

Сейши, вызываемые атмосферными возмущениями в диапазоне периодов метеоцунами, у побережья южной половины острова Сахалин

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

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

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

*E-mail: kovalev_pd@outlook.com

Поступила в редакцию 25.02.2020 г., после доработки – 11.03.2020 г.

Цель. Исследование четырех синоптических ситуаций, при которых наблюдалось повышение энергии сейш в прибрежной зоне южной половины о. Сахалин, и рассмотрение их возможно метеорологического происхождения – цель данной работы.

Методы и результаты. Использовались записи волнения, полученные в Институте морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук в 2008 г. с помощью приборов, установленных в 8 пунктах прибрежной зоны южной части о. Сахалин, а также синоптические карты, предоставленные Сахалинским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Рассмотрены четыре синоптические ситуации повышения энергии сейш для всех пунктов наблюдения в диапазоне существования метеоцунами. Показано, что амплитуды основной части наблюдаемых волн превышают критерий, равный $4 \chi_{rms}$, и поэтому рассматриваемые события могут быть отнесены к метеоцунами, при этом их энергия распределена практически по всему диапазону волн цунами. В отсутствие метеоцунами энергия колебаний уровня моря в диапазоне 4–120 мин уменьшается на порядок. Поскольку колебания наблюдаются в прибрежной зоне, обладающей резонансными свойствами, то приход метеоцунами в эти области приводит в конечном итоге к возбуждению сейш, которые и регистрируются. Показано, что холодные фронты генерируют в прибрежной зоне метеоцунами, которые в свою очередь возбуждают сейши.

Выводы. Описаны условия генерации морских волн атмосферными возмущениями в диапазоне периодов цунами 2–120 мин. Установлено, что перемещение протяженного холодного фронта в направлении восток – юг приводит к возбуждению сейш большой амплитуды в районах расположения всех населенных пунктов южной половины о. Сахалин. Для синоптической ситуации с двумя холодными фронтами, движущимися над островом, возможно возбуждение сейш большой амплитуды в местах, вблизи которых перемещается холодный фронт.

Ключевые слова: метеоцунами, сейши, волны, холодный фронт, 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. Сейши, вызываемые атмосферными возмущениями в диапазоне периодов метеоцунами, у побережья южной половины острова Сахалин // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 4. С. 437–450. doi:10.22449/0233-7584-2020-4-437-450

Seishes Excited by the Atmospheric Disturbances within the Range of the Meteotsunami Periods nearby the Southern Part of the Sakhalin Island

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 for Hydrometeorology and Environmental Monitoring of Russia, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

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

Purpose. The aim of the paper is to study four synoptic situations, in which the seiches energy increase was observed in the coastal zone of the southern part of the Sakhalin Island, and to consider their possible meteorological origin.

Methods and Results. Records of the waves obtained in the Institute of Marine Geology and Geophysics in 2008 using both the instruments installed in eight points in the coastal zone of the southern part of the Sakhalin Island, and the synoptic maps provided by the Sakhalin Hydrometeorological Service Department, were used. For all the observation points, four synoptic situations characterized by increase of the seiches energy within the meteotsunami existence range were considered. It is shown that the amplitudes of the main part of the observed waves exceed the criterion equal to $4 \times_{rms}$. Therefore the events under consideration can be related to meteotsunami; at that, their energy is distributed almost all over the whole range of tsunami waves. When meteotsunami is absent, energy of the sea level oscillations in the range 4–120 min is reduced by an order. Since fluctuations are observed in the coastal zone possessing the resonant properties, arrival of meteotsunamis to these areas eventually results in exciting the seiches which are recorded. It is shown that in the coastal zone, cold fronts generate meteotsunamis, which, in their turn, give rise to seiches.

Conclusions. The conditions for generating sea waves by the atmospheric disturbances within the range of the tsunami periods 2–120 minutes are described. It is found that movement of an extended cold front in the east-south direction leads to generation of the large-amplitude seiches in the region of the southern part of the Sakhalin Island, just where all the settlements are located. At a synoptic situation when two cold fronts are moving over the island, generation of high-amplitude seiches is possible in the places, near which a cold front is passing.

Keywords: meteotsunami, seiches, waves, cold front, atmospheric disturbances.

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the state task of the Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB of RAS.

For citation: Kovalev, D.P., Kovalev, P.D. and Khuzeeva, M.O., 2020. Seishes Excited by the Atmospheric Disturbances within the Meteotsunami Range nearby the Southern Part of the Sakhalin Island. *Physical Oceanography*, [e-journal] 27(4), pp. 402-414. doi:10.22449/1573-160X-2020-4-402-414

Введение

Термин «метеоцунами» уже достаточно давно используется для обозначения морских волн, которые имеют периоды, близкие к периодам волн цунами 2 мин – 2 ч, образованных под влиянием землетрясений, оползней или извержений вулканов. В отличие от цунами метеоцунами генерируются над открытым океаном высокочастотными модуляциями атмосферного давления гравитационных волн, конвективными скачками давления или другими видами атмосферных возмущений [1, 2].

Однако одного только резонансного переноса энергии из атмосферы в море недостаточно для того, чтобы метеоцунами достигли разрушительных уровней высотой в несколько метров при подходе к берегу. Необходимо,

чтобы прибрежные акватории – заливы и гавани – обладали большими коэффициентами усиления [3, 4]. Тогда метеоцунами, приходя в прибрежную зону, обладающую выраженными резонансными свойствами, могут возбуждать сейши, периоды и амплитуды которых будут зависеть от параметров конкретной локальной топографии.

Изучению волн метеоцунами в прибрежных областях разных регионов Мирового океана посвящено большое число работ, опубликованных как за рубежом [1, 5–10], так и в России [11–15].

Видно, что в последние два десятилетия изучение метеоцунами и условий их генерации продвигалось очень активно, и наше понимание основных процессов существенно улучшилось. Но, как считают авторы работы [16], открытых вопросов все еще достаточно. И хотя установлено, что резонанс Праудмана играет важную роль в связанной с метеоцунами передаче энергии атмосферы – океана [17–20], до сих пор недостаточно ясно, как на усиление метеоцунами влияют подобные резонансные взаимодействия или локальная батиметрия [21].

К тому же, поскольку прибрежные акватории значительно различаются своими резонансными характеристиками, проявление метеоцунами, его амплитуда и возможность возбуждения сейш, представляющих опасность для судоходства, также будут различными для каждой конкретной прибрежной области. И это обстоятельство необходимо учитывать при проведении работ и изысканий в прибрежной зоне моря.

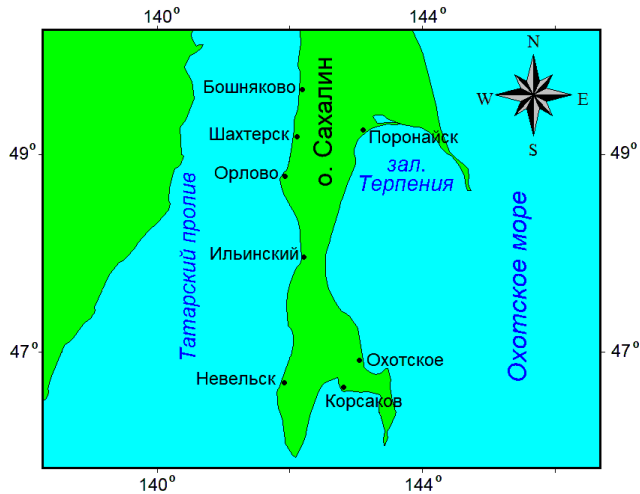
Поэтому работы по изучению метеоцунами в рамках рассматриваемой тематики для Сахалинского региона, несмотря на то что нами уже опубликовано несколько статей [14, 15], было решено продолжать (особенно учитывая наличие обширного материала наблюдений за уровнем моря в разных точках побережья о. Сахалин) и проанализировать появление этих волн, поскольку было установлено, что при прохождении атмосферных возмущений метеоцунами генерируются не во всех пунктах наблюдений.

Целью настоящей работы является исследование четырех синоптических ситуаций, при которых наблюдалось повышение энергии сейш в прибрежной зоне южной половины о. Сахалин, и рассмотрение их возможно метеорологического происхождения.

Отметим, что регистрируемые большие амплитуды колебаний уровня при перемещении атмосферных возмущений над прибрежной зоной являются по сути следствием возбужденных метеоцунами сейш. Возможно, далее правильнее будет говорить об аномальных по амплитуде колебаниях как о сейшах (как, например, в работе [22]), хотя для описания таких колебаний часто используют термин «метеоцунами».

Данные наблюдений

Для описанных в настоящей работе исследований были использованы записи волнения, полученные в 2008 г. в прибрежных пунктах о. Сахалин (рис. 1), и данные синоптических карт, предоставленных Сахалинским УГМС. Запись колебаний уровня моря проводилась с секундной дискретностью с помощью автономных регистраторов волнения.



Р и с. 1. Карта южной части о. Сахалин и населенные пункты, вблизи которых в 2008 г. были установлены регистраторы волнения

F i g. 1. Map of the southern part of the Sakhalin Island and location of the settlements, near which the wave recorders were installed in 2008

Поскольку диапазон периодов волн метеоцунами такой же, как и у цунами, из данных наблюдений был вычтен предвычисленный прилив, после чего ряды были отфильтрованы полосовым фильтром с окном 2–120 мин. В отфильтрованных рядах наблюдалось четыре ситуации значительного подъема энергии волнения в рассматриваемом диапазоне периодов: 18 июня, 5 августа, 3 и 11 сентября. Временные ряды для этих моментов времени для 8 пунктов приведены на рис. 2.

Изначально анализ волнения в диапазоне периодов метеоцунами проводился для 10 пунктов побережья. Однако некоторые пункты (например, Невельск и Горнозаводск) расположены близко, и режим волнения в них отличается незначительно. Поэтому в конечном итоге рассмотрены данные только по 8 пунктам, но для уточнения использовались все 10. Такой подход позволил сократить объем рисунков в настоящей работе.

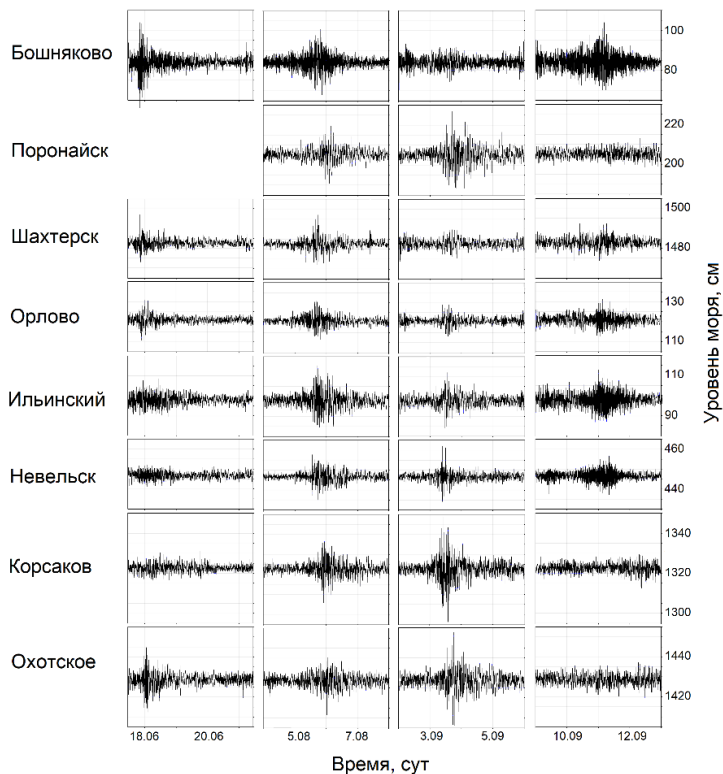
Как отмечено в [1], около 99% энергии фоновых колебаний в море в диапазоне периодов цунами связано с атмосферными возмущениями, поэтому обнаруженные нами аномальные колебания уровня предположительно являются метеоцунами. Тем не менее не все колебания уровня моря могут быть отнесены к метеоцунами. В [1] предложено использовать в качестве критерия порога метеоцунами амплитуду волны, в три или четыре раза превышающую среднеквадратическое значение (*root mean square – rms*), 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, n – их число.

Вычисленные по двухсуточным рядам во время рассматриваемых событий значения x_{rms} и за сутки до наступления события 3 сентября значения ам-

плитуд фоновых волн в диапазоне периодов метеоцунами для 8 пунктов наблюдения приведены в табл. 1. Следует отметить, что значения амплитуд фонового волнения были рассчитаны и перед другими событиями и показали близкий к приведенному в этой таблице результат.



Р и с. 2. Фрагменты остаточных временных рядов после фильтрации в диапазоне периодов 2–120 мин для 8 пунктов наблюдений. Уровни моря на станциях даны относительно нуля постов
F i g. 2. Fragments of residual time series after filtering within the periods' range 2–120 min for 8 observation points. The sea levels at the stations are represented relative to 0-posts

Видно, что амплитуды основной части наблюдаемых волн превышают критерий, равный $4 \cdot \chi_{rms}$, и поэтому эти рассматриваемые события могут быть отнесены к метеоцунами. При этом, как показывают спектры колебаний уровня для случаев прихода метеоцунами (рис. 3), энергия колебаний распределена практически по всему диапазону, соответствующему диапазону волн цунами, по-видимому, из-за того, что в местах установки приборов резонансные свойства проявляются на нескольких периодах.

В отсутствие метеоцунами энергия колебаний уровня в диапазоне 4–120 мин уменьшается на порядок, что видно из сравнения спектров для п. Орлово (рис. 3). В короткопериодной части 2–4 мин разность в энергии колебаний меньше, что может быть связано с наличием здесь инфрагравитационных волн. Однако пики на периодах, присутствующие в спектрах прибрежных акваторий для одного пункта наблюдений, не изменяются при наличии события, и это говорит о том, что они являются собственными колебаниями.

Т а б л и ц а 1
T a b l e 1

**Значения фоновых амплитуд, вычисленные по двухсуточным рядам
в диапазоне периодов метеоцунами по данным наблюдений 2008 года
Values of the background amplitudes calculated from the two-day series within the
range of the meteorological tsunami periods based on the observations in 2008**

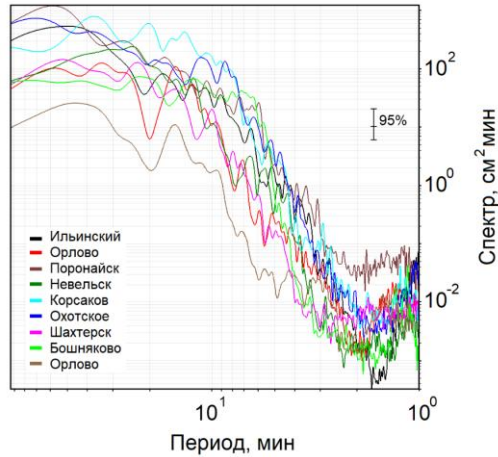
Пункт наблюдения / Observation point	$x_{rms}(cm)$ (фон) / $x_{rms}(cm)$ (back- ground)	$x_{rms}(cm)$ (события) / $x_{rms}(cm)$ (events)			
	03.09.2008	18.06.2008	06.09.2008	03.09.2008	11.09.2008
Бошняково / Boshnyakovo	3,4	23,1	15,8	7,9	20,9
Поронайск / Poronaisk	1,8		14,7	19,7	5
Шахтерск / Shakhtersk	2,5	16,1	14,5	7,6	13,6
Орлово / Orlovo	2,1	11	10	7,7	12
Ильинский / I'insky	1,7	11,5	14,7	13,9	12,8
Невельск / Nevelsk	2,2	5,5	11,5	15,1	8,2
Корсаков / Korsakov	2,9	7,6	13,8	26,3	8,7
Охотское / Okhotskoe	3,1	16,3	11,6	24,3	7

П р и м е ч а н и е. Жирным шрифтом выделены значения амплитуды волн, которые меньше критерия $4 x_{rms}$; дата – начало двухсуточного интервала временного ряда определения x_{rms} .

N o t e. Values of the wave amplitudes that are less than the $4 x_{rms}$ criterion are in bold; the date denotes beginning of the two-day interval of the time series for determining x_{rms} .

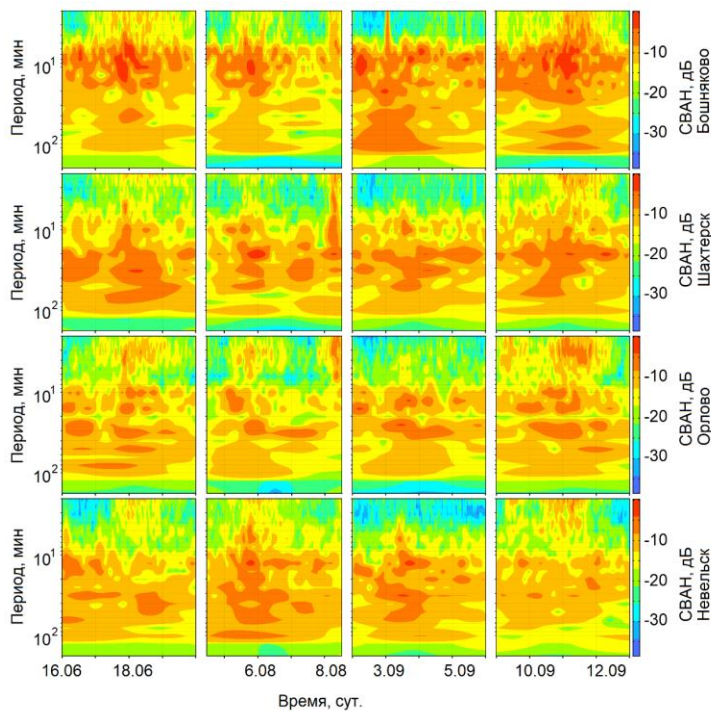
В то же время периоды пиков в спектрах для разных пунктов наблюдений существенно различаются. Но общий характер поведения спектра для одного пункта наблюдений, как показывают текущие спектры (например, приведенные для четырех пунктов на рис. 4), для конкретного пункта сохраняется. Это показывает, что метеоцунами проявляется локально в соответствии с резонансными свойствами конкретных акваторий и их собственными периодами колебаний, что согласуется с выводами, сделанными в других работах [1, 15].

Следует также отметить, что метеоцунами могут достигать опасных амплитуд только при наличии в прибрежной зоне локального или регионального топографического резонанса [1] и что для генерации сейш большой амплитуды недостаточно приходящих в акваторию внешних волн с большой энергией. Необходимо, чтобы акватория обладала хорошо выраженными резонансными свойствами, в частности, имела при этом большую добротность [23].



Р и с. 3. Спектры колебаний уровня, вычисленные по суточным рядам для времени существования метеоцунами 3–4 сентября 2008 г. и в отсутствие события (нижний спектр для п. Орлово)

F i g. 3. Spectra of sea level fluctuations calculated using the daily series for the periods of meteotsunami existence, September 3–4, 2008 and in the absence of an event (the lower spectrum for the point Orlovo)



Р и с. 4. Текущие спектры колебаний уровня для событий метеоцунами в четырех пунктах наблюдения

F i g. 4. Spectrograms of sea level oscillations for the meteotsunami events in four observation points

Расчет добротности резонансной системы акваторий для периодов колебаний, превышающих в спектрах 95%-ный доверительный интервал, проводился с использованием известного выражения [24]:

$$Q = \omega_0 / \Delta\omega, \quad (2)$$

где ω_0 – резонансная частота системы (резонансного максимума); $\Delta\omega$ – ширина максимума; Q – его добротность. При этом ширина максимума по спектру определяется как полоса частот, в пределах которой энергия колебаний уменьшается в два раза [24]. Результаты расчета приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2
T a b l e 2

Добротность резонансных систем акваторий, прилегающих к пунктам наблюдения, для периодов колебаний, энергия которых в спектрах превышает 95%-ный доверительный интервал
***Q*-factors of the resonant systems of the water areas adjacent to the observation points for the periods of oscillations the energy of which exceeds 95% of the confidence interval in the spectra**

Пункт наблюдения / Observation point	Период пика, мин / Peak period, min	Добротность / <i>Q</i> -factors
Поронайск / Poronaïsk	55,20	1,2031
	24,43	2,5685
	6,00	9,4359
	3,10	16,9850
Ильинский / Il'insky	9,13	8,4473
Корсаков / Korsakov	36,18	1,1972
	4,58	11,1880
	2,92	11,1660
Невельск / Nevelsk	12,45	5,1950
	4,42	1,3943
Орлово / Orlovo	14,73	2,6494
	7,08	8,6400
Бошняково / Boshnyakovo	1,13	33,9930
	1,30	15,7850
	12,22	3,5596
	21,73	1,8975
Шахтерск / Shakhtersk	10,00	5,7728
	14,28	3,8934
	22,70	2,1982
Охотское / Okhotskoe	2,02	13,315
	3,83	16,557
	4,67	12,372
	7,82	6,7458
	6,32	7,0200

П р и м е ч а н и е. Жирным шрифтом выделены периоды сейш для добротности более 5, при которой происходит усиление амплитуды примерно в 5,5 раза.

N o t e. Bold type marks out the seiche periods for the *Q*-factors exceeding 5 at which the amplitude is amplified by approximately 5.5 times.

Из табл. 2 видно, что вблизи всех пунктов наблюдения существуют резонансные акватории с добротностью более 5, при которой возможно значительное усиление приходящих волн метеоцунами на резонансных периодах и возбуждение сейш. При этом высокая добротность наблюдается для колебаний с периодами до нескольких минут, что будет способствовать проявлению тягуна, представляющего опасность для стоящих на якорю судов, во время прихода метеоцунами.

Анализ синоптических ситуаций

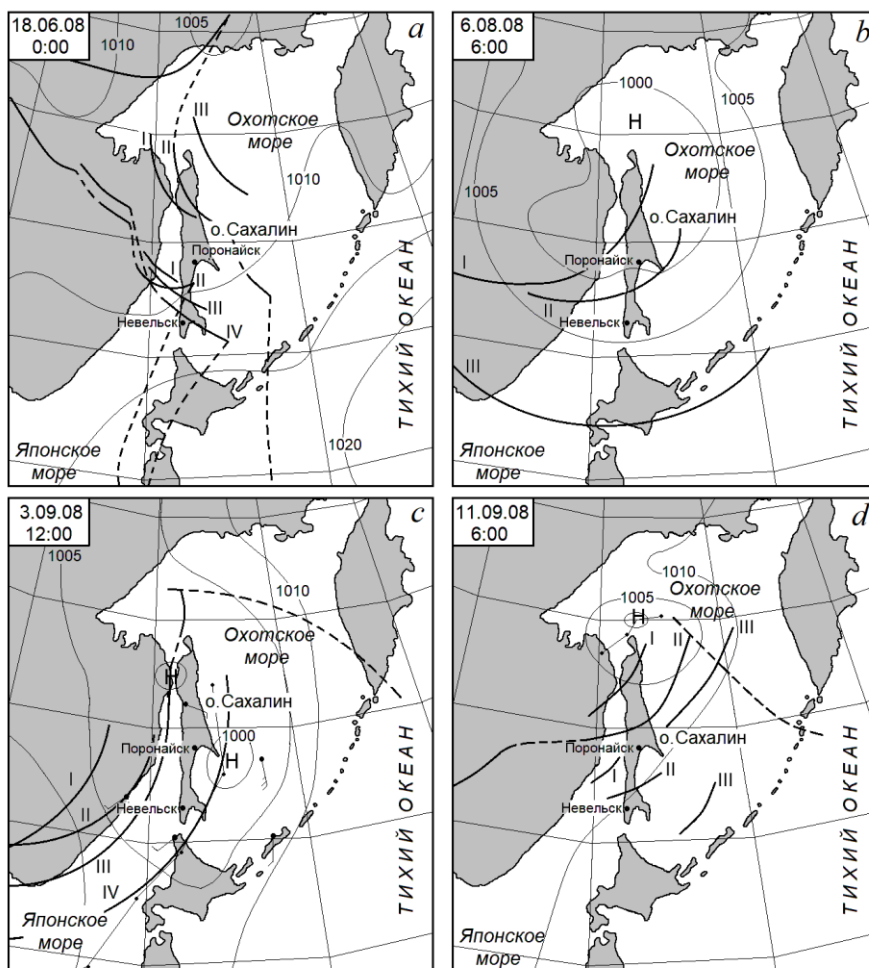
Из рис. 2 видно, что при перемещении циклонов и холодных фронтов увеличение энергии волнения над южной половиной о. Сахалин наблюдается не во всех пунктах побережья. Поэтому для рассматриваемых моментов времени использованы синоптические карты, предоставленные Сахалинским УГМС (рис. 5).

Были проанализированы синоптические ситуации с целью определения источника возбуждения аномальных сейш. Наблюдаемые в моменты проявления метеоцунами циклоны были преимущественно неглубокие: так, например, в ситуации 3.09.08 скорость перемещения составляла 42,6–69,3 км/ч, 6.08.08 – около 23,1–28,9 км/ч с давлением около 1000 мПа. Для двух других случаев циклоны находились на удалении от о. Сахалин и поэтому вряд ли могли быть причиной генерации метеоцунами. Скорее всего, этой причиной являлись холодные фронты, которые обычно сопровождают циклоны.

Следует отметить, что волнение в области атмосферных фронтов начали изучать сравнительно недавно и опыта его прогнозирования в этих условиях еще недостаточно [22, 25–27]. Применение численных методов в некоторых специфических условиях волнообразования трудно реализуемо. Скорости ветра при прохождении фронтов могут достигать 40 м/с, а иногда и больше [13]. Особенно сильными ветрами отличаются быстро движущиеся основные холодные фронты.

Анализ синоптических карт показал, что наблюдается несколько разных ситуаций перемещений холодного фронта: один протяженный фронт, перемещающийся как бы параллельно острову – с запада на восток (рис. 5, *c*); один протяженный фронт, приходящий с запада, постепенно разворачивающийся над островом и в дальнейшем перемещающийся с севера на юг (рис. 5, *b*); два отдельных фронта в северной и южной частях острова с перемещением над рассматриваемой частью о. Сахалин с севера на юг (рис. 5, *a, d*).

Для синоптической ситуации 18.06.08 (рис. 5, *a*) скорость перемещения холодного фронта в северной части острова составляла около 16,7 км/ч. При этом фронт способствует активной генерации метеоцунами, которое возбуждает сейши в прибрежной зоне п. Бошняково с амплитудой, в 6,8 раза превышающей значение χ_{rms} для тихой погоды. На генерацию сейш в южной части острова оказывал влияние другой холодный фронт, который, смещаясь к востоку, перемещался в южном направлении со скоростью около 9,3 км/ч. При этом максимальные амплитуды сейш зарегистрированы в районе п. Охотское, хотя превышение χ_{rms} составляло только 5,3 раза вследствие больших амплитуд фонового волнения. Отметим, что для рассматриваемой ситуации близко проходящих центров циклонов не наблюдалось, т. е. активная генерация сейш обеспечивалась только холодными фронтами.



Р и с. 5. Синоптические карты для четырех событий метеотсунами. Положения холодных фронтов для карт: *a*) I – 17.06.08, 18:00; II – 18.06.08, 0:00; III – 18.06.08, 6:00; IV – 18.06.08, 12:00; *b*) I – 5.08.08, 18:00; II – 6.08.08, 6:00; III – 6.08.08, 18:00; *c*) I – 2.09.08, 18:00; II – 3.09.08, 6:00; III – 3.09.08, 12:00; IV – 3.09.08, 18:00; *d*) I – 11.09.08, 0:00; II – 11.09.08, 6:00; III – 11.09.08, 12:00. Сплошной жирной линией показаны положения холодного фронта, штриховой – теплового фронта для даты карты. Время *UTC* +0

F i g. 5. Synoptic maps for four meteotsunami events. Positions of cold fronts for the maps *a*) I – 17.06.08, 18:00; II – 18.06.08, 0:00; III – 18.06.08, 6:00; IV – 18.06.08, 12:00; *b*) I – 5.08.08, 18:00; II – 6.08.08, 6:00; III – 6.08.08, 18:00; *c*) I – 2.09.08, 18:00; II – 3.09.08, 6:00; III – 3.09.08, 12:00; IV – 3.09.08, 18:00; *d*) I – 11.09.08, 0:00; II – 11.09.08, 6:00; III – 11.09.08, 12:00. Solid bold line shows positions of the cold front; dotted line – positions of the warm front for the date on the map. Time *UTC*+0

В ситуации 6.08.08 (рис. 5, *b*) один протяженный холодный фронт перемещался с северо-запада, разворачиваясь в южном направлении; скорость его перемещения над западным побережьем южной части острова достигала 49,1 км/ч. При этом сейши большой амплитуды возбуждались во всех пунктах наблюдения, максимальные – в районах пп. Ильинский и Поронайск, где превышение составило более 8 раз по сравнению с уровнем χ_{rms} .

В третьей ситуации 3.09.08 (рис. 5, *c*) вдоль восточного побережья о. Сахалин из Японского моря перемещался неглубокий циклон со скоростью около 72,5 км/ч. Если бы он явился причиной генерации метеоцунами, а те в свою очередь возбудили сейши, то разница во времени между началом усиления сейш в пунктах наблюдения Охотское и Поронайск, расположенных на восточном побережье острова на расстоянии около 312 км, составила бы 4,3 ч. Однако реальная разность по времени прихода метеоцунами и прихода зыби для этих пунктов составляет около 15 мин. Поэтому можно заключить, что в рассматриваемой ситуации не циклон является причиной аномальных волн.

В рассматриваемой ситуации только один протяженный фронт перемещался в направлении ВВЮ, практически перпендикулярном западному побережью о. Сахалин, со скоростью около 46,5 км/ч и полностью охватывал всю южную половину острова. Сейши большой амплитуды при этом наблюдались вдоль западного побережья от п. Ильинский и южнее, в акваториях вблизи пп. Корсаков и Охотское; с максимальной амплитудой, превышающей χ_{rms} в 10 раз, в районе п. Поронайск. Небольшая амплитуда сейш в районе п. Бошняково и далее до п. Орлово связана, по-видимому, с тем обстоятельством, что холодный фронт при подходе к Татарскому проливу располагался южнее этих пунктов и только выходя в Татарский пролив сместился на север. И, таким образом, генерируемые им волны метеоцунами, возбудившие затем сейши в прибрежной части острова от п. Орлово до п. Бошняково, не раскачались до большой амплитуды.

В ситуации 11.09.08 (рис. 5, *d*), так же как и в первой, над островом перемещались два фронта, но примерно в одном юго-восточном направлении, а неглубокий циклон располагался над самой северной частью острова – п-овом Шмидта и, по-видимому, поэтому не оказывал влияния на формирование метеоцунами в южной половине о. Сахалин. При этом северный фронт перемещался со скоростью около 20,4 км/ч и явился причиной генерации сейш большой амплитуды в п. Бошняково, но обошел п. Поронайск, что видно и из синоптической карты. Южный фронт перемещался со скоростью около 29,7 км/ч и способствовал генерации сейш на западном побережье острова с максимальными амплитудами вблизи п. Орлово, которые превышали χ_{rms} в 5,7 раза, но они практически отсутствовали в районе пп. Корсаков и Охотское. Данное обстоятельство, возможно, объясняется тем, что фронт начал разворачиваться в восточном направлении над южной оконечностью острова и скорость его перемещения в южном направлении в это время несколько снизилась.

Выводы

Описаны исследования с использованием записей волнения в 2008 г. в 8 прибрежных пунктах южной половины о. Сахалин и данных синоптических карт с целью выявления аномальных колебаний уровня моря, генерируемых атмосферными возмущениями.

Вычисленные по двухсуточным рядам значения амплитуд фоновых волн в диапазоне периодов метеоцунами для 8 пунктов наблюдения показали, что амплитуды большей части наблюдаемых аномальных волн превышают кри-

терий, равный $4 \chi_{rms}$, и поэтому рассматриваемые события могут быть отнесены к метеоцунами. При этом их энергия распределена практически по всему диапазону волн цунами, по-видимому, вследствие того, что в местах установки приборов резонансные свойства акваторий проявляются на нескольких периодах. В отсутствие метеоцунами энергия колебаний уровня в диапазоне 4–120 мин уменьшается на порядок.

Показано, что вблизи практически всех пунктов наблюдения существуют резонансные акватории с добротностью более 5, при которой возможно усиление проходящих волн метеоцунами на резонансных периодах и возбуждение сейш. Отмечается, что высокая добротность резонансных акваторий наблюдается для колебаний с периодами в несколько минут и поэтому во время прихода метеоцунами возможно возбуждение сейш большой амплитуды с периодами около трех минут, а значит – проявление тягуна, представляющего опасность для стоящих на якорю судов.

Установлено, что причиной возбуждения сейш большой амплитуды являются метеоцунами, которые генерируются перемещающимися над пунктами наблюдения холодными фронтами. Они могут находиться на большом расстоянии от циклона, хотя и считается, что фронты сопровождают циклоны. При этом протяженный холодный фронт, распространяющийся в направлении ВВЮ, приводит к возбуждению сейш большой амплитуды в акваториях вблизи всех населенных пунктов южной половины о. Сахалин.

При наличии двух разных фронтов, движущихся над островом в одном направлении с севера на восток или в противоположных направлениях, возможно возбуждение сейш большой амплитуды в резонансных акваториях, вблизи которых холодный фронт перемещается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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. <https://doi.org/10.5194/nhess-6-1035-2006>
2. Toward the predictability of meteotsunamis in the Balearic Sea using regional nested atmosphere and ocean models / L. Renault [et al.] // *Geophysical Research Letters*, 2011. Vol. 38, iss. 10. L10601. <https://doi.org/10.1029/2011GL047361>
3. *Rabinovich A. B.* Seiches and Harbour Oscillations. *Handbook of Coastal and Ocean Engineering* / Ed. Y. C. Kim, Singapore : World Scientific Publishing, 2009. P. 193–236. https://doi.org/10.1142/9789812819307_0009
4. Fresh evidence relating the great Adriatic surge of 21 June 1978 to mesoscale atmospheric forcing / M. Orlić [et al.] // *Journal of Geophysical Research. Oceans*. 2010. Vol. 115, iss 6. C06011. <https://doi.org/10.1029/2009JC005777>
5. *Hibiya T., Kajiwara K.* Origin of the *Abiki* phenomenon (a kind of seiche) in Nagasaki Bay // *Journal of the Oceanographical Society of Japan*. 1982. Vol. 38. P. 172–182. <https://doi.org/10.1007/BF02110288>
6. *Rabinovich A. B., Montserrat S.* Meteorological tsunamis near the Balearic and Kuril Islands: Descriptive and statistical analysis // *Natural Hazards*. 1996. Vol. 13, iss 1. P. 55–90. <https://doi.org/10.1007/BF00156506>
7. Meteorological tsunamis on the coasts of British Columbia and Washington / R. E. Thomson [et al.] // *Physics and Chemistry of the Earth*. 2009. Vol. 34. P. 971–988. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2009.10.003>

8. *Vilibic I., Sepic J.* Destructive meteotsunamis along the eastern Adriatic coast: Overview // *Physics and Chemistry of the Earth, Parts.* 2009. Vol. 34, iss. 17. P. 904–917. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2009.08.004>
9. 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 [et al.] // *Natural Hazards and Earth System Sciences.* 2012. Vol. 12. P. 1607–1620. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-1607-2012>
10. *Alfonso-Sosa E.* Meteotsunamis revelan la intensificación rápida de los huracanes // Preprint. 2018. 25 p.
11. *Ржеплинский Г. В., Матушевский Г. В., Ещенко Л. А.* Необычные волны зыби // *Метеорология и гидрология.* 1975. № 3. С. 68–73.
12. *Рабинович А. Б.* Длинные волны гравитации океана: захват, резонанс и излучение. СПб. : Гидрометеоиздат, 1993. 325 с.
13. Режим, диагноз и прогноз ветрового волнения в морях и океанах / Под ред. Е. С. Нестерова. Москва, 2013. 337 с. URL: <http://method.meteorf.ru/publ/books/wind.pdf> (дата обращения: 29.06.2020).
14. *Ковалев Д. П., Шевченко Г. В., Ковалев П. Д.* Распространение метеоцунами у побережья о. Сахалин // *Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска: Всероссийская научная конференция с международным участием, Южно-Сахалинск, 26–30 мая 2015 г.: сборник материалов / Под ред. Б. В. Левина, О. Н. Лихачевой.* Владивосток : Дальнаука, 2015. Т. 1. С. 312–315.
15. Метеоцунами на Сахалине и Южных Курильских островах / П. Д. Ковалев [и др.] // *Вестник ДВО РАН.* 2017. № 1. С. 79–87.
16. Numerical study of Balearic meteotsunami generation and propagation under synthetic gravity wave forcing / M. Licer [et al.] // *Ocean Modelling.* 2017. Vol. 111. P. 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2017.02.001>
17. *Rabinovich A. B., Monserrat S., Fain I. V.* Numerical modeling of extreme seiche oscillations in the region of the Balearic Islands // *Oceanology,* 1999. Vol. 39, iss. 1. P. 12–19.
18. Influence of the Atmospheric Wave Velocity in the Coastal Amplification of Meteotsunamis / M. Marcos [et al.] Eds. A. C. Yalçiner, E. N. Pelinovsky, E. Okal, C. E. Synolakis // *Submarine Landslides and Tsunamis.* Dordrecht : Springer, 2003. P. 243–249. (NATO Science Series (Series IV: Earth and Environmental Sciences); Vol. 21). https://doi.org/10.1007/978-94-010-0205-9_25
19. *Whitmore P., Knight B.* Meteotsunami forecasting: sensitivities demonstrated by the 2008 Boothbay, Maine, event // *Natural Hazards,* 2014. Vol. 74, iss. 1. P. 11–23. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1056-0>
20. *Sepic J., Vilibic I., Fine I.* Northern Adriatic meteorological tsunamis: Assessment of their potential through ocean modeling experiments // *Journal of Geophysical Research: Oceans.* 2015. Vol. 120, iss. 4. P. 2993–2310. <https://doi.org/10.1002/2015JC010795>
21. Modern Approaches in Meteotsunami Research and Early Warning / I. Vilibic [et al.] // *Frontiers in Marine Science.* 2016. Vol. 3, iss. 57. P. 1–7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00057>
22. *De Jong M. P. C., Holthuijsen L. H., Battjes J. A.* Generation of seiches by cold fronts over the southern North Sea // *Journal of Geophysical Research: Oceans.* 2003. Vol. 108, iss. C4. 3117. doi:10.1029/2002JC001422
23. *Raichlen F.* Harbor resonance // *Estuary and coastline hydrodynamics / Ed. A. T. Ippen.* New York : McGraw-Hill Book Co., 1966. P. 281–340.
24. *Зернов Н. В., Карпов В. Г.* Теория радиотехнических цепей. Л. : Энергия, 1972. 816 с.
25. *Иваненков Г. В., Матушевский Г. В., Ржеплинский Г. В.* Резонансное возбуждение поверхностных волн в море холодными атмосферными фронтами // *Известия Академии наук СССР. Физика атмосферы и океана.* 1977. Т. 13, № 1. С. 80–87.

26. *Мастерских М. А., Сиротов К. М.* О расчете скорости ветра в узких зонах холодных атмосферных фронтов над водной поверхностью морей и океанов // Труды ГМЦ РФ. 1992. Вып. 324. С. 130–134.
27. Air-sea interaction processes in warm and cold sector of extratropical cyclonic storms observed during FASTEX / P. Ola G. Persson [et al.] // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 2005. Vol. 131, iss. 607. P. 877–912. <https://doi.org/10.1256/qj.03.181>

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. 16), доктор физико-математических наук, **ORCID ID: 0000-0002-5184-2350**, **SCOPUS Author ID: 26032627700**, **ResearcherID: A-9300-2016**, 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. 16), доктор технических наук, старший научный сотрудник, **ORCID ID: 0000-0002-7509-4107**, **SCOPUS Author ID: 16429135400**, **ResearcherID: V-8662-2018**, 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), marina-khuzeeva@rambler.ru