

Особенности проявления метеоцунами на мысах Курильских островов Уруп и Кунашир

Д. П. Ковалев¹, П. Д. Ковалев^{1,*}, М. О. Хузеева²

¹ *Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия*

² *Сахалинское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды,
Южно-Сахалинск, Россия*

*E-mail: kovalev_pd@outlook.com

Поступила в редакцию 11.06.2019 г., после доработки – 02.10.2019 г.

Цель. Целью настоящего исследования являются изучение особенностей колебаний уровня моря с периодами, характерными для волн цунами, вблизи мысов на островах Уруп и Кунашир с использованием данных натурных наблюдений; определение диапазона значений числа Фруда, при которых наблюдается генерация метеоцунами; изучение резонансных свойств акваторий для определения возможности усиления метеоцунами.

Методы и результаты. Использовались записи волнения, полученные Институтом морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук в 2008 и 2009 гг. с помощью приборов, установленных в прибрежной зоне м. Кастрикум, м. Ван-дер-Линд и м. Ловцова южных островов Курильской гряды – Кунашира и Урупа, а также синоптических карт, предоставленных Гидрометеоцентром Сахалинского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Для оценки потенциальной опасности метеоцунами рассмотрены резонансные свойства акваторий, в которых установлены приборы. Показано, что при прохождении атмосферного возмущения вдоль островов Курильской гряды генерируются аномальные колебания уровня моря в местах установки регистраторов волнения. Согласно рассчитанному по среднеквадратичному фоновому уровню критерию порога метеоцунами, наблюдаемое событие может быть определено как метеоцунами. Определен диапазон значений числа Фруда, который показал, что рассматриваемое атмосферное возмущение при перемещении со скоростью в указанном диапазоне значений может генерировать метеоцунами в прибрежной зоне островов. Показано, что наибольшая добротность резонансной системы – у м. Ловцова, при которой коэффициент усиления в случае прихода волн с частотами, близкими к собственной частоте резонансной системы, может достигать 19,1.

Выводы. С приходом морских волн значительной амплитуды с частотами, близкими к собственной частоте резонансной системы, можно ожидать генерации опасных волн. При этом, если значение числа Фруда близко к единице, может происходить непрерывная накачка атмосферной энергии в морские волны в соответствии с механизмом, описанным И. Праудменом, вследствие чего вынужденная морская волна значительно усиливается и может представлять опасность.

Ключевые слова: метеоцунами, сейши, волны, атмосферные возмущения.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Института морской геологии и геофизики ДВО РАН.

Для цитирования: Ковалев Д. П., Ковалев П. Д., Хузеева М. О. Особенности проявления метеоцунами на мысах Курильских островов Уруп и Кунашир // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 1. С. 41–52. doi:10.22449/0233-7584-2020-1-41-52

© Ковалев Д. П., Ковалев П. Д., Хузеева М. О., 2020

Features of Meteotsunami at the Capes of the Kuril Islands Urup and Kunashir

D. P. Kovalev¹, P. D. Kovalev^{1,*}, M. O. Khuzeeva²

¹*Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

²*Sakhalin Hydrometeorological Service of Federal Service of Russia for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

**e-mail: kovalev_pd@outlook.com*

Purpose. The aim of the present work is to study the features of the sea level oscillations with the periods characteristic of tsunami waves nearby the capes of the islands Urup and Kunashir using in situ observations, to determine the range of the Froude number values at which meteorological tsunami are generated, and to scrutinize resonance features of the water areas for defining possibility of meteotsunami amplification.

Methods and Results. The time series of the waves obtained in the Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch of Russian Academy of Sciences in 2008 and 2009 by the instruments installed in the coastal area of the capes Kastrikum, Van-Der-Lind and Lovtsov at the southern Kuril Islands – Kunashir and Urup, as well as the synoptic maps provided by the Sakhalin Hydrometeorological Service of Federal Service of Russia for Hydrometeorology and Environmental Monitoring were used. To assess potential danger of the meteorological tsunami, considered were the resonance features of the water areas where the instruments were installed. It was shown that passage of the atmospheric disturbance along the Kuril Islands was accompanied by generation of the sea level anomalous fluctuations just in the places where the wave recorders were placed. According to the criterion calculated by the root-mean-square background level, the observed event could be identified as a meteorological tsunami. The range of the Froude numbers was determined; it showed that moving at the velocity within the above-mentioned range, the atmospheric disturbance under consideration could generate meteorological tsunami in the coastal zone of the islands. It was revealed that the q – factor of the resonance system was the highest in the Cape Lovtsov: in case of arrival of the waves, the oscillations of which were close to the resonance system eigen oscillation, the gain factor could reach 19.1.

Conclusions. Arrival of the sea waves of considerable amplitude whose oscillation is close to the resonance system eigen oscillation, can be followed by generation of dangerous waves. At that, if the Froude number value is close to 1, the sea waves, according to the mechanism described by Proudman, can be continuously pumped with atmospheric energy. As a result, the forced sea wave becomes significantly amplified and dangerous.

Keywords: meteotsunami, seiches, waves, atmospheric disturbances.

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the state task of the Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences.

For citation: Kovalev, D.P., Kovalev, P.D. and Khuzeeva, M.O., 2020. Features of Meteotsunami at the Capes of the Kuril Islands Urup and Kunashir. *Physical Oceanography*, [e-journal] 27(1), pp. 37-47. doi:10.22449/1573-160X-2020-1-37-47

Введение. Длинные волны, регистрируемые в океане, возбуждаются различными источниками, в основном такими, как подводные сейсмические колебания или атмосферные возмущения. В прибрежной зоне, обладающей резонансными свойствами, эти волны, в свою очередь, могут возбудить сейши большой амплитуды. Периоды этих волн будут определяться исключительно локальной топографией, а их амплитуда – добротностью прибрежной резонансной системы.

Генерируемые атмосферными возмущениями (барическими гравитационными волнами, скачками давления, холодными фронтами и другими типами возмущений), морские баротропные волны усиливаются в прибрежной зоне в соответствии с механизмами, описанными в работах [1–3]. Можно сказать, что наблюдаемые в прибрежной зоне морские волны обязаны своим происхождением комбинации батиметрии и атмосферных воздействий.

Периоды таких колебаний уровня моря могут варьироваться от единиц минут до нескольких часов. Обычно в случае метеоцунами рассматривают диапазон периодов волн от 2 мин до 2 ч, соответствующий диапазону периодов волн сейсмических цунами – это волны с минутными периодами и характерными пространственными масштабами около 50 км. Синоптические атмосферные возмущения имеют на порядок бóльшие пространственные масштабы и суточные периоды и плохо согласуются с наблюдаемой высокочастотной изменчивостью уровня моря [3]. Поэтому нельзя ожидать, что атмосферные возмущения будут напрямую возбуждать более короткие колебания уровня моря, так как в барических волнах мала доля энергии на масштабах и периодах, необходимых для возбуждения сейш [4].

В то же время, как показано в работе [5], атмосферные возмущения излучают энергию в виде высокочастотных гравитационных волн. Поэтому при прохождении барических гравитационных волн возбуждение колебаний уровня моря с минутными периодами вблизи побережья наблюдалось в разных местах. Эти колебания носят разные названия, например абики в Японии, риссага на Балеарских о-вах и другие. Позднее был предложен термин «метеоцунами» для описания таких колебаний, означающий их сходство с волнами цунами [6].

Целью настоящего исследования является изучение особенностей колебаний уровня моря вблизи мысов Кастрикум, Ван-дер-Линд на о. Уруп и м. Ловцова на о. Кунашир с использованием данных натурных наблюдений за волнением, проведенных с 2008 по 2012 гг. Отметим также, что исследованием метеоцунами Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМГиГ ДВО РАН) занимается в течение ряда лет [7, 8].

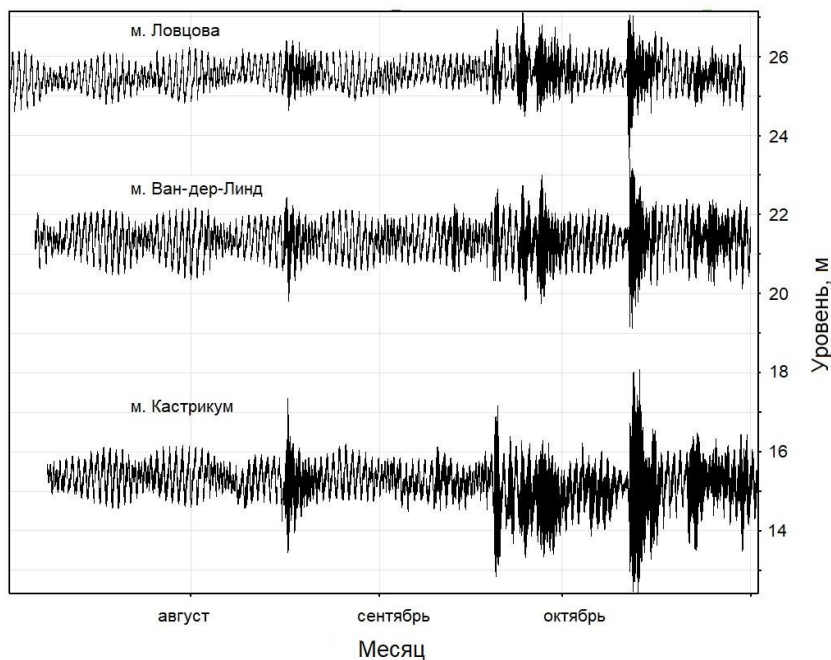
Данные наблюдений. В работе использованы данные наблюдений за колебаниями уровня моря, полученные с использованием автономных регистраторов волнения, осуществляющих запись с секундной дискретностью. Регистраторы устанавливались в районе м. Кастрикум и м. Ван-дер-Линд на о. Уруп на глубинах около 15 и 21,5 м соответственно. Третий прибор был установлен в районе м. Ловцова на глубине около 25,5 м. Схема постановки приборов приведена на рис. 1. Расстояние между м. Кастрикум и м. Ван-дер-Линд составляет около 114 км, а между м. Ван-дер-Линд и м. Ловцова – около 250 км.

Кроме описанных выше, были установлены приборы в районе пгт. Курильск (о. Итуруп) и в б. Церковной (о. Шикотан). Но поскольку электропитание этих приборов рассчитано на полгода, а возможность вовремя их заменить имела не всегда, для анализа использовались в основном синхронные записи, полученные с трех измерителей.



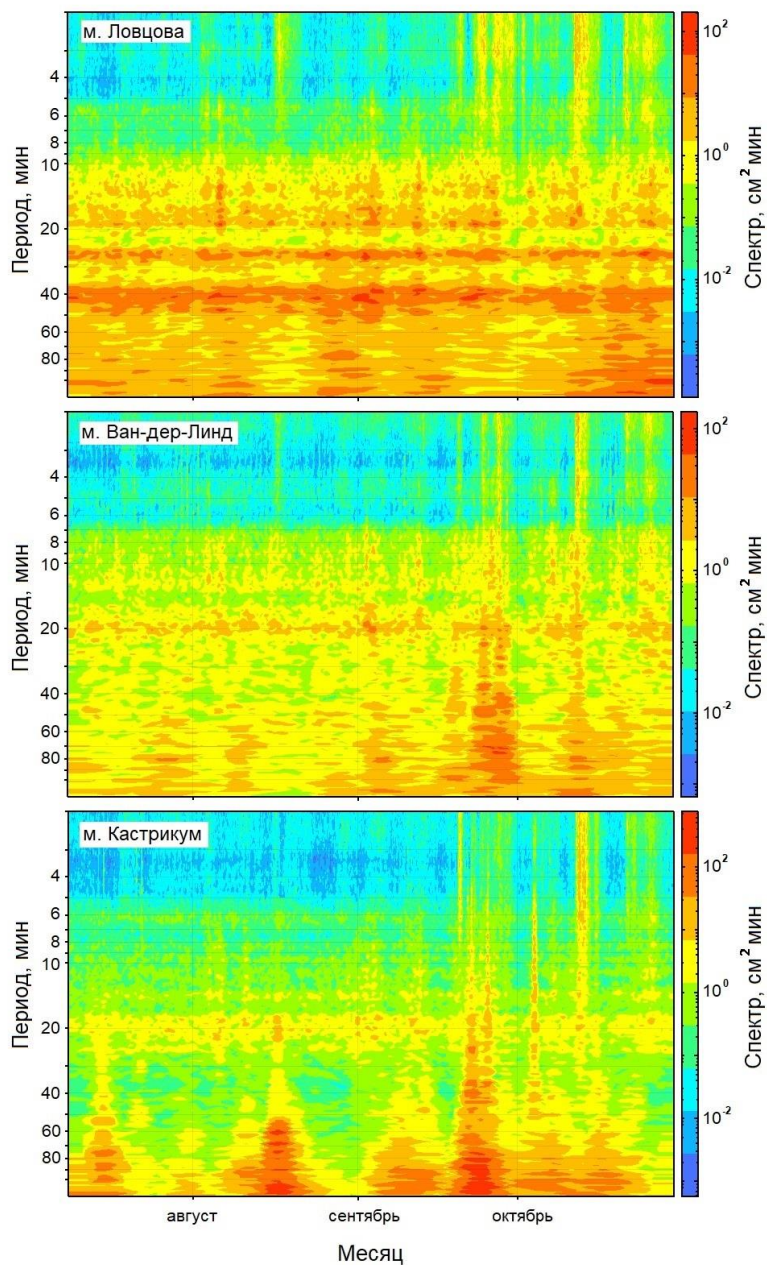
Р и с. 1. Карта региона наблюдений и схема расположения приборов
Fig. 1. Map of the region under observation and location of instruments

Образцы синхронных записей колебаний уровня моря (волнения), полученные в 2008 г., приведены на рис. 2. Хорошо видны приливы и отливы, за время измерений наблюдалось несколько штормов с высотой волн до 6 м в районе м. Кастрикум.



Р и с. 2. Временные ряды колебаний уровня моря вблизи м. Ловцова, м. Ван-дер-Линд и м. Кастрикум
Fig. 2. Time series of sea level oscillations near the capes Lovtsov, Van-Der-Lind and Kastrikum

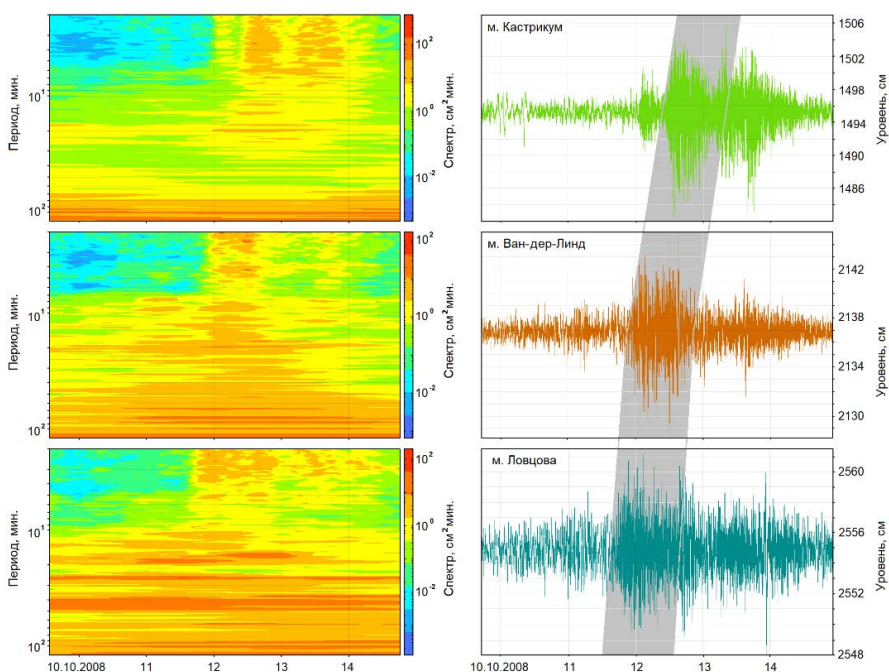
Обработка данных наблюдений и анализ. Поскольку диапазон периодов волн метеоцунами составляет 2–120 мин, из данных наблюдений был вычтен предвычисленный прилив, после чего ряды были отфильтрованы полосовым фильтром с окном 2–120 мин. По полученным временным рядам рассчитаны текущие спектры для трех пунктов наблюдения (рис. 3).



Р и с. 3. Спектры колебаний уровня в диапазоне периодов от 2 мин до 2 ч
F i g. 3. Spectra of sea level oscillations within the period range 2 min – 2 hrs

Выше отмечалось, что усиление волн происходит на резонансных частотах акваторий, поэтому по спектрам оценивались резонансные периоды в пунктах постановки приборов. В районе м. Кастрикум и м. Ван-дер-Линд резонансные периоды были близки к 19,8 мин, а в районе м. Ловцова – к 18,2 мин. Следует отметить, что у м. Ловцова наблюдались еще пики на периодах, равных примерно 32 и 40 мин, но для сравнения рассматривались пики в спектрах колебаний, характерные для трех пунктов наблюдений (рис. 3).

Далее анализировались остаточные ряды колебаний уровня с целью обнаружения аномальных колебаний. Было выявлено значительное увеличение амплитуды волнения 5–6 августа, 2 сентября и 11–12 октября 2008 г. При этом наибольшие амплитуды на трех станциях наблюдались 11–12 октября, когда на станции м. Кастрикум колебания остаточного уровня достигали 23 см. Эти данные в дальнейшем использовались для анализа. Записи колебаний уровня и их спектры для рассматриваемого периода приведены на рис. 4.



Р и с. 4. Записи колебаний уровня после вычитания прилива и полосовой фильтрации с периодом в диапазоне 2–120 мин; спектры для периода времени 10–15 октября 2008 г. Затененная область на записях уровня приблизительно соответствует времени значительной изменчивости уровня моря в различных местах

F i g. 4. Time series of sea level oscillations after subtraction of tide and band-pass filtering within the period range 2–120 min.; the spectra are for October 10–15, 2008. The shaded area approximately corresponds to the time periods when the sea level variability is significant in different places

Обнаруженные аномальные колебания предположительно являются мецецунами, поскольку около 99 % энергии фоновых колебаний в море в диа-

пазоне периодов цунами связано с атмосферными возмущениями [6]. Тем не менее не все колебания уровня моря могут быть отнесены к метеоцунами. В работе [6] предложено использовать в качестве критерия порога метеоцунами амплитуду волны, превышающую в три или четыре раза среднеквадратичное значение (в зарубежной терминологии применяется аббревиатура *rms* – *root mean square*), определяемое выражением

$$x_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{n}(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)}, \quad (1)$$

где x_1, x_2, \dots, x_n – амплитуды фоновых волн, а n – их число, или использовать два критерия, учитывающих абсолютные и относительные высоты волн.

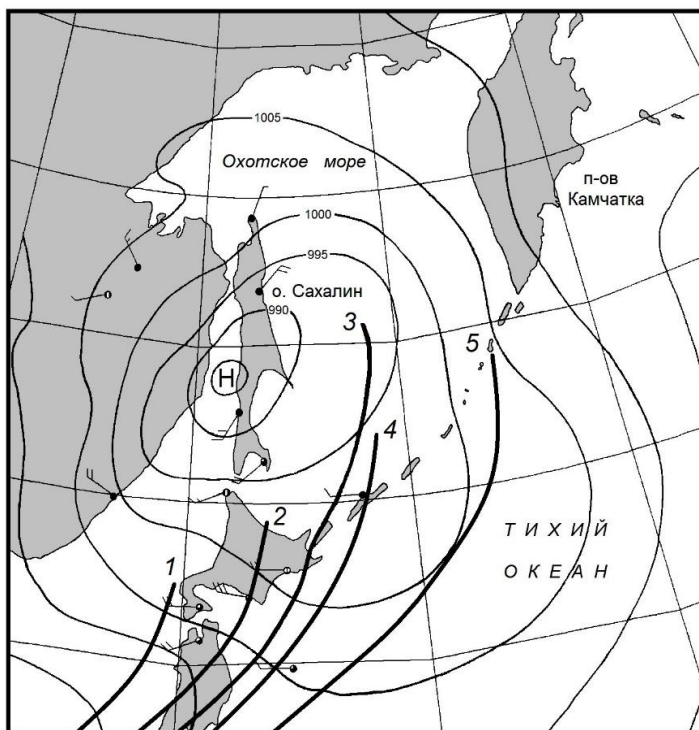
Вычисленное для фоновых амплитуд с периодом 20 мин, измеренных у м. Кастрикум в течение двух суток, значение x_{rms} равняется 1,12 см, в то время как для события средняя амплитуда с тем же периодом равна 7,67 см. Таким образом, рассматриваемое событие может быть отнесено к метеоцунами. При этом энергия метеоцунами распределена почти по всему диапазону периодов волн цунами, по-видимому, из-за того, что в местах установки приборов резонансные свойства проявляются на нескольких периодах (рис. 3).

Были проанализированы погодные условия с целью определения источника возбуждения аномальных волн с использованием синоптических карт, предоставленных Гидрометеоцентром Сахалинского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС). Синоптическая карта по состоянию погоды на 11 октября 2008 г. в 06:00 UTC с показанным на ней положением холодного фронта с 18:00 10 октября до 18:00 11 октября приведена на рис. 5. Совершенно очевидно, что возбудить аномальное волнение мог только холодный фронт, который 11 октября подошел к м. Ловцова. При подходе к м. Ловцова скорость перемещения фронта в направлении Курильской гряды, оцененная по его положению в разные моменты времени, составляла около 45,3 км/ч. В дальнейшем фронт продвигался в восточном направлении, а его крыло перемещалось вдоль островов Курильской гряды.

Поскольку метеоцунами связаны с волнами, которые взаимодействуют с атмосферным давлением и поглощают при распространении атмосферную энергию [6], была проведена оценка скорости распространения холодного фронта, генерирующего эти волны, по времени начала аномального волнения. Так, приход волн к м. Ловцова наблюдался в 16:58 11.10.2008 г., к м. Ван-дер-Линд – в 22:23 11.10.2008 г. и к м. Кастрикум – в 11:56 12.10.2008 г. При определенных по картам расстояниях между мысами скорость перемещения атмосферного возмущения на участке от м. Ловцова до м. Ван-дер-Линд составляла около 46 км/ч, т. е. с учетом погрешностей можно считать, что значения скорости перемещения атмосферного возмущения, определенные по положению фронта и по времени прихода волн, совпадают.

На участке м. Ван-дер-Линд – м. Кастрикум скорость перемещения атмосферного возмущения, оцененная по времени начала аномального волнения, равна около 8,4 км/ч, а по скорости перемещения фронта – около 28,7 км/ч. Причина такой разницы в оценках неочевидна и требует отдельного изучения. Следует отметить, что рассчитанные скорости являются средними на

рассматриваемых дистанциях и обычно наблюдается уменьшение скорости перемещения атмосферных возмущений к северу Охотского моря.



Р и с. 5. Синоптическая карта на 11 октября 2008 г., 06:00 UTC, по данным Гидрометеоцентра Сахалинского УГМС. Положение холодного фронта 1 соответствует 10 октября 18:00, остальные (2–5) приведены с шестичасовым интервалом

F i g. 5. Synoptic map for October 11, 2008, 06:00 UTC (based on the data of the Sakhalin Hydrometeorological Service of Federal Service of Russia for Hydrometeorology and Environmental Monitoring). Position of cold front 1 corresponds to October, 10, 18:00; the rest of the fronts (2–5) are represented with a 6 hr lag

Рассматривая появление аномального волнения в разных пунктах, следует иметь в виду, что это не одна и та же волна, возбужденная в районе м. Ловцова и распространяющаяся вдоль Курильской гряды. Генерация аномальных колебаний хорошо согласуется с прохождением атмосферного возмущения, которое «включает» их по мере своего продвижения. В полученных записях в каждом пункте преобладают колебания, обусловленные локальным характером рельефа дна и топографией береговой черты в прилегающих акваториях. В этом заключается важное отличие метеоцунами от цунами сейсмического происхождения – они проявляются преимущественно локально [6, 8].

С. Монсеррат с соавторами [6] полагает, что метеоцунами аналогичны волнам цунами, генерируемым оползнями. Параметры таких волн и их связь со скоростью соскальзывающего оползня зависят от числа Фруда. Для твердого тела, движущегося со скоростью U , число Фруда записывается следующим выражением:

$$Fr = U / c, \quad (2)$$

где c – локальная скорость длинных волн [9, 10]. Резонанс возникает, когда эти скорости равны, т. е. при $Fr = 1,0$. Характер генерируемых волн существенно различается для значений числа Фруда $Fr \neq 1,0$. При $Fr < 1,0$ возмущение не вызывает волн, распространяющихся по воде [10].

Для определения значений числа Фруда в рассматриваемых случаях необходимо вычислить скорости распространения поверхностных волн в местах постановки приборов. Учитывая глубину в местах постановки приборов (от 15 м у м. Кастрикум до 25,5 м у м. Ловцова), для этого диапазона глубин по известной формуле для длинных волн определяем диапазон фазовых скоростей волн, который составляет от 43,6 до 56,9 км/ч. При этом диапазон значений числа Фруда для этих скоростей, определенный по выражению (2) для участка от м. Ловцова до м. Ван-Дер-Линд, будет в пределах 1,057–0,810. То есть при перемещении атмосферного возмущения в прибрежной зоне островов с глубинами от 15 до 25,5 м возможна генерация морских волн. Для участка м. Ван-дер-Линд – м. Кастрикум диапазон значений числа Фруда составит 0,193–0,148. Таким образом, подтверждается, что рассматриваемое атмосферное возмущение, перемещающееся с указанными скоростями, может генерировать метеоцунами при $U \sim c$ и $Fr \sim 1,0$ (соответствует участку от м. Ловцова до м. Ван-дер-Линд) и может происходить непрерывная накачка энергии в морские волны, т. е. иметь место резонанс Праудмана [2], при этом вынужденная морская волна значительно усиливается.

Следует также обратить внимание на то, что морские волны, генерируемые атмосферными возмущениями, могут достигать значительных амплитуд только при наличии в прибрежной зоне локального или регионального топографического резонанса [6]. При этом для генерации сейш в резонансной акватории недостаточно внешних волн с большими амплитудами. Опасные сейши могут генерироваться только в акватории с хорошо выраженными резонансными свойствами, имеющими большую добротность (Q -фактор) [11]. В этом случае коэффициент усиления приходящих в резонансную акваторию длинных волн может быть представлен аппроксимирующим выражением

$$H^2(f) = \frac{1}{(1 - f / f_0)^2 + Q^{-2}(f / f_0)^2}, \quad (3)$$

где f – частота длинных волн; f_0 – резонансная частота гавани; Q – добротность резонансной системы [11]. При резонансе $f = f_0$, а коэффициент усиления мощности достигает значения Q^2 .

С использованием спектров были вычислены значения добротности резонансных систем в местах постановки приборов, и по выражению (3) рассчитан коэффициент усиления приходящих волн в зависимости от их частоты (рис. 6). Видно, что большая добротность системы – у м. Ловцова (равна 4,25), при которой коэффициент усиления в случае прихода волн с частотами, близкими к собственной частоте резонансной системы, достигает 19,1. С приходом морских волн значительной амплитуды можно ожидать значительного усиления волн.



Р и с. 6. Зависимость коэффициента усиления приходящей волны от ее частоты
Fig. 6. Dependence of the gain factor of an arriving wave upon its frequency

Однако поскольку необходимо наличие нескольких факторов, а именно: атмосферного возмущения с большой энергией, батиметрии открытого океана и шельфа, направления и скорости атмосферного возмущения, – а вероятность их совпадения невелика, то и случаи появления опасных волн редки и ограничены конкретными местами. Высокий риск метеоцунами в этих местах определяется комбинацией топологии шельфа и геометрией береговой линии, создавая эффект двойного резонанса [12].

Заключение. Проведено исследование возможности генерации метеоцунами при прохождении атмосферных возмущений над районами трех мысов крупных островов Курильской гряды – Кунашира и Урупа, выполненное с использованием длительных записей колебаний уровня моря, полученных в ИМГиГ в 2008 и 2009 гг., и на основе их анализа в диапазоне периодов волн цунами – от 2 до 120 мин. Использовались также синоптические карты, предоставленные Сахалинским управлением гидрометеослужбы.

Установлено, что при прохождении вдоль островов Курильской гряды атмосферного возмущения в районе м. Кастрикум, м. Ван-дер-Линд и м. Ловцова генерируются аномальные колебания уровня моря в диапазоне периодов, характерных для цунами, в местах установки измерителей волнения. Оценен критерий порога метеоцунами для события 11–12 октября 2008 г., и показано, что оно относится к разряду метеоцунами.

Определен диапазон значений числа Фруда, который составляет 1,057–0,810, для скорости перемещения атмосферного возмущения, приблизительно равной 46,1 км/ч, на участке от м. Ловцова до м. Ван-дер-Линд и скоростей поверхностных волн в прибрежной зоне с глубинами от 15 до 25,5 м. Это означает, что почти во всем диапазоне значений скорости перемещения рассматриваемого атмосферного возмущения в прибрежной зоне островов возможна генерация им морских волн. С учетом того, что в диапазоне значений

числа Фруда имеются значения, приблизительно равные единице, атмосферное возмущение может генерировать морские волны, непрерывно накачивая в них энергию в соответствии с механизмом, описанным Праудменом, вследствие чего вынужденная морская волна значительно усиливается и может представлять опасность.

Поскольку, как отмечается в работе [6], похожие на цунами волны, генерируемые атмосферными возмущениями, могут достигать потенциально опасных уровней, только если имеется локальный или региональный топографический резонанс, по рассчитанным спектрам определена добротность резонансных систем в местах постановки измерителей волнения и рассчитан коэффициент усиления для длинных волн, поступающих в резонансную акваторию из открытого моря. Наибольшая добротность системы у м. Ловцова (равна 4,25), при которой коэффициент усиления в случае прихода волн с частотами, близкими к собственной частоте резонансной системы, достигает 19,1. Поэтому с приходом морских волн значительной амплитуды и близких по частоте к собственной частоте резонансной системы можно ожидать генерации опасных волн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Greenspan H. P.* The generation of edge waves by moving pressure distributions // *Journal of Fluid Mechanics*. 1956. Vol. 1, iss. 6. P. 574–592. doi:10.1017/S002211205600038X
2. *Proudman J.* The effects on the sea of changes in atmospheric pressure // *Geophysical Supplements to the Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 1929. Vol. 2, iss. 4. P. 197–209. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1929.tb05408.x>
3. A study of meteorologically and seismically induced water level and water temperature oscillations in an estuary located on the west coast of India (Arabian Sea) / P. Mehra [at al.] // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2012. Vol. 12, iss. 5. P. 1607–1620. doi:10.5194/nhess-12-1607-2012
4. The “Mad Sea” Phenomenon in the Strait of Sicily / J. Candela [at al.] // *Journal of Physical Oceanography*. 1999. Vol. 29, no. 9. P. 2210–2231. doi:10.1175/1520-0485(1999)029<2210:TMSPT>2.0.CO;2
5. *Montserrat S., Thorpe A. J.* Gravity wave observations using an array of microbarographs in the Balearic Islands // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 1992. Vol. 118, iss. 504. P. 259–282. doi:10.1002/qj.49711850405
6. *Montserrat S., Vilibic I., Rabinovich A. B.* Meteotsunamis: atmospherically induced destructive ocean waves in the tsunami frequency band // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2006. Vol. 6, iss. 6. P. 1035–1051. doi:10.5194/nhess-6-1035-2006.
7. *Ковалев Д. П., Шевченко Г. В., Ковалев П. Д.* Распространение метеоцунами у побережья о. Сахалин // *Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска: Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска: Всероссийская научная конференция с международным участием, Южно-Сахалинск, 26-30 мая 2015 г.: сборник материалов. В 2-х томах / под ред. Б. В. Левина, О. Н. Лихачевой. Т. 1. Владивосток : Дальнаука, 2015. С. 312–316.*
8. Метеоцунами на Сахалине и Южных Курильских островах / П. Д. Ковалев [и др.] // *Вестник ДВО РАН*. 2017. № 1. С. 79–87.
9. *Pelinovsky E., Poplavsky A.* Simplified model of tsunami generation by submarine landslides // *Physics and Chemistry of the Earth*. 1996. Vol. 21, iss. 1–2. P. 13–17. doi:10.1016/S0079-1946(97)00003-7

10. Numerical Modeling of Tsunami Generation by Submarine and Subaerial Landslides / I. V. Fine [et al.] // Submarine Landslides and Tsunamis / Eds. A. C. Yalçiner [et al.]. Dordrecht : Springer, 2003. P. 69–88. doi:10.1007/978-94-010-0205-9_9
11. Raichlen F. Harbor resonance // Estuary and coastline hydrodynamics / A. T. Ippen (ed.). New York : McGraw-Hill, 1966. P. 281–340.
12. Рабинович А. Б. Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение. СПб : Гидрометеониздат, 1993. 325 с.

Об авторах:

Ковалев Дмитрий Петрович, ведущий научный сотрудник, руководитель лаборатории волновой динамики и прибрежных течений, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН (693022, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1 б), доктор физико-математических наук, **ORCID ID: 0000-0002-5184-2350**, **SCOPUS Author ID: 26032627700**, **ResearcherID: A-9300-2016**, e-mail: d.kovalev@imgg.ru

Ковалев Петр Дмитриевич, ведущий научный сотрудник, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН (693022, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1 б), доктор технических наук, старший научный сотрудник, **ORCID ID: 0000-0002-7509-4107**, **SCOPUS Author ID: 16429135400**, **ResearcherID: V-8662-2018**, e-mail: p.kovalev@imgg.ru

Хузеева Марина Олеговна, начальник отдела гидрометеорологии моря, ФГБУ «Сахалинское УГМС (Государственное бюджетное учреждение Сахалинское управление по мониторингу окружающей среды)» (693000, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Западная, д. 78), e-mail: marina-khuzeeva@rambler.ru