

## КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 550.344.42+551.466.62

<https://doi.org/10.30730/gtr.2020.4.2.259-265>

## Моделирование процесса оперативного прогнозирования Онекотанского цунами 25.03.2020

© 2020 Ю.П. Королев\*, П.Ю. Королев

*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия**\*E-mail: Yu\_P\_K@mail.ru*

**Резюме.** Целью работы является демонстрация возможности использования данных действующей станции DART 21416 и виртуальной станции DART 21402 для оперативного прогноза Онекотанского цунами 25.03.2020 в населенных пунктах Курильских островов. Ретроспективная оценка выполнена способом (экспресс-методом) оперативного прогноза цунами. Заблаговременность прогноза по данным виртуальной станции DART 21402 выше, чем по данным станции DART 21416, она составляет 41 мин для Северо-Курильска и более 60 мин для других населенных пунктов Курильских островов. Расчетные амплитуды цунами составили 30 см вблизи уреза воды в Северо-Курильске, в других населенных пунктах Курильских островов – до 4 см. При реализации экспресс-метод может быть более эффективным средством оперативного прогноза цунами, чем способ Японского метеорологического агентства, согласно которому на Курильских островах ожидалось волны с амплитудами 1–3 м при фактических до 0.5 м.

**Ключевые слова:** цунами, магнитуда землетрясения, тревога цунами, Онекотан, Курильские острова, Северо-Курильск, оперативный прогноз цунами, заблаговременность прогноза, DART.

**Для цитирования:** Королев Ю.П., Королев П.Ю. Моделирование процесса оперативного прогнозирования Онекотанского цунами 25.03.2020. *Геосистемы переходных зон*, 2020, т. 4, № 2, с. 259–265. <https://doi.org/10.30730/gtr.2020.4.2.259-265>.

## Simulation of the process of short-term forecasting of the 25.03.2020 Onkotan tsunami

Yury P. Korolev\*, Pavel Yu. Korolev

*Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia**\*E-mail: Yu\_P\_K@mail.ru*

**Abstract.** This work aims to demonstrate the potential application of the data from the DART 21416 operation station and the DART 21402 virtual station for the short-term forecast of the 2020 Onkotan tsunami in the localities of the Kuril Islands. The retrospective assessment has been made using the method (express-method) of a short-term tsunami forecast. The forecast lead time according to the virtual DART 21402 station is higher in comparison with the data of DART 21416 station. It is 41 min for Severo-Kurilsk and more than 60 min for other settlements of the Kuril Islands. The estimated amplitudes of the tsunami were 30 cm nearby the water's edge in Severo-Kurilsk, and up to 4 cm in other settlements of the Kuril Islands. When implemented, the express-method may be a more effective means of real-time tsunami forecasting than the method of the Japanese Meteorological Agency, according to which the waves with amplitudes of 1–3 m have been expected at the Kuril Islands, while the actual amplitudes have reached just 0.5 m.

**Keywords:** tsunami, earthquake magnitude, tsunami alarm, Onkotan, Kuril Islands, Severo-Kurilsk, real-time tsunami forecast, forecast lead time, DART.

**For citation:** Korolev Yu.P., Korolev P.Yu. Simulation of the process of short-term forecasting of the 25.03.2020 Onkotan tsunami. *Geosistemy perekhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2020, vol. 4, no. 2, pp. 259–265. (In Russ.). <https://doi.org/10.30730/gtr.2020.4.2.259-265>.

### Благодарности и финансирование

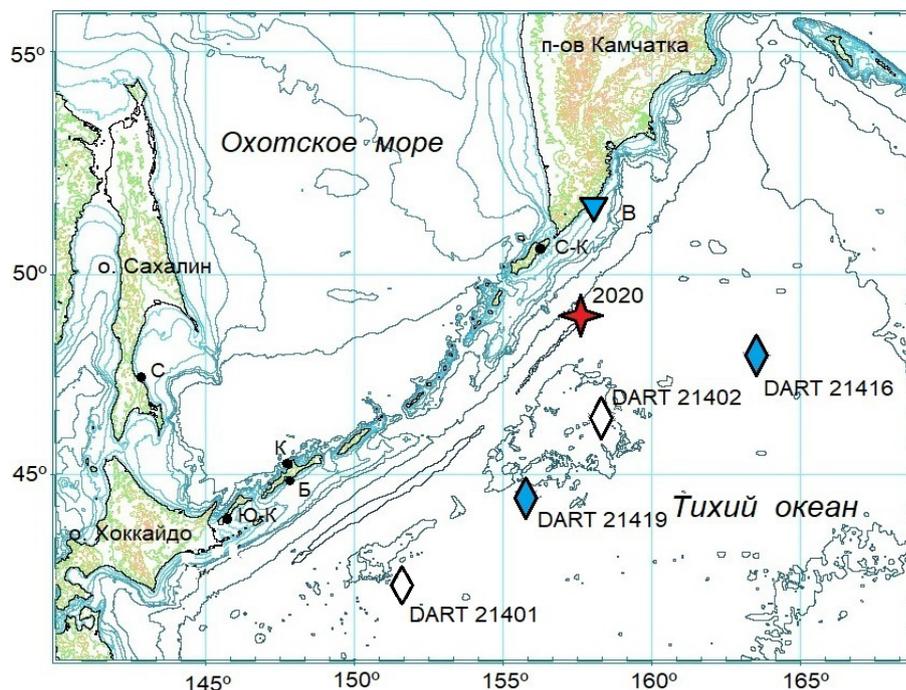
Авторы выражают благодарность рецензентам за полезные замечания и предложения, которые были учтены при доработке статьи.

*Работа выполнена в рамках госзадания ИМГиГ ДВО РАН № АААА-А18-118012290123-8 «Наводнения на морских берегах: мониторинг, моделирование, прогноз».*

## Введение

Землетрясение магнитудой 7.3 с эпицентром в 220 км восточнее о. Онекотан (рис. 1) произошло 25 марта 2020 г. в 13:49 сахалинского времени (ниже указывается сахалинское время, разница составляет +11 ч с UTC и +8 ч с московским временем) [Об угрозе цунами...]. Впоследствии магнитуда была уточнена до 7.5 [National Centers...]. Землетрясение вызвало слабое цунами. Это цунами можно называть Онекотанским по названию ближайшего к очагу острова (по аналогии с наименованиями Симуширские цунами 2006, 2007 и 2009 гг.).

Информационно-обрабатывающим центром «Южно-Сахалинск» Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН была объявлена тревога цунами в 14:00 по Северо-Курильскому району [Об угрозе цунами...]. Служба предупреждения о цунами действовала в соответствии с регламентом, объявив тревогу на основании магнитудного критерия.



**Рис. 1.** Схема расчетной области. Звездочка – эпицентр землетрясения 25.03.2020, ромбы с заливкой – действующие, ромбы без заливки – недействующие станции системы DART, треугольник – пост измерений уровня моря «Водопадная». С-К – Северо-Курильск, К – Курильск, Б – Буревестник, Ю-К – Южно-Курильск, С – Стародубское.

**Figure 1.** The scheme of the computation area. The asterisk marks the epicenter of the 25.03.2020 earthquake, filled diamonds – active, non-filled diamonds – inactive DART stations, triangle – the “Vodopadnaya” sea level measuring station. The diagram shows: C-K – Severo-Kurilsk, K – Kurilsk, B – Burevestnik, Y-K – Yuzhno-Kurilsk, C – Starodubskoe.

Тихоокеанский центр предупреждения о цунами в 13:57 выпустил бюллетень с предупреждением об опасных волнах цунами для побережья в пределах 1000 км от эпицентра землетрясения. Японское метеорологическое агентство (ЯМА) в 14:16 также предупредило о возможных разрушительных волнах цунами на Курильских островах с амплитудой 1–3 м [Об угрозе цунами...].

Приход цунами в Северо-Курильск ожидался в 15:04 местного времени. Эвакуация населения в безопасную зону завершена к 14:30. Эвакуировано около 400 чел.

Согласно визуальным наблюдениям, в 1.2 км южнее порта Северо-Курильск первая волна пришла через 1 ч после начала землетрясения. На фоне штормового волнения высота цунами оценивалась в 50 см.

Небольшое цунами было зарегистрировано постом измерений уровня моря «Водопадная» (Камчатка, Россия), мареографами на островах Уэйк и Мидуэй (США). Следы цунами зарегистрированы в Стародубском (Сахалин, Россия) [Об угрозе цунами...].

Тревожный режим сохранялся до 17:57.

Информация о событиях 25.03.2020 опубликована в СМИ (например, <https://sakhalin.info/news/186919/>).

Отсутствие инструментальных измерений уровня моря в Северо-Курильске, как и на всех Курильских островах, не позволяет ни подтвердить высоту цунами 50 см, ни получить достоверную информацию о цунами вообще.

Посты измерения уровня моря вблизи берега установлены и работают в Камчатском, Хабаровском и Приморском краях, но отсутствуют на Курилах [Российская служба...], притом что

по побережью Курильских островов наиболее подвержено цунами.

Как известно, достоверную информацию о цунами в океане дают глубоководные станции системы DART (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis – оценка и передача данных о цунами в океане) [NOAA Center...], в большом количестве установленные в Тихом океане. До недавнего времени Россия располагала двумя такими станциями (DART 21401 и 21402) в районе глубоководного Курило-Камчатского желоба. В настоящее время станции не функционируют.

Онекотанское цунами 2020 г. зарегистрировано станциями DART 21415, 21416 и 21419 [National Data...]. Ближайшей к очагу является станция DART 21416 (положение станции отмечено на рис. 1), пробег цунами до которой по вступлению первого гребня составил 30 мин. Положение ранее существовавшей российской станции DART 21402 (см. рис. 1) ближе всего к очагу цунами. Оперативный прогноз цунами по данным этой станции мог быть получен раньше, чем по данным станции DART 21416.

Целью работы является демонстрация возможности использования данных действующей станции DART 21416 и виртуальной станции DART 21402 для оперативного прогноза Онекотанского цунами 2020 г. в населенных пунктах Курильских островов (ретроспективное моделирование процесса оперативного прогнозирования цунами).

### Постановка задачи

Требуется рассчитать форму цунами вблизи населенных пунктов Курильских островов по данным о цунами станций системы DART в предположении, что информация станций поступает в режиме реального времени. Для расчета формы ожидаемого цунами применен способ оперативного прогноза цунами, описанный в [Korolev, 2012 и др.].

Способ (экспресс-метод) заключается в построении передаточной функции для каждого пункта, позволяющей по данным станции DART рассчитывать форму ожидаемого цунами вблизи этого пункта. Построение передаточной функции производится

сразу после получения информации о координатах эпицентра землетрясения, вызвавшего цунами. Для области Курильских островов (рис. 1) ее построение может занимать до 15 мин. Данных о магнитуде землетрясения не требуется.

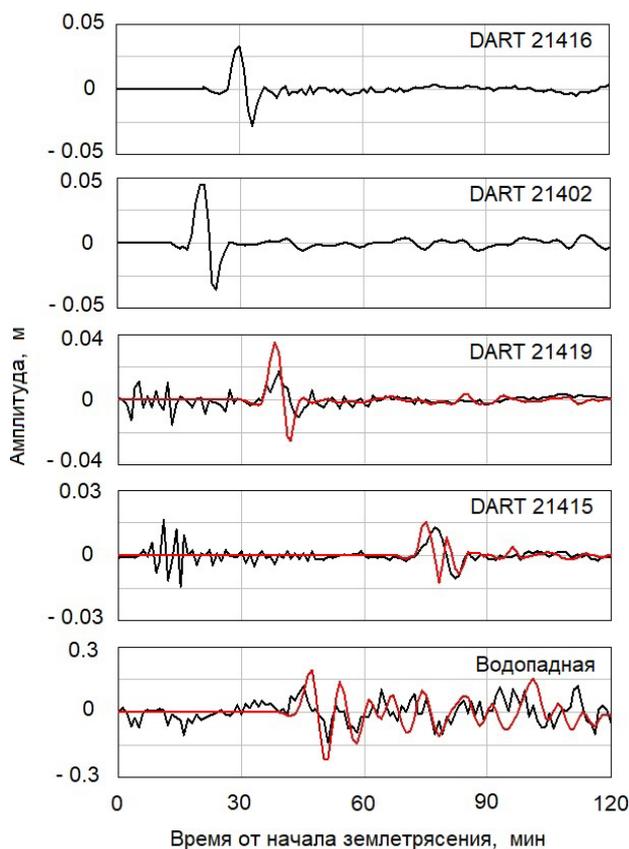
Моделирование процесса оперативного прогнозирования Онекотанского цунами выполнено по данным действующей станции DART 21416 и виртуальной станции DART 21402.

Оценивалась заблаговременность прогноза, т.е. время между расчетным временем прихода цунами (первого гребня волны) в заданную точку и временем выполнения прогноза.

Следует напомнить, что способ создавался с целью оперативного прогноза цунами. Исходной информацией служат только координаты эпицентра землетрясения. Способ является приближенным. Точного совпадения расчетных и реальных форм цунами не ожидалось. Алгоритм оценки формы цунами в настоящей работе является реализацией лишь основной идеи способа, заключающейся в расчете цунами в одной точке вблизи заданного населенного пункта. Расчет детального распределения амплитуд вдоль побережья вблизи уреза воды в оповещаемых населенных пунктах будет возможен при создании единого программного комплекса оперативного прогноза цунами. При этом, разумеется, должна учитываться фаза прилива. Критерием успешности расчета (прогноза) является заблаговременная адекватная оценка опасности цунами, на основании которой службы предупреждения принимают решение об объявлении тревоги цунами в каждом конкретном населенном пункте.

### Результаты

Для построения передаточной функции решена вспомогательная задача расчета волновых форм в точках регистрации цунами и вблизи заданных населенных пунктов от кругового начального возвышения свободной поверхности диаметром 100 км и амплитудой 10 м с центром, совпадающим с эпицентром землетрясения. Расчет выполнялся в сферических координатах с использованием



**Рис. 2.** Исходные данные для расчетов (DART 21416, 21402). Сравнение результатов расчетов (красная линия) с фактическими данными (черная линия).

**Figure 2.** Initial data for computations (DART 21416, 21402). Comparison of computations results (red line) with actual data (black line).

разностной сетки с шагом 1 км на широте 45°.

Построение передаточной функции с учетом времени на определение координат эпицентра землетрясения (10–15 мин) может быть завершено через 25–30 мин после начала землетрясения.

Реконструкция волновой формы цунами на виртуальной станции DART 21402 выполнена экспресс-методом. Использовались данные станции DART 21416, из которых удален предшествующий шум сейсмического происхождения (рис. 2). Восстановленная форма цунами на станции DART 21402 приведена на рис. 2.

Далее выполнялся расчет ожидаемого цунами вблизи населенных пунктов Курильских островов по данным станций DART 21416 и 21402.

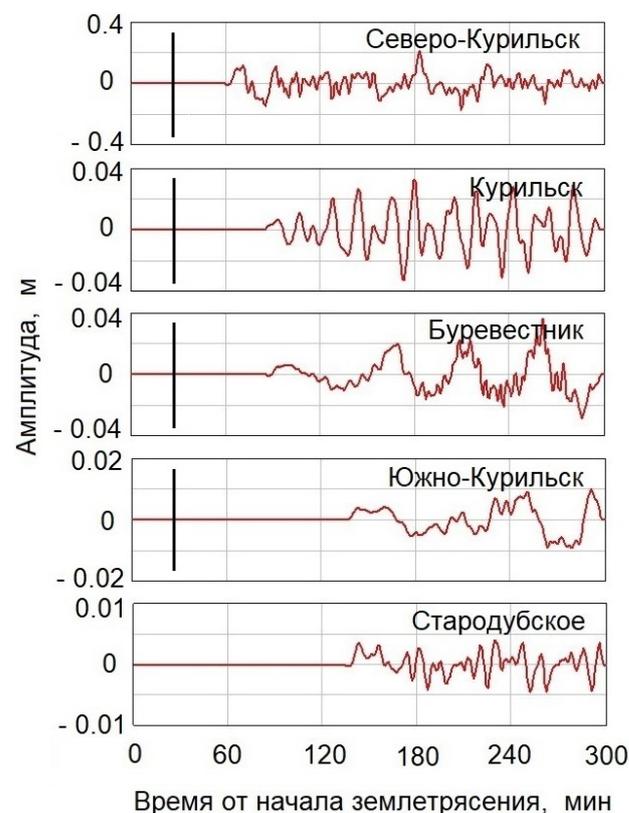
Расчет волновых форм цунами (по готовой передаточной функции) в заданных пунктах может быть произведен сразу после

получения данных станций о прохождении первого периода цунами. Для станции DART 21416 этот момент времени соответствует 36-й минуте после начала землетрясения, для станции DART 21402 – 28-й минуте.

Результаты расчета волновых форм цунами на станциях DART 21419 и 21415 и вблизи поста измерений уровня моря «Водопадная» (рис. 1) по данным станции DART 21402 приведены на рис. 2. Положение станции DART 21415 выходит за пределы расчетной области, расчет для нее выполнен с использованием другой батиметрии на разностной сетке с шагом 3.8 км.

Получено неплохое соответствие расчетных и зарегистрированных волн на станциях DART 21419 и 21415. Колебания, предшествующие цунами на записях этих станций, являются эффектом волн Рэлея на океанском дне.

Неплохое соответствие получено между расчетной формой волны вблизи поста изме-



**Рис. 3.** Результаты ретроспективного моделирования процесса оперативного прогнозирования Онекотанского цунами 2020 г. Вертикальная черта – момент выработки прогноза.

**Figure 3.** Results of a retrospective simulation of the process of operational forecasting of the 2020 Onkotan tsunami. The vertical line is the moment of the forecast making.

рений уровня моря «Водопадная» и записью, полученной этим постом. При необходимости расчетная форма волны вполне пригодна для оценки опасности цунами вблизи этого пункта.

Расчет ожидаемого цунами вблизи населенных пунктов Курильских островов выполнен по реконструированному ряду данных станции DART 21402 (рис. 2) длительностью 28 мин от начала землетрясения. Результаты расчета представлены на рис. 3. Вертикальной чертой обозначен момент времени выполнения прогноза. Здесь же представлена форма ожидаемого цунами вблизи Стародубского (Сахалин). Результаты расчета по данным станции DART 21416 совпадают с результатами по данным станции DART 21402.

В Северо-Курильске расчетный приход первой волны с амплитудой около 15 см ожидался через 69 мин (в 14:58) после начала землетрясения. Визуальная оценка высоты волны 50 см сделана вблизи уреза воды при глубине около 1 м. Расчетная амплитуда 15 см получена в ближайшем к берегу узле разностной сетки, где глубина моря равна 17 м. В соответствии с известным законом Грина, согласно которому амплитуда волны  $a_1$  на глубине  $D_1$  связана с амплитудой  $a_0$  на глубине  $D_0$  соотношением  $a_1/a_0 = (D_0/D_1)^{1/4}$ , пересчет амплитуды 15 см в точку, где глубина равна 1 м, дает величину амплитуды около 30 см.

Расчет для Стародубского, выполненный в ближайшей к берегу точке, где глубина воды 23 м, дает амплитуду около 4 мм. В соответствии с законом Грина вблизи уреза при глубине 1 м амплитуда должна быть равной 9 мм.

Заблаговременность прогноза по данным станции DART 21402, составляющая для Северо-Курильска 41 мин, для Курильска 65 мин, для Буревестника (бухта Касатка) 72 мин и для Южно-Курильска 114 мин, вполне достаточна для принятия решения об объявлении тревоги в этих пунктах. Но ввиду малых амплитуд ожидаемых волн в этих населенных пунктах тревога могла не объявляться.

Заблаговременность прогноза по данным станции DART 21416, для Северо-Курильска равная 33 мин, недостаточна для своевременного объявления тревоги цунами в этом

пункте. Однако ввиду малой амплитуды волн тревога, если она была объявлена по магнитудному критерию, могла быть отменена после получения данных о расчетной амплитуде.

К сожалению, из-за отсутствия инструментальных наблюдений в населенных пунктах Курильских островов подтвердить или опровергнуть представленные результаты расчетов не представляется возможным.

## Обсуждение

Результаты моделирования процесса оперативного прогноза Онекотанского цунами позволяют по-новому взглянуть на события 25.03.2020.

Действия службы предупреждения о цунами являются, по-видимому, оправданными в рамках действующего регламента в условиях отсутствия информации об ожидаемой высоте цунами в Северо-Курильске, отсутствия каких-либо инструментальных наблюдений. Тем более что Тихоокеанский центр предупреждения о цунами и Японское метеорологическое агентство выпустили предупреждения об опасных волнах цунами.

Предупреждение о цунами 25.03.2020 в районе Курильских островов выпущено ЯМА в соответствии с новым регламентом оценки опасности цунами [Users Guide... , 2014]. Регламент основан на предварительных расчетах с использованием упрощенной модели источника. Приблизительно оцениваются максимальные амплитуды волн на некотором расстоянии от побережья и, в соответствии с известным законом Грина, вблизи берега на глубинах 1 м. При этом принятие решения об объявлении тревоги цунами возлагается на региональные центры. За прогноз цунами для района Курильских островов отвечает ЯМА. Согласно прогнозу ЯМА, предполагаемые амплитуды цунами едва ли не на порядок превысили амплитуды рассчитанных в настоящей работе и фактически проявившихся волн на побережье Курильских островов.

Надо отдать должное службе предупреждения, что тревога цунами объявлялась только в одном районе – Северо-Курильском.

Визуально определенная высота цунами 0.5 м к югу от порта Северо-Курильск в зоне, свободной от застройки, не может быть критерием оправданности тревоги цунами. Данные о высотах цунами в промышленной зоне (район порта) Северо-Курильска отсутствуют.

Несмотря на оправданность действий службы предупреждения, объявленная тревога цунами оказалась фактически ложной ввиду слабого проявления цунами даже в Северо-Курильске. Длительность тревожного режима составила около 4 ч.

Расчет (ретроспективный прогноз) цунами по фактическим данным станции DART 21416 и реконструированным данным виртуальной станции DART 21402 вблизи Северо-Курильска на глубине 17 м дал амплитуду первой волны 15 см, что вполне позволяет оценить ожидаемое цунами как неопасное. Оценка амплитуды вблизи уреза в 30 см не противоречит визуальным наблюдениям. Вблизи других населенных пунктов Курильских островов на глубинах 8–30 м расчетные амплитуды не превышали 2–4 см.

Тревога цунами 25.03.2020 была объявлена в 14:00, за 1 час до ожидаемого времени прихода волны, прогноз выработан в 14:17. Заблаговременность прогноза по данным виртуальной станции DART 21402 на 8 мин выше, чем по данным станции DART 21416, и составляет для Северо-Курильска 41 мин, для Курильска 65 мин, для Буревестника 72 мин и для Южно-Курильска 114 мин. С учетом того, что эвакуация населения в Северо-Курильске 25.03.2020 произведена в течение 30 мин после объявления тревоги цунами, заблаговременность прогноза по данным DART 21402 вполне достаточна для принятия решения об объявлении тревоги и проведения эвакуации населения в безопасное место. В рассмотренной модельной ситуации, разумеется при реализации экспресс-метода в виде единого программного комплекса, при наличии станций измерения уровня океана и оперативно получаемой от них информации, тревога цунами могла бы не объявляться ни в одном населенном пункте Курильских островов.

## Заключение

Результаты ретроспективного моделирования процесса оперативного прогнозирования Онекотанского цунами 2020 г. вблизи населенных пунктов Курильских островов подтвердили, что на основе экспресс-метода возможен прогноз с заблаговременностью, достаточной для своевременного принятия решения об объявлении тревоги и эвакуации населения в безопасные места. Для этого необходимо наличие станций измерения уровня океана, расположенных в надлежащих точках, и прием информации этих станций в режиме реального времени.

Новый регламент оценки опасности цунами, который использовался Японским метеорологическим агентством при выпуске предупреждения о цунами 25.03.2020, оказался неэффективным для Курильских островов в данной ситуации. Как показали фактические данные, по качеству прогноза он существенно уступает экспресс-методу, примененному в настоящей работе.

Существующая в настоящее время сеть станций системы DART вблизи Курильских островов не всегда может гарантировать необходимую заблаговременность прогноза цунами даже при условии оперативной передачи данных. Действовавшие ранее российские станции DART 21401 и 21402 могли бы обеспечивать с достаточной заблаговременностью прогноз цунами на Курильских островах в случаях землетрясений в районах северных, центральных Курильских островов, восточного побережья Японии.

К сожалению, Сахалинская область не располагает не только средствами регистрации уровня океана для оценки степени опасности цунами, но и прибрежными мареографами на Курильских островах для подтверждения данных о произошедших цунами.

Развитие сети наблюдений за уровнем океана и внедрение способа (экспресс-метода) оперативного прогноза в регламент действий службы предупреждения о цунами позволит в перспективе повысить качество прогнозирования и тем самым уменьшить количество ложных тревог цунами на Курильских островах.

## Список литературы

1. *Об угрозе цунами после землетрясения у побережья Северо-Курильского района 25 марта 2020 года*. URL: <http://sakhugms.ru/index.php/o-nas/strutura/tsentr-tsunami> (дата обращения: 8.04.2020).
2. *Российская служба предупреждения о цунами*. URL: <http://rtws.ru/sea-level/> (дата обращения: 8.04.2020).
3. Korolev Yu. **2012**. A new approach to short-term tsunami forecasting. *Tsunami – Analysis of a Hazard – From Physical Interpretation to Human Impact* (Ed. Gloria I. Lopez). Rijeka, Croatia: InTech, 141–180. dx.doi.org/10.5772/2614.
4. *National Centers for Environmental Information*. URL: [https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu\\_db.shtml](https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml) (дата обращения: 4.04.2020).
5. *National Data Buoy Center*. URL: <https://ndbc.noaa.gov/dart.shtml> (дата обращения: 25.03.2020).
6. *NOAA Center for Tsunami Research*. URL: <http://nctr.pmel.noaa.gov/Dart> (дата обращения: 25.03.2020).
7. Users Guide for the Pacific Tsunami Warning Center Enhanced Products for the Pacific Tsunami Warning System. **2014**. *IOC Technical Series*, 105 (UNESCO/IOC).

## Об авторах

КОРОЛЕВ Юрий Павлович (ORCID 0000-0002-7068-7341), кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория цунами, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН (ИМГиГ ДВО РАН), Южно-Сахалинск, Yu\_P\_K@mail.ru  
 КОРОЛЕВ Павел Юрьевич (ORCID 0000-0003-3741-7654), младший научный сотрудник, лаборатория цунами, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН (ИМГиГ ДВО РАН), Южно-Сахалинск

## References

1. Korolev Yu. **2012**. A new approach to short-term tsunami forecasting. *Tsunami – Analysis of a Hazard – From Physical Interpretation to Human Impact* (Ed. Gloria I. Lopez). Rijeka, Croatia: InTech, 141–180. dx.doi.org/10.5772/2614
2. *National Centers for Environmental Information*. URL: [https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu\\_db.shtml](https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml) (accessed 4.04.2020).
3. *National Data Buoy Center*. URL: <https://ndbc.noaa.gov/dart.shtml> (accessed 25.03.2020).
4. *NOAA Center for Tsunami Research*. URL: <http://nctr.pmel.noaa.gov/Dart> (accessed 25.03.2020).
5. *Ob ugroze tsunami posle zemletriaseniia u poberezh'ia Severo-Kuril'skogo raiona 25 marta 2020 goda [On the threat of tsunamis after an earthquake off the coast of the North Kuril region on March 25, 2020]*. URL: <http://sakhugms.ru/index.php/o-nas/strutura/tsentr-tsunami> (accessed 8.04.2020).
6. *Rossiiskaia sluzhba preduprezhdeniia o tsunami [Russian tsunami warning service]*. URL: <http://rtws.ru/sea-level/> (accessed 8.04.2020).
7. Users Guide for the Pacific Tsunami Warning Center Enhanced Products for the Pacific Tsunami Warning System. **2014**. *IOC Technical Series*, 105 (UNESCO/IOC).