

УДК 551.466

Проявления цунами на побережье острова Сахалин

Г.В. Шевченко^{1*}, А.В. Лоскутов¹, П.Д. Ковалев¹, Т.Н. Ивельская²

¹ Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Российская Федерация, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1-Б

² Центр цунами Сахалинского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Российская Федерация, 693000, г. Южно-Сахалинск, ул. Западная, д. 78

* E-mail: g.shevchenko@imgg.ru

Тезисы. Сделан краткий обзор сведений о наиболее опасных проявлениях цунами на побережье о. Сахалин (включая районы размещения объектов нефтегазового комплекса). На охотоморском побережье острова самыми грозными оказались волны, вызванные удаленным Чилийским землетрясением 22.05.1960. В зал. Анива опасные проявления были связаны с резонансными колебаниями бассейна, в частности с низшей модой с периодом около 5 ч. На юго-западном побережье Сахалина значительные волны наблюдались во время близких землетрясений – Монеронского (1971 г.) и Невельского (2007 г.), волны от удаленных источников опасности не представляли. Отмечено, что для побережья Сахалина важен учет влияния приливов, которые могут существенно усилить (или ослабить) воздействие цунами на береговые объекты, а также возможные резкие подвижки ледяного покрова при цунами в холодный период года или выброс льда.

Ключевые слова:

цунами, высота волны, период, резонанс, залив, морской лед.

Волны цунами относятся к одним из наиболее разрушительных и тяжелых по своим последствиям природных катастроф. Даже в такой стране, как Япония, где много внимания уделяется вопросам безопасности при строительстве промышленных объектов и жилья в прибрежной зоне и население наиболее подготовлено к действиям в экстремальных ситуациях, цунами Тохоку 11 марта 2011 г. затопило северо-восточное побережье о. Хонсю и привело к многочисленным человеческим жертвам. Особо следует отметить техногенную катастрофу на АЭС «Фукусима-1», которая привела к тяжелым экологическим последствиям в прилегающих к станции районах. Поэтому при строительстве объектов, разрушение или повреждение которых может вызвать серьезные последствия для экологии прилегающих районов (к таковым относятся объекты добычи и транспортировки углеводородного сырья), учету рисков, обусловленных возможным воздействием волн цунами, уделяется повышенное внимание.

Волны цунами представляют значительную опасность для прибрежных населенных пунктов Дальнего Востока России. Наиболее высока она на тихоокеанском побережье Курильских островов и п-ова Камчатка, к побережью о. Сахалин волны подходят значительно ослабленными в результате прохождения через проливы Курильской гряды. По этой причине опасность для объектов нефтегазового комплекса, расположенных на северо-восточном шельфе и иных участках побережья о. Сахалин, существенно недооценивается.

Далее в статье приведен краткий обзор сведений о проявлениях цунами на различных участках побережья о. Сахалин, в том числе влияния частотно-избирательных свойств прибрежных акваторий на локальные усиления цунами, а также наложения цунами на прилив или отлив. Информация собрана по материалам инструментальных наблюдений при помощи донных регистраторов и архива оцифрованных мареограмм (береговые самописцы уровня моря долгое время были единственным источником инструментальных данных о цунами, позволявших оценить основные периоды и продолжительность вызванных цунами колебаний). Для Сахалина, где цунами представляют умеренную опасность, их усиление или ослабление за счет прилива имеет весьма важное значение.

В работе использовались оцифрованные записи исторических цунами, выполненные береговыми самописцами уровня моря (рис. 1, 2), а также материалы инструментальных наблюдений посредством автономных донных станций ИМГиГ ДВО РАН



Рис. 1. Карта изучаемого района

и телеметрических регистраторов Службы предупреждения о цунами (СПЦ). Для охотоморского побережья о. Сахалин наиболее значимыми цунами стали Чилийское 22 мая 1960 г. (записи на мареографах Корсакова, Поронайска и Катангли (Набильский зал.)), Урупское 13 октября 1963 г. (те же станции) [1, 2] и Тохоку 11 марта 2011 г. (цифровые записи на регистраторах СПЦ в Поронайске, Стародубском, Корсакове, на м. Крильон, в Невельске, Холмске, Углегорске [3]).

На юго-западном побережье Сахалина самыми опасными были Монеронское

(11.09.1971) и Невельское цунами (02.08.2007). Высоты заплесков в первом случае составляли 2–2,5 м, во втором максимальная для всего побережья Сахалина отметка высоты заплеска составила 3,5 м в с. Заветы Ильича к северу от г. Невельска. Записи Монеронского цунами получены на мареографах Невельска и Холмска [2] (рис. 3). Высоты волн на береговых самописцах уровня всегда значительно меньше из-за влияния волногасящих устройств, а также установки аппаратуры в защищенных от прямого подхода волн местах. В 2007 г. получены цифровые записи Невельского цунами на регистраторе ИМГиГ в порту Холмска [4].

Монеронское и Невельское землетрясения произошли в непосредственной близости от исследуемого участка побережья. Наиболее сильные цунами в Японском море, очаги которых находились вблизи побережья Японии, сравнительно слабо проявляются на юго-западном побережье о. Сахалин, они существенно более опасны для побережья Приморского края. Отметим, что на данном участке побережья о. Сахалин приливы имеют незначительную величину и не оказывают существенного влияния на характер проявления цунами.

На восточном побережье о. Сахалин, в том числе в районе разработки месторождений углеводородного сырья на его северо-восточном шельфе, как и на всех берегах Охотского моря, наиболее опасным стало упомянутое ранее Чилийское цунами, связанное с удаленным сильнейшим землетрясением 22 мая 1960 г. [1, 5]. В отличие от землетрясений, произошедших в районе Курило-Камчатского глубоководного желоба, оно породило более низкочастотные волны, которые с меньшими, чем обычно, потерями энергии проникли через проливы Курильской гряды. Высота волны в Набильском заливе составила 0,8 м (мареограф находился в проливе на расстоянии ~ 1,5 км от морского побережья; вероятно, на открытых участках высота волны составляла ~ 1,5 м).

На станциях в Южно-Курильске и Корсакове максимальные волны Чилийского цунами пришлось на отлив и были существенно ослаблены [5]. Отрицательные отклонения «срезались», так как вода полностью уходила из колодцев мареографных установок. В то же время в Набильском заливе, где характер прилива существенно иной, чем на юго-восточном побережье острова (в заливе доминируют

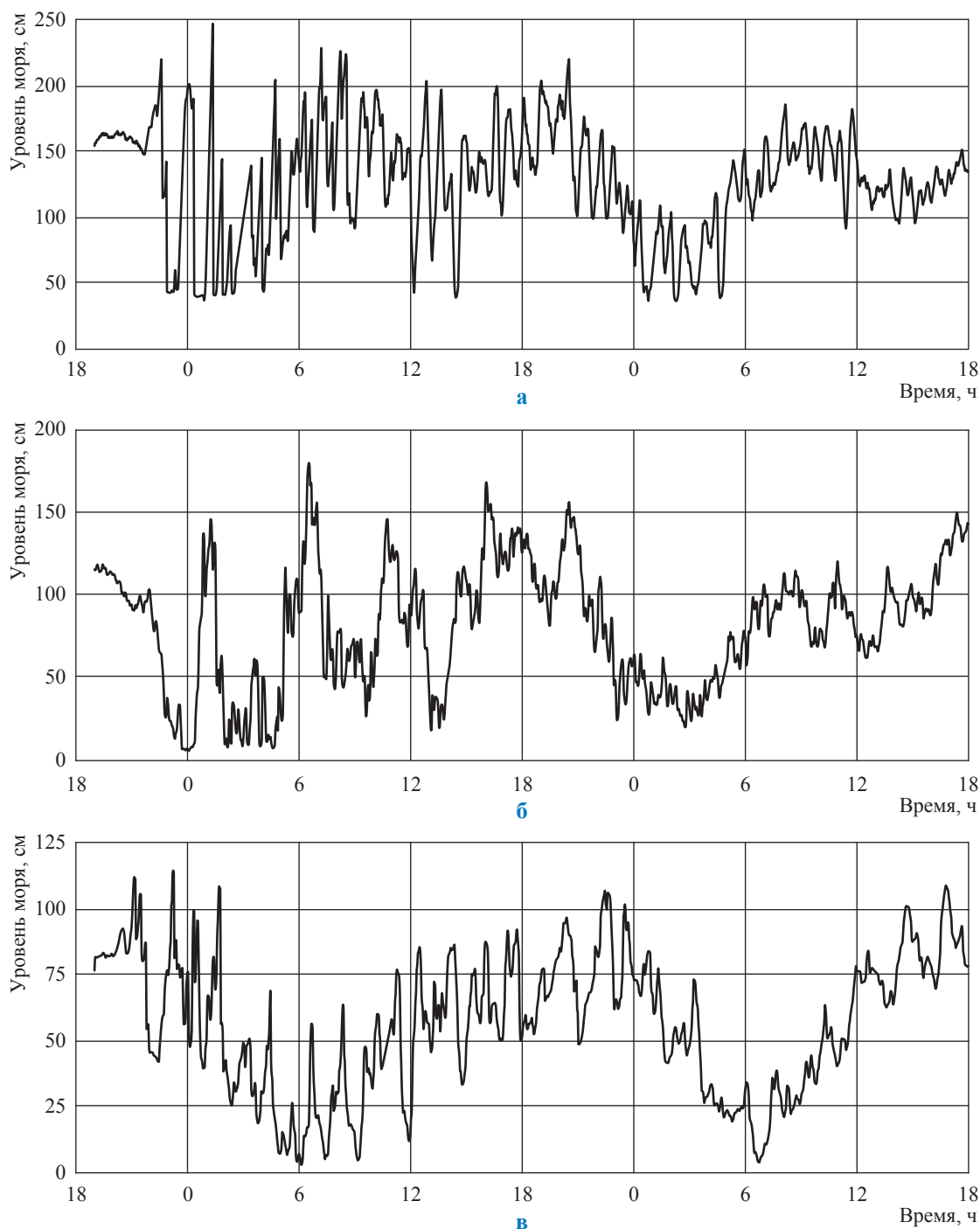


Рис. 2. Оцифрованные копии мареографных лент, содержащие записи Чилийского цунами 22.05.1960 на станциях Южно-Курильска (а), Корсакова (б) и с. Катангли (в)

суточные волны), первая волна пришлась на полную воду прилива, хотя и незначительного по величине (около 20 см). Максимальная волна пришлась на близкие к нулю значения приливного уровня, поэтому влияние на опасные проявления цунами в районе морских нефтегазоносных площадей не было значимым (см. рис. 2). Также на отлив пришлось второе

по величине на побережье Сахалина Урупское цунами 13.10.1963 [2]. Цунами Тохоку, напротив, было усилено приливом [3].

Эти данные показывают, что применительно к побережью о. Сахалин учет вероятности наложения цунами на прилив или отлив является важным моментом. В ходе оценки возможных высот цунами редкой повторяемости

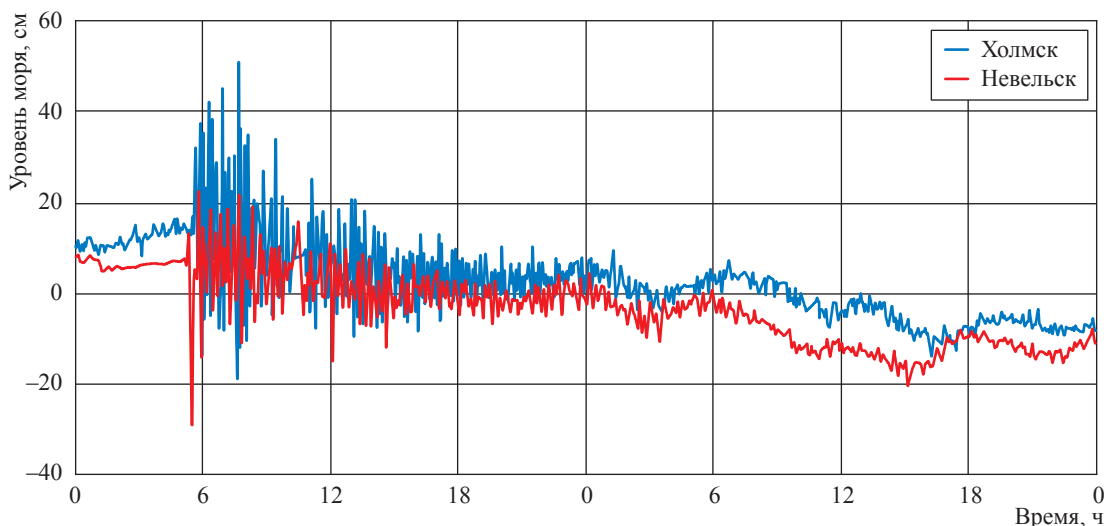


Рис. 3. Двухсуточные отрезки записи неперiodических колебаний уровня моря на станциях в Холмске и Невельске за 5–6 сентября 1971 г., содержащие Монеронское цунами

это можно сделать при помощи метода композиции распределений отдельных составляющих уровня [5]. К примеру, для станции в Корсакове расчетная высота цунами для периода повторяемости 100 лет без учета влияния прилива составляет 1,6 м, а с учетом вероятности наложения – 1,8 м. В целом поправка на прилив обычно более существенна для периодов повторяемости, меньших чем 100 лет: для 50-летнего периода повторяемости вклад прилива весомее.

В заливе Анива значительная высота цунами (~1,5 м) была связана с усилением низкочастотной резонансной моды бассейна с периодом около 5 ч (рис. 4). Ввиду того что в вершине залива находятся Корсаковский порт, а также завод по сжижению природного газа и терминал по его отгрузке в пос. Пригородное, рассмотрим этот залив более подробно. Для выяснения пространственной структуры (положения пучности и узловой линии) резонансной моды бассейна применялось численное моделирование распространения длинных волн в заливе. Расчеты показали [6], что узловая линия моды проходит вдоль открытой границы залива, а максимальные колебания наблюдаются в его вершине, где находятся населенные пункты и порты (см. рис. 4). Еще одна резонансная мода связана с колебаниями между островами Сахалин и Хоккайдо, ее период составляет около 3 ч. Она также имеет пучность в вершине залива и представляет определенную опасность.

В подтверждение пространственной структуры низкочастотной моды зал. Анива можно привести записи цунами Тохоку, полученные в вершине залива (станция в Корсакове) и вблизи его открытой границы (станция на м. Крильон) (рис. 5). Именно колебания с периодом около 5 ч наиболее сильно различаются на этих станциях: в вершине залива их амплитуда в несколько раз больше. Такие длиннопериодные колебания не характерны для цунами:

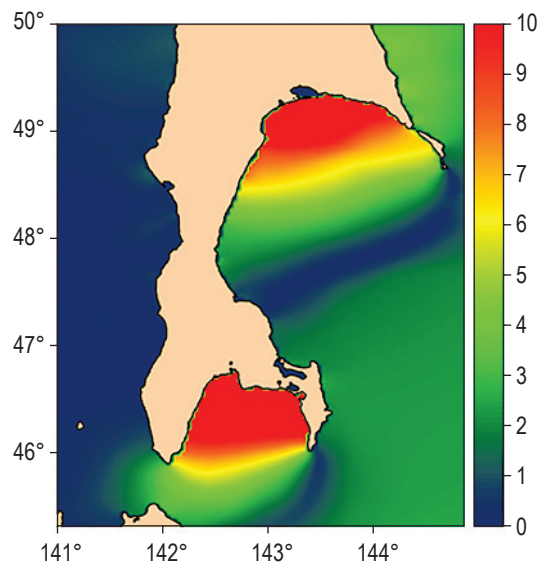


Рис. 4. Пространственная структура резонансных мод заливов Анива и Терпениа с периодом около 5 ч по результатам численного моделирования: на шкале – безразмерные амплитудные коэффициенты

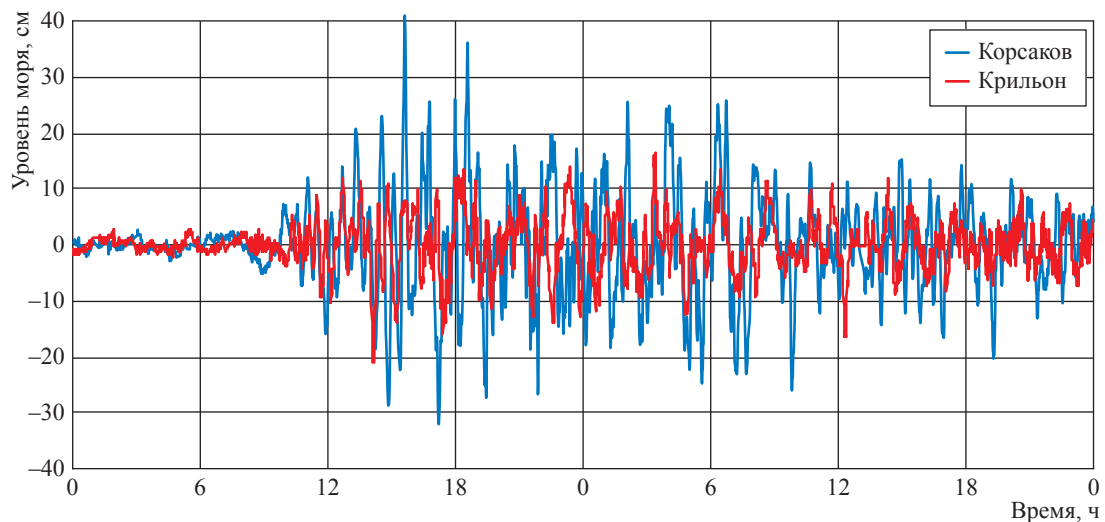


Рис. 5. Двухсуточные отрезки записей, сделанных на станциях в Корсакове и на м. Крильон, содержащие цунами Тохоку 11.03.2011

они возбуждаются только при землетрясениях очень большой силы с максимальными пространственными размерами источника. Очевидно, что названные колебания могут формироваться и за счет атмосферного воздействия, в частности, они способны значительно усиливать штормовые нагоны. С резонансными колебаниями зал. Анива может быть связана основная угроза при цунами не только для порта г. Корсакова, но и для терминала по отгрузке сжиженного природного газа в пос. Пригородное.

Цунами Тохоку 11.03.2011 стало самым сильным событием на охотоморском побережье о. Сахалин после Урупского цунами 13.10.1963. Сведений о высотах волн на северо-восточном шельфе мы не имеем, на юго-восточном шельфе данное событие представляло умеренную опасность: высоты волн составляли около 0,8 м (Поронайск) и 0,7 м (Корсаков).

Важная особенность проявления цунами Тохоку на южных Курильских островах и на юго-восточном побережье о. Сахалин – взлом льда в бухтах и устьях рек и выброс его на берег. В зал. Мордвинова со льда было эвакуировано несколько сотен рыболовов-любителей. Вызванные цунами подвижки льда в Охотском море отмечались ранее при Чилийском цунами в мае 1960 г. Это вид опасного воздействия цунами практически не изучен, а для объектов нефтегазового комплекса на шельфе он представляется весьма важным.

В целом резонансные свойства заливов, бухт и шельфа и связанные с ними локальные усиления играют определяющую роль

в характере проявления цунами на побережье острова. Это уже было отмечено выше в отношении зал. Анива, аналогичную роль играют топографические особенности другого крупного объекта – зал. Терпения. Так же в порту Холмска все цунами (измерения производились в глубине бухты в районе причала паромной переправы Ванино – Холмск), включая наиболее опасное на юго-западном побережье Сахалина Невельское цунами 02.08.2007, проявились главным образом в усилении резонансной моды бухты с периодом около 8 мин. Резонансные колебания имеют максимальные амплитуды в удаленной, традиционно считающейся наиболее безопасной для судов, части Холмской бухты. Однако то, что верно для штормового волнения, не выполняется для длинных волн, и наиболее опасные проявления цунами наблюдаются именно на таких участках.

Приведенные примеры показывают, что с точки зрения объектов нефтегазового комплекса в районе о. Сахалин с угрозой воздействия цунами необходимо считаться применительно к терминалу по отгрузке сжиженного природного газа (пос. Пригородное) и при обустройстве шельфовых месторождений в северной части Охотского моря (вблизи Магадана). На северном побережье зал. Анива опасное воздействие цунами связано с резонансными свойствами бассейна. На северо-восточном шельфе о. Сахалин опасность цунами ниже, чем в указанных районах. На побережье

Охотского моря, где велики приливы, необходимо учитывать возможность усиления цунами в случае его совпадения с приливом.

На юго-западном побережье Сахалина основная опасность связана с землетрясениями, происходящими в ближней зоне; источники

у берегов Японии не представляют серьезной угрозы для данного района.

Отдельную проблему представляют цунами, происходящие в ледовый период. Этот вопрос пока слабо изучен, ему следует уделить серьезное внимание.

Список литературы

1. Соловьёв С.Л. Каталог цунами в северо-западной части Тихого океана / С.Л. Соловьёв, Ч.Н. Го. – М.: Наука, 1974. – 310 с.
2. Щетников Н.А. Цунами на побережье Сахалина и Курильских островов по мареографным данным 1952–1968 гг. / Н.А. Щетников. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1990. – 112 с.
3. Shevchenko G. Characteristics of the 2011 Great Tohoku Tsunami on the Russian Far East coast: Deep-water and coastal observations / G. Shevchenko, T. Ivelskaya, A. Loskutov // *Pure and Applied Geophysics*. – 2014. – V. 171. – P. 3329–3350.
4. Ковалёв П.Д. Регистрация Симуширского и Невельского цунами в порту города Холмск / П.Д. Ковалёв, Г.В. Шевченко, Д.П. Ковалёв и др. // *Тихоокеанская геология*. – 2009. – Т. 28. – № 5. – С. 36–43.
5. Shevchenko G. Estimation of extreme sea levels for the Russian coasts of the Kuril Islands and the Sea of Okhotsk / G. Shevchenko, T. Ivelskaya // *Pure and Applied Geophysics*. – 2015. – V. 172. – P. 3537–3555.
6. Шевченко Г.В. Особенности проявления цунами в портах Сахалинской области по данным инструментальных измерений и численного моделирования / Г.В. Шевченко, А.В. Лоскутов // *Геосистемы переходных зон*. – 2017 (в печати).

Tsunami manifestation on the coast of the Sakhalin Island

G.V. Shevchenko^{1*}, A.V. Loskutov¹, P.D. Kovalev¹, T.N. Ivelskaya²

¹ Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Bld. 1-B, Nauki street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russian Federation

² Tsunami Warning Center, Federal Service of Russia for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Bld. 78, Zapadnaya street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russian Federation

* E-mail: g.shevchenko@imgg.ru

Abstract. A brief review of information about the most dangerous tsunami manifestations on the coast of Sakhalin Island (including the areas where oil and gas facilities are located) is presented. On the Okhotsk littoral of Sakhalin the most hazardous waves were the ones caused by the remote Chilean earthquake on May 22, 1960. In the Aniva Bay dangerous manifestations were associated with resonant fluctuations of the basin, in particular, with the lowest mode with a period of about 5 hours. On the southwestern Sakhalin coast the significant waves were generated by the nearby earthquakes – Moneron (1971) and Nevelsk (2007). Waves from remote sources did not represent a real threat. It is noted that for the Sakhalin coast it is important to take into account the influence of tides, which can significantly increase (or weaken) the impact of tsunamis to the coastal objects, as well as possible sudden changes in the ice cover during tsunami in the cold period of a year or ejection of ice.

Keywords: tsunami, wave height, period, resonance, bay, sea ice.

References

1. SOLOVYEV, S.L. and Ch.N. GO. *Catalog of tsunamis in the north-eastern part of Pacific Ocean* [Katalog tsunami v severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana]. Moscow: Nauka, 1974. (Russ.).
2. SHCHETNIKOV, N.A. *Tsunamis on shore of the Sakhalin and the Kurile Islands according to tide-gauge data of 1952–1968* [Tsunami na poberezhye Sakhalina i Kurilskikh ostrovov po mareografnym dannym 1952–1968 gg.]. Vladivostok: Far East Scientific Center of the Academy of Sciences of the USSR (DVNTs AN SSSR), 1990. (Russ.).
3. SHEVCHENKO, G., T. IVELSKAYA, A. LOSKUTOV. Characteristics of the 2011 Great Tohoku Tsunami on the Russian Far East coast: Deep-water and coastal observations. *Pure and Applied Geophysics*. 2014, vol. 171, pp. 3329–3350. ISSN 0033-4553.

4. KOVALEV, P.D., G.V. SHEVCHENKO, D.P. KOVALEV et al. Registration of the Simushir and Nevel tsunamis in the port of the Kholmsk town [Registratsiya Simushirskogo i Nevelskogo tsunami v portu goroda Kholmsk]. *Tikhookeanskaya geologiya*. 2009, vol. 28, no. 5, pp. 36–43. ISSN 0207-4028. (Russ.).
5. SHEVCHENKO, G. and T. IVELSKAYA. Estimation of extreme sea levels for the Russian coasts of the Kuril Islands and the Sea of Okhotsk. *Pure and Applied Geophysics*. 2015, vol. 172, pp. 3537–3555. ISSN 0033-4553.
6. SHEVCHENKO, G.V. and A.V. LOSKUTOV. Peculiar features of tsunami manifestations in the ports of the Shakhalin Region according to data of instrumental measurements and numerical simulation [Osobennosti proyavleniya tsunami v portakh Sakhalinskoy oblasti po dannym instrumentalnykh izmereniy i chislennogo modelirovaniya]. *Geosistemy perekhodnykh zon*. 2017 (in print). ISSN 2541-8912. (Russ.).