

УДК 551.466.6

МЕТЕОЦУНАМИ 1 ОКТЯБРЯ 2018 г. НА ЮЖНЫХ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВАХ

© 2025 г. Г. В. Шевченко^{1, 2, *}, А. В. Лоскутов^{1, 3}, А. А. Шишкин¹¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск²Сахалинский филиал ГНЦ РФ Всероссийского института рыбного хозяйства и океанографии,
г. Южно-Сахалинск³Сахалинский государственный университет, г. Южно-Сахалинск

*e-mail: shevchenko_zhora@mail.ru

Поступила в редакцию 31.07.2024 г.

После доработки 06.08.2024 г.

Принята к публикации 22.11.2024 г.

В результате постановки в бухтах островов Шикотан и Кунашир автономных регистраторов придонного гидростатического давления получены записи самого значительного метеоцунами в Дальневосточном регионе России (размах колебаний составлял 1.9 м в бухте Димитрова, что является наибольшим инструментально зарегистрированным показателем). Это событие было вызвано быстро движущимся (вместе с циклоном) в северо-восточном направлении атмосферным фронтом, скачок давления в котором составил 7 гПа. Интенсивные колебания в бухтах южных Курильских островов продолжались в течение нескольких часов преимущественно на резонансных частотах, они представляли опасность, сравнимую с умеренными сейсмическими цунами. Численное моделирование показало, что движение атмосферных фронтов со скоростями 90–120 км/ч вдоль побережья Малой Курильской гряды вызывает заметный отклик как на тихоокеанском шельфе, так и в Южно-Курильском проливе, который усиливается в бухтах за счет резонансных эффектов.

Ключевые слова: метеоцунами, бухта, резонанс, регистратор гидростатического давления, атмосферный фронт, циклон, численное моделирование

DOI: 10.31857/S0030157425020023, **EDN:** DXWWAG

1. ВВЕДЕНИЕ

Под термином “метеоцунами” обычно понимают интенсивные длинноволновые колебания, имеющие периоды, близкие к волнам цунами (основной диапазон от 5 до 40 мин), и сходный характер проявления, обусловленный преимущественно одинаковым процессом возбуждения резонансных колебаний в заливах и бухтах [9]. Главное различие кроется в механизме возбуждения волновых процессов: обычные цунами обусловлены сейсмическими причинами (в большинстве случаев это подводные землетрясения), в то время как метеоцунами генерируются атмосферными возмущениями — быстро движущимися фронтами, шквалами, внутренними гравитационными волнами в атмосфере и т. д.

На побережье Курильских островов длинноволновые процессы метеорологической природы находятся в тени волн сейсмического происхождения, так как прилегающий к ним материковый склон является одной из самых сейсмоактивных

зон в мире. К тому же опасные цунами нередко приходят и при сильных удаленных землетрясениях, происходящих прежде всего у берегов Японии и Чили [10]. Однако регулярные наблюдения за колебаниями уровня океана, осуществляемые на сети телеметрических регистраторов Службы предупреждения о цунами (СПЦ), позволили выявить тот факт, что метеоцунами регулярно происходят на побережье Дальневосточного региона и в некоторых случаях представляют серьезную опасность [2, 5]. Это относится и к Курильской основной гряде, где до настоящего времени наиболее опасное метеоцунами, случившееся 21 марта 2010 г., имело высоту 90 см (от подошвы до гребня). Оно было зафиксировано в порту г. Северо-Курильск, о. Парамушир, телеметрическим регистратором СПЦ [5]. Характер волнового процесса в этом случае был весьма необычным, так как чаще всего наиболее опасные проявления метеоцунами происходят в бухтах с выраженными резонансными свойствами, которыми

не отличаются залив Спокойный или Второй Курильский пролив с портами на берегу.

До начала регулярных наблюдений на сети датчиков СПЦ упоминания об опасных колебаниях уровня моря, обусловленных прохождением атмосферных возмущений, были немногочисленны. Одно из них приведено в монографии [7], когда 8 мая 1991 г. резкое усиление сейш в бухтах Крабовая, Отрадная и Малокурильская было зафиксировано при прохождении грозового фронта. Второе относилось к генерации выраженного цуга краевых волн на океанском шельфе о. Шикотан, зафиксированного тремя донными станциями в сентябре 1989 г. [4].

В целом, метеоцунами гораздо чаще фиксируются в бухтах этого острова на южном фланге Курильской гряды, береговая линия которого имеет сложный характер с большим количеством бухт. В некоторых из этих бухт сотрудниками Института морской геологии и геофизики ДВО РАН в течение многих лет проводятся инструментальные наблюдения волновых процессов, ориентированные на регистрацию волн цунами [11, 14, 15]. Эти наблюдения осуществляются с помощью постановки регистраторов придонного гидростатиче-

ского давления, чаще всего в Малокурильской, Крабовой, Отрадной со стороны Южно-Курильского пролива и бухтах Церковной и Димитрова на океанском берегу острова. В ходе этих исследований была получена запись весьма интересного события, наблюдавшегося 1 октября 2018 г. Анализ этого явления и вызвавших его метеоусловий стал целью данной работы.

2. МАТЕРИАЛЫ НАБЛЮДЕНИЙ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Исходными данными для настоящей работы послужили записи придонного гидростатического давления, пересчитанные в колебания уровня моря, которые были получены в результате постановки автономных регистраторов волнения и уровня АРВ К-14 (производство СКТБ "ЭлПА", г. Углич) в бухтах Малокурильская, Отрадная и Димитрова на о. Шикотан, а также в порту г. Южно-Курильска на о. Кунашир (рис. 1).

Кроме того, использовались аналогичные записи в портах Кусиро и Ханасаки на тихоокеанском побережье о. Хоккайдо, Япония. Для устранения приливной компоненты методом наименьших квадратов по месячной серии определялись

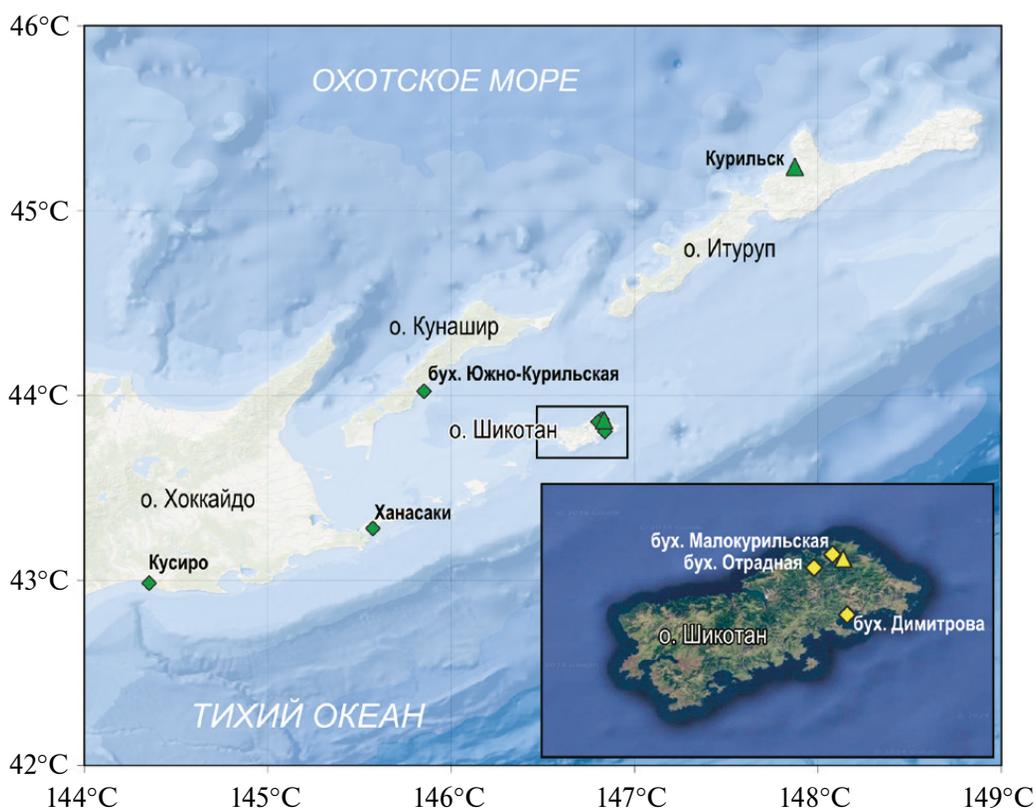


Рис. 1. Общая карта района наблюдения метеоцунами на южных Курильских островах. Зелеными ромбами показано положение измерителей придонного гидростатического давления, треугольниками — приземного атмосферного давления. На врезке детально показано (желтым цветом) положение приборов на о. Шикотан.

гармонические постоянные амплитуды и фазы 8 главных приливных волн: 4 суточного (Q1, O1, P1, K1) и 4 полусуточного диапазона (N2, M2, S2, K2). Вычисленные параметры использовались для фильтрации приливной компоненты из исходных записей колебаний уровня моря.

Для общей характеристики метеорологических условий использовались карты пространственного распределения приземного атмосферного давления в северо-западной части Тихого океана, свободно предоставляемые на сайте [13]. Эти карты, имеющие дискретность по времени 6 часов, позволили качественно оценить метеорологические условия, складывающиеся в районе южных Курильских островов в первую неделю октября 2018 г.

С помощью регистратора придонного давления была получена запись вариаций приземного атмосферного давления в рабочем помещении гидрофизической обсерватории ИМГиГ на о. Шикотан, когда прибор был включен для тестирования.

Использовались также данные измерений атмосферных процессов тремя автоматическими метеостанциями Сахалинского управления Росгидромета, установленными на береговых метеостанциях Южно-Курильск, Малокурильское и Курильск. В Южно-Курильске станция была отключена для профилактических работ, ее включили только 8 октября. На ГМС Малокурильское не работал наиболее важный для анализа изучаемого явления регистратор приземного атмосферного давления, поэтому для работы были отобраны только ряды вариаций температуры атмосферного воздуха, скорости и направления ветра. И только на станции Курильск имелась запись давления, а также скорости и направления ветра, температуры атмосферного воздуха.

Основным методом исследования был спектрально-временной анализ (СВАН), специально разработанный в сейсмологии для волновых процессов, быстро меняющихся во времени [3]. Эта методика предусматривает преобразование Фурье изучаемого отрезка записи по заранее выбранному набору частот, сглаживание в частотной области и обратное преобразование, что позволяет определить значения спектральных амплитуд для различных частот и моментов времени (по сути, это один из первых вариантов wavelet-анализа). Данный подход получил широкое распространение при исследовании волн цунами и метеоцунами [1].

Для проведения численного эксперимента по воспроизведению движения атмосферного фронта и генерации им метеоцунами была использо-

вана модифицированная реализация численной модели, предложенной в [16]. В этой реализации была заложена возможность ускорения расчетов на графическом ускорителе [12], а также использования текстурной памяти графического процессора для поворота и интерполяции расчетных полей. Движущееся атмосферное поле в численной схеме задавалось в виде переменного градиента давления, входящего в уравнение движения.

3. АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

На рис. 2 приведены суточные отрезки записи колебаний уровня моря (из исходных значений был вычтен предвычисленный прилив) на станциях Кусиро, Ханасаки, а также в бухтах Южно-Курильская, Отрадная, Малокурильская и Димитрова за 1 октября 2018 г. и их спектрально-временные диаграммы.

Первое проявление отмечено на станции Кусиро, максимальная волна здесь зафиксирована примерно на полтора часа раньше, чем в порту Ханасаки. Определить момент вступления метеоцунами достаточно сложно. Наиболее вероятно, его можно отнести к 0:41 UTC, когда изменился характер колебаний, интенсивность высокочастотных составляющих снизилась, и в записях стали доминировать вариации с периодом около получаса. Максимальная волна (+53 см относительно нулевого среднего уровня) зафиксирована существенно позднее, в 1:27, последовавший минимум (-17 см) – в 1:44. Таким образом, высота волны от гребня до подошвы составила 70 см. Сравнительно низкочастотные колебания с преобладающим периодом около получаса, которые ассоциируются с метеоцунами, наблюдались в течение около 8 ч, после чего характер волнового процесса вновь резко изменился и вернулся к обычному состоянию, когда основную роль в формировании волнового поля играли высокочастотные компоненты. Это отчетливо видно на СВАН-диаграмме, где полоса спектральных максимумов резко сместилась с 0.03 цикл/мин на 0.2 цикл/мин.

Характер колебаний в порту Ханасаки сходен с рассмотренным выше на станции Кусиро, в особенности на начальном отрезке записи (слабое короткое вступление, мощная волна и затем затухающие продолжительные колебания). Максимальная волна на этой станции (+78 см) была зафиксирована в 2:59, примерно на полтора часа позднее, чем в Кусиро. Расстояние между станциями составляет около 110 км, таким

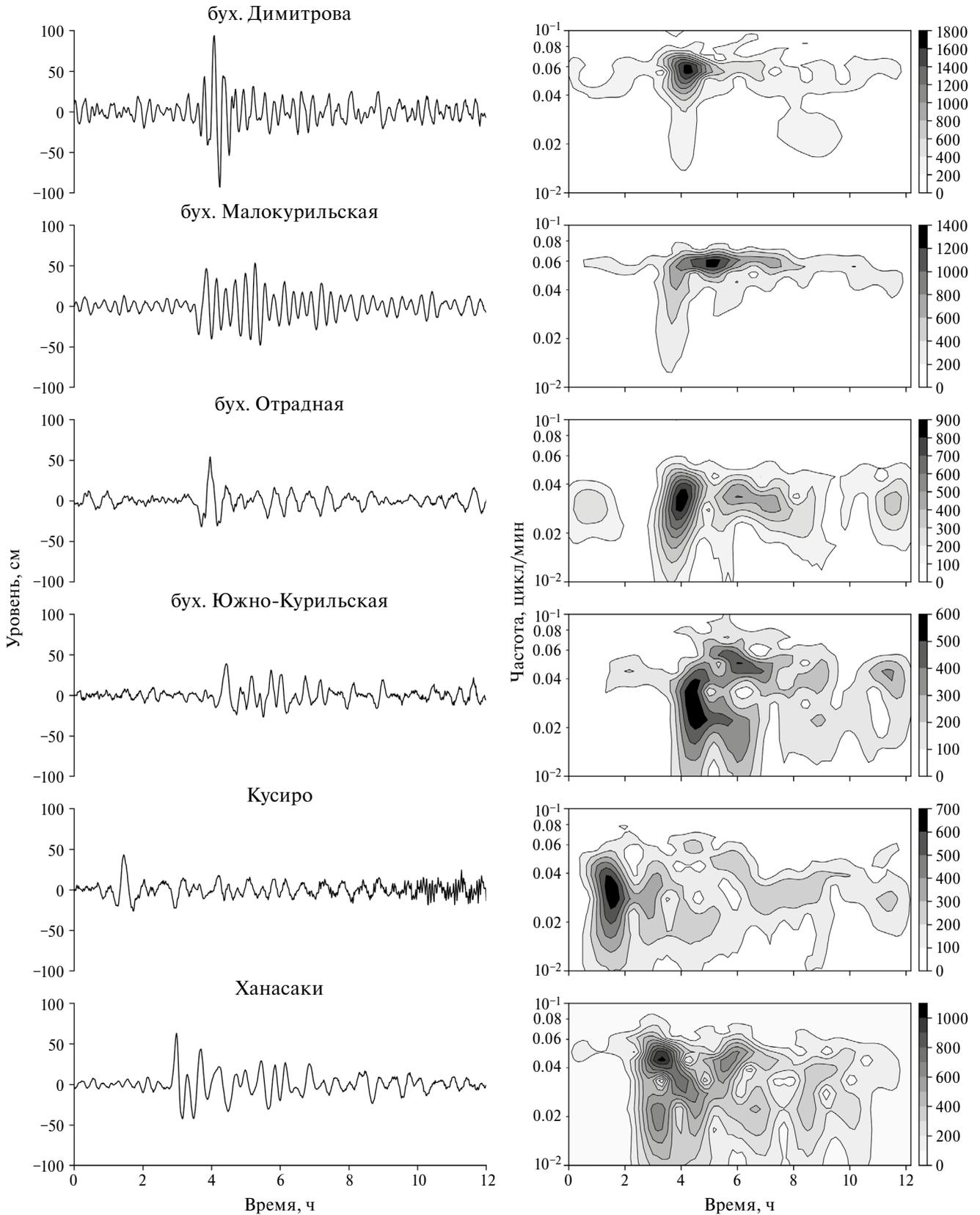


Рис. 2. Суточные отрезки записи колебаний уровня моря (вычтен прилив), содержащие метеоцунами 01.10.2018 г., и их сравнительные спектры мощности ($\text{cm}^2 \cdot \text{min}$).

образом, скорость перемещения атмосферного возмущения, которое вызвало аномальные колебания, была около 75 км/ч. Характер колебаний изменился примерно часом ранее, а отрицательное отклонение в 3:10 равнялось -31.5 см, таким образом, высота волны от гребня до подошвы составила 109.5 см. Как показывает СВАН-диаграмма (рис. 2), основная энергия метеоцунами была сосредоточена в диапазоне частот от 0.05 до 0.06 цикл/мин. Можно сказать, что основной максимум соответствовал периоду около 18 мин, что, вероятно, отвечает резонансной моде бухты. Заметный вклад давала также составляющая с периодом около 35 мин. Амплитуда колебаний убывала немного медленнее, чем на станции Кусиро; продолжительность явления была примерно такой же — около 8 ч.

Еще один регистратор на океанском побережье находился в бухте Димитрова на о. Шикотан (расстояние от станции Ханасаки около 115 км). Здесь характер волнового процесса был несколько иным, более привычным для бухт с системой устойчивых резонансных колебаний, когда вместо мощной одиночной волны наблюдается цуг волн с максимальной амплитудой в центре группы. Максимум (96.5 см) отмечен в 4:05, минимум (-91.5 см) — в 4:15. Таким образом, высота волны от гребня до подошвы составила 188 см. Это было самое значительное проявление метеоцунами на побережье Курильской гряды и даже всего Дальнего Востока России. Оно соответствует параметрам цунами умеренной интенсивности (к которым относятся цунами с высотой волны менее 2 м). Такая волна может представлять реальную опасность для находящихся вблизи берега судов и объектов береговой инфраструктуры. Правда, наблюдалась она на тихоокеанском побережье острова, где в настоящее время нет постоянно проживающего населения.

На СВАН-диаграмме на начальном отрезке записи выделяется широкое пятно, указывающее на проявление метеоцунами в диапазоне частот от 0.04 до 0.08 цикл/мин с примерно одинаковой интенсивностью (максимальная спектральная амплитуда около 40 см), а затем прослеживается узкая полоса на частоте около 0.06 цикл/мин (около 16 мин), что обусловлено резонансными свойствами бухты. Наиболее вероятный период проявления данного события охватывал период с 3:00 до 12:00, что на час больше, чем на японских станциях. Это можно объяснить более выраженными резонансными свойствами бухты Димитрова, что обычно приводит к увеличению продолжительности колебаний.

Обратимся теперь к записям, полученным на побережье Южно-Курильского пролива. В бухтах Отрадная и Южно-Курильская характер вариаций уровня моря был сходным и в целом близким к наблюдавшимся на побережье о. Хоккайдо (мощная волна и затухающие колебания). Наиболее существенным отличием волнового процесса в первой из них было то, что начинался он с выраженной отрицательной фазы (минимум равен -34 см в 3:43), а за ним уже последовал мощный положительный максимум 57 см в 3:58 (чуть раньше, чем в бухте Димитрова). На о. Кунашир после относительно слабых колебаний отмечен выраженный положительный максимум 51 см в 4:26, что почти на полчаса позже, чем в бухте Отрадная. Причина такого сдвига во времени для близко расположенных станций неясна. Минимум был зафиксирован в 4:44 и составил 16 см. Медленно затухающие колебания наблюдались в данных бухтах около 11 ч.

На СВАН-диаграмме волнового процесса в бухте Отрадная выявлен широкий максимум на начальном отрезке. Примерно одинаковая интенсивность была в диапазоне частот от 0.02 до 0.05 цикл/мин, затем спектральные максимумы были сконцентрированы в более узкой полосе от 0.03 до 0.04 цикл/мин. В бухте Южно-Курильская спектральный состав сигнала был наиболее сложным и проявлялся в широкой полосе частот от 0.02 до 0.08 цикл/мин, что характерно для бассейнов с относительно слабыми частотно-избирательными свойствами.

Малокурильская бухта, напротив, хорошо известна своими резонансными свойствами [7, 8]. Для таких бассейнов, в которых нулевая мода с периодом около 19 мин присутствует в записях практически постоянно, определить момент начала и окончания события (как цунами, так и метеоцунами) всегда очень сложно. Отметим, что, как и в расположенной на незначительном удалении бухте Отрадная, здесь значимые колебания начинались с отрицательной фазы (-51.2 см в 3:38, на несколько минут раньше, чем в соседнем бассейне), а максимум 34.6 см наблюдался в 3:51, высота волны от подошвы до гребня составила 85.8 см. Этой волной начиналась группа из 7 колебаний, среди которых третья была наименьшим (50 см), а шестое наибольшим (максимум составлял 41.4 см в 5:16, минимум -61.2 см в 5:26, высота волны 102.6 см). С метеоцунами ассоциируется еще 4 группы волн, амплитуды которых плавно снижались. Последняя группа наблюдалась в период с 18:30 до 22:20 UTC, максимальная высота в ней составила 34 см, что тоже

не считается малой величиной. Основная энергия колебаний сконцентрирована в узкой полосе частот от 0.05 до 0.07 цикл/мин, и только в самом начале первого волнового пакета низкочастотная граница значимых спектральных амплитуд достигает 0.04 цикл/мин.

Обратимся теперь к имеющимся метеорологическим данным. На рис. 3 представлены карты приземного атмосферного давления за 0 и 6 часов UTC, взятые с сайта открытого доступа [13]. Глубокий циклон с давлением в центре 973 гПа находился у юго-восточного берега о. Хоккайдо, как раз там, где расположен г. Кусиро. С ним были сопряжены два фронта, теплый и холодный. Через 6 часов центр циклона находился уже с океанской стороны о. Уруп, пройдя расстояние около 600 км, т.е. скорость движения атмосферного возмущения и связанных с ним фронтов составила около 100 км/ч.

На рис. 4 представлены графики вариаций приземного атмосферного давления, измеренные в помещении гидрофизической обсерватории (не была приведена к уровню моря) и при помощи цифровой метеостанции на ГМС Курильск. На о. Шикотан падение давления при прохождении циклона было лишь на несколько гПа более значительным, чем на о. Итуруп, хотя последний,

вероятно, был более удален от центра циклона. Однако изменение давления при прохождении фронта было существенно более резким — значения параметра в течение 10 минут упали на 7 гПа и затем в течение такого же времени вернулись к прежнему уровню. На станции Курильск также наблюдался аналогичный эффект, однако в менее резкой форме: за примерно такое же время давление упало на 3 гПа и так же вернулось к прежнему состоянию. Интервал времени между минимумами давления составил ровно 1 ч, расстояние между станциями по прямой — около 130 км, а если измерять вдоль траектории движения циклона, то около 115 км. Вероятно, оценка скорости движения атмосферного возмущения около 115 км/ч является более надежной, чем можно получить из анализа карт приземного атмосферного давления.

В момент прохождения центра циклона на обеих станциях резко менялось направление зональной составляющей ветра — с восточного на западный, при том что меридиональная компонента все время была ориентирована на юг. Максимальные скорости ветра на о. Шикотан были зафиксированы при прохождении скачка атмосферного давления: западная составляющая скорости достигала 18.4 м/с (среднее за минуту),

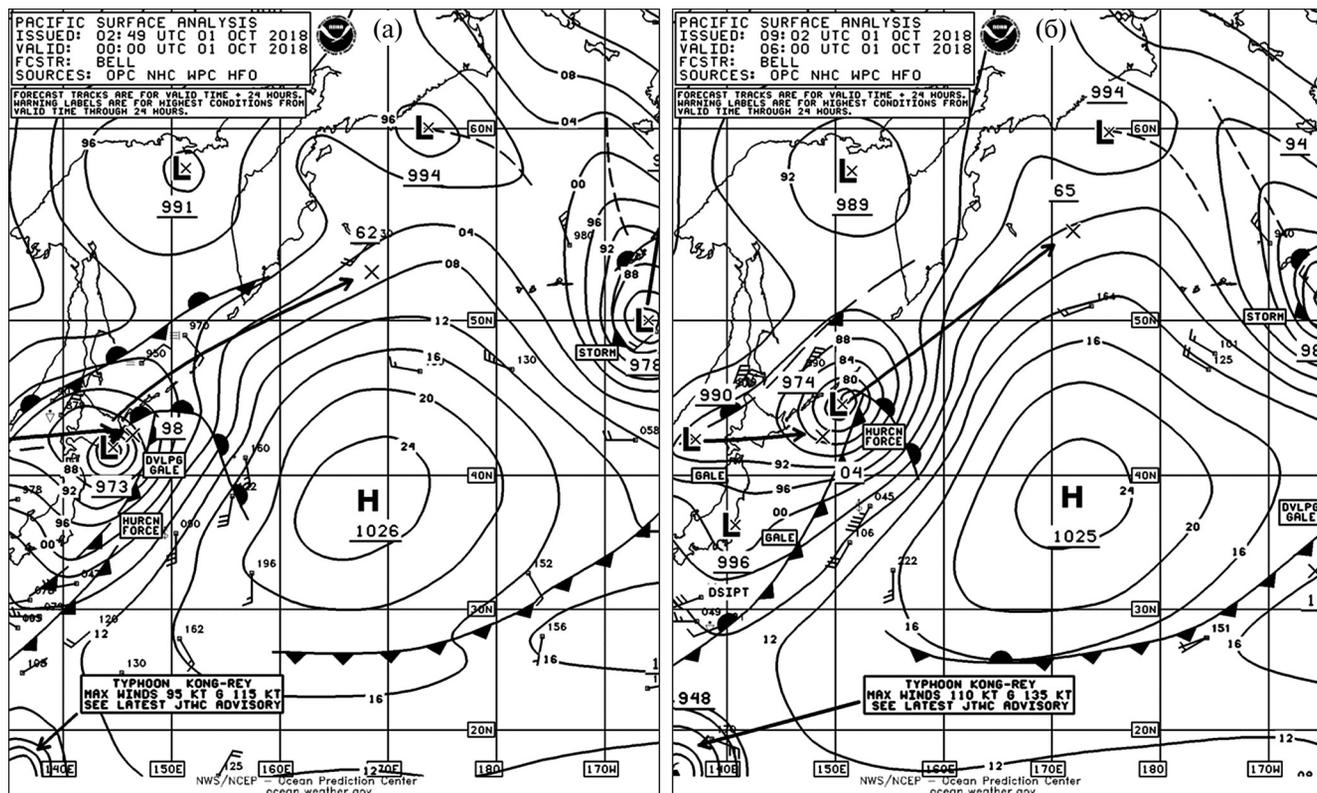


Рис. 3. Пространственное распределение приземного атмосферного давления в северо-западной части Тихого океана 1 октября 2018 г. в 0 ч UTC (а) и в 6 ч (б).

2018 г., 30.09–02.10

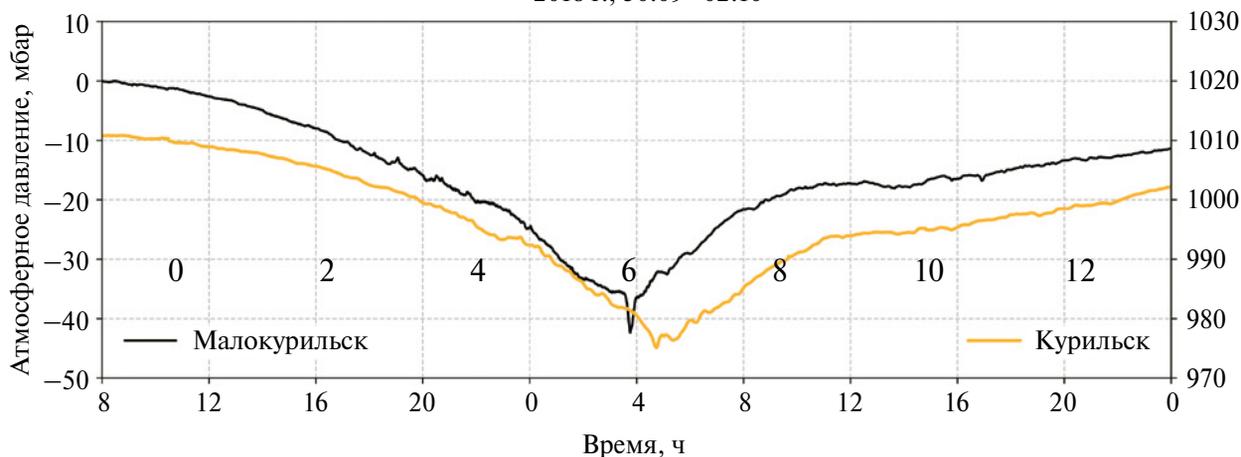


Рис. 4. Записи вариаций приземного атмосферного давления в с. Малокурильское и г. Курильске за 30.09–1.10.2018 г.

южная — 13.4 м/с, порывы — до 40 м/с. При прохождении переднего фронта циклона температура атмосферного воздуха повысилась, а затем плавно снижалась в течение нескольких суток.

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ МЕТЕОЦУНАМИ

Для выявления характера распространения метеоцунами в курильских проливах и на шельфе было проведено численное моделирование генерации длинных волн движущимся полем атмосферного давления, с продольным профилем, соответствующим записи вариаций давления в с. Малокурильское. Для этой цели было принято, что атмосферное поле имеет вид монохроматической волны, продольный профиль которой был получен разверткой записи колебаний в пространственный суг с учетом постоянной скорости перемещения фронта. При этом проводилась низкочастотная фильтрация, чтобы убрать связанное с прохождением циклона сравнительно плавное падение приземного атмосферного давления и оставить резкий фронтовой перепад (рис. 5). Расчетная область представляет собой равномерную прямоугольную сетку с размерами $n_x = 1438$, $n_y = 1199$ в пределах от 145° в.д. до 149° в.д. и 41° с.ш. до 46° с.ш. в географических координатах с пространственным шагом $15''$. Данные для построения расчетной сетки были взяты из специализированной базы данных “Батиметрия” для Охотского моря [6]. Исходя из условий стабильности численной схемы, расчетный шаг по времени был выбран равным $dt = 250$ мс (миллисекунд). Расчет строился таким образом, что все дискретные отрезки времени были кратными величине dt , что позволя-

ет избежать лишней интерполяции при выводе и промежуточных расчетах. Физическое время моделирования выбиралось равным времени прохождения всего профиля давления над пунктом измерений в с. Малокурильское с 30 сентября 2018 г. 0 ч 0 мин по 2 октября 2018 г. 0 ч 0 мин и составило таким образом 48 ч.

На рис. 5 также представлена картина распространения метеоцунами в районе южных Курильских островов параллельно с картой задаваемого в рамках моделирования поля приповерхностного атмосферного давления. Рисунок наглядно показывает, как резкий фронт давления генерирует длинные волны, распространяющиеся вдоль Южно-Курильского пролива. Видно, что момент прохождения фронта над о. Шикотан, даже в такой упрощенной конфигурации, достаточно хорошо совпал с фактической записью давления.

В первом приближении рассматривался волновой отклик на проходящий плоский и ограниченный по ширине фронт, выраженный в резком падении приземного атмосферного давления на фоне сравнительно слабых случайных вариаций. Модельные записи показывают отчетливую реакцию в виде значимых непродолжительных колебаний на фоне длинноволнового шума, вызванного вариациями давления. Аналогичный отклик как со стороны Тихого океана, так и Южно-Курильского пролива наблюдался при движении атмосферного возмущения со скоростями от 90 до 120 км/ч, что согласуется со скоростями длинных волн вблизи о. Шикотан и с его океанской стороны, и со стороны Южно-Курильского пролива, и направлениями, близкими к ориентации береговой линии Малой Курильской гряды.

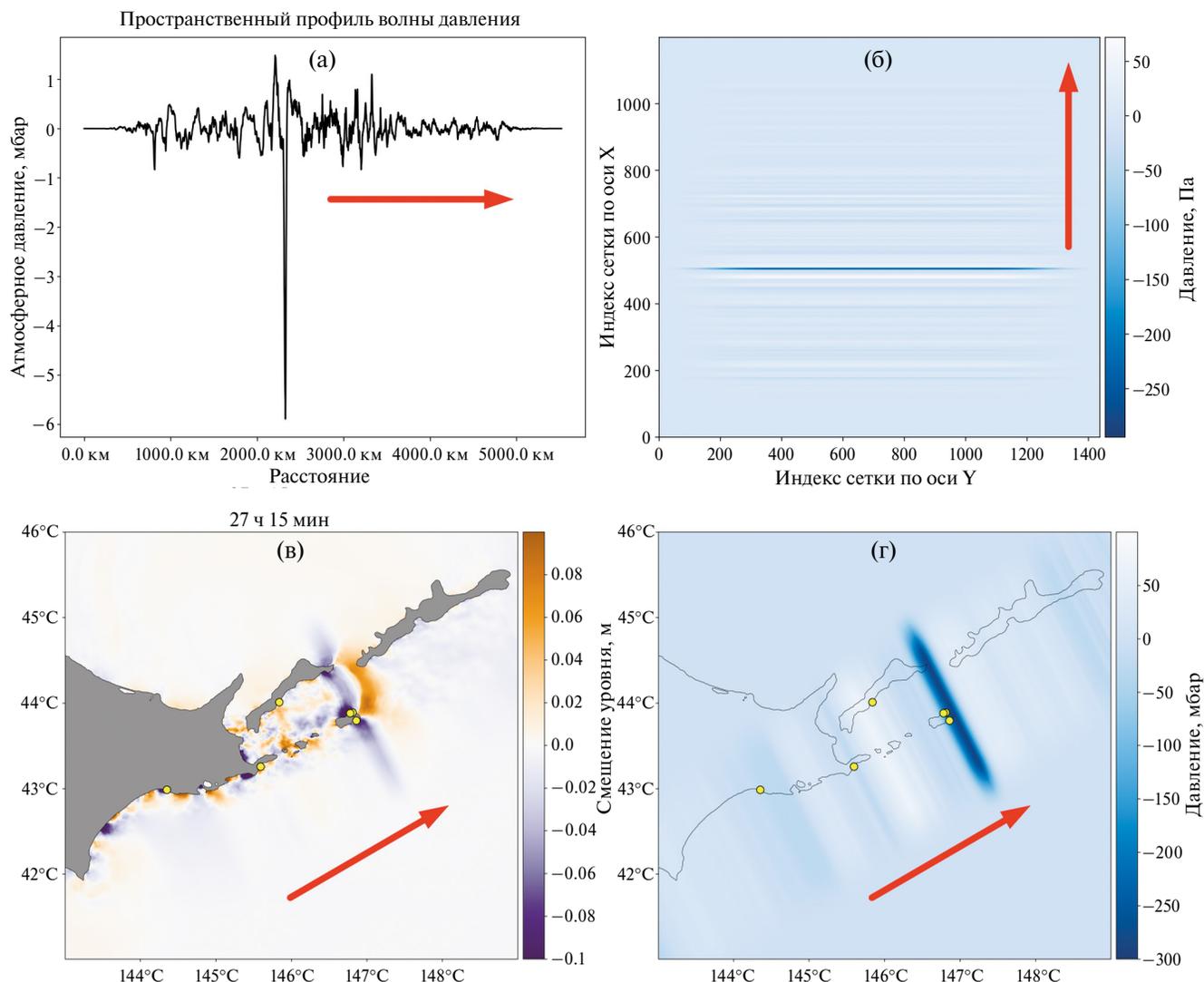


Рис. 5. Модельное представление поля давления: *а* – исходный пространственный профиль вариаций давления; *б* – полученное двумерное поле давления; *в* – пространственная картина модельной волны метеоцунами в момент пересечения фронта падения давления о. Шикотан (*г*). Стрелкой показано направление распространения волны давления.

Чтобы выяснить, являются ли измеренные колебания при метеоцунами в акваториях бухт следствием волны, приходящей с шельфа, было проведено детальное моделирование в бухте Малокурильская. Для этого была использована оцифрованная с морских навигационных карт батиметрия с выходным массивом рельефа размерностью $n_x = 82$, $n_y = 100$ и пространственным шагом сетки около 1". Для стабильности численной схемы расчетный шаг по времени был выбран равным $dt = 150$ мс. Физическое время моделирования выбиралось равным времени действия внешнего волнового поля, задаваемого колебаниями уровня на границе расчетной области. Для Малокурильской бухты оно составило 48 ч. На рис. 6 показаны модельные записи, по-

лученные в ходе вычислительных экспериментов. На втором графике для сравнения показаны волнограммы на входе (черная линия) и в месте постановки регистратора (серая линия) внутри бухты Малокурильская. На этом графике видно, как небольшое начальное внешнее воздействие возбуждает собственные колебания бухты, что и подтверждает резонансный отклик при метеоцунами.

На рис. 7 отдельно показаны модельные записи в с. Малокурильское. На графике отображена первая половина суток, содержащая метеоцунами. Справа на рисунке показаны спектры мощности, рассчитанные по 22-часовым отрезкам, содержащим начальные волны и слабозатухающие остаточные моды в бухте.

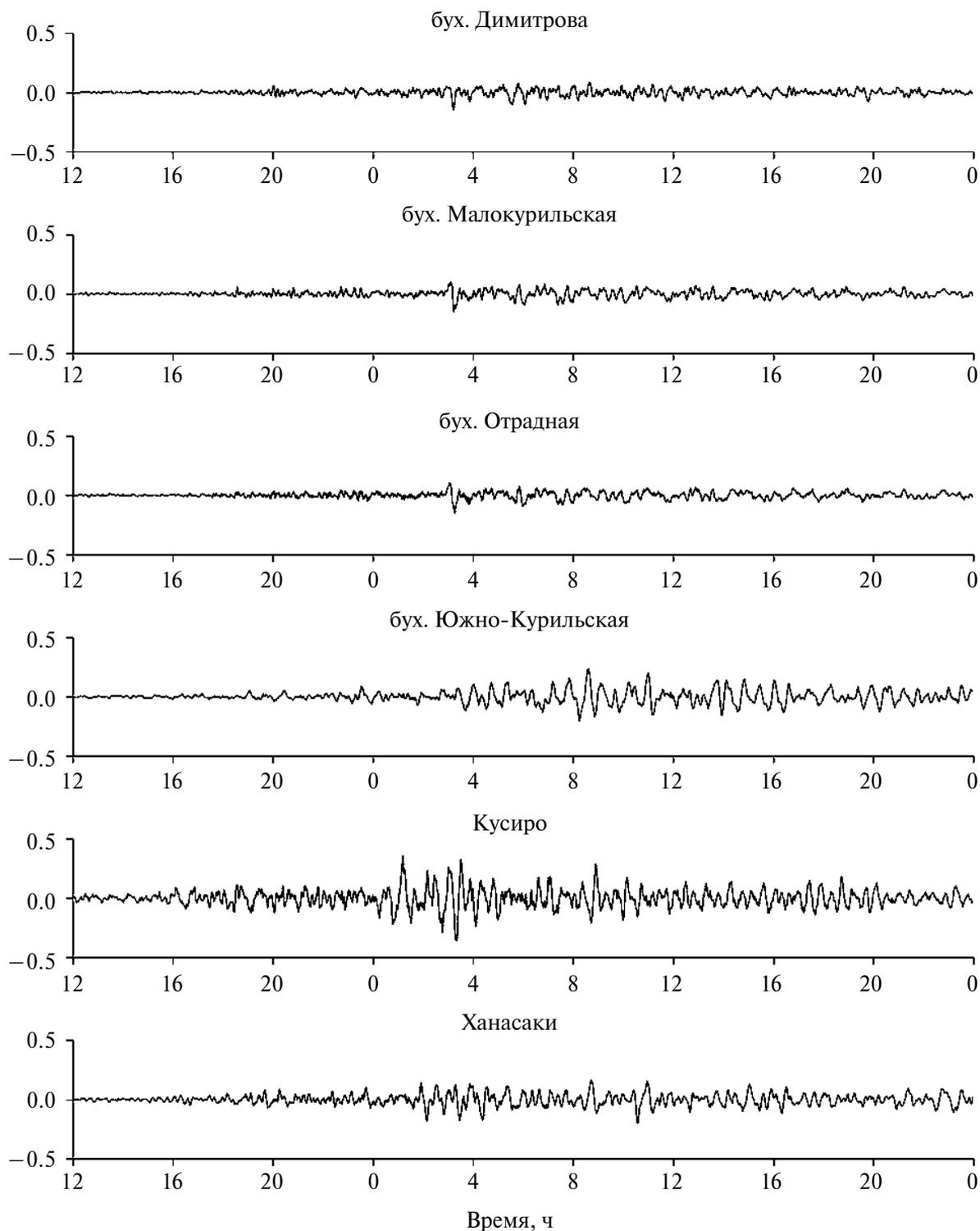


Рис. 6. Модельные записи в открытом море в непосредственной близости от соответствующих пунктов наблюдения метеоунами.

Как видно из рис. 7, в широком диапазоне частот происходит возрастание энергии колебаний почти на порядок, с гораздо большим усилением на периоде фундаментальной моды (около 19 мин). Это демонстрирует характер отклика в бух-

тах при прохождении возмущений атмосферного давления, когда при сравнительно широкополосном сигнале на входе внутри бухты наблюдается значимый отклик на частотах резонансных колебаний.

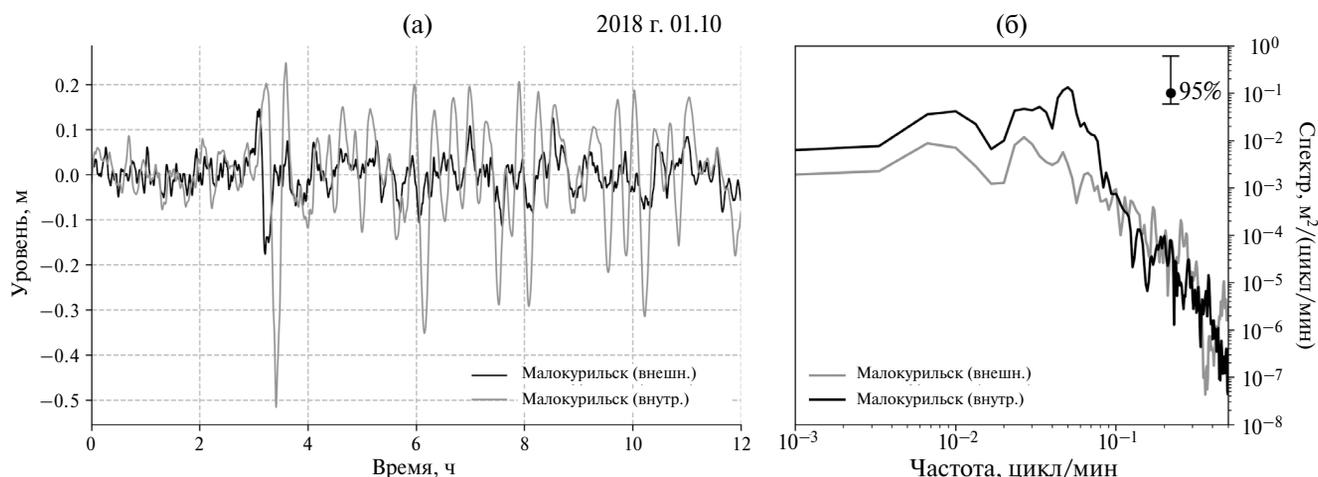


Рис. 7. Сравнительный график модельных волнограмм на входе и внутри бух. Малокурильская: а – записи; б – спектры мощности.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного анализа показано, что в районе южных Курильских островов могут формироваться метеоцунами значительной интенсивности, чему ранее не придавалось должного значения. Так, 1 октября 2018 г. в бухтах о. Шикотан было зафиксировано наиболее значительное метеоцунами на побережье Дальнего Востока России. В бухте Димитрова с тихоокеанской стороны острова высота волны от подошвы до гребня составила 188 см, что в два раза выше зарегистрированного ранее максимума 21.03.2010 г. в порту Северо-Курильска. Это сопоставимо с проявлениями цунами умеренной интенсивности. Такие волны могут представлять серьезную опасность для объектов береговой инфраструктуры и находящихся в бухтах судов. Наибольшая высота волн была отмечена в бухтах с выраженными резонансными свойствами. Помимо упомянутой бухты Димитрова, это бухта Малокурильская (высота волны 102 см). В бассейнах с менее яркими частотно-избирательными свойствами (Отрадная, Южно-Курильская) высоты волн были несколько меньшими, но также значительными, 91 и 80 см соответственно. Мощные колебания были зафиксированы и на океанском побережье о. Хоккайдо, Япония. В порту Ханасаки на северо-восточной оконечности острова высота данного метеоцунами также превышала 1 м, что позволяет отнести данное событие к представлявшим существенную угрозу. Насколько нам известно, оно также было самым опасным событием на тихоокеанском побережье этого острова.

Метеоцунами было вызвано движением хорошо выраженного фронта, сформировавшегося на фоне глубокого циклона. Оба атмосфер-

ных возмущения двигались вдоль Курильской островной гряды на северо-восток со скоростью около 115 км/ч. Как показало численное моделирование, движение атмосферного фронта с подобными скоростями способно вызвать заметный отклик и на тихоокеанском шельфе Малой Курильской гряды, и со стороны Южно-Курильского пролива. Формирование длинноволновых колебаний вблизи горловин бухт с хорошо выраженными резонансными свойствами, к которым относятся бухты Малокурильская и Димитрова, приводят к эффективному возбуждению в них длинноволновых колебаний. Такие явления представляют угрозу для объектов портовой инфраструктуры и находящихся в бухтах судов, сравнимую с цунами умеренной интенсивности.

Финансирование работы. Данная работа финансировалась за счет средств бюджета ИМГиГ ДВО РАН (Тема № FWWM-2024-0002). Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство настоящим исследованием получено не было.

Конфликт интересов. Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефимов В.В., Куликов Е.А., Рабинович А.Б., Файн И.В. Волны в пограничных областях океана. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 280 с.
2. Ковалев П.Д., Шевченко Г.В., Ковалев Д.П., Шишкин А.А. Метеоцунами на Сахалине и Южных Курильских островах // Вестник ДВО. 2017. № 1. С. 79–87.
3. Ландер А.В., Левшин Л.П., Писаренко В.Ф., Погребинский Г.А. О спектрально-временном анализе колебаний // Вычислительные и статистические

- методы интерпретации сейсмических данных // Вычислительная сейсмология. 1973. Вып. 6. С. 15–23.
4. Литвин Е.Н., Показеев К.В., Тупоршин В.Н., Шевченко Г.В. Метеоцунами на шельфе острова Шикотан // Морской гидрофизический журнал. 2000. № 1. С. 38–49.
 5. Макаренко Е.В., Ивельская Т.Н. Метеоцунами в портах Сахалинской области по данным наблюдений телеметрической сети Службы предупреждения о цунами // Мореходство и морские науки—2011: избранные доклады III Сахалинской региональной морской научно-технической конференции (15–16 февраля 2011 г.). Южно-Сахалинск: СахГУ, 2011. С. 205–210.
 6. Минервин И.Г., Храмушин В.Н. Цифровые батиметрические массивы (Охотское море). СахГУ № 2010620626 от 22 октября 2010 г. Заявка № 2010620418, дата поступления 18 августа 2010 г.
 7. Рабинович А.Б. Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение. Л.: Гидрометеоздат, 1993. 240 с.
 8. Рабинович А.Б., Левянт А.С. Влияние сейшевых колебаний на формирование спектра длинных волн у побережья Южных Курил // Океанология. 1992. Т. 32. № 1. С. 29–38.
 9. Рабинович А.Б., Шенич Я. Метеорологические цунами: что это такое? // Природа. 2016. № 1. С. 12–26.
 10. Шевченко Г.В., Ивельская Т.Н., Кайстренко В.М. Цунами 5 ноября 1952 г. в Северо-Курильске и его эхо в последующие 70 лет // Природа. 2022. № 4. С. 12–26.
 11. Шевченко Г.В., Лоскутов А.В., Шишкин А.А., Ивельская Т.Н. Особенности проявления Чилийских цунами 01.04.2014 г. и 16.09.2015 г. на тихоокеанском побережье России // Океанология. 2017. Т. 57. № 6. С. 1–11.
 12. Lastra M., Mantas J.M., Ureña C. et al. Simulation of shallow-water systems using graphics processing units // Mathematics and Computers in Simulations. 2009. V. 80. Iss. 3. P. 598–618. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2009.09.012>
 13. Service records retention system // NOAA National Centers for Environmental Information. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/data/service-records-retention-system/> (дата обращения: 24.01.2024).
 14. Shevchenko G., Ivetskaya T., Loskutov A., Shishkin A. The 2009 Samoan and 2010 Chilean tsunamis recorded on the Pacific coast of Russia // Pure and Applied Geophysics. 2013. V. 170. P. 1511–1527.
 15. Shevchenko G., Shishkin A., Bogdanov G., Loskutov A. Tsunami measurements in bays of Shikotan Island // Pure Appl. Geophys. 2011. V. 168. P. 2011–2021.
 16. Yamazaki Y., Cheung K.F., Kowalik Z. Depth-integrated, non-hydrostatic model with grid nesting for tsunami generation, propagation, and run-up // International Journal for Numerical Methods in Fluids. 2011. V. 67. Iss. 5. P. 2081–2107.

METEOTSUNAMI ON OCTOBER 1, 2018 IN THE AREA OF SOUTH KURIL ISLANDS

G. V. Shevchenko^{a, b, *}, A. V. Loskutov^{a, c}, A. A. Shishkin^a

^a Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk,

^b Sakhalin Branch of the SSC Russian Federal Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk

^c Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk

* e-mail: shevchenko_zhora@mail.ru

As a result of the installation of autonomous bottom hydrostatic pressure recorders in the bays of the Shikotan and Kunashir Islands, records of the most significant meteorological tsunami in the Far Eastern region of Russia were obtained (the oscillation range is 1.9 m in Dimitrov Bay, which is the largest instrumentally recorded height). This event was caused by an atmospheric front moving rapidly (along with the cyclone) in a northeasterly direction, with a pressure jump of 7 hPa. Intense fluctuations in the bays of the southern Kuril Islands continued for several hours mainly at resonant frequencies, they posed a danger comparable to moderate seismic tsunamis. Numerical modeling has shown that the movement of atmospheric fronts with speeds of 90–120 km/h along the coast of the Lesser Kuril Ridge causes a noticeable response both on the Pacific shelf and in the South Kuril Strait, which is amplified in the bays due to resonant effects.

Keywords: meteotsunami, bay, resonance, hydrostatic pressure recorder, atmospheric front, cyclone, numerical modeling