Некоторые аспекты изменчивости уровня Куршского залива (Юго-Восточная Балтика) при различных синоптических ситуациях

А.В. Килесо^{1,2}, Ж.И. Стонт¹

¹ Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва

² Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград;
aleksandr.kiles@gmail.com

Комплексный анализ карт приземного давления и гидрометеорологических данных позволил оценить влияние синоптических ситуаций на изменчивость уровня воды в Куршском заливе в штормовых условиях. Выполненное моделирование уровня моря и поля течения при различных направлениях ветра скоростью 5 м/с показало, что в районе мониторинговой станции при ветре северных румбов (315—45°), наблюдается повышение уровня (нагон). Максимальный нагон соответствует сценарию при северо-восточном ветре (45°), минимальный — при северо-западном ветре (315°). Для остальных румбов наблюдается понижение уровня моря (сгон), максимальное при юго-западном ветре (225°). Результаты численного моделирования показали хорошее соответствие с натурными данными.

Ключевые слова: Балтийское море, Куршский залив, уровень моря, моделирование уровня, ветровое воздействие, понижение уровня, повышение уровня.

Some aspects of the water level variability of the Curonian Lagoon (South-Eastern Baltic) under various synoptic situations

A.V. Kiles^{1,2}, Zh.I. Stont¹

¹ Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
aleksandr.kiles@gmail.com

² Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Climate change in the Kaliningrad Region is expressed in terms of extreme events. The water level changes and storm events strongly affect the Curonian Spit (southeastern Baltic Sea). The purpose of the work is to analyze the feedback of the southeastern Curonian Lagoon on the various synoptic situations using water level and surface wind data obtained from a monitoring station. Numerical modeling of water level and surface current field in the Curonian Lagoon has been performed using the finite element program SHYFEM developed at the Institute of Marine Sciences — National Research Council. Analysis of the real data has shown that the prevailing anticyclonic conditions with prevailing southerly storm winds caused a significant decrease in the water level in April 2019, which, together with a decrease in river runoff due to a lack of precipitation, caused a significant decrease in the water level of the Curonian Lagoon. Numerical modeling for different wind scenarios has shown that northerly winds (5 m/s and 315—45° direction) increase the water level at the monitoring station point. The maximum surge corresponds to the scenario with a northeasterly wind (45°) and reaches values of 3.5 cm. The minimum increase in the level has been observed for a northwesterly wind (315°) reaching values of 0.8 cm. The maximum velocities of currents have been noted for the southerly and northerly winds and

are 8.7 cm/s and 8.6 cm/s, respectively. Westerly and easterly winds form currents with the minimum speed of 3.6 cm/s and 3.7 cm/s, respectively.

Keywords: Baltic Sea, Curonian Lagoon, sea level, level modeling, wind impact, level decrease, level rise.

For citation: A.V. Kileso, Zh.I. Stont. Some aspects of the water level variability of the Curonian Lagoon (South-Eastern Baltic) under various synoptic situations. *Gidrometeorologiya i Ekologiya*. Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020. 61: 494—506. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-61-494-506

Введение

Климатические изменения на региональном уровне выражаются в виде экстремальных явлений. Географическое положение Куршской косы, которая разделяет солоноватые воды Балтийского моря и пресные воды Куршской лагуны, делает ее особенно уязвимой к их воздействию. Краткосрочная изменчивость уровня моря, являющаяся результатом воздействия гидрометеорологических процессов, наиболее сильно влияет на прибрежную зону как со стороны моря, так и со стороны залива. Высокий уровень может увеличивать интенсивность штормовых нагонов, разрушительных для береговой зоны.

Климатические изменения могут стать причиной сокращения биоразнообразия, ухудшения качества вод, усиления эвтрофикации, вызвать необратимые изменения в экосистемах Куршского залива. Исследования сезонной и межгодовой изменчивости уровня на акватории Куршского залива Балтийского моря по данным прибрежных мареографов необходимы для оценки воздействия на окружающую среду при проведении региональных климатических исследований. Верификация результатов моделирования с натурными данными, использование современного оборудования и методов обработки позволят сопоставить результат с результатами для других частей Куршского залива Балтийского моря.

Вопросами изменчивости уровня и течениями Куршского залива занимались многие авторы, особенно литовские коллеги [1—5]. Впервые измерения течений воды в Куршском заливе с помощью ветряных мельниц начал Шмидт-Рис (Schmidt-Ries) в 1932 г. [1]. В дальнейшем было установлено, что под влиянием слабого восточного ветра верхний слой воды в южной части Куршского залива движется с юго-востока на северо-запад [6]. В середине XX века течения в Куршском заливе были изучены путем построения модели, связанной с топографией залива [7]. В результирующей схеме течений показано появление циклонической циркуляции в центральной и южной частях залива, возникающей из-за стока рек Дэйма и Гилия.

Моделирование течений в Куршском заливе во время штормовых ситуаций рассмотрено в [8]. Оперативная глобальная гидродинамическая модель HIROMB показала удовлетворительные результаты для Литвы [9]. Отдельные недостатки модели авторы связывали с необходимостью устранения влияния Куршской косы на западные ветры. Типичные закономерности развития течений под влиянием ветра основных восьми румбов были смоделированы с помощью

2D гидродинамической модели [4]. Представлены оценки водообмена между двумя противоположными частями Куршского залива с учетом влияния водообмена через Клайпедский пролив. Это исследование показало возникновение двуцентральной циркуляции в южной части Куршского залива под влиянием северо-западного и юго-восточного, а также южного и северного ветра. Основным недостатком этой модели заключался в том, что сток рек не учитывался.

Для численных экспериментов гидродинамическая модель, разработанная в Федеральном морском и гидрографическом агентстве Германии (BSH), была адаптирована к литовскому побережью [1, 10]. Течения смоделированы для ветра скоростью 5 и 10 м/с по основным восьми румбам; особое внимание уделено наиболее вероятным направлениям для побережья Литвы (западный, юго-западный и юго-восточный ветер). С помощью модели проанализированы закономерности циркуляции в литовских водах и дана оценка влияния реки Нямунас (Неман) на распределение загрязнения. Приведены четыре ситуации формирования течений в северной и южной частях лагуны при различных направлениях ветра. Получено, что в южной части залива при любом направлении ветра, кроме восточного и западного, развивается циркуляция в двух направлениях, причем наибольшего развития она достигает в случае юго-восточного и северо-западного направления ветра. Схема течений в изученной части Куршского залива соответствует топографии лагуны. Моделирование циркуляции на юго-востоке южной части даже после включения рек Дейма и Гиляя не дало сопоставимых распределений течений.

Цель работы — на основе данных об уровне моря, получаемых с уровнемера, установленного на заливном берегу Куршской косы, проследить отклик вод юго-западной части лагуны на различные синоптические ситуации.

Материалы и методы

Для анализа динамики уровня заливного побережья российской части Куршской косы использовались данные, полученные с автоматического самописца уровня и волнения компании General Acoustics Log_aLevel, установленного в музейном комплексе НП «Куршская коса» (берег залива) (рис. 1). Данные приведены к Балтийской системе высот (см, БС) измерения уровня. Детальность записей позволяет отслеживать изменения уровня с заданной дискретностью.

Для комплексного мониторинга использовались метеорологические данные, полученные в районе установки мареографа с автоматической метеостанции, расположенной на расстоянии 200 м от уровнемера на заливной части Куршской косы. Синоптическая обстановка оценивалась по картам приземного давления метеоцентра Бракнелл (<https://www.metoffice.gov.uk/>).

Моделирование уровня моря и поля течений в Куршском заливе (Балтийское море) выполнено с использованием гидродинамической модели SHYFEM [11]. Данная модель основана на уравнениях мелкой воды как в двумерной, так и в трехмерной постановке.

Рис. 1. Куршский залив. Район исследования и схема модельного пространства.

Fig. 1. The Curonian Lagoon. Study area and numerical grid of the model.

Результаты исследований

Рассмотрим несколько типичных ситуаций сгона — нагона в районе установки автоматического самописца уровня и волнения в музейном комплексе НП «Куршская коса» (берег залива) (см. рис. 1).

1. Влияние синоптических ситуаций на уровень воды

Апрель—май 2019 г.

В апреле 2019 г. в регионе господствовали антициклонические условия. Преобладающие ветры южных румбов вызвали сгон воды в районе музейного комплекса. По данным уровнемера, установленного в НП «Куршская коса», наблюдался спад уровня с суточной интенсивностью до 15 см. Метеостанции, расположенные

в бассейне водосбора, зафиксировали дефицит осадков, когда месячная сумма выпавших осадков была около 0 мм. Сток в залив был минимальным [12, 13].

24 апреля при прохождении активного атмосферного фронта юго-восточный ветер усилился до 6 баллов по шкале Бофорта (10—12 м/с). Уровень резко понизился до 20 см ниже ординара (рис. 2). Известно, что ветры с южной составляющей вызывают понижение уровня в районе музейного комплекса [12, 13], что подтвердило моделирование (см. п. 2). При умеренном и свежем ветре переменного направления (от юго-восточного до западного) уровень постепенно поднялся до ординара.

29—30 апреля и в первую половину суток 1 мая ветер заходил к северным румбам (45—10°), что вызвало нагон воды, уровень поднялся выше ординара (см. рис. 2). Активный атлантический циклон и связанные с ним атмосферные фронты во второй половине дня 1 мая вызвали усиление юго-западного (сгонного) ветра до 12—16 м/с и резкое понижение уровня ниже ординара до –40 см. Уменьшение скорости западного ветра до 5 м/с привело к быстрому повышению уровня до ординара (рис. 2).

Таким образом, сложившаяся синоптическая ситуация с преобладанием ветра южных (сгонных) румбов и маловодность водосборного бассейна из-за засухи стали причиной понижения уровня воды в апреле—мае 2019 г.

Рис. 2. Ход уровня моря при изменении характеристик ветра в апреле—мае 2019 г. на заливной стороне Куршской косы.

Fig. 2. The water level variation under wind characteristics changes in April—May 2019 at the monitoring station in the Curonian Lagoon.

Рис. 3. Ход уровня моря при изменении характеристик ветра в ноябре—декабре 2019 г. на заливной стороне Куршской косы.

Fig. 3. The water level variation under wind characteristics changes in November—December 2019 at the monitoring station in the Curonian Lagoon.

Ноябрь 2019 г.

Ноябрь считается одним из самых ветреных месяцев для Юго-Восточной Балтики с преобладанием ветра западных румбов. К концу месяца уменьшается повторяемость чисто западного ветра и увеличивается повторяемость ветра юго-восточного румба.

Большую часть последней декады ноября 2019 г. погода Юго-Восточной Балтики формировалась под воздействием далекого холодного антициклона с центром (1050 гПа) над Средней Волгой. Преобладал ветер преимущественно южных румбов (ЮВ, Ю) скоростью до 12 м/с. При сгонных ветрах уровень постепенно понизился от –20 до –30 см БС. 28—30 ноября Юго-Восточная Балтика оказалась под влиянием атлантического циклона глубиной 985 гПа, который смещался на северо-восток. При прохождении фронтов, связанных с этим циклоном, ветер зашел к северным румбам и усилился до 22 м/с, что вызвало нагон воды. Затем ветер отошел к западу, что способствовало понижению уровня воды. Распространение влияния северной периферии антициклона с устойчивым северо-западным ветром способствовало нагону вод (рис. 3).

Март 2020 г.

В начале марта 2020 г. неглубокие атлантические циклоны смещались через Балтийское море на северо-восток. 12 марта глубокий волновой циклон и

Рис. 4. Ход уровня моря при изменении характеристик ветра в марте 2020 г. на заливной стороне Куршской косы.

Fig. 4. The water level variation under wind characteristics changes in March 2020 at the monitoring station in the Curonian Lagoon.

связанный с ним холодный фронт вызвали усиление порывистого западного ветра до штормового 26 м/с, причиной которого стал значительный градиент давления. Уровень, колебавшийся около +40 см, резко упал ниже ординара (–40 см БС). Произошел сгон воды, который обнажил дно. При уменьшении скорости ветра значения уровня восстановились. Через сутки ветер зашел к северным румбам и усилился, наблюдался резкий нагон воды, уровень повысился до +80 см БС (рис. 4). За двое суток амплитуда уровня составила 120 см.

2. Моделирование уровня моря и поля течения в Куршском заливе

Целью численного моделирования является исследование зависимости возникновения сгонно-нагонных явлений в районе мониторинговой станции НП «Куршская коса» от направления ветра.

Модельное пространство представляет собой район Юго-Восточной Балтики — Куршский залив, в прибрежной части которого со стороны косы располагается мониторинговая станция НП «Куршская коса» с координатами 55,03° с. ш., 20,65° в. д. (рис. 1). Для более подробного учета особенностей береговой линии и подводного рельефа использовалась неравномерная сетка из треугольных элементов. В качестве батиметрических данных использовались открытые данные навигационных карт. Для описания вертикальной структуры модельного пространства

Рис. 5. Результаты калибровки численной модели на реальных данных об уровне моря в период с 24 апреля по 5 мая 2019 г.

Fig. 5. Results of model calibration using real water level data from April 24 to May 5, 2019.

использовалось пять сигма-слоев, причем толщина слоев зависит от глубины, т. е. чем больше глубина, тем больше шаг по вертикали между слоями.

На первом этапе была выполнена калибровка основных параметров численной модели, в частности коэффициента трения ветра о водную поверхность и трения воды о дно. Для этого было выполнено моделирование реальной штормовой ситуации, которая наблюдалась в период с 24 апреля по 5 мая 2019 г. (см. рис. 2). В результате калибровки получено хорошее соответствие модельного и реального уровня моря в районе мониторинговой станции НП «Куршская коса» (рис. 5). Величина значимого при $\alpha = 0,05$ коэффициента корреляции составила 0,73. Отмечается практически синхронная реакция на ветровое воздействие.

Стоит отметить, что в период с 28 апреля по 2 мая при северном нагонном ветре модель несколько занижала максимальные значения уровня, полученные с помощью уровнемера. В период с 24 по 27 апреля при юго-восточном и восточном ветре, когда уровнемер фиксировал падение уровня моря ниже ординара, наоборот, отмечается завышение модельных значений уровня. Максимальная разность между измеренными и модельными значениями достигала 10 см. Данный факт, по-видимому, объясняется тем, что в модельном пространстве ветер задавался однородным над всей областью Куршского залива, шаг по времени в данных о ветре

составлял 6 ч. Таким образом, неоднородность пространственного распределения ветра над Куршским заливом, а также достаточно грубый шаг по времени оказывают свое влияние на результаты численного моделирования.

Для исследования изменчивости уровня в районе мониторинговой станции НП «Куршская коса» в численных расчетах были реализованы следующие сценарии ветрового воздействия. Моделирование было проведено для ветра основных румбов с шагом 45° : северный (0°), северо-западный (315°), западный (270°), юго-западный (225°), южный (180°), юго-восточный (135°), восточный (90°), северо-восточный (45°); скорость ветра 5 м/с (умеренный). По данным сайта *Расписание погоды* (<http://www.rp5.ru>) средняя скорость ветра за 2009—2019 гг. в пос. Нида (берег Куршского залива, см. рис. 1) составляет 4 м/с, преобладающее направление — от западных румбов.

Расчетный период для каждого сценария составлял пять условных дней. Водная среда считалась баротропной. Начальный уровень моря во всем модельном пространстве формально задавался равным 0 м. Также не задавались граничные условия в Балтийском море и на реках, втекающих в Куршский залив. Это сделано для того, чтобы оценить только вклад ветра в изменение уровня моря и скорости течений.

Во всех модельных сценариях спустя 60 расчетных часов значения уровня моря и поля течения выходят на некоторый стационарный уровень (рис. 6). Для расчетных сценариев с ветром северным (0°), северо-восточным (45°), восточным (90°) и северо-западным (315°) наблюдается увеличение уровня в районе мониторинговой станции НП «Куршская коса». Максимальный нагон соответствует сценарию с северо-восточным ветром (45°) и достигает значений 3,5 см. Минимальный нагон характерен для северо-западного ветра (315°) и равен 1 см. В оставшихся сценариях наблюдается понижение уровня моря. Максимальный сгон воды из района мониторинговой станции фиксируется при юго-западном ветре (225°), понижение уровня моря при этом составляет 3,5 см.

Скорость течений, которые формируются в районе мониторинговой станции, также напрямую зависят от ветра. Максимальные значения скорости течений отмечаются при южном (8,7 м/с) и северном (8,6 см/с) ветре. Скорость течений минимальна при восточном (3,6 м/с) и западном (3,7 см/с) ветре.

Численное моделирование показало, что повышение уровня моря (нагон) наблюдается при ветре с северной составляющей. При этом максимальный нагон воды формируется при северо-восточном ветре. Понижение уровня и максимальный сгон отмечены при юго-западном ветре. Под воздействием умеренного ветра (5 м/с) южного направления формируются течения, скорость которых может достигать 9 см/с. Минимальная скорость течений наблюдается при восточном и западном ветре.

Выводы

Выполненный анализ данных изменчивости уровня моря, полученных с помощью уровнемера, установленного в музейном комплексе НП «Куршская

Рис. 6. Изменение уровня моря в районе мониторинговой станции НП «Куршская коса» ($55,03^{\circ}$ с.ш., $20,65^{\circ}$ в.д.) для различных расчетных сценариев.

Fig. 6. Modeled water level values at the monitoring station in the Curonian Lagoon (55.03° N, 20.65° E) for various model scenarios.

коса» (залив), в зависимости от синоптической ситуации в районе показал следующее:

— господство антициклонических условий с преобладанием ветра южных румбов явилось причиной значительного понижения уровня воды в апреле 2019 г., что в совокупности с уменьшением стока рек из-за дефицита осадков вызвало значительное понижение уровня воды Куршского залива;

— штормовой ветер западных румбов (особенно юго-западный) вызывает сгон воды и резкое понижение уровня; при уменьшении скорости ветра уровень быстро возвращается к прежним значениям;

— штормовой ветер северных румбов (особенно северо-восточный) вызывает нагон воды и повышение уровня.

Численное моделирование показало следующие особенности ветрового воздействия на уровень моря и поле течений в районе мониторинговой станции НП «Куршская коса»:

— повышение уровня и максимальный нагон наблюдаются при ветре северных румбов; максимальный нагон воды формируется при северо-восточном ветре;

— понижение уровня и максимальный сгон отмечаются при юго-западном ветре;

— под воздействием умеренного ветра (5 м/с) южного направления формируются течения, скорость которых может достигать 9 см/с; минимальная скорость течений наблюдается при восточном и западном ветре.

Хорошее соответствие экспериментальных и модельных данных свидетельствует о сопоставимости результатов проведенного моделирования с существующими схемами течений в других частях Куршского залива, особенно в его южной части.

Благодарности

Анализ метеорологических характеристик выполнен при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Калининградской области (грант № 19-45-390012). Моделирование выполнено в рамках государственного задания ИО РАН № 0149-2019-0013.

Acknowledgments

The analysis of meteorological characteristics was carried out with financial support from the Russian Foundation for Basic Research and the Government of the Kaliningrad Region (Grant No. 19-45-390012). The modeling was carried out within the framework of the state task of the IO RAS No. 0149-2019-0013.

Список литературы

1. Davulienė L., Trinkūnas G. Circulation dynamics in the Curonian Lagoon waters Lithuanian // Lithuanian J. Physics. 2004. V. 44. P. 67—73.
2. Ferrarin C., Razinkovas A., Gulbinskas S., Umgiesser G., Bliudziute L. Hydraulic regime-based zonation scheme of the Curonian Lagoon // Hydrobiologia. 2008. V. 611. P. 133—146.
3. Neumann T., Eilola K., Gustafsson B., Müller-Karulis B., Kuznetsov I., Meier H.E.M., Savchuk O.P. Extremes of temperature, oxygen and blooms in the Baltic Sea in a changing climate // AMBIO. 2012. V. 41. P. 574—585.
4. Raudsepp U., Kouts T. Wind driven circulation the Curonian Lagoon // Environmental and Chemical Physics. 2002. V. 24 (3). P. 151—155.
5. Zemlys P., Ferrarin C., Umgiesser G., Gulbinskas S., Bellafiore D. Investigation of saline water intrusions into the Curonian Lagoon (Lithuania) and two-layer flow in the Klaipėda Strait using finite element hydrodynamic model // Ocean Science. Discussion. 2013 (10). P. 321—352.
6. Červinskas E. On the currents in the Curonian Lagoon // Scientific Publications of the Lithuanian High Schools: Geography and Geology (Vilnius). 1966 (4). P. 23—38.
7. Červinskas E. The main features of the hydrological regime / In: Curonian Lagoon, Results of the Complex Investigation. Vilnius, Institute of Biology, 1959. P. 47—67.
8. Чубаренко Б.В., Чубаренко И.П. Моделирование поля течений в Куршском заливе при штормовых ветровых воздействиях // Метеорология и гидрология. 1995. № 5. С. 83—89.
9. Zemlys P., Dailidienė I., Zaboras J. An operational model for Lithuania's coastal zone // Baltica. 2013. V. 26 (1). P. 115—120.
10. Davulienė L., Dailidienė I., Dick S., Trinkūnas G., Valkūnas L. Validation of the circulation model for Lithuanian coastal waters // J. Environ. Chem. Phys. 2002. 24 (4). P. 226—231.

11. Umgiesser G., Canu D., Cucco A., Solidoro C. A finite element model for the Venice Lagoon. Development, set up, calibration and validation // J. Marine Systems. 2004. V. 51. Is. 1—4. P. 123-145.
12. Стоит Ж.И., Чуринов Д.А., Ульянова М.О. Влияние метеопараметров на изменчивость уровня моря в Куршском заливе в 2017 г. / В сб.: Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса». Вып. 14 / Сост. И.П. Жуковская. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. С. 127—135.
13. Стоит Ж.И., Чуринов Д.А., Ульянова М.О. Динамика уровня моря на морском и лагунном побережье Куршской косы во время чрезвычайных ситуаций / В сб.: Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса». Вып. 15 / Сост. И.П. Жуковская. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2019. С. 183—194.

References

1. Davulienė L., Trinkūnas G. Circulation dynamics in the Curonian Lagoon waters Lithuanian. Lithuanian Journal of Physics. 2004, 44: 67—73.
2. Ferrarin C., Razinkovas A., Gulbinskas S., Umgiesser G., Bliudziute L. Hydraulic regime-based zonation scheme of the Curonian Lagoon. Hydrobiologia. 2008, 611: 133—146.
3. Neumann T., Eilola K., Gustafsson B., Müller-Karulis B., Kuznetsov I., Meier H.E.M., Savchuk O.P. Extremes of temperature, oxygen and blooms in the Baltic Sea in a changing climate. Ambio. 2012, 41: 574—585.
4. Raudsepp U., Kouts T. Wind driven circulation the Curonian Lagoon. Environmental and Chemical Physics. 2002, 24 (3): 151—155.
5. Zemlys P., Ferrarin C., Umgiesser G., Gulbinskas S., Bellafore D. Investigation of saline water intrusions into the Curonian Lagoon (Lithuania) and two-layer flow in the Klaipėda Strait using finite element hydrodynamic model. Ocean Science. Discussion. 2013, 10: 321—352.
6. Červinskas E. On the currents in the Curonian Lagoon. Scientific Publications of the Lithuanian High Schools: Geography and Geology (Vilnius). 1966, 4: 23—38.
7. Červinskas E. The main features of the hydrological regime. Curonian Lagoon, Results of the Complex Investigation. Vilnius, Institute of Biology, 1959: 47—67.
8. Chubarenko B.V., Chubarenko I.P. Modelling of currents in the Curonian Lagoon during storm wind influence. Meteorologiya i gidrologiya. Meteorology and Hydrology. 1995, 5: 54—60. [In Russian].
9. Zemlys P., Dailidienė I., Zaboras J. An operational model for Lithuania's coastal zone. Baltica. 2013, 26 (1): 115—120.
10. Davulienė L., Dailidienė I., Dick S., Trinkūnas G., Valkūnas L. Validation of the circulation model for Lithuanian coastal waters. Journal Environ. Chem. Phys. 2002, 24 (4): 226—231.
11. Umgiesser G., Canu D., Cucco A., Solidoro C. A finite element model for the Venice Lagoon. Development, set up, calibration and validation. Journal of Marine Systems. 2004, 51 (1—4): 123—145.
12. Stoit Zh.I., Churin D.A., Ulyanova M.O. Influence of meteorological parameters on sea level variability in the Curonian Lagoon in 2017. Problemy izucheniia i okhrany prirodnogo i kul'turnogo naslediiia natsional'nogo parka «Kurshskaia kosa». Problems of studying and protecting the natural and cultural heritage of the Curonian Spit National Park: collection of scientific articles. Issue 14. Kaliningrad: Izd-vo BFU im. I. Kanta. 2018: 127—135. [In Russian].
13. Stoit Zh.I., Churin D.A., Ulyanova M.O. Dynamics of sea level on the sea and lagoon coast of the Curonian Spit during emergency situations. Problemy izucheniia i okhrany prirodnogo i kul'turnogo naslediiia natsional'nogo parka «Kurshskaia kosa». Problems of studying and protecting the natural and cultural heritage of the Curonian Spit National Park: collection of scientific articles. Issue 15. Kaliningrad: Izd-vo BFU im. I. Kanta. 2019: 183—194. [In Russian].

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 24.08.2020

Принята после доработки к публикации 05.11.2020

Сведения об авторах

Килесо Александр Владимирович, младший научный сотрудник Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, старший преподаватель Балтийского федерального университета им. И. Канта, aleksandr.kiles@gmail.com.

Стонт Жанна Ивановна, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, ocean_stont@mail.ru.

Information about authors

Kiles Alexander V., Junior Researcher; Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences; Senior Lecturer, Immanuel Kant Baltic Federal University.

Stont Zhanna I., PhD (Geogr. Sci.), Senior Researcher, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences.