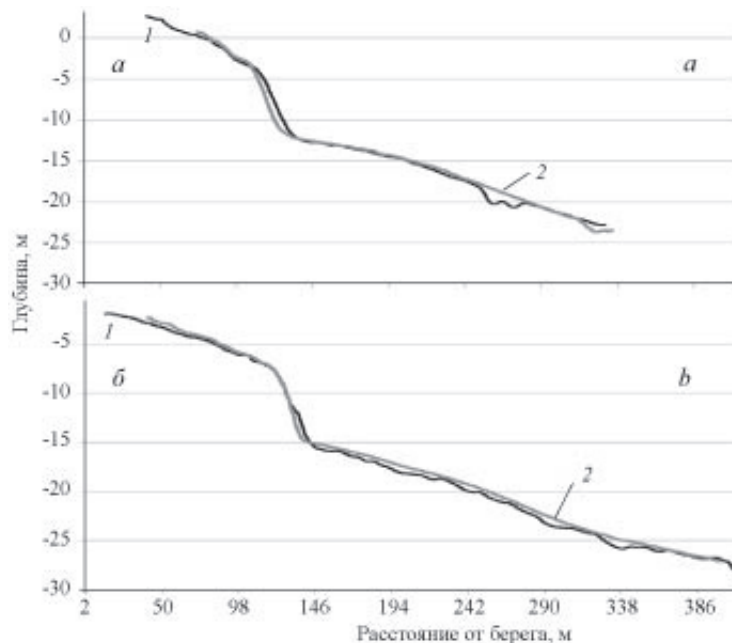


Рис. 7. Вариации глубины вдоль треков II (а) и III (б) (см. рис.1) по данным промера, выполненного в сентябре (1) и ноябре (2) 2014 г.

Fig. 7. Depth variation along the tracks II (a) and III (b) (see Fig.1) according to the measurements carried out in September (1) and November (2) 2014.

5. При штормовых ситуациях формируются инфрагравитационные волны, как распространяющиеся в сторону берега и формирующие волновой нагон, так и движущиеся вдоль берега захваченные краевые волны с периодами 45—65 и 15—20 с.

6. Береговой участок разделен на три части. На северном и южном участках, выступающих в море, отмечена абразия, скорость которой незначительна, из-за прочности пород и наличия протяженного мелководного бенча. Средний, вогнутый, участок защищен пляжем и относительно стабилен. Кроме абразии, опасность вызывают склоновые и лотковые селевые потоки, блоковые оползни и обвально-осыпные процессы, развитые на мысовых участках.

7. Изменения донного рельефа и гранулометрического состава указывают на интенсивную литодинамику в береговой зоне данного участка, проявляющуюся на глубинах более 15—17 м, где развиты рыхлые мелкообломочные прибрежно-морские наносы. В более мелководной зоне (до глубины 8—10 м) накопление наносов слабое, что указывает на их дефицит и обстановку размыва. Вероятно, такой характер литодинамических процессов в целом типичен для перехода от лета к осени, в период интенсификации вдольберегового потока на юг вдоль восточного берега Уссурийского залива, так как погодные условия в районе измерений не имели существенных отклонений от обычных.

8. Условия в районе м. Открытый по комплексу гидрометеорологических и геоморфологических факторов можно назвать вполне благоприятными для функционирования угольного терминала.

9. Полученные результаты о характере динамических процессов и их влиянии на состояние берегов и транспорт морских наносов в изучаемом районе могут быть использованы при дальнейшем его освоении, которое может последовать за строительством морского порта.

Авторы выражают благодарность генеральному директору ООО НПК «МорТрансНииПроект» Г. И. Литвиненко за согласие на публикацию материалов выполненных исследований.

Литература

1. *Рогачев К. А.* Антициклоническая циркуляция Уссурийского залива японского моря и ее воздействие на биоту // Известия ТИНРО. 2010. Т. 160. С. 236—244.
2. *Рогачев К. А., Шлык Н. В.* Прямые наблюдения эстуарной циркуляции вод в бухте Суходол и северной части Уссурийского залива (Японское море) // Известия ТИНРО. 2012. Т. 170. С. 210—219.
3. *Лучин В. А., Тихомирова Е. А., Круц А. А.* Океанографический режим вод залива Петра Великого // Известия ТИНРО. 2005. Т. 140. С. 118—129.
4. *Короткий А. М., Худяков Г. И.* Экзогенные геоморфологические системы морских побережий. М.: Наука, 1990. 216 с.
5. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2013. 38 с.
6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Выпуск 26. Приморский край. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 416 с.
7. Таблицы приливов. Воды азиатской части СССР и прилегающих зарубежных районов. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 192 с.
8. *Дуванин А. И.* Приливы в море. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 390 с.
9. *Rabinovich A. B., Shevchenko G. V., Sokolova S. E.* An estimation of extreme sea levels in the northern part of the Sea of Japan // La mer. 1992. V. 30, P. 179—190.
10. Лоция северо-западного берега Японского моря. М.: ГУНИО, 1984. 308 с.
11. *Кабатченко И. М., Косьян Р. Д., Красицкий В. П., Серых В. Я., Шехватов Б. В.* Опыт эксплуатации волнографа-мареографа ВМ-04 // Океанология. 2007. Т. 47, № 1. С. 150—155.
12. *Рабинович А. Б.* Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение. Л.: Гидрометеиздат, 1993. 325 с.
13. *Ковалев П. Д., Шевченко Г. В., Ковалев Д. П.* Исследование динамики прибойных биений у юго-восточного побережья о. Сахалин // Метеорология и гидрология. 2006. № 9. С. 76—87.
14. *Голоудин Р. И.* Динамика наносов как предмет изучения при картировании береговой зоны моря // Картирование шельфов. Л.: ГО СССР, 1974. С. 116—123.
15. *Рыбаков В. Ф.* Гранулометрическая структура донных осадков как показатель литодинамического режима // Тихий океан. Геология, геоморфология, магматизм. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. С. 107—109.