

Численное моделирование штормового нагона 15 ноября 2019 года на юге острова Сахалин

А. И. Зайцев^{1, *}, Е. Н. Пелиновский², Д. Доган³, Б. Ялченир³,
А. Ялченир³, А. А. Куркин⁴, А. А. Москвитин¹

¹ Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований,
Дальневосточное отделение РАН, Южно-Сахалинск, Россия

² Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

³ Технический университет Центральной Азии, Анкара, Турция

⁴ Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева,
Нижний Новгород, Россия
*E-mail: aizaytsev@mail.ru

Поступила в редакцию 15.03.2020 г., после доработки – 10.04.2020 г.

Цель. С помощью численного моделирования исследовать штормовой нагон, возникший 15 ноября 2019 г. в г. Корсаков на юге о. Сахалин, и сопоставить результаты моделирования с данными полевых измерений – цель настоящей работы.

Методы и результаты. Проведено полевое исследование штормового нагона в г. Корсаков, и собраны данные о размерах затопленной зоны. Штормовой период на Сахалине наблюдается почти ежегодно осенью и зимой. Сильный шторм, случившийся 15 ноября 2019 г. на юге Сахалинской области, привел к затоплению территории порта г. Корсаков. Численное моделирование штормового нагона проводилось в рамках нелинейных уравнений мелкой воды в сферических координатах с учетом вращения Земли, силы трения и атмосферного воздействия с помощью вычислительного комплекса НАМИ-ДАНС. Расчеты выполнены с использованием данных о временном и пространственном распределении скорости приземного ветра на высоте 10 м, взятых из базы данных системы анализа прогноза климата *Climate Forecast System Reanalysis*. Данные об атмосферном давлении в расчетах не использовались, поскольку градиент атмосферного давления на исследуемой акватории был мал. Моделирование проводилось на период времени трое суток. Как показали расчеты, через 20 ч после начала действия ветра уровень воды в акватории порта поднялся до своих максимальных значений и не спалал в течение суток. Максимальные подъемы уровня воды были сосредоточены в северо-западной части залива Анива. При этом рассчитанные скорости течений достигали 2 м/с. В период шторма при скорости ветра до 15 м/с высота штормового нагона в районе порта г. Корсаков составляла 1,7 м, ширина зоны затопления прибрежной территории достигала 200 м. Эти результаты хорошо подтверждаются данными полевых измерений.

Выводы. Представлены результаты численного моделирования штормового нагона 15 ноября 2019 г. на юге о. Сахалин в г. Корсаков. Вычислены значения силовых характеристик. Получено, что квадрат числа Фруда достигает 0,03 в портовой части г. Корсаков, пространственное распределение момента силы волн $\sim 1 \text{ м}^3/\text{с}^2$. Это является свидетельством значительного силового воздействия штормового нагона на портовые конструкции, что подтверждается результатами полевых измерений и сообщениями очевидцев.

Ключевые слова: штормовой нагон, о. Сахалин, численное моделирование, теория мелкой воды, натурные измерения.

Благодарности: работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 18-05-80019 (Программа «Опасные явления»), а также при финансовой поддержке грантов Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ РФ НШ-2485.2020.5 и научных исследований молодых российских ученых – докторов наук МД-148.2020.5.

Для цитирования: Численное моделирование штормового нагона 15 ноября 2019 года на юге острова Сахалин / А. И. Зайцев [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 4. С. 396–406. doi:10.22449/0233-7584-2020-4-396-406

© Зайцев А. И., Пелиновский Е. Н., Доган Д., Ялченир Б., Ялченир А., Куркин А. А., Москвитин А. А., 2020

Numerical Simulation of the Storm Surge at the Sakhalin Island Southern Part on November 15, 2019

A. I. Zaytsev^{1,*}, E. N. Pelinovsky², D. Dogan³, B. Yalciner³,
A. Yalciner³, A. A. Kurkin⁴, A. A. Moskvitin¹

¹ Special Research Bureau for Automation of Marine Researches, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

² Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia

³ Middle East Technical University, Ankara, Turkey

⁴ Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

*e-mail: aizaytsev@mail.ru

Purpose. Investigation of the storm surge in Korsakov in the southern part of the Sakhalin Island on November 15, 2019 and comparison of the results of its numerical simulation with the data of *in situ* measurements constitute the aim of the article.

Methods and Results. *In situ* measurements of the storm surge in Korsakov (the Sakhalin region) were performed and the data on the flooded area dimensions were collected. A storm period on the Sakhalin Island is almost the annual event in an autumn-winter season. The severe storm that happened in the southern Sakhalin region on November 15, 2019 led to flooding of the port territory in Korsakov. Due to the NAMI-DANCE computational complex, the storm surge was numerically simulated within the framework of the system of shallow water equations in the spherical coordinates on the rotating Earth with the regard for the friction force and the atmospheric effect. The calculations included the data on temporal and spatial distribution of the wind speed at the altitude 10 m taken from the *Climate Forecast System Reanalysis* database. The data on the atmospheric pressure were not applied in simulations since the atmosphere pressure gradient at the area under study was small. The simulation was carried out in the course of three days. The simulations showed that in 20 hours after the wind forcing had started, the water level in the port increased up to its maximum values, and did not fall the whole day. The water level maximum heights were concentrated in the southwestern part of the Aniva Bay. At that the calculated current speeds reached 2 m/s. During the storm, at the wind speed up to 15 m/s, the storm surge height in the Korsakov port area constituted 1.7 m, whereas the width of the flooded zone was up to 200 m. These results are confirmed well by the *in situ* measurement data.

Conclusions. The simulation values of the power characteristics for the above-mentioned storm are represented in the paper. The Froude number square reaches 0.03 in the Korsakov city port area, and spatial distribution of the wave strength moment is up to 1 m³/s². Field measurements and eyewitness reports confirm the evidence of a powerful impact of a storm surge upon the port constructions.

Keywords: storm surge, Sakhalin Island, numerical simulation, shallow water theory, *in situ* measurements.

Acknowledgments: The work was carried out with partial support of the RFBR grant No. 18-05-80019 (Program “Dangerous Phenomena”), as well as with financial support of the grants of the President of Russian Federation on state support of leading scientific schools of Russian Federation NSh-2485.2020.5 and scientific research of young Russian scientists – doctors of sciences MD-148.2020.5.

For citation: Zaytsev, A.I., Pelinovsky, E.N., Dogan, D., Yalciner, B., Yalciner, A., Kurkin, A.A., Moskvitin A.A., 2020. Numerical Simulation of the Storm Surge at the Sakhalin Island Southern Part on November 15, 2019. *Physical Oceanography*, [e-journal] 27(4), pp. 364-373. doi:10.22449/1573-160X-2020-4-364-373

Введение

Штормовые нагоны весьма часто встречаются на побережье о. Сахалин, особенно в его южной части [1–4]. Штормовой период на Сахалине наблюдается почти ежегодно в осеннее-зимний период. Нередко в порту г. Корсаков случаются разрушения под действием сильных штормов. Так, при сильнейших нагонах на юге острова в ноябре 1990 и 1995 гг. суда выбрасывались на мель, ударялись

МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ том 36 № 4 2020 397

о пирсы, тонули, значительное число грузов смывалось в море или было испорчено морской водой. 2 октября 2015 г. в результате сильного шторма в море и большой нагонной волны была затоплена территория Корсаковского морского порта и ул. Вокзальной. Здесь уровень воды достигал 1 м. Также была затоплена территория в районе Южного Мола, размыта дорога на подъезде к порту Пригородное и дорога на участке Корсаков – Новиково. Самый последний случай затопления произошел 3 декабря 2019 г., когда Корсаковский торговый порт оказался под воздействием интенсивного шторма и потоки воды затопили территорию предприятия и смыли в море несколько контейнеров (Корсаковский порт снова затоплен // SakhalinInfo : [сайт]. 2019. URL: <https://sakhalin.info/search/181472?text=Корсаковский+торговый+порт> (дата обращения: 09.07.2020)).

Здесь мы обсудим штормовой нагон 15 ноября 2019 г., когда грузовой порт в Корсакове затопило и под водой оказалась большая часть его территории. Как сообщают очевидцы, сначала вода ушла, а потом пришла на берег. Суда покинули акваторию порта заблаговременно. Порт в течение следующего дня не проводил никаких операций по разгрузке и погрузке, а на его акватории наблюдалось интенсивное волнение (Корсаковский порт ушел под воду // Корсаков : [сайт]. 2019. URL: <https://korsakov.sakh.com/news/korsakov/180441> (дата обращения: 09.07.2020)).

Штормы такой силы происходят в Корсакове несколько раз в год и, как правило, значительного ущерба инфраструктуре и имуществу не наносят.

Согласно метеоданным с веб-ресурса <https://world-weather.ru>, 14 ноября 2019 г. в первой половине дня дул сильный ветер южного и юго-восточного направления со скоростью 10–12 м/с, затем во второй половине дня ветер менял направление на западное; 15 ноября, не меняя своего направления, он усилился почти до 17 м/с.

Нами было организовано исследование зоны затопления и измерены высоты наката и ширина этой зоны в прибрежном районе г. Корсаков. Численное моделирование штормовых нагонов проведено в рамках уравнений мелкой воды с помощью вычислительного комплекса НАМИ-ДАНС (*NAMI-DANCE*). Также приводятся результаты расчета силовых характеристик штормового нагона.

Исследование зоны затопления

Штормовой нагон 15 ноября 2019 г. затопил портовую часть г. Корсаков на юге Сахалинской области (рис. 1), граница зоны затопления показана на рис. 2. Согласно результатам измерений, ширина зоны затопления от уреза воды доходила до 200 м.

В ходе исследования проведены измерения высоты, до которой дошла вода относительно уровня моря (высота наката), и уровня воды в некоторых затопленных точках (рис. 3). Отметим, что максимальная высота наката достигала 1,7 м относительно уровня моря. Была затоплена значительная часть прибрежной территории. Поскольку жилые кварталы Корсакова расположены на возвышенности, то вода не смогла проникнуть в них на значительное расстояние.



Р и с. 1. Фото затопленной части порта г. Корсаков
F i g. 1. Photo of the flooded part of the Korsakov port



Р и с. 2. Зона затопления от штормового нагона 15 ноября 2019 г. (белой линией отмечен *GPS*-трек границы наката)
F i g. 2. Zone flooded due to the storm surge on 15.11.2019 (white line marks the *GPS*-track of the run-up boundary)



Р и с. 3. Измерение высоты наката от штормового нагона в порту г. Корсаков
Fig. 3. Measurement of the run-up height resulted from the storm surge in the port of Korsakov

Численное моделирование штормового нагона

Штормовые нагоны вызываются длинными волнами, поэтому обычно их моделирование проводится в рамках уравнений мелкой воды. Литература по расчету штормовых нагонов достаточно объемная, и здесь мы отметим лишь несколько работ, где моделировались штормовые нагоны в морях, окружающих Россию [5–8].

В наших расчетах использовался вычислительный комплекс НАМИ-ДАНС_П [9, 10], основанный на решении системы нелинейных уравнений мелкой воды в сферических координатах с учетом вращения Земли, силы трения и атмосферного воздействия:

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \theta} \frac{\partial}{\partial \lambda} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{1}{R \cos \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{MN \cos \theta}{D} \right) + \frac{gD}{R \cos \theta} \frac{\partial \eta}{\partial \lambda} +$$

$$+ \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} - \frac{\rho_{air} C_D}{\rho_w} U_w \sqrt{U_w^2 + V_w^2} = fN, \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \theta} \frac{\partial}{\partial \lambda} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{1}{R \cos \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{N^2 \cos \theta}{D} \right) + \frac{gD}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \theta} +$$

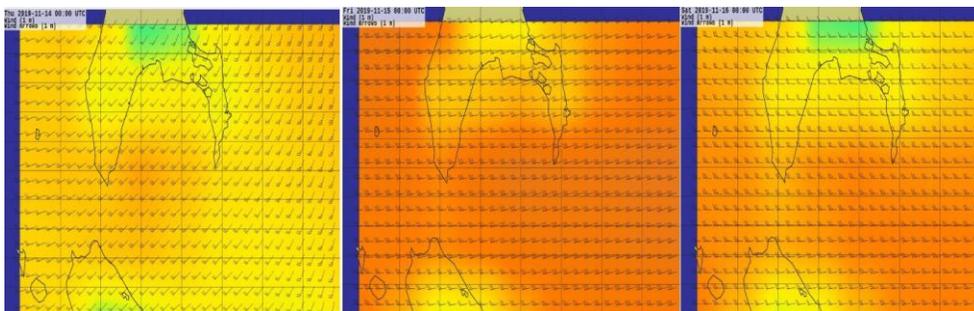
$$+ \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} - \frac{\rho_{air} C_D}{\rho_w} V_w \sqrt{U_w^2 + V_w^2} = -fM, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \theta} \left[\frac{\partial M}{\partial \lambda} + \frac{\partial}{\partial \theta} (N \cos \theta) \right] = 0. \quad (3)$$

Здесь η – смещение водной поверхности; t – время; M и N – компоненты расхода воды вдоль долготы λ и широты θ ; f – параметр Кориолиса ($f = 2\Omega \sin \theta$ и Ω – частота вращения Земли); R – радиус Земли; $D = h(x, y) + \eta$ – полная глубина бассейна, $h(x, y)$ – рельеф дна; g – ускорение силы тяжести; ρ_{air} –

плотность воздуха; ρ_w – плотность воды; U_w и V_w – компоненты скорости ветра (обычно измеренные на высоте 10 м от поверхности воды); C_D – коэффициент лобового сопротивления (в расчетах принимался равным $2 \cdot 10^{-3}$); n – коэффициент шероховатости дна (так называемый параметр Маннинга). Мы приняли $n = 0,015 \text{ м}^{-1/3} \text{ с}$, что характерно для естественного дна (песок, мелкая галька).

В качестве атмосферного форсинга (рис. 4) использовались данные о временном и пространственном распределении скорости ветра на высоте 10 м, взятые из базы данных системы анализа прогноза климата (*Climate Forecast System Reanalysis – CFSR*) (<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/climate-forecast-system-reanalysis-cfsr>; <https://data.nodc.noaa.gov/cgi-bin/iso?id=gov.noaa.ncdc:C00765>). Следует отметить, что данные об атмосферном давлении в расчетах не использовались, поскольку градиент атмосферного давления на исследуемой акватории был мал.

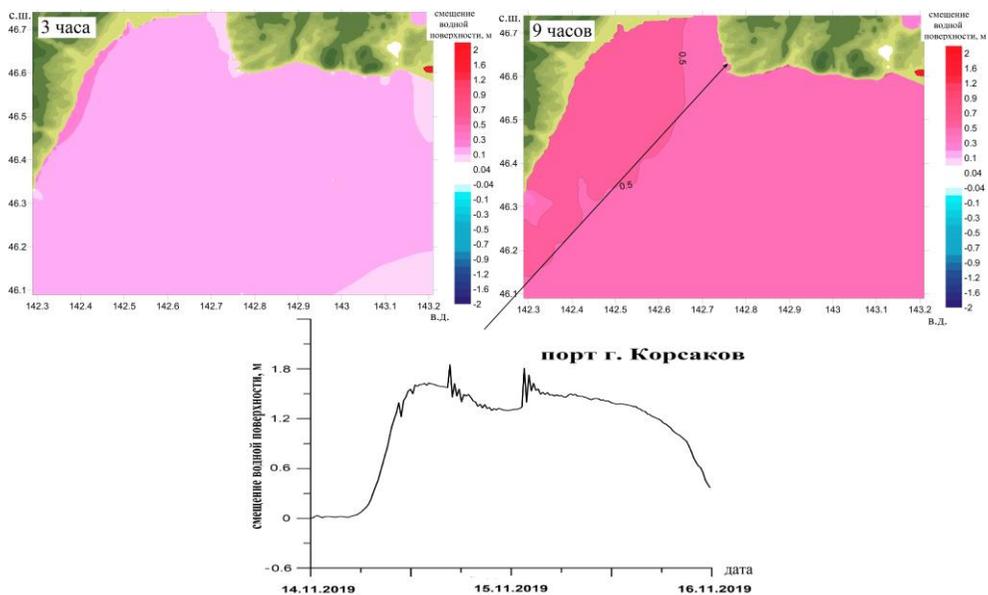


Р и с. 4. Пространственное распределение ветра на высоте 10 м в период 14–16 ноября 2019 г. (слева направо) по данным *CFSR*

F i g. 4. Wind spatial distribution at the 10 m altitude during the period 14.11.2019–16.11.2019 (from left to right) based on the *CFSR* data

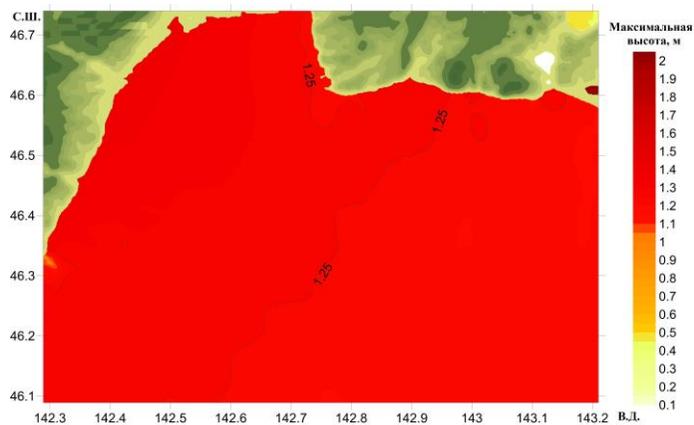
Для моделирования использовалась 30-секундная батиметрия Мирового океана (*GEBCO30 Digital Atlas*) с добавлением более точной прибрежной батиметрии залива Анива, которая была получена из различных источников. Батиметрия в акватории залива Анива задавалась с шагом около 150 м. Для расчета наката волн была использована вложенная батиметрия района г. Корсаков с шагом около 20 м. Расчетная область представлена на рис. 5. В северной части залива Анива на суше задавались граничные условия полного отражения (вертикальная стенка на глубине 5 м). В районе г. Корсаков ставились условия, обеспечивающие накат волн. В южной части залива задавались условия свободного ухода волн из акватории.

Моделирование проводилось на период времени трое суток. Через 20 ч уровень воды в порту поднялся примерно на 1,7 м, вода начала спадать только через сутки. Наиболее сильно уровень воды поднимался в юго-западной части залива Анива (рис. 5). Рассчитанные скорости течений достигали 2 м/с, что представляет значительную опасность для судов и прибрежной инфраструктуры. Анализ распределения вариаций уровня воды за все время моделирования (72 ч) показывает, что максимальные подъемы уровня воды сосредоточены в северо-западной части залива Анива (рис. 6).



Р и с. 5. Распределение смещений водной поверхности во время шторма 15 ноября 2019 г.: через 3 ч (слева) и 9 ч (справа) после его начала. На нижнем рисунке приведена рассчитанная mareограмма для порта г. Корсаков

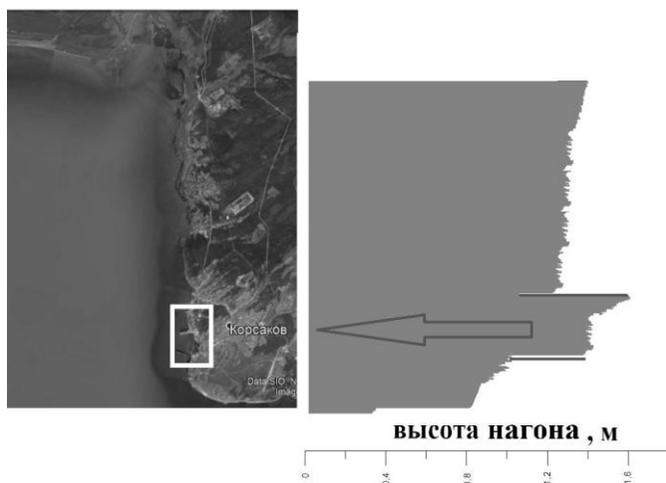
F i g. 5. Distribution of water surface displacements during the storm on November 15, 2019: in 3 (left) and 9 (right) hrs from its beginning. The lower figure shows the calculated mareogram for the port of Korsakov



Р и с. 6. Пространственное распределение максимумов подъема уровня воды за 72 ч моделирования

F i g. 6. Spatial distribution of the water level elevation maximums for 72 hrs of simulation

Воздействие штормового нагона на берег моделировалось только для района г. Корсаков с использованием вложенных сеток. Полученное распределение высот штормового нагона вдоль побережья приведено на рис. 7. Максимальная высота нагона составляет 1,7 м, что хорошо согласуется с результатами полевых исследований. Ширина зоны затопления составляет 200 м от линии уреза и покрывает зону порта.



Р и с. 7. Распределение высот нагона вдоль побережья. Прямоугольником отмечена часть, где проводили измерения

F i g. 7. Distribution of surge heights along the coast. Rectangle marks the part where measurements were performed

Представляет интерес провести расчет воздействия штормового нагона на простейший элемент портовой инфраструктуры – круглую опору небольшого диаметра. При обтекании вертикальной преграды малого диаметра гидродинамическое давление может быть выражено формулой

$$F_h = \frac{1}{2} \rho_w g D S, \quad (4)$$

где ρ_w – плотность морской воды; D – полная глубина воды; S – площадь поперечного сечения (по направлению распространения волны).

Сооружение в вязком потоке испытывает еще и влияние силы лобового сопротивления, которая аппроксимируется формулой

$$F_f = \frac{1}{2} \rho_w C_D u^2 S, \quad (5)$$

где C_D – коэффициент лобового сопротивления; u – скорость течения в расчетной точке без учета конструкции.

Из соотношения двух компонентов сил воздействия на одиночную преграду малого диаметра, как это видно из (4) и (5), находим так называемое «гидродинамическое воздействие» [11]:

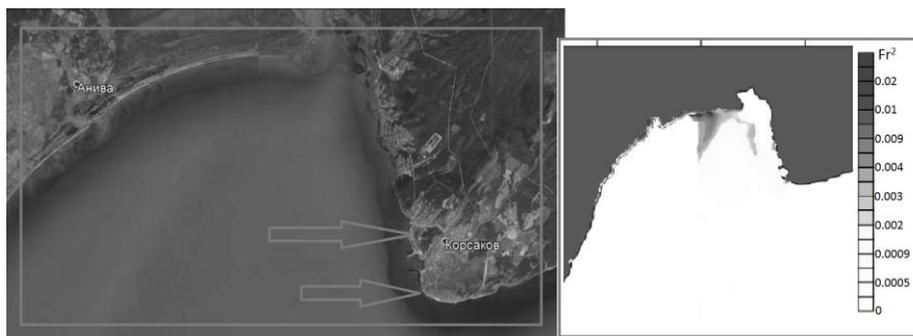
$$HD = \frac{F_f}{F_h} = C_D \frac{u^2}{gD} = C_D Fr^2, \quad (6)$$

пропорциональное числу Фруда

$$Fr = \frac{u}{\sqrt{gD}}. \quad (7)$$

Расчет числа Фруда позволяет судить о соотношении сил воздействия на сооружения.

Все параметры, перечисленные выше, «встроены» в программный комплекс НАМИ-ДАНС. Результаты вычислений квадрата числа Фруда для залива Анива во время штормового нагона представлены на рис. 8. Они показывают, что при движении волны с запада район порта и прилегающая территория г. Корсаков будут подвержены весьма значительному воздействию.



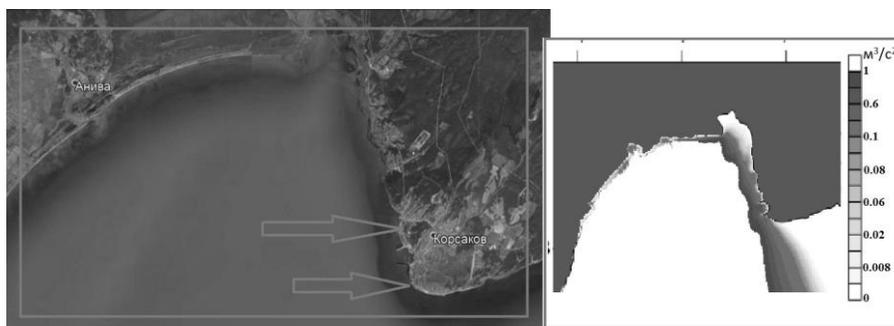
Р и с. 8. Максимальные значения квадрата числа Фруда для шторма 15 ноября 2019 г. (стрелками показаны наибольшие значения у побережья г. Корсаков)

F i g. 8. Maximum values of the Froude number square for the storm on 15.11.2019 (arrows show its highest values on the coast of Korsakov city)

В работе [12] для выделения зон силового воздействия волн на портовые сооружения предлагается использовать следующую характеристику, называемую моментом:

$$M_o = Du^2. \quad (8)$$

Вычисленные значения момента (8) для шторма 15 ноября 2019 г. показаны на рис. 9. Пространственное распределение этой характеристики также является свидетельством значительного силового воздействия штормового нагона на портовые конструкции.



Р и с. 9. Значения момента (m^3/c^2) для шторма 15 ноября 2019 г. (стрелками показаны наибольшие значения у побережья г. Корсаков)

F i g. 9. Values of the moment (m^3/s^2) for the storm on 15.11.2019 (arrows show the highest values on the coast of Korsakov city)

Заключение

На основе полевых измерений проведен анализ последствий штормового нагона, имевшего место в районе г. Корсаков на юге о. Сахалин 15 ноября 2019 г. Выполнено численное моделирование этого события в рамках нелинейных уравнений мелкой воды с помощью вычислительного комплекса НАМИ-ДАНС. Штормовые условия моделировались с использованием данных о временном и пространственном распределении ветра на высоте 10 м из базы данных системы анализа прогноза климата (CFSR). Получено, что при скорости ветра до 15 м/с высоты штормового нагона в районе порта г. Корсаков составляли 1,7 м, ширина зоны затопления достигала 200 м, что полностью согласуется с результатами исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевченко Г. В., Любичкий Ю. В., Като Л. Н. Проявления штормовых нагонов в южной части острова Сахалин. Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 1994. 44 с.
2. Като Э., Миськов О. А., Шевченко Г. В. Штормовые нагоны на побережье острова Сахалин в конце XX века // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 2001. С. 160–176.
3. Шевченко Г. В. Статистические характеристики штормовых нагонов в южной части о. Сахалин // Известия РГО. 1997. Т. 129, № 3. С. 94–107.
4. Ковалев Д. П. Экстремальный сгон у юго-восточного побережья о. Сахалин // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2013. Т. 6, № 1. С. 52–57.
5. Фомин В. В., Иванов В. А. Численное моделирование ветрового волнения в районе острова Коса Тузла // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2004. № 10. С. 233–242.
6. Simulation and Analysis of Sea Floods in the Don River Delta / V. V. Fomin [et al.] // Russian Meteorology and Hydrology, 2018, Vol. 43. P. 95–102. <https://doi.org/10.3103/S106837391802005X>
7. Шульга Т. Я. Моделирование сгонно-нагонных явлений в ограниченном морском бассейне // Морской гидрофизический журнал. 2006. № 6. С. 3–12.
8. Моделирование штормовых нагонов в прибрежной зоне о. Сахалин / А. А. Иванова [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2015. № 3. С. 41–49.
9. Вычислительный комплекс НАМИ-ДАНС в проблеме цунами / А. И. Зайцев [и др.] // Вычислительная механика сплошных сред. 2019. Т. 12, № 2. С. 161–174. doi:10.7242/1999-6691/2019.12.2.14
10. Numerical tsunami model NAMI-DANCE / A. Zaytsev [et al.] // Science of Tsunami Hazards. 2019. Vol. 38, iss. 4. P. 151–168.
11. Ozer, C. and Yalciner, A. C. Sensitivity Study of Hydrodynamic Parameters During Numerical Simulations of Tsunami Inundation // Pure and Applied Geophysics. 2011. Vol. 168. P. 2083–2095. doi:10.1007/s00024-011-0290-6
12. Tsunami inundation modeling in constructed environments: A physical and numerical comparison of free-surface elevation, velocity, and momentum flux / H. Park [et al.] // Coastal Engineering. 2013. Vol. 79. P. 9–21. doi:10.1016/j.coastaleng.2013.04.002

Об авторах:

Зайцев Андрей Иванович, ведущий научный сотрудник, Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН (693023, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Горького, д. 25), доктор физико-математических наук, **ORCID ID: 0000-0002-1383-363X**, **ResearcherID: A-1772-2014**, aizaytsev@mail.ru

Пелиновский Ефим Наумович, главный научный сотрудник, Институт прикладной физики РАН (603950, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 46), доктор физико-математических наук, профессор, **ORCID ID: 0000-0002-5092-0302**, **ResearcherID: I-3670-2013**, pelinovsky@gmail.com

Доган Джуней, ассистент, Отдел гражданского строительства, Ближневосточный технический университет (Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, K5 Building No:K5-014, 06800 Ankara TURKEY), **ORCID ID: 0000-0002-8638-8792**, gguneaydogan@gmail.com

Ялчинер Бора, аспирант, Отдел гражданского строительства, Ближневосточный технический университет (Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, K5 Building No:K5-014, 06800 Ankara TURKEY), **ORCID ID: 0000-0003-1642-9509**, yalciner.bora@metu.edu.tr

Ялчинер Ахмет, PhD, Отдел гражданского строительства, Ближневосточный технический университет (Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, K5 Building No:K5-014, 06800 Ankara TURKEY), доктор, профессор, **ORCID ID: 0000-0001-8947-7523**, yalciner@metu.edu.tr

Куркин Андрей Александрович, проректор по научной работе, заведующий кафедрой «Прикладная математика», научный руководитель лаборатории «Моделирование природных и техногенных катастроф», Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева (603950, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24), доктор физико-математических наук, профессор, **ORCID ID: 0000-0003-3828-6406**, **ResearcherID: A-1972-2014**, aakurkin@gmail.com

Москвитин Александр Анатольевич, младший научный сотрудник, Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН (693023, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Горького, д. 25), ameleouth@mail.ru