

VI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ПРИРОДНЫЕ КАТАСТРОФЫ»

г. Южно-Сахалинск, Сахалинская область

12–16 октября 2026 г.



На конференции будут обсуждаться учеными и специалистами, аспирантами и студентами актуальные научные проблемы, которые волнуют ученых не только Дальневосточного региона России. Среди них природные катастрофы, методы оценки их опасности и риска, а также современные технологии геофизического мониторинга в сейсмоактивных и цунамиопасных регионах.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ:

Исследования Земли: ответ на вызовы природных и техногенных катастроф

Секция посвящена вопросам:

- Геологическое строение земной коры и структур различного масштаба,
- Этапы и стадии развития земной коры и верхней мантии,
- Вещественный состав геологических сред и объектов,
- Поиск и прогнозирование месторождений полезных ископаемых.

Динамика моря и вопросы изменения климата

Секция посвящена вопросам:

- Потоки вещества и энергии в гидросфере,
- Генерация цунами и цунамиопасность,
- Моделирование и прогноз морских опасных явлений,
- Геолого-геоморфологические аспекты освоения морских побережий.

Живые системы и геологическая среда

Секция посвящена вопросам:

- Влияние природных и антропогенных факторов на живые организмы и экосистемы,
- Адаптивные стратегии живых организмов,
- Биологическое разнообразие и инвазии,
- Анализ состояния экосистем по данным аэрокосмических исследований.

Шаг в науку: технологии и практика

Секция посвящена вопросам:

- Инженерные проекты и прототипы для мониторинга природных процессов,
- Цифровые методы анализа геофизических и геозоологических данных,
- Моделирование природных опасностей и их последствий,
- Междисциплинарные студенческие исследования.

К началу работы конференции будут изданы тезисы докладов в авторской редакции. Объем тезисов не должен превышать одну страницу машинописного текста. Избранные доклады по решению Организационного комитета будут опубликованы в журнале ИМГиГ ДВО РАН «Геосистемы переходных зон» (БС-2, входит в Перечень ВАК).

УСЛОВИЯ УЧАСТИЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ ВЗНОС Оплата производится при регистрации.

Для участников конференции **5000 РУБ.** Для аспирантов и молодых учёных до 35 лет **3500 РУБ.**

В оргвзнос входит • организационный набор участника конференции • организация кофе-брейков в дни работы конференции •

ПРОЖИВАНИЕ, ПРОЕЗД И ПРОГРАММА

Проживание: Рекомендуемые гостиницы г. Южно-Сахалинск (вблизи маршрутов общественного транспорта): Lenina Hotel, Монерон, Лотос, Панорама, Командор, Юбилейная. **Проезд:** До Института морской геологии и геофизики можно добраться автобусами 10, 62, 71, 21. Остановка — «Институт морской геологии и геофизики».

Программа будет разослана участникам вместе с третьим циркуляром, а также размещена на сайте конференции.

Для участников конференции предусмотрено проведение экскурсий: посещение Ботанического сада; геологические экскурсии: Взморье или останец Лягушка; малая жемчужина Сахалина: Невельск – Холмск.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ:

Долгих Григорий Иванович, академик РАН, профессор, ТОИ ДВО РАН

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ:

Аленьков Вячеслав Владимирович, заместитель председателя Правительства Сахалинской области

Зайцев Андрей Иванович, д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН, директор СКБ САМИ ДВО РАН

Огнев Алексей Вячеславович, д.ф.-м.н., ректор СахГУ

Ковалев Дмитрий Петрович, д.ф.-м.н., и. о. директора ИМГиГ ДВО РАН

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ:

Андреева Марина Юрьевна, к.ф.-м.н., с.н.с. ИМГиГ ДВО РАН

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ:

Прытков А.С., к.ф.-м.н., в.н.с., зам. директора ИМГиГ ДВО РАН

Верхотуров А.А., к.т.н., ученый секретарь ИМГиГ ДВО РАН

Коцуконь С.Н., операционный директор ПИШ СахГУ

Костылев Д.В., к.т.н., директор СФ ФИЦ ЕГС РАН

Кордюков А.В., к.б.н., директор СФ БСИ ДВО РАН

Деттерев А.В., к.г.-м.н., зав. лабораторией ИМГиГ ДВО РАН

Копанина А.В., к.б.н., зав. лабораторией ИМГиГ ДВО РАН

Борисов А.С., к.т.н., рук. лаборатории ИМГиГ ДВО РАН

Закупин А.С., к.ф.-м.н., в.н.с. ИМГиГ ДВО РАН

Ковтунович П.Ю., вед. инженер ИМГиГ ДВО РАН

АДРЕС ОРГКОМИТЕТА:

Россия, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1 Б
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН
Телефон/факс: 8 (4242) 79-15-17

Web-страница конференции:

<https://imggconf.ru>

E-mail: info@imggconf.ru

ПАРТНЁРЫ И ОРГАНИЗАТОРЫ

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН



Дальневосточное отделение РАН



СФ ФИЦ ЕГС РАН



ФГБОУ ВО «СахГУ»



СКБ САМИ ДВО РАН



СахалинТех



Правительство Сахалинской области

**ОСНОВНЫЕ ДАТЫ:**

до 1 августа – подача регистрационной формы.

до 1 сентября – подача тезисов.

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:

Заседание секций

г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б.

© Авторы, 2026 г.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)



© The Authors, 2026.
Content is available under Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)

УДК 551.46.0

<https://doi.org/10.30730/gtr.2026.10.2.189-204>
<https://www.elibrary.ru/cvzjzp>

Особенности колебаний уровня моря и атмосферного давления на восточном шельфе острова Сахалин

Д. П. Ковалев, П. Д. Ковалев, А. С. Борисов, В. С. Зарочинцев

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

Резюме. Представлены результаты анализа колебаний уровня моря и атмосферного давления по данным наблюдений, выполнявшихся с одноминутной дискретностью в течение 12.5 сут с платформы самоподъемной плавучей буровой установки «Сахалинская», установленной на восточном шельфе о. Сахалин в районе Ныйского залива на глубине 25–30 м. Измерения проводились с использованием кабельного цифрового приборного комплекса с пьезокварцевыми датчиками давления. Спектральный анализ колебаний уровня моря выявил выраженные пики на периодах, близких к суточным и полусуточным приливным гармоникам, а также низкочастотные максимумы, интерпретируемые как проявления шельфовых сейш и сейш Ныйского залива. Показано, что в минутном диапазоне периодов регистрируются волновые процессы инфрагравитационного типа, часть которых может переходить в краевые волны, распространяющиеся вдоль берега. Анализ колебаний атмосферного давления выявил спектральные максимумы в диапазоне от нескольких минут до десятков минут, которые могут быть связаны с внутренними и акустико-гравитационными волнами в атмосфере. В штормовые периоды наблюдается усиление волновой активности и формирование почти непрерывного спектра с выраженной модовой структурой. Установлено, что наклон спектральной плотности колебаний атмосферного давления в рассматриваемом диапазоне периодов близок к степени $-1/3$, что отличается от ранее опубликованных данных и объясняется попаданием исследуемых периодов в область поступления энергии в нижние слои атмосферы.

Ключевые слова: колебания уровня моря, атмосферное давление, приливные гармоника, шельфовые сейши, инфрагравитационные волны, краевые волны, акустико-гравитационные волны

Features of sea level and atmospheric pressure fluctuations on the eastern shelf of Sakhalin Island

Dmitry P. Kovalev, Peter D. Kovalev, Aleksander S. Borisov, Vitaly S. Zarochnitsev

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

Abstract. The results of an analysis of sea level and atmospheric pressure fluctuations based on observations conducted over 12.5 days with one-minute intervals from the jack-up drilling rig Sakhalinskaya, which is installed on the eastern shelf of Sakhalin Island in the Nyysky Bay area at a depth of 25–30 m, are presented. Measurements were made using a digital cable system equipped with piezo-quartz pressure sensors. Spectral analysis of sea level variations revealed pronounced peaks at periods close to the diurnal and semidiurnal tidal harmonics, as well as low-frequency maxima interpreted as manifestations of shelf seiches and seiches of Nyysky Bay. It was shown that infragravity waves were recorded within the minute-range periods, some of which may transform into edge waves propagating along the coast. The analysis of atmospheric pressure fluctuations revealed spectral maxima in the range from several minutes to tens of minutes, which can be associated with internal gravity waves and acoustic-gravity waves in the atmosphere. During stormy periods, wave activity intensified, and an almost continuous spectrum with a distinct mode structure was formed. It was established that the spectral density slope of atmospheric pressure fluctuations

in the considered period range is close to the power of $-1/3$, which differs from previously published results and is explained by the fact that the analyzed periods occur within the range of energy input to the lower atmosphere.

Keywords: sea level fluctuations, atmospheric pressure, tidal harmonics, shelf seiches, infragravity waves, edge waves, acoustic-gravity waves

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Института морской геологии и геофизики ДВО РАН (FWWM-2024-002).

Funding

The work was carried out within the framework of the state task of the Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS (No. FWWM-2024-002).

Для цитирования: Ковалев Д.П., Ковалев П.Д., Борисов А.С., Зарочинцев В.С. Особенности колебаний уровня моря и атмосферного давления на восточном шельфе острова Сахалин. *Геосистемы переходных зон*, 2026, т. 10, № 2, с. 189–204. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2026.10.2.189-204>; <https://www.elibrary.ru/cvzjzp>

For citation: Kovalev D.P., Kovalev P.D., Borisov A.S., Zarochinitsev V.S. Features of sea level and atmospheric pressure fluctuations on the eastern shelf of Sakhalin Island. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2026, vol. 10, No. 2, p. 189–204. (In Russ.). <https://doi.org/10.30730/gtrz.2026.10.2.189-204>; <https://www.elibrary.ru/cvzjzp>

Введение

Освоение шельфовых районов о. Сахалин требует учета природных факторов, определяющих условия эксплуатации морских инженерных сооружений. Одним из ключевых факторов является волновой режим, включая его длиннопериодную составляющую, способную вызывать дополнительные нагрузки на сооружения и способствовать перераспределению донных отложений. В прибрежной зоне и на шельфе могут проявляться различные типы длинных волн, включая приливные колебания, шельфовые сейши, сейши заливов, инфрагравитационные и краевые волны. Эти процессы характеризуются широким диапазоном периодов и пространственных масштабов и нередко оказываются определяющими при формировании экстремальных уровней воды и нестационарных течений. Изучение указанных волн в прибрежной зоне и на шельфе является важной задачей физической океанологии и инженерной гидрофизики.

Особый интерес представляет анализ волновых процессов по данным натурных наблюдений, выполненных непосредственно в районах размещения морских платформ. Такие измерения позволяют выявлять особенности спектральной структуры колебаний уровня

моря в реальных условиях шельфа, а также сопоставлять колебания уровня моря с вариациями атмосферного давления. Последнее важно для исследования атмосферных гравитационных и акустико-гравитационных волн, которые могут проявляться в спектре приземного давления в минутном диапазоне периодов и потенциально влиять на условия эксплуатации морских объектов, включая взлетно-посадочные операции вертолетов и радиолокационные наблюдения под малыми углами.

Несмотря на наличие большого числа работ, посвященных длинным волнам в океане и атмосферным гравитационным волнам, степень изученности колебаний уровня моря в акватории Охотского моря и у восточного побережья Сахалина существенно различается в зависимости от диапазона периодов. Приливной режим Охотского моря и структура основных приливных гармоник подробно исследованы в ряде работ, в том числе на основе численного моделирования и анализа наблюдений [1–5]. Показано, что в данном регионе формируется сложный приливной режим с выраженными суточными и полусуточными составляющими и значительными приливными течениями. Наблюдения и анализ циркуляции вод также свидетельствуют о важной роли приливных процессов и прибрежных волн в динамике шельфа восточного Сахалина [6–10].

Отдельные исследования посвящены изменчивости уровня моря и сейшевым колебаниям в бухтах и заливах, где геометрия береговой линии и батиметрия могут приводить к формированию собственных колебаний акваторий [11–13]. Вместе с тем большинство существующих работ ориентировано преимущественно на приливные и длиннопериодные процессы. Колебания уровня моря и атмосферного давления в диапазоне периодов от нескольких минут до одного часа изучены значительно слабее. Это связано прежде всего с тем, что для их анализа необходимы высокочастотные натурные измерения с дискретностью не хуже нескольких минут, которые в шельфовых районах северо-западной части Тихого океана выполнялись относительно редко.

В результате данные о совместных наблюдениях короткопериодных колебаний уровня моря и атмосферного давления на шельфе восточного Сахалина ограничены. В частности, практически отсутствуют публикации, в которых анализировались бы инфрагравитационные и краевые волны, а также атмосферные гравитационные и акустико-гравитационные возмущения в диапазоне минутных периодов на основе натурных измерений.

Целью настоящей работы является выявление и интерпретация спектральных особенностей колебаний уровня моря и атмосферного давления на восточном шельфе о. Сахалин на основе данных натурных наблюдений, а также оценка роли приливных, сейшевых, инфрагравитационных и атмосферных волновых процессов в формировании волнового режима района исследований.

Район исследований и методика наблюдений

Наблюдения проводились с использованием цифрового кабельного измерительного комплекса, разработанного в ИМГиГ ДВО РАН [14] и установленного на самоподъемной плавучей буровой установке (СПБУ) «Сахалинская», расположенной на восточном шельфе о. Сахалин в районе Ныйского залива (рис. 1). По данным глобальной батиметрической модели SRTM15+ с пространственным шагом 15 угловых секунд [15], глубина в районе установки СПБУ может быть ориентировочно оценена в 25–30 м. Эта величина является приближенной батиметрической оценкой, поскольку промеры глубины непосредственно в точке постановки комплекса не проводились.

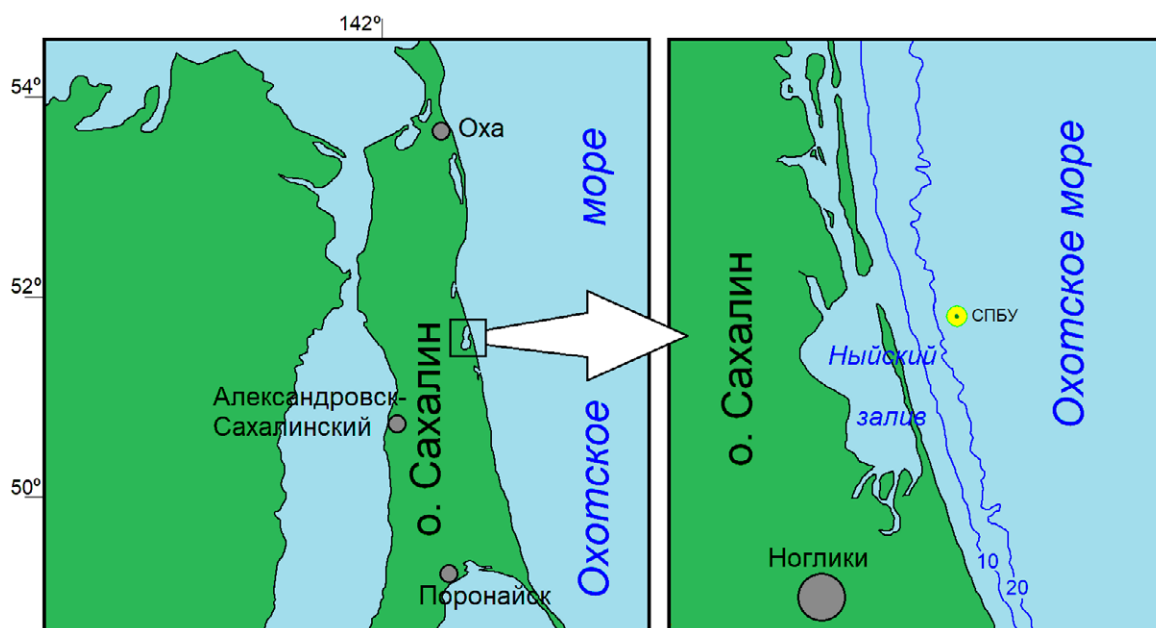


Рис. 1. Карты северной части о. Сахалин и акватории расположения измерительного комплекса.

Fig. 1. Maps of the northern part of Sakhalin Island and the water area, where the measuring complex is located.

В качестве первичного преобразователя использовался кварцевый пьезорезонансный датчик давления ПДТК-Р-МГ (<http://www.skbtelpa.ru>), разработанный в ООО СКТБ «ЭлПА», с диапазоном измерения гидростатического давления 0.5–100 м вод. ст. Согласно паспортным характеристикам, разрешающая способность датчика давления составляет $\pm 0,0008$ % верхнего предела измерения. При верхнем пределе измерения 100 м вод. ст. это соответствует разрешению около 0.8 мм вод. ст. Чувствительный элемент датчика давления располагался на глубине примерно на 1.2 м ниже среднего уровня моря.

Дополнительно на СПБУ был установлен микробарограф производства ООО СКТБ «ЭлПА» с абсолютной погрешностью преобразования вариаций атмосферного давления 0.02 гПа в диапазоне не более 10 гПа. Регистрация колебаний уровня моря и атмосферного давления выполнялась с дискретностью 1 мин в течение 12.5 сут.

Полученные временные ряды характеризуют волновые процессы в рассматриваемом районе в период наблюдений и отражают особенности спектральной структуры колебаний при данных гидрометеорологических условиях. Длина временного ряда определяет разрешение в низкочастотной области спектра, тогда как изменчивость синоптической обстановки может влиять на вклад отдельных типов волн. Уточнение выявленных закономерностей возможно на основе более продолжительных и пространственно распределенных наблюдений.

В результате проведенных наблюдений были получены временные ряды продолжительностью 12.5 сут, представленные на рис. 2. Длительность наблюдений была ограничена условиями проведения измерений и регламентом работы оборудования на самоподъемной плавучей буровой установке.

На графике колебаний атмосферного давления отчетливо выделяется период с 11 по 13 августа, в течение которого давление превышало 755 мм рт. ст. и наблюдались относительно спокойные погодные условия. Вместе с тем в ряду давления фиксируются короткопериодные пульсации, наиболее заметные 8 ав-

густа, 17 августа и в последние сутки наблюдений. Эти вариации имеют характер быстрых флуктуаций давления на фоне синоптического хода и, вероятно, связаны с мезомасштабными атмосферными процессами и распространением атмосферных гравитационных возмущений. В период 13–15 августа в ряду атмосферного давления наблюдаются резкие вариации, которым сопутствуют изменения характера колебаний уровня моря. В целом в колебаниях уровня моря проявляется смешанный приливной режим с участием суточных и полусуточных гармоник, характерный для акватории Охотского моря. Относительный вклад этих составляющих изменяется во времени, что приводит к вариациям формы приливных колебаний.

Совместное рассмотрение временных рядов атмосферного давления и уровня моря показывает наличие обратной зависимости между этими величинами, особенно заметной в последние несколько суток наблюдений, когда рост атмосферного давления сопровождался тенденцией к понижению уровня моря. Подобное поведение соответствует известному эффекту обратного барометра.

Анализ низкочастотных колебаний уровня моря

Фильтрация и спектральный, а также взаимно-спектральный анализ временных рядов выполнялись с использованием программы комплексной обработки данных «Кута», разработанной в ИМГиГ ДВО РАН и описанной в работах [16, 17]. Рассчитанные спектральные плотности для диапазона периодов колебаний уровня моря от 1 до 30 ч выявили значимые пики, превышающие 95% доверительный интервал, на периодах 24.71, 12.34, 9.23, 6.67 и 3.88 ч. Для выделения приливной составляющей был выполнен предварительный гармонический анализ временного ряда уровня моря с последующим вычислением предсказанного прилива. Далее были построены спектральные плотности исходного ряда и ряда, из которого вычтена предвычисленная приливная составляющая. Сравнение полученных спектров показало, что пики на периодах 24.71 и 12.34 ч

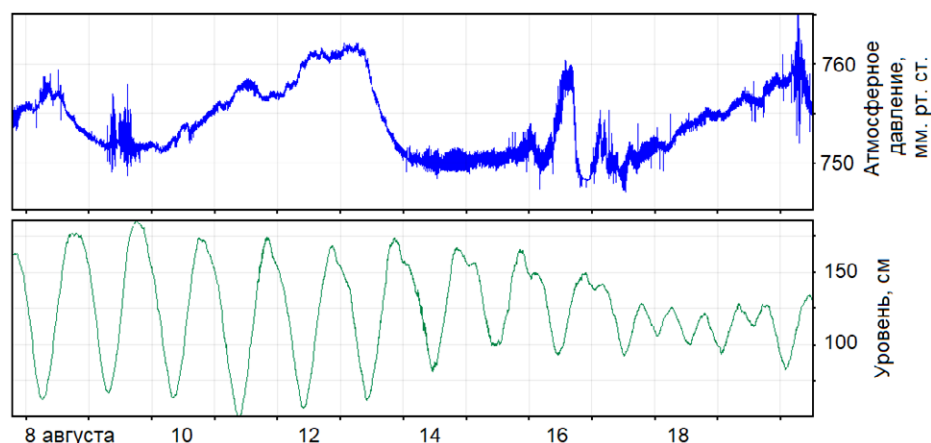


Рис. 2. Временные ряды колебаний атмосферного давления и уровня моря.

Fig. 2. Time series of atmospheric pressure and sea level fluctuations.

соответствуют суточным и полусуточным приливным колебаниям. Эти значения близки к периодам приливных гармоник M_1 и M_2 в соответствии с выводами работы [1]. Следует отметить, что из-за ограниченной длины временного ряда точность определения периодов отдельных гармоник невысока. Предвычисленные программой значения периодов суточных гармоник составили 24.86 ч (близко к гармонике K_1), а полусуточных – 12.17 ч (близко к гармонике S_2). В рассматриваемом случае не является принципиально важным, какими именно приливными гармониками представлены обнаруженные колебания. Существенен сам факт выделения характерных периодов 24.71 и 12.34 ч, относящихся к суточному и полусуточному приливному диапазону соответственно. Их идентификация позволяет корректно выделить приливную составляющую временного ряда и отделить ее от других длиннопериодных процессов.

Пики спектральной плотности с периодами 9.23, 6.67 и 3.88 ч, как показало сравнение спектральных плотностей, не относятся к приливным гармоникам. Исходя из полученных значений периодов, было высказано предположение, что в рассматриваемом случае они могут быть обусловлены шельфовыми сейшми, формирующимися в зоне шельфа в результате отражения волн, приходящих из открытого моря, от береговой линии. Для проверки этого предположения были рассчитаны периоды шельфовых сейш в районе Ныйского

залива при среднем наклоне дна $\alpha = 0.0044$ и ширине шельфа $L = 135$ км по формуле для расчета периодов шельфовых сейш в приближении линейно наклонного дна, приведенной в работе [6]:

$$T_n = 8\sqrt{L}/(n\sqrt{g\alpha}), \quad (1)$$

где $n = 1, 3, 5, \dots$ – номер моды, g – ускорение силы тяжести, α – уклон дна.

Вычисления показали, что период первой моды шельфовой сейши составляет 3.93 ч, что близко к обнаруженному максимуму в спектрах на периоде 3.88 ч.

Для объяснения периодов спектральных максимумов 6.67 и 9.23 ч было рассмотрено предположение о возможном вкладе собственных колебаний акватории Ныйского залива. Несмотря на то что шельфовая область не является «второй бухтой» в строгом смысле, длинноволновые колебания в полуоткрытых акваториях могут излучаться через вход в виде выходящего длинноволнового поля и регистрироваться на прилегающем шельфе. Физически это связано с тем, что при сейшевых колебаниях возникает нестационарный объемный обмен через вход (пульсации расхода), формирующий возмущение уровня и течений за пределами залива; далее это возмущение распространяется как длинная гравитационная волна на шельфе и может частично отражаться от береговой линии, участвуя в формировании наблюдаемой спектральной структуры.

В работе [18] для оценки взаимного влияния полуоткрытых акваторий предложен безразмерный критерий $d/l < 5.0$ (где d – расстояние между входами бухт, а l – длина одной бухты), характеризующий возможность динамической связи через длинные волны. В рассматриваемом случае расстояние от входа в Ныйский залив до места установки СПБУ составляет 6917 м, а характерная длина широкой части залива – 14 410 м, что дает $d/l = 0.48$. Мы используем этот критерий как качественный индикатор того, что точка наблюдений расположена в ближней зоне, где вклад излучаемых заливом длинных волн потенциально может быть замечен. Совпадение характерных периодов рассматривается как согласующийся признак возможного влияния собственных колебаний Ныйского залива на колебания уровня в точке наблюдений.

Расчет сейш – собственных колебаний акватории Ныйского залива был выполнен для его размеров, определенных по карте открытого интернет-ресурса. Общая длина Ныйского залива составляет приблизительно 36 240 м, длина широкой части на юге – 14 410 м при ширине 4109 м, расстояние от южного берега залива до о. Каурунани – 27 500 м, средняя глубина – около 2 м. Расчеты проводились как для полной длины залива, так и для его широкой части с использованием формулы для открытого с одного конца бассейна, приведенной в работе [6]:

$$T_n = \frac{4L}{(2n + 1)\sqrt{gH}}, \quad (2)$$

где L – длина бассейна, H – глубина, g – ускорение силы тяжести, а $n = 0, 1, 2, \dots$ – номер моды. Нулевая мода, соответствующая наибольшему значению периода для каждой акватории, представляет собой моду Гельмгольца, аналогичную основному тону акустического резонатора [19]. Рассчитанные значения периодов продольных колебаний для всего рассматриваемого залива, его широкой части и участка от южного берега до о. Каурунани составили 9.09, 6.89 и 3.61 ч соответственно. Эти значения близки к периодам пиков в спектральных плотностях 9.23, 6.67 и 3.88 ч; расхождение для наименьшего периода не превышает 7 % с

учетом сделанных приближений. Таким образом, более короткопериодные колебания могут быть обусловлены как сейшами Ныйского залива, так и шельфовыми сейшами Охотского моря.

Дополнительно был выполнен расчет сейш для Ныйского залива с учетом его ширины по формуле для собственных колебаний прямоугольной бухты (двумерные моды), предложенной в работе [11]:

$$T_{km} = \frac{4}{\sqrt{gH}} \frac{ab}{\sqrt{(1 + 2k)^2 b^2 + 4m^2 a^2}}, \quad (3)$$

где a , b , H – средние длина, ширина и глубина бухты; $k = 0, 1, 2, \dots$; $m = 0, 1, 2, \dots$

Расчеты по формуле (3) для нулевой моды, т.е. при $k = 0$ и $m = 0$ для трех прямоугольных бухт шириной $b = 4109$ м, глубиной $H = 2$ м и длинами a , равными 36 240 м, 27 500 м и 14 410 м, дали значения периодов, близкие к полученным по формуле (2).

Отметим, что, несмотря на простоту формул (2) и (3), использование более сложных моделей расчета сейш акваторий, например основанных на конформном отображении области залива, приводит к существенному усложнению вычислений, но, как правило, не дает заметного выигрыша в точности определения периодов сейш. Это связано с изменчивостью глубины и конфигурации береговой линии в течение приливно-отливного цикла. Аналогичный вывод о применимости простых формул для расчета сейш приведен в работе [12], где показано, что периоды сейш, вычисленные по упрощенным соотношениям, во многих случаях оказываются близкими к измеренным значениям.

Короткопериодные колебания уровня моря и атмосферного давления

Рассмотрен минутный диапазон периодов колебаний уровня моря и атмосферного давления. Соответствующие спектральные плотности приведены на рис. 3. В спектре колебаний уровня моря выделяются пики с периодами 7.76, 10.36–11.78, 23.19 и 48.12 мин.

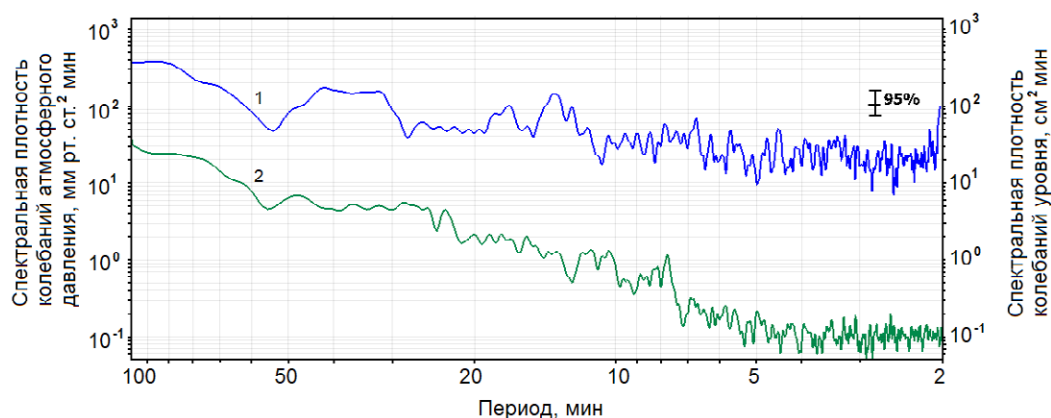


Рис. 3. Спектральные плотности колебаний атмосферного давления (1) и уровня моря (2).

Fig. 3. Spectral densities of atmospheric pressure (1) and sea level (2) fluctuations.

Короткопериодные колебания в минутном диапазоне относятся к инфрагравитационным (ИГ) волнам – длинным волнам, формирующимся в результате нелинейного взаимодействия ветровых волн и зыби, представляющих собой короткие гравитационные волны [6]. Согласно данным различных авторов, высоты и периоды ИГ волн изменяются в широких пределах: высоты – от 1–2 до 250 см, периоды – от 0.3–0.5 до 5–7 (10) мин. Отметим, что для колебаний уровня моря с периодом 48.12 мин соответствующий пик в спектральной плотности не превышает 95%-й доверительный интервал, однако превосходит уровень 80 %.

Инфрагравитационные волны порождают в прибрежной зоне различные явления, такие как волновой нагон, разрывные течения и прибойные бияния, и играют важную роль в формировании береговых и прибрежных форм рельефа, включая береговые фестоны, косы и серповидные бары [6]. Исходя из диапазона существования ИГ волн можно заключить, что обнаруженные волновые процессы с периодами 7.76 и 10.36 мин относятся к инфрагравитационным. Поскольку четкой границы периодов возбуждения ИГ волн не существует, а в Охотском море наличествует длиннопериодная зыбь, к инфрагравитационным можно отнести и волны с периодами до 11.78 мин.

Инфрагравитационные волны, распространяющиеся из открытого моря к берегу, могут захватываться и переходить в краевые волны, распространяющиеся вдоль береговой

линии. В работах [20, 21] показано, что вдольбереговая структура волн формируется преимущественно низшими модами краевых волн. Они генерируются при захвате энергии ИГ волн, подходящих к берегу под острым углом, на периодах, близких к собственным периодам краевых волн [22, 23], характерных для прибрежной зоны.

Рассмотрена возможность генерации краевых волн с периодами от 7 до 24 мин с учетом того, что профиль морского дна на удалении от берега до 140 км является достаточно пологим. Для оценки использовано дисперсионное соотношение для краевых волн Стокса в приближении плоского наклонного дна, полученное Урселлом [24]:

$$\omega_n^2 = gk \sin[(2n + 1)\beta], \quad (4)$$

где ω_n – частота моды n краевой волны, k – вдольбереговое волновое число, β – наклон дна. Нижний предел существования краевых волн определяется условием $k \geq \omega^2/g$ [25], а число мод краевых волн при заданном уклоне дна ограничено неравенством: $n \leq \pi/4\beta - 1/2$ [6].

Для первых четырех мод краевых волн была рассчитана дисперсионная диаграмма (рис. 4) с использованием выражения (4). Полученная диаграмма подтверждает возможность генерации краевых волн с периодами 7.76, 10.36–11.78, 23.19 и 48.12 мин и вдольбереговыми длинами волн примерно от 13.6 до 97.8 км, возбуждаемых приходящими инфрагравитационными волнами.

Спектр, приведенный на рис. 3, характеризует усредненное распределение энергии колебаний за весь период наблюдений. Однако энергия волнения существенно изменяется во времени, поэтому для анализа временной эволюции спектральной структуры был дополнительно рассчитан текущий спектр (спектрограмма).

Перед расчетом спектрограммы из временного ряда уровня моря была удалена приливная составляющая. Более низкочастотные вариации уровня при этом сохранялись, что позволяло проследить изменение амплитуды короткопериодных колебаний на фоне медленных изменений уровня моря. Для временного ряда атмосферного давления, напротив, применялась дополнительная фильтрация с удалением колебаний с периодами более 1 ч, что позволило выделить короткопериодные пульсации давления.

Алгоритм расчета спектрограммы описан в работах [16, 17] и заключается в следующем: исходный временной ряд разбивается на $2N/n - 1$ отрезков длиной n , где N – длина всего ряда. Каждый последующий отрезок смещается относительно предыдущего на $n/2$. Для каждого отрезка рассчитывается спектр с использованием процедуры сглаживания спектральных оценок, полностью аналогичной расчету одиночных спектров в данной программе. В настоящей работе для расчета использова-

лось значение $n = 60$ мин. Рассчитанные спектрограммы колебаний уровня моря и атмосферного давления приведены на рис. 5.

На спектрограмме (рис. 5 б) видно, что энергия колебаний уровня моря существенно возрастает в периоды увеличения амплитуды волнения (рис. 5 а). При этом усиление энергии наблюдается в широком диапазоне периодов – от 2 мин и более. В период высокой амплитуды волн 14 августа отчетливо проявляется модовая структура колебаний с ясно выраженными максимумами. Такая картина характерна для случаев генерации краевых волн инфрагравитационной природы.

Отметим, что периоды увеличения энергии морских волн (рис. 5 б) в целом не совпадают по времени с максимумами энергии короткопериодных колебаний атмосферного давления, за исключением события 14 августа, когда наблюдается их одновременное усиление. Как показали расчеты, корреляция между временными рядами колебаний уровня моря и атмосферного давления отсутствует во всем минутном диапазоне периодов, что указывает на отсутствие прямой передачи энергии от атмосферных волн к морским в данном диапазоне периодов. Вместе с тем, по данным Архива метеорологических данных GSOD (станция 321500) (http://pogoda-service.ru/archive_gsod_res.php?country=RS&station=321500&datepicker_beg=09.08.1988&datepicker_end=20.08.1988), максимумы

энергии колебаний атмосферного давления совпадают по датам с периодами, когда температура превышала значение $14.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ и наблюдалась солнечная и спокойная погода.

Рассмотрим колебания атмосферного давления, интерес к которым обусловлен их связью со спектром внутренних волн в атмосфере. Имея спектр флуктуаций приземного давления, вызванных внутренними гравитационными волнами, и используя модель атмосферы,

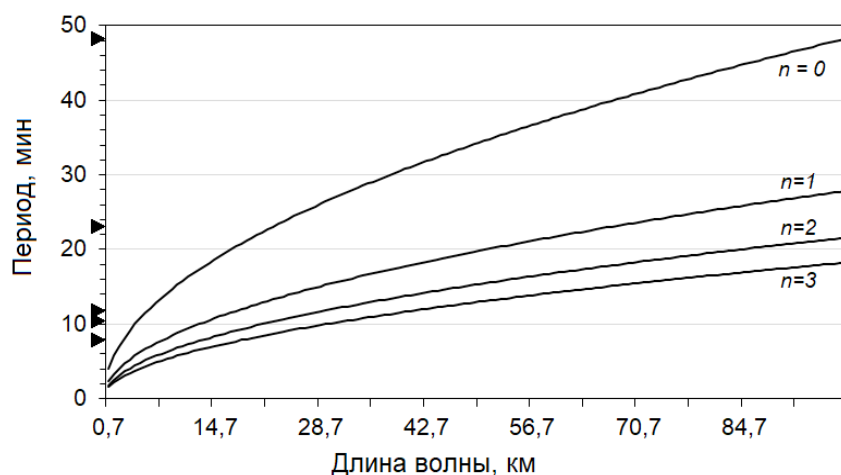


Рис. 4. Дисперсионная диаграмма краевых волн, возбуждаемых ИГ волнами. Отмечены периоды 7.76, 10.36, 11.78, 23.19 и 48.12 мин.

Fig. 4. Dispersion diagram of edge waves excited by infragravity waves. Periods of 7.76, 10.36, 11.78, 23.19, and 48.12 min are indicated.

можно восстановить их амплитудный спектр [26]. Этот спектр представляет практический интерес, поскольку должен учитываться при посадках вертолетов на площадки буровых установок на шельфе, а также в задачах распространения электромагнитного излучения, связанных с радиолокационным покрытием под малыми углами.

Типичная амплитуда колебаний атмосферного давления, связанных с волновыми процессами, находится в диапазоне 0.01–0.1 гПа [27] при периодах от 1 до 40 мин [28]. Вместе с тем известны эпизоды интенсивных мезомасштабных гравитационных волн с амплитудами до 2–3 гПа [29]. Типичная амплитуда колебаний давления, обусловленных турбулентными

движениями, составляет порядка нескольких сотых гПа [30]. Поскольку абсолютное атмосферное давление у поверхности Земли составляет около 1000 гПа, для регистрации слабых волновых и турбулентных возмущений требуется чувствительность не хуже 0.01 гПа. Такое разрешение свойственно лишь ограниченному числу современных барометров; в нашей работе погрешность преобразования вариаций барического давления составляла 0.02 гПа. Чувствительность прибора достаточна для регистрации наблюдаемых короткопериодных флуктуаций, но слабые возмущения нужно интерпретировать с учетом предела разрешения.

В соответствии с классификацией волновых движений в атмосфере, приведенной в [31],

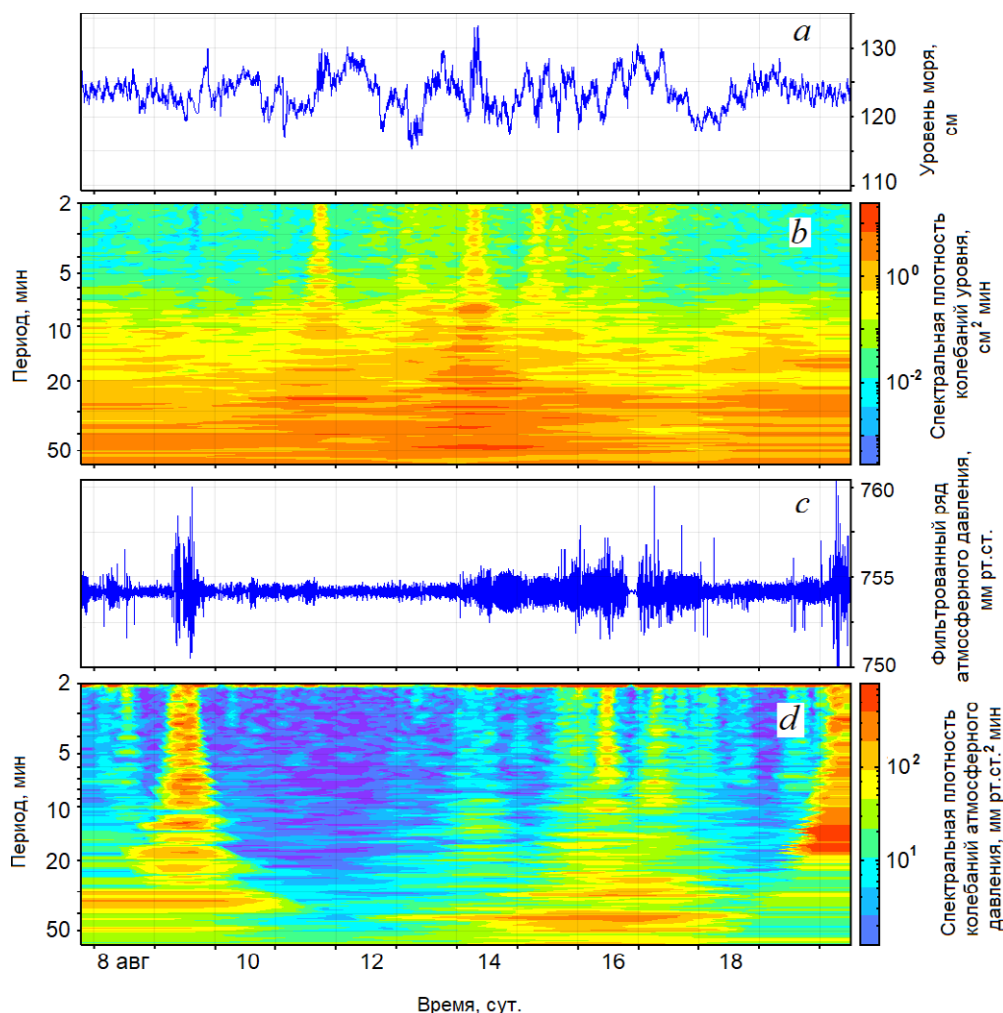


Рис. 5. Временной ряд колебаний уровня моря, из которого вычтен предвычисленный прилив (а), спектрограмма колебаний уровня моря (б) для ряда (а), фильтрованный ряд колебаний атмосферного давления (в) и его спектрограмма (г).

Fig. 5. Time series of sea level fluctuations with the precomputed tide removed (a); spectrogram of sea level fluctuations for the series (a), (б); filtered time series of atmospheric pressure fluctuations (в), and its spectrogram (г).

волны с периодами менее 1 ч и длинами менее 20 км, которые рассматриваются в данной работе, относятся к микромасштабным. Viana S. с соавторами [30] называют короткопериодные колебания приземного давления мелкомасштабными и отмечают, что они являются одной из наименее изученных особенностей пограничного слоя атмосферы. Эти возмущения могут быть обусловлены как быстрыми турбулентными движениями, так и распространением различных типов волн, включая внутренние гравитационные волны (ВГВ) и акустико-гравитационные волны (АГВ). Механизмы их генерации разнообразны и включают орографическое воздействие, фронтальные процессы, конвекцию, геострофическую корректировку и сдвиговую неустойчивость [30, 32].

Многочисленные исследования показывают существование АГВ и короткомасштабных ВГВ в минутном диапазоне периодов [33, 34]. Эти волны способны распространяться практически вертикально [33, 35, 36] и участвовать в формировании крупномасштабных возмущений верхней атмосферы [37, 38]. Ранее проведенные исследования показали, что основными источниками АГВ в нижней атмосфере являются метеорологические процессы, включая мезомасштабную конвекцию и орографические возмущения [39], тогда как к основным механизмам генерации ВГВ относят неустойчивость, обусловленную вертикальным сдвигом скорости, усиленную конвекцию, геострофическую адаптацию, фронтогенез и орографическое воздействие [40–44]. В интервале периодов от нескольких минут до нескольких часов основной вклад в формирование атмосферных волн вносят АГВ и ВГВ, которые могут распространяться от области генерации в зоны интенсивной диссипации [45, 46].

Результаты исследований различных авторов [39, 47–49] показывают, что спектр короткопериодных колебаний атмосферного давления в нижней атмосфере формируется под влиянием турбулентных процессов, атмосферных гравитационных волн и конвективной активности. В литературе рассматриваются

различные диапазоны периодов: на периодах короче 10 с проявляется режим турбулентного переноса со спектральным наклоном порядка -2 , тогда как в интервале 10^2 – 10^3 с спектр колебаний атмосферного давления существенно варьирует в зависимости от синоптической ситуации. В дневное время в нижней атмосфере наблюдаются вариации с характерными периодами порядка нескольких минут и 6–10 мин, которые обычно связываются с атмосферными и внутренними гравитационными волнами. В настоящей работе, с учетом минутной дискретности регистрации, рассматриваются колебания атмосферного давления в диапазоне периодов, превышающих несколько минут. Ширина спектра возмущений в диапазоне АГВ, инициируемых метеорологическими штормами, составляет от 10 до 60 мин, а амплитуды соответствующих гармоник устойчиво коррелируют с динамикой метеорологического возмущения.

С учетом приведенных теоретических и экспериментальных результатов были проанализированы колебания атмосферного давления по данным наших наблюдений в минутном диапазоне периодов. Для этого из временных рядов атмосферного давления предварительно удалялись возмущения за пределами исследуемого диапазона. Для фильтрации использовалась программа Кута, реализующая цифровую фильтрацию на основе быстрого преобразования Фурье по следующему алгоритму: прямое преобразование Фурье, подавление частот и амплитуд в заданном интервале и обратное преобразование Фурье. К данным атмосферного давления был применен высокочастотный цифровой фильтр с частотой отсечения $f = 1/3600 \text{ с}^{-1}$, удаляющий колебания с периодами более 1 ч. Аналогичный подход к высокочастотной фильтрации используется в работе [30].

На рис. 3 (график 1) представлены рассчитанная спектральная плотность колебаний атмосферного давления по данным, подвергнутым фильтрации (рис. 5 с), и соответствующая спектрограмма (рис. 5 d). На спектре отчетливо выделяются значимые пики с периодами

2–2.5, 4.5–6.75, 13.52, 16.92 и 28.20–53.26 мин, превышающие 95%-й доверительный интервал. При этом фоновые амплитуды колебаний давления составляют от 0.16 до 0.45 гПа.

В соответствии с приведенной выше классификацией диапазонов периодов колебаний атмосферного давления можно заключить, что полученные экспериментальные данные не содержат турбулентных пульсаций, поскольку дискретность регистрации и осреднение осуществлялись с интервалом 1 мин. Это не позволяет анализировать колебания на временах менее нескольких минут. Для диапазонов существования АГВ и ВГВ наблюдаемые пики в спектральных плотностях, превышающие 95%-й доверительный интервал, с периодами 2–2.5 мин могут быть обусловлены внутренними гравитационными волнами, тогда как колебания с периодами от 4.5 до 53 мин – акустико-гравитационными. При этом на спектрограмме (рис. 5 d) видно, что в периоды 9, 16 и 20 августа происходит заметное усиление энергии колебаний атмосферного давления, формирующее почти непрерывный спектр с отчетливо выраженной структурой. Эти эпизоды совпадают с периодами повышенной атмосферной неустойчивости и могут быть связаны с усилением генерации атмосферных гравитационных волн.

Следует отметить, что наклон линии спектральной плотности колебаний атмосферного давления в рассматриваемом диапазоне периодов близок к степени $-1/3$. Первоначально такое поведение спектра представляется необычным, поскольку в работах других авторов чаще приводятся спектры с наклоном порядка -2 . Однако, например, в статье [48] в диапазоне периодов от 6 мин до 1 ч показано существенное искривление спектральной кривой. Авторы данной работы называют этот участок спектра «коленом» (knee) и интерпретируют его как область поступления энергии в нижние слои атмосферы. Диапазон периодов колебаний атмосферного давления, анализируемый в нашей работе, практически полностью совпадает с диапазоном в данной области спектра. По-видимому, это и определяет полученный наклон спектральной плотности.

В заключение анализа колебаний атмосферного давления отметим, что в настоящей работе не ставилась задача детального исследования вариаций атмосферного давления и механизмов их формирования. Предлагаемая интерпретация основана на сопоставлении наблюдаемых спектральных максимумов с существующими теоретическими и экспериментальными представлениями о структуре высокочастотной части спектра атмосферных колебаний.

Заключение

На основе натурных наблюдений, выполненных на восточном шельфе о. Сахалин в районе Ныйского залива, установлены следующие особенности колебаний уровня моря и атмосферного давления.

В спектрах колебаний уровня моря выявлены выраженные пики на периодах, близких к суточным и полусуточным приливным гармоникам (24.71 и 12.34 ч). Эти максимумы соответствуют приливному колебаниям и согласуются с известными периодами гармоник M_1 и M_2 .

Пик спектральной плотности с периодом около 3.88 ч интерпретирован как проявление шельфовой сейши. Расчеты по формуле для сейш в приближении линейно наклонного дна показали возможность генерации сейш с периодом 3.93 ч, близким к наблюдаемому значению.

Показано, что часть спектральных максимумов с периодами 3.61, 6.89 и 9.09 ч может быть связана с колебаниями уровня акватории Ныйского залива. Расчет собственных периодов залива для различных характерных размеров дает значения, близкие к наблюдаемым максимумам (расхождение менее 7 %), что указывает на возможное влияние колебаний залива на формирование спектра уровня моря в районе наблюдений.

В минутном диапазоне периодов в спектрах колебаний уровня моря обнаружены максимумы с периодами 7.76, 10.36–11.78, 23.19 и

48.12 мин. Колебания с периодами 7.76 и 10.36 мин отнесены к инфрагравитационным волнам. Возможность генерации волн с более длинными периодами объясняется возбуждением краевых волн, формируемых инфрагравитационными волнами, что подтверждается расчетом по дисперсионному соотношению Урселла для плоского наклонного дна.

Анализ спектров колебаний атмосферного давления показал наличие значимых максимумов с периодами 2–2.5 мин, которые могут быть интерпретируемы как проявления ВГВ, и максимумов с периодами от 4.5 до 53 мин, возможно соответствующих АГВ. В штормовые периоды 9, 16 и 20 августа наблюдается интенсивная генерация атмосферных гравитационных волн, приводящая к формированию почти непрерывного спектра с выраженной модовой структурой.

Установлено, что наклон спектральной плотности колебаний атмосферного давления в рассматриваемом диапазоне периодов близок к степени $-1/3$, что отличается от значений порядка -2 , приводимых в ряде работ. Это объясняется тем, что анализируемый диапазон периодов соответствует области поступления энергии в нижние слои атмосферы, тогда как спектральный наклон со степенью -2 характерен для других областей спектра.

Полученные результаты могут быть использованы при оценке волновых условий в районах размещения морских платформ, при планировании инженерных работ на шельфе, а также для уточнения требований к эксплуатации морских и авиационных объектов в прибрежной зоне.

Список литературы

1. Parker B.B. *Tidal analysis and prediction*. Maryland: Silver spring, 2007, 378 p. <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-191>
2. Kowalik Z., Polyakov I. Tides in the Sea of Okhotsk. *Journal of Physical Oceanography*. 1998, 28(7):1389–1409. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1998\)028<1389:TITSOO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1998)028<1389:TITSOO>2.0.CO;2)
3. Andreev A. Intra-seasonal variability of sea level on the southwestern Bering Sea shelf and its impact on the East Kamchatka and East Sakhalin currents. *Remote Sensing*. 2023,15(20):4984. <https://doi.org/10.3390/rs15204984>
4. Rouvinskaya E.A., Kurkina O.E., Kurkin A.A. Spatial distribution of amplitudes of internal tidal waves on the north-eastern shelf of Sakhalin. *Doklady Earth Sciences*. 2023,509(1):148–152. <https://doi.org/10.1134/S1028334X22601778>
5. Kovalev D.P., Kovalev P.D., Borisov A.S., Kirillov K.V. Waves in the marine area near Cape Svobodny (south-eastern part of Sakhalin Island). *Geosystems of Transition Zones*. 2024,8(3):201–211. <https://doi.org/10.30730/gtr.2024.8.3.201-211>
6. Рабинович А.Б. *Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение*. СПб.: Гидрометеиздат, 1993, 326 с.
7. Ohshima K.I., Wakatsuchi M., Fukamachi Y., Mizuta G. Near-surface circulation and tidal currents of the Okhotsk Sea observed with satellite-tracked drifters. *Journal of Geophysical Research*. 2002,107(C11):16-1-16-18. <https://doi.org/10.1029/2001JC001005>
8. Kurkin A.A., Kovalev D.P., Kurkina O.E., Kovalev P.D. Features of long waves in the area of cape Svobodny (south-eastern part of Sakhalin Island, Russia) during the passage of cyclones. *Russian Journal of Earth Sciences*. 2023,23(3):ES3003. <https://doi.org/10.2205/2023ES000852>
9. Kovalev D.P., Kurkin A.A., Kovalev P.D., Zarochintsev V.S. Investigation of tidal and subtidal variations in sea level close to the southeastern coast of Sakhalin Island using two-year time series. *Russian Journal of Earth Sciences*. 2024,24(3):ES3001. <https://doi.org/10.2205/2024ES000908>
10. Squire V.A., Kovalev D.P., Kovalev P.D. Aspects of surface wave propagation with and without sea ice on the south-eastern shelf of Sakhalin Island. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2021,251:107227. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107227>
11. Манилюк Ю.В., Лазоренко Д.И., Фомин В.В. Исследование сейшевых колебаний в смежных бухтах на примере Севастопольской и Карантинной бухт. *Морской гидрофизический журнал*. 2020,36(3):261–276. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2020-3-261-276>
12. Судольский А.С. *Динамические явления в водоемах*. Л.: Гидрометеиздат, 1991, 263 с.
13. Kovalev D.P., Kovalev P.D., Shevchenko G.V., Borisov A.S., et al. Study on harbor oscillation-like waves in an open port on the Sakhalin Island shelf. *Ocean Engineering*. 2025,334:121625. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.121625>
14. Ковалев П.Д., Ковалев Д.П. *Техника исследования опасных морских явлений в прибрежной зоне океана*. Владивосток: Дальнаука, 2010, 152 с.

15. Tozer B., Sandwell D.T., Smith W.H.F., Olson C., Beale J.R., Wessel P. Global bathymetry and topography at 15 arc seconds: SRTM15+. *Earth and Space Science*. 2019,6(10):1847–1864. <https://doi.org/10.1029/2019EA000658>
16. Плеханов Ф.А., Ковалев Д.П. Программа комплексной обработки и анализа временных рядов данных уровня моря на основе авторских алгоритмов. *Геоинформатика*. 2016,1:44–53.
17. Ковалев Д.П. Программа для ЭВМ Кута: патент РФ RU 2018618773. № 2018612587; заявл. 20.03.2018; опубл. 19.07.2018.
18. Liu P.L.-F., Monserrat S., Marcos M., Rabinovich A.B. Coupling between two inlets: Observation and modeling. *Journal of Geophysical Research*. 2003,108(C3):3069. <https://doi.org/10.1029/2002JC001478>
19. Мурти Т.С. Сейсмические морские волны цунами: пер. с англ. Л.: Гидрометеиздат, 1981, 447 с.
20. Herbers T.H.C., Elgar S., Guza R.T. Generation and propagation of infragravity waves. *Journal of Geophysical Research*. 1995,100(C12):24863–24872. <https://doi.org/10.1029/95jc02680>
21. Holman R.A. Infragravity energy in the surf zone. *Journal of Geophysical Research*. 1981,86(C7):6442–6450. <https://doi.org/10.1029/jc086ic07p06442>
22. Lippmann T.C., Holman R.A., Bowen A.J. Generation of edge waves in shallow water. *Journal of Geophysical Research*. 1997,102(C4):8663–8679. <https://doi.org/10.1029/96jc03722>
23. Zeitlin V. *Resonant excitation of trapped coastal waves by free inertia-gravity waves*. Cambridge: INI, 2013, 36 p.
24. Ursell F. Edge waves on a sloping beach. *Proceedings of the Royal Society of London*. 1952,214(1116):79–97. URL: <https://www.jstor.org/stable/i206706>
25. Holman R.A., Bowen A.J. Longshore structure of infragravity wave motions. *Journal of Geophysical Research*. 1984,89(C4):6446–6452. <https://doi.org/10.1029/jc089ic04p06446>
26. Госсард Э., Хук У. *Волны в атмосфере*. М.: Мир, 1978. 532 с.
27. Nappo C.J. *An introduction to atmospheric gravity waves*. San Diego: Academic Press, 2002, 276 p. (International Geophysics; 102).
28. Stull R.B. *An introduction to boundary layer meteorology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publ., 1988, 666 p.
29. Bosart L.F., Cussen J.P. Gravity wave phenomena accompanying east coast cyclogenesis. *Monthly Weather Review*. 1973,101(5):446–454. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1973\)101<0446:GWPAEC>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1973)101<0446:GWPAEC>2.3.CO;2)
30. Viana S., Yagüe C., Maqueda G., Morales G. Study of the surface pressure fluctuations generated by waves and turbulence in the nocturnal boundary layer during SABLES2006 field campaign. *Física de la Tierra*. 2007,19(19):55–71.
31. Fiedler F., Panofsky H.A. Atmospheric scales and spectral gaps. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1970,51:1114–1120. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1970\)051<1114:ASASG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1970)051<1114:ASASG>2.0.CO;2)
32. Ramis C., Monserrat S. Ondas gravitatorias troposféricas. Estudio de su estabilidad mediante modelos de capas. *Física de la Tierra*. 1991,3:245–282.
33. Григорьев Г.И. Акустико-гравитационные волны в атмосфере Земли (обзор). *Известия вузов. Радиофизика*. 1999,17(1):3–24. <https://doi.org/10.1007/BF02677636>
34. Blanc E., Farges T., Le Pichon A., Heinrich P. Ten year observations of gravity waves from thunderstorms in Western Africa. *Journal of Geophysical Research*. 2014,119(11):6409–6418. <https://doi.org/10.1002/2013JD020499>
35. Francis S.H. A theory of medium-scale travelling ionospheric disturbances. *Journal of Geophysical Research*. 1974,79(34):5245–5260. <https://doi.org/10.1029/JA079i034p05245>
36. Гершман Б.Н., Григорьев Г.И. Перемещающиеся ионосферные возмущения (обзор). *Известия вузов. Радиофизика*. 1968,11(1):5–27.
37. Куницын В.Е., Сураев С.Н., Ахмедов Р.Р. Моделирование распространения акустико-гравитационных волн в атмосфере для различных поверхностных источников. *Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия*. 2007,2:59–63.
38. Vadas S.L., Fritts D.C. Thermospheric responses to gravity waves: Influences of increasing viscosity and thermal diffusivity. *Journal of Geophysical Research*. 2005,110:D15103. <https://doi.org/10.1029/2004JD005574>
39. Борчевкина О.П. *Лидарное и спутниковое зондирование возмущений тропосферы и ионосферы, создаваемых акустико-гравитационными волнами*: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, 2017. EDN: SMNPCD
40. Koch S.E., Golus R.E. A mesoscale gravity wave event observed during CCOPE. *Monthly Weather Review*. 1988,116(12):2527–2592.
41. Романова Н.Н., Якушкин И.Г. Внутренние гравитационные волны в нижней атмосфере и источники их генерации (обзор). *Известия АН РАН. Физика атмосферы и океана*. 1995,31(2):163–186.
42. Fritts D.C. Shear excitation of atmospheric gravity waves. Pt I. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 1982,39(9):1936–1952.

43. Fritts D.C. Shear excitation of atmospheric gravity waves. Pt II. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 1984,41(4):524–537.
44. Шакина Н.П. *Гидродинамическая неустойчивость в атмосфере*. Л.: Гидрометеониздат, 1990, 308 с.
45. Vadas S.L. Horizontal and vertical propagation, and dissipation of gravity waves in the thermosphere from lower atmospheric and thermospheric sources. *Journal of Geophysical Research*. 2007,112:A06305. <https://doi.org/10.1029/2006JA011845>
46. Gavrilo N.M., Kshevetskii S.P. Dynamical and thermal effects of nonsteady nonlinear acoustic-gravity waves propagating from tropospheric sources to the upper atmosphere. *Advances in Space Research*. 2015,56(9):1833–1843. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.01.033>
47. Gossard E.E. Spectra of atmospheric scalars. *Journal of Geophysical Research*. 1960,65(10):3339–3351. <https://doi.org/10.1029/JZ065i010p03339>
48. Herron T.J., Tolstoy I., Kraft D.W. Atmospheric pressure background fluctuations in the mesoscale range. *Journal of Geophysical Research*. 1969,74(6):1321–1329. <https://doi.org/10.1029/JB074i006p01321>
49. Голицын Г.С. *Динамика природных явлений: климат, планетные атмосферы, конвекция*. М.: Физматлит, 2004, 344 с.
6. Rabinovich A.B. [Long ocean gravity waves: Trapping, resonance, and leaking]. Saint Petersburg: Hydrometeoizdat, 1993, 326 p. (In Russ.).
7. Ohshima K.I., Wakatsuchi M., Fukamachi Y., Mizuta G. Near-surface circulation and tidal currents of the Okhotsk Sea observed with satellite-tracked drifters. *Journal of Geophysical Research*. 2002,107(C11):3195. <https://doi.org/10.1029/2001JC001005>
8. Kurkin A.A., Kovalev D.P., Kurkina O.E., Kovalev P.D. Features of long waves in the area of Cape Svobodny (south-eastern part of Sakhalin Island, Russia) during the passage of cyclones. *Russian Journal of Earth Sciences*. 2023,23(3):ES3003. <https://doi.org/10.2205/2023ES000852>
9. Kovalev D.P., Kurkin A.A., Kovalev P.D., Zarochintsev V.S. Investigation of tidal and subtidal variations in sea level close to the southeastern coast of Sakhalin Island using two-year time series. *Russian Journal of Earth Sciences*. 2024,24(3):ES3001. <https://doi.org/10.2205/2024ES000908>
10. Squire V.A., Kovalev D.P., Kovalev P.D. Aspects of surface wave propagation with and without sea ice on the south-eastern shelf of Sakhalin Island. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2021,251:107227. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107227>
11. Manilyuk Yu.V., Lazorenko D.I., Fomin V.V. [Study of seiche oscillations in adjacent bays using Sevastopol and Karantinnaya bays as an example]. *Morskoi gidrofizicheskii zhurnal [Marine Hydrophysical Journal]*. 2020,36(3):261–276. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2020-3-261-276>. (In Russ.).
12. Sudol'skii A.S. [Dynamic phenomena in water bodies]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991, 263 p. (In Russ.).
13. Kovalev D.P., Kovalev P.D., Shevchenko G.V., Borisov A.S., et al. Study on harbor oscillation-like waves in an open port on the Sakhalin Island shelf. *Ocean Engineering*. 2025,334:121625. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.121625>
14. Kovalev P.D., Kovalev D.P. [Techniques for studying hazardous marine phenomena in the coastal zone of the ocean]. Vladivostok: Dal'nauka, 2010, 152 p. (In Russ.).
15. Tozer B., Sandwell D.T., Smith W.H.F., Olson C., Beale J.R., Wessel P. Global bathymetry and topography at 15 arc seconds: SRTM15+. *Earth and Space Science*. 2019,6(10):1847–1864. <https://doi.org/10.1029/2019EA000658>
16. Plekhanov F.A., Kovalev D.P. The complex program of processing and analysis of time-series data of sea level on the basis of author's algorithms. *Geoinformatika*. 2016,1:44–53. (In Russ.).

References

1. Parker B.B. *Tidal analysis and prediction*. Maryland: Silver spring, 2007, 378 p. <http://dx.doi.org/10.25607/0BP-191>
2. Kowalik Z., Polyakov I. Tides in the Sea of Okhotsk. *Journal of Physical Oceanography*. 1998,28:1389–1409. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1998\)028<1389:TI TSOO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1998)028<1389:TI TSOO>2.0.CO;2)
3. Andreev A. Intra-seasonal variability of sea level on the southwestern Bering Sea shelf and its impact on the East Kamchatka and East Sakhalin currents. *Remote Sensing*. 2023,15(20):4984. <https://doi.org/10.3390/rs15204984>
4. Rouvinskaya E.A., Kurkina O.E., Kurkin A.A. Spatial distribution of amplitudes of internal tidal waves on the north-eastern shelf of Sakhalin. *Doklady Earth Sciences*. 2023,509(1):148–152. <https://doi.org/10.1134/S1028334X22601778>
5. Kovalev D.P., Kovalev P.D., Borisov A.S., Kirillov K.V. Waves in the marine area near Cape Svobodny (south-eastern part of Sakhalin Island). *Geosystems of Transition Zones*. 2024,8(3):201–211. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2024.8.3.201-211>

17. Kovalev D.P. [*Kyma computer program*: Russian Federation patent RU 2018618773]. No. 2018612587; appl. 20.03.2018; publ. 19.07.2018. (In Russ.).
18. Liu P.L.-F., Monserrat S., Marcos M., Rabinovich A.B. Coupling between two inlets: Observation and modeling. *Journal of Geophysical Research*. 2003,108(C3):3069. <https://doi.org/10.1029/2002JC001478>
19. Murty T.S. [*Seismic sea waves: Tsunamis*]: Transl. from English. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1981, 447 p. (In Russ.).
20. Herbers T.H.C., Elgar S., Guza R.T. Generation and propagation of infragravity waves. *Journal of Geophysical Research*. 1995,100(C12):24863–24872. <https://doi.org/10.1029/95jc02680>
21. Holman R.A. Infragravity energy in the surf zone. *Journal of Geophysical Research*. 1981,86(C7):6442–6450. <https://doi.org/10.1029/jc086ic07p06442>
22. Lippmann T.C., Holman R.A., Bowen A.J. Generation of edge waves in shallow water. *Journal of Geophysical Research*. 1997,102(C4):8663–8679. <https://doi.org/10.1029/96jc03722>
23. Zeitlin V. *Resonant excitation of trapped coastal waves by free inertia-gravity waves*. Cambridge: INI, 2013, 36 p.
24. Ursell F. Edge waves on a sloping beach. *Proceedings of the Royal Society of London*. 1952,214(1116):79–97. <https://www.jstor.org/stable/i206706>
25. Holman R.A., Bowen, A.J. Longshore structure of infragravity wave motions. *Journal of Geophysical Research*. 1984,89(C4):6446–6452. <https://doi.org/10.1029/jc089ic04p06446>
26. Gossard E., Hooke W. [*Waves in the atmosphere*]. Moscow: Mir, 1978, 532 p. (In Russ.).
27. Nappo C.J. *An introduction to atmospheric gravity waves*. San Diego: Academic Press, 2002, 276 p. (International Geophysics; 102).
28. Stull R.B. *An introduction to boundary layer meteorology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988, 666 p.
29. Bosart L.F., Cussen J.P. Gravity wave phenomena accompanying east coast cyclogenesis. *Monthly Weather Review*. 1973,101(5):446–454. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1973\)101<0446:GWPAEC>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1973)101<0446:GWPAEC>2.3.CO;2)
30. Viana S., Yagüe C., Maqueda G., Morales G. Study of the surface pressure fluctuations generated by waves and turbulence in the nocturnal boundary layer during SABLES2006 field campaign. *Física de la Tierra*. 2007,19(19):55–71.
31. Fiedler F., Panofsky H.A. Atmospheric scales and spectral gaps. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1970,51:1114–1120. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1970\)051<1114:ASASG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1970)051<1114:ASASG>2.0.CO;2)
32. Ramis C., Monserrat S. Ondas gravitatorias troposféricas. Estudio de su estabilidad mediante modelos de capas. *Física de la Tierra*. 1991,3:245–282.
33. Grigor'ev G.I. Acoustic-gravity waves in the Earth atmosphere (review). *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Radiofizika / Radiophysics and Quantum Electronics*. 1999,42(1):1–21. (In Russ.). <https://doi.org/10.1007/BF02677636>
34. Blanc E., Farges T., Le Pichon A., Heinrich P. Ten year observations of gravity waves from thunderstorms in Western Africa. *Journal of Geophysical Research*. 2014,119(11):6409–6418. <https://doi.org/10.1002/2013JD020499>
35. Francis S.H. A theory of medium-scale travelling ionospheric disturbances. *Journal of Geophysical Research*. 1974,79(34):5245–5260. <https://doi.org/10.1029/JA079i034p05245>
36. Gershman B.N., Grigor'ev G.I. Traveling ionospheric disturbances – A review. *Radiophysics and Quantum Electronics*. 1968,11:1–13. <https://doi.org/10.1007/BF01033534>
37. Kunitsyn V.E., Suraev S.N., Akhmedov R.R. [Modeling of the propagation of acoustic-gravity waves in the atmosphere from various surface sources]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 3. Fizika. Astronomiya = Moscow University Physics Bulletin*. 2007,2:59–63. (In Russ.).
38. Vadas S.L., Fritts D.C. Thermospheric responses to gravity waves: Influences of increasing viscosity and thermal diffusivity. *Journal of Geophysical Research*. 2005,110:D15103. doi:10/1029/2004JD005574
39. Borchevskina O.P. [*Lidar and satellite sounding of tropospheric and ionospheric disturbances generated by acoustic-gravity waves*]: thesis ... Cand. of Sci. (Phys.-Math.). Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, 2017. (In Russ.).
40. Koch S.E., Golus R.E. A mesoscale gravity wave event observed during CCOPE. *Monthly Weather Review*. 1988,116(12):2527–2592.
41. Romanova N.N., Yakushkin I.G. [Internal gravity waves in the lower atmosphere and sources of their generation: a review]. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Fizika Atmosfery i Okeana*. 1995,31(2):163–186. (In Russ.).
42. Fritts D.C. Shear excitation of atmospheric gravity waves. Pt I. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 1982,39(9):1936–1952.
43. Fritts D.C. Shear excitation of atmospheric gravity waves. Pt II. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 1984,41(4):524–537.
44. Shakina N.P. [*Hydrodynamic instability in the atmosphere*]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990, 308 p. (In Russ.).

45. Vadas S.L. Horizontal and vertical propagation, and dissipation of gravity waves in the thermosphere from lower atmospheric and thermospheric sources. *Journal of Geophysical Research*. 2007,112:A06305. <https://doi.org/10.1029/2006ja011845>
46. Gavrilov N.M., Kshevetskii S.P. Dynamical and thermal effects of nonsteady nonlinear acoustic-gravity waves propagating from tropospheric sources to the upper atmosphere. *Advances in Space Research*. 2015,56(9):1833–1843. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.01.033>
47. Gossard E.E. Spectra of atmospheric scalars. *Journal of Geophysical Research*. 1960,65(10):3339–3351. <https://doi.org/10.1029/JZ065i010p03339>
48. Herron T.J., Tolstoy I., Kraft D.W. Atmospheric pressure background fluctuations in the mesoscale range. *Journal of Geophysical Research*. 1969,74(6):1321–1329. <https://doi.org/10.1029/JB074i006p01321>
49. Golitsyn G.S. [*Dynamics of natural phenomena: climate, planetary atmospheres, convection*]. Moscow: Fizmatlit, 2004, 344 p. (In Russ.).

Об авторах

Сотрудники лаборатории волновой динамики и прибрежных течений, Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, Южно-Сахалинск, Россия:

✉ **Ковалев Дмитрий Петрович**, доктор физико-математических наук, руководитель лаборатории, d.kovalev@imgg.ru. <https://orcid.org/0000-0002-5184-2350>

Ковалев Петр Дмитриевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, p.kovalev@imgg.ru. <https://orcid.org/0000-0002-7509-4107>

Борисов Александр Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, a.borisov@imgg.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9026-4258>

Зарочинцев Виталий Сергеевич, научный сотрудник, zarochintsev@imgg.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4015-9441>

About the Authors

Employees of the Laboratory of Wave Dynamics and Coastal Currents, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia:

✉ **Kovalev, Dmitry P.**, Doctor of Physics and Mathematics, Head of the Laboratory, d.kovalev@imgg.ru. <https://orcid.org/0000-0002-5184-2350>

Kovalev, Peter D., Doctor of Engineering, Leading Researcher, p.kovalev@imgg.ru. <https://orcid.org/0000-0002-7509-4107>

Borisov, Aleksander S., Cand. Sci (Engineering), Senior Researcher, a.borisov@imgg.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9026-4258>

Zarochintsev, Vitalij S., Researcher, zarochintsev@imgg.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4015-9441>

Поступила 12.02.2026

Принята к публикации 10.04.2026

Received 12 February 2026

Accepted 10 April 2026