УДК 53.08 + 53.09 + 534.6
PACS 92.60.hh, 93.85.+q

МОНИТОРИНГ ИНФРАЗВУКОВОГО ФОНА В ОБСЕРВАТОРИИ КАЛИНИНГРАДСКОГО ФИЛИАЛА ИЗМИРАН

© 2025 г. Ю.С. Рыбнов[1]*, О.П. Борчевкина[2], Ю.А. Курдяева[2], М.В. Клименко[2], И.А. Ряховский[1, 2]**

[1] Институт динамики геосфер им. академика М.А. Садовского РАН, г. Москва, Россия

[2] Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (КФ ИЗМИРАН), г. Калининград, Россия

*e-mail: rybnov.y@mail.ru

**e-mail: olga.borchevkina@mail.ru

Поступила в редакцию 02.12.2024 г.; после доработки 22.01.2025 г.
Принята к публикации 20.02.2025 г.

Аннотация. Приводятся данные натурных измерений инфразвуковых и акустико-гравитационных волн в районе обсерватории Калининградского филиала Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, расположенной на берегу Калининградского залива. Установлено, что основными факторами, определяющими инфразвуковой фон в окрестностях обсерватории, являются ветровая турбулентность и ветровые волны от колебательных движений поверхности воды, сопряженные в единую циркуляционную систему. Получены оценки уровня инфразвукового фона в различных частотных диапазонах от ветровой турбулентности и ветровых волн.

Ключевые слова: инфразвуковой фон, ветровая турбулентность, ветровые волны, прибрежное взаимодействие воды и воздуха, акустические волны.

DOI: https://doi.org/10.21455/GPB2025.1-5

Цитирование: Рыбнов Ю.С., Борчевкина О.П., Курдяева Ю.А., Клименко М.В., Ряховский И.А. Мониторинг инфразвукового фона в обсерватории Калининградского филиала ИЗМИРАН // Геофизические процессы и биосфера. 2025. Т. 24, № 1. С. 94–102. https://doi.org/10.21455/GPB2025.1-5

ВВЕДЕНИЕ

Научные исследования в сфере оценки состояния окружающей среды под воздействием естественных и техногенных геофизических полей в инфразвуковом диапазоне частот в соответствии с «Прогнозом научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 г.», утвержденным указом Президента Российской Федерации № 7 от 05.01.2016 г., – одно из приоритетных направлений.

Одним из главных экологических факторов, влияющих в том числе и на здоровье человека, является состояние воздушной среды в атмосферном пограничном слое (АПС) и особенно в его приземной части [*Моисеев*, 2001; *Провоторов*, *Соловьев*, 2012]. При этом экологическая ситуация, формирующаяся на локальной территории, определяется возмущениями геофизических полей от природных и техногенных источников в широком диапазоне частот – от внутренних гравитационных волн (0.001 Гц) до верхней границы инфразвука (20 Гц).

Исследование особенностей инфразвукового фона в регионах, где источниками инфразвука могут выступать ветровая турбулентность и ветровые волны, – необходимое мероприятие для организации мониторинга за инфразвуковыми полями. Магнитно-ионосферная обсерватория Калининградского филиала Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (КФ ИЗМИРАН), расположенная в пос. Ульяновка на расстоянии 650 м от Калининградского залива и примерно в 250 м от Мамоновского шоссе (54.60° с.ш.; 20.21° в.д), представляет собой прекрасную локацию для проведения таких исследований. Предполагается, что источниками инфразвука в месте расположения обсерватории являются ветровая турбулентность и ветровые волны. В марте 2024 г. в обсерватории КФ ИЗМИРАН была установлена аппаратура, позволяющая определять вариации и спектральные характеристики атмосферных волн.

В рамках данного исследования с марта по сентябрь 2024 г. проведены измерения уровня инфразвука от перечисленных выше источников в широком диапазоне частот (0.001–20 Гц) с последующим анализом полученных результатов. Выявлен и рассмотрен период метеорологического шторма на территории Калининградской обл.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ И ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

Мониторинг уровня инфразвука в приземном слое атмосферы проводился в стационарном пункте наблюдения в обсерватории КФ ИЗМИРАН. Пункт оснащен микробарометром МБ-03, разработанным в Институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (рис. 1). Полоса регистрируемых прибором частот – 0.001–20 Гц, динамический диапазон – 0.01–250 Па. Данный микробарометр используется для мониторинга инфразвуковых источников природного и техногенного происхождения [*Спивак и др.*, 2016; *Адушкин и др.*, 2020].

Информацией о скорости и направлении ветра в приземном слое атмосферы г. Калининград служили данные сайта https://kaliningrad.ginfo.ru/ и результаты измерений на метеорологической станции М-49М, расположенной в обсерватории КФ ИЗМИРАН и предназначенной для измерения скорости и направления ветра, атмосферного давления, температуры и относительной влажности воздуха [*Борчевкина и др.*, 2020]. Временно́е разрешение наблюдений станции М-49М – 1 мин, что дает возможность проводить анализ волновой активности в периоды опасных метеорологических явлений в Калининградской обл. и оценить влияние генерации и распространения атмосферных волн из области метеорологических возмущений на параметры средней и верхней атмосферы.

Рис. 1. Микробарометр МБ-03, разработанный в Институте динамики геосфер им. академика М.А. Садовского РАН

ВЕТРОВАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ В АТМОСФЕРНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

Одна из целей проводимых в настоящей статье исследований – оценка уровня инфразвука от ветровой турбулентности в широком диапазоне частот. Так, на рис. 2 приведены детрендированные вариации инфразвука с 06 по 12 марта 2024 г.

Уровень инфразвукового фона L_P оценивался по формуле

$$L_P = 10\lg\frac{P^2}{P_0^2} \text{ (дБ)},$$

где P – среднеквадратичное значение звукового давления, Па; P_0 – исходное значение звукового давления в воздухе равное $2\cdot10^{-5}$ Па.

На рис. 3 приведен график вариаций суточного уровня инфразвукового фона в районе обсерватории за рассматриваемый период измерений. Средний уровень инфразвукового фона в диапазоне частот 0.001–20 Гц по данным проведенных измерений лежит в пределах ~90–93 дБ при среднем значении ~91 дБ. Наблюдаются суточные колебания уровня фона.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утв. 28.01.2021 г., введ. с 01.03.2021 г.), в местах работы различной степени интеллектуально-эмоциональной напряженности эквивалентный общий уровень инфразвукового шума не должен превышать 95 дБ. Результаты наших измерений показали, что за время наблюдений средний уровень инфразвукового фона в месте расположения обсерватории не превышает предельно допустимый уровень. Исключением является 11 марта, когда уровень фона превысил нормативно установленный уровень на ~2 дБ.

На рис. 4 представлены вариации скорости ветра и порывов скорости ветра в приземном слое атмосферы по данным ресурса https://kaliningrad.ginfo.ru/, а также мгновенные значения скорости ветра по данным метеорологической станции М-49М. Величины амплитуд ветра по данным двух источников незначительно отличаются, но динамика вариаций амплитуд ветра имеет схожий характер. Следует отметить, что датчик ветра в обсерватории КФ ИЗМИРАН располагается между лесными массивами, что может приводить к небольшим уменьшениям регистрируемой скорости ветра.

Рассмотрим степень (уровень) влияния скорости ветра в АПС на уровень инфразвукового фона. На практике взаимосвязь двух физических величин можно установить с помощью коэффициента линейной корреляции Пирсона, который позволяет определить наличие или отсутствие линейной связи между двумя количественными показателями, а также оценить ее тесноту и статистическую значимость. Качественную связь можно ранжировать по шкале Чеддока [*Chaddock*, 1925], которая включает следующие значения:

– слабая связь – от 0.1 до 0.3;
– умеренная связь – от 0.3 до 0.5;
– заметная связь – от 0.5 до 0.7;
– высокая связь – от 0.7 до 0.9;
– очень высокая (сильная) связь – от 0.9 до 1.0.

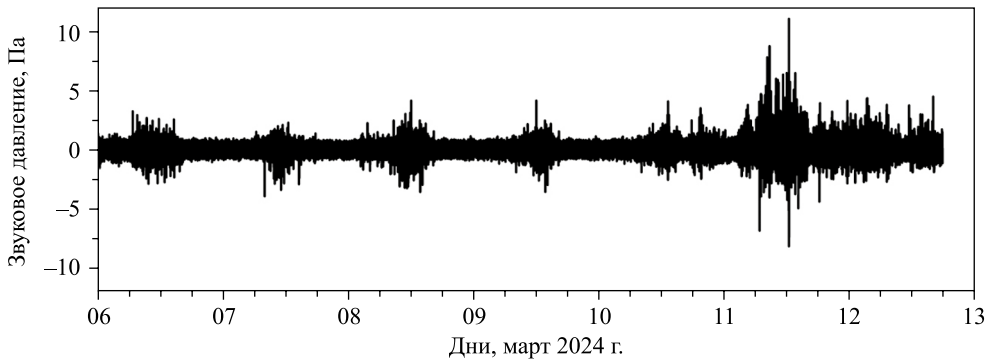

Рис. 2. Инфразвуковые колебания приземного слоя атмосферы в частотном диапазоне 0.001–20 Гц в окрестностях обсерватории КФ ИЗМИРАН 06–12 марта 2024 г.

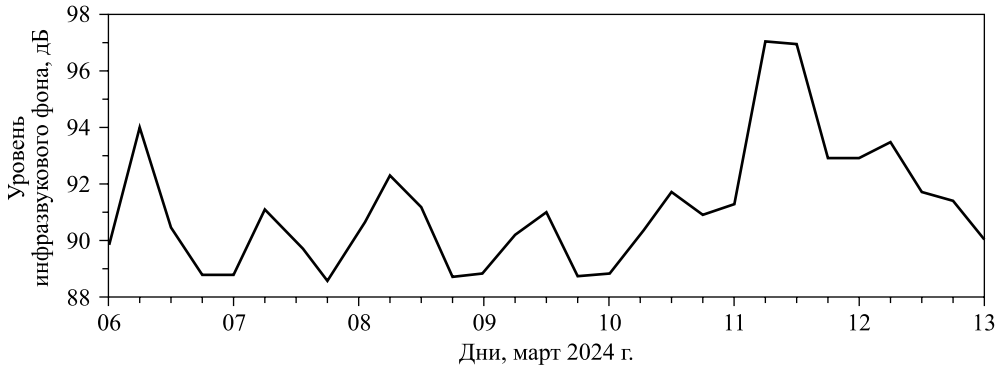

Рис. 3. Вариации суточного уровня инфразвукового фона в районе обсерватории КФ ИЗМИРАН 06–12 марта 2024 г.

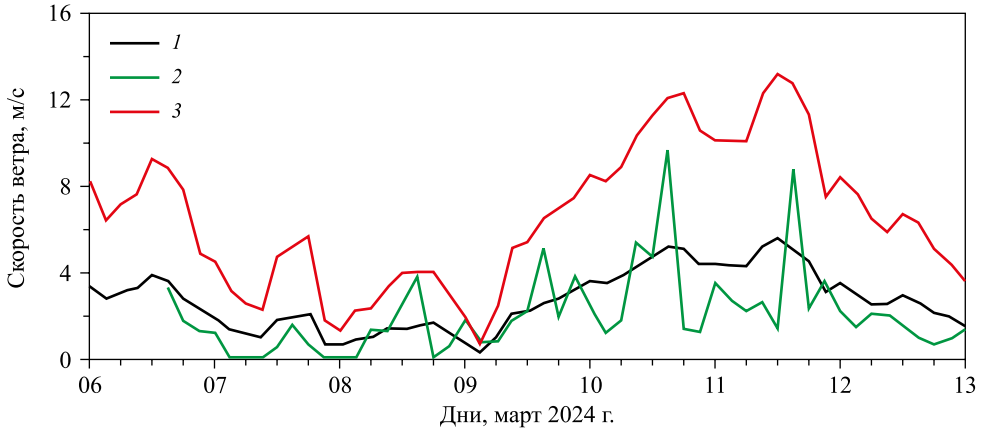

Рис. 4. Вариации скорости ветра в приземном слое атмосферы в окрестностях обсерватории КФ ИЗМИРАН 06–12 марта 2024 г. по данным Ginfo.ru (*1*) и метеостанции КФ ИЗМИРАН (*2*)

3 – порывы скорости ветра

Корреляция между уровнем инфразвукового фона в диапазоне частот 0.001–20 Гц и скоростью ветра 06–12 марта 2024 г. равна ~0.5. Кроме того, анализ результатов измерений показал, что диапазон корреляции за весь период наблюдений – с марта по сентябрь 2024 г., находится в диапазоне 0.48–0.62. Согласно значениям шкалы Чеддока, между уровнем инфразвукового фона в полосе 0.001–20 Гц и ветровой турбулентностью в АПС на территории обсерватории наблюдалась умеренная и заметная связь.

Рассмотрим влияние направления ветра на уровень инфразвукового фона. Для анализа выбирались дни с приблизительно одинаковой средней скоростью ветра. На рис. 5 приведены данные по скорости ветра и уровню инфразвукового фона 10 марта 2024 г., когда ветер имел восточное направление (дул со стороны

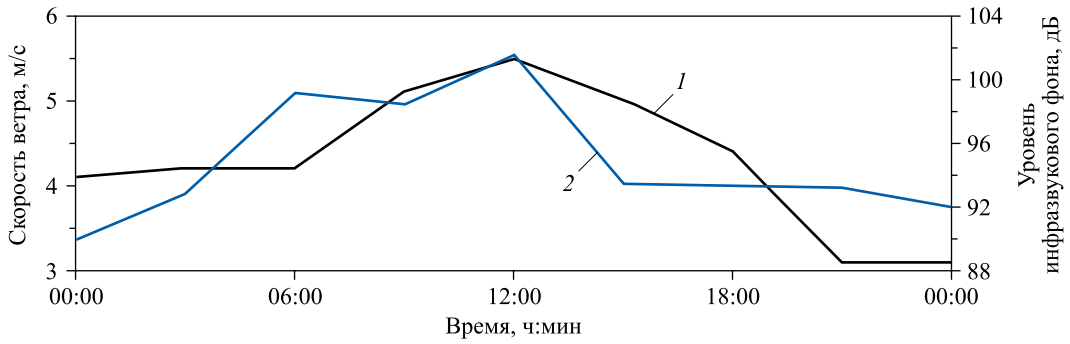

Рис. 5. Вариации скорости ветра (*1*) и уровня инфразвукового фона (*2*) в приземном слое атмосферы в окрестностях обсерватории КФ ИЗМИРАН 10 марта 2024 г. (ветер восточного направления)

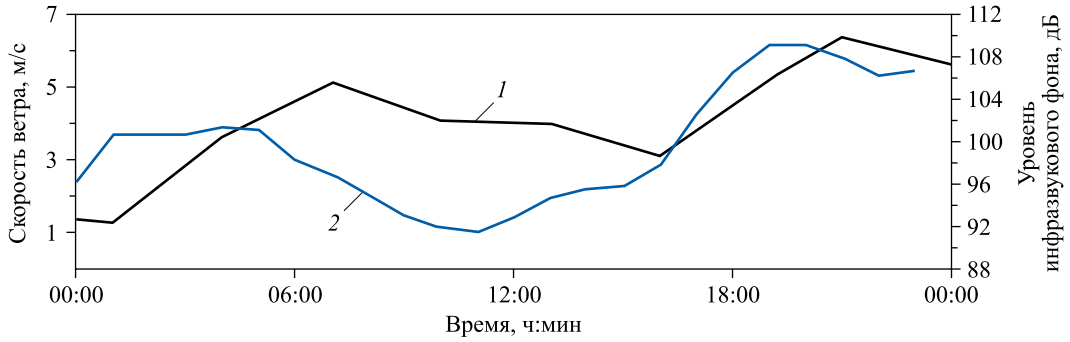

Рис. 6. Вариации скорости ветра (*1*) и уровня инфразвукового фона (*2*) в приземном слое атмосферы в окрестностях обсерватории КФ ИЗМИРАН 02 апреля 2024 г. (ветер западного направления)

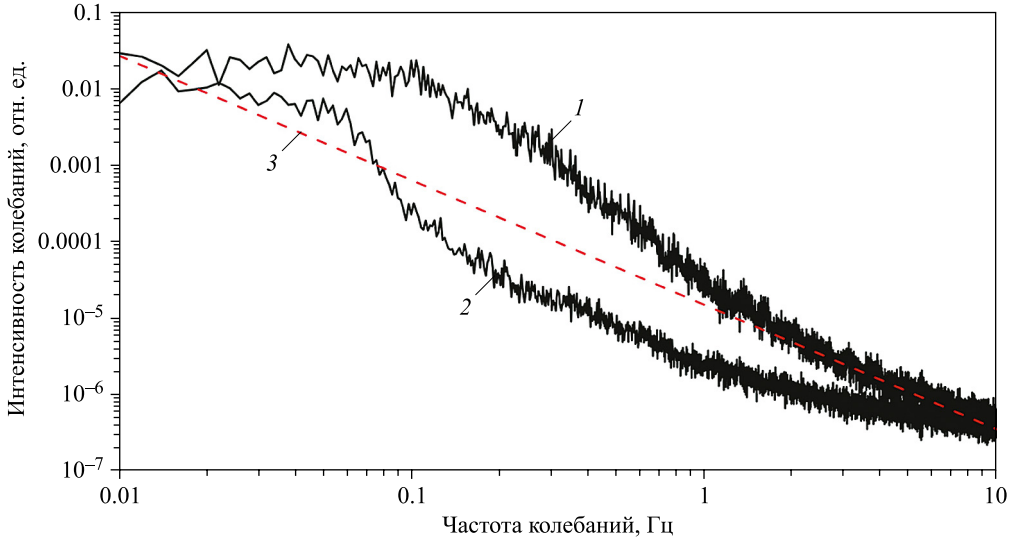

Рис. 7. Спектры инфразвуковых колебаний давления при различных скоростях и направлениях приземного ветра в районе обсерватории КФ ИЗМИРАН

1 – западный ветер; *2* – восточный ветер; *3* – колмогоровский спектр с константой –5/3

суши). Средняя скорость ветра в этот день составила ~4.2 м/с, уровень инфразвукового фона – ~94.8 дБ. Корреляция между уровнем фона и скоростью ветра была на уровне ~0.6.

На рис. 6 приведены данные по скорости ветра и уровню инфразвукового фона за 02 апреля 2024 г., когда ветер имел западное направление (дул со стороны залива). Средняя скорость ветра была ~3.9 м/с,

уровень фона – ~99.7 дБ. Корреляция между уровнем фона и скоростью ветра составила ~0.48. По сравнению с 10 марта 2024 г. произошло заметное увеличение инфразвукового фона – на ~5 дБ.

Аналогичная представленным на рис. 5, 6 картина наблюдалась и в другие дни, когда ветер был восточным или западным.

На рис. 7 приведены построенные с применением преобразования Фурье спектрограммы инфразвуковых колебаний в АПС при скоростях приземного ветра 3.6–3.9 м/с для двух случаев его направления – западного и восточного.

Согласно феноменологической теории Колмогорова, спектр развитой турбулентности в инерционном интервале волновых чисел (k) и в диссипативной области можно представить как

$$E(k) = C_k \bar{\varepsilon}^{\frac{2}{3}} k^{-\frac{5}{3}},$$

где C_k – константа Колмогорова (здесь $C_k = -5/3$); $\bar{\varepsilon}$ – мощность диссипации.

Из представленных на рис. 7 данных видно, что наблюдается увеличение интенсивности инфразвука в полосе частот 0.1–1 Гц для западного (со стороны залива) направления ветра. Подобное увеличение фона, вероятнее всего, обусловлено ветровыми волнами, которые образуются в заливе при таком направлении ветра.

ВЕТРОВЫЕ ВОЛНЫ

В прибрежных районах под действием ветра возникают колебательные движения поверхности воды, или ветровые волны [*Титов*, 1969]. Ветровые волны подразделяются на вынужденные и свободные. Вынужденные – это волны, которые образовались под действием ветра и продолжают находиться под его воздействием. Свободными ветровыми волнами, или волнами зыби, называются волны, продолжающие существовать после сильного ослабления или полного прекращения ветра.

Процесс развития ветровых волн в акватории мелководного моря сначала протекает в соответствии со скоростью дующего ветра, его продолжительностью и разгоном, как и в акватории моря неограниченной глубины. Однако ветровые волны на мелководье и у берегов никогда не достигают той предельной высоты и длины, которая определяется силой ветра, его продолжительностью и разгоном. Этим они отличаются от волн в открытом море [*Титов*, 1969].

Средний период колебаний τ ветровых волн в зависимости от средней глубины мелководного моря H равен

$$\tau = 1.47 H^{1/2}. \quad (1)$$

Когда средний период волновых волн достигнет величины, определяемой формулой (1), дальнейший их рост прекратится, и они будут сохранять достигнутые размеры на всем остальном пространстве мелководного моря.

Скорость ветра, при которой средний период волн достигнет максимальной величины, определяется по формуле [*Хван*, 1961]:

$$V_{\max} = 2.36\sqrt{H}. \quad (2)$$

Высота волн h при этом может достигать

$$h = 0.14\, V_{\max}^2. \quad (3)$$

Средняя глубина Калининградского залива колеблется от 2.7 до 5.2 м. Это, согласно (2), соответствует максимальной скорости ветра 3.9–5.4 м/с, при которой морские волны достигнут своих предельных размеров по высоте (3) и периоду колебаний (1).

Из представленных на рис. 8 зависимостей видно, что при средней скорости ветра 3–6 м/с частота ветровых волн находится в диапазоне 0.53–0.27 Гц. То есть по мере увеличения скорости ветра максимум частоты сдвигается к меньшим значениям. При этом высота волн не превышает ~0.5 м, а длина волны будет равна ~3h. Поэтому в мелководном море волны никогда не достигнут той предельной высоты, которая определяется силой ветра, его продолжительностью и временем разгона [*Титов*, 1969].

Как известно [*Бреховских*, 1968], ветровые волны с частотой f излучают инфразвуковую волну частотой $2f$. В этом случае инфразвук может находиться в диапазоне частот 0.54–1 Гц. На рис. 9 показаны сигналограммы инфразвуковых колебаний при скоростях ветра 3–4, 7–8 и 8–10 м/с. Ветер имел западное направление.

На спектрограммах, приведенных на рис. 9, наблюдаются характерные частоты. Так, при скорости ветра 3–4 м/с характерная частота равна ~0.93 Гц, что хорошо совпадает с расчетной равной ~ 1.0 Гц. При скорости ветра 7–8 м/с характерная частота равна ~0.63 Гц, что хорошо совпадает с расчетной – ~0.54 Гц.

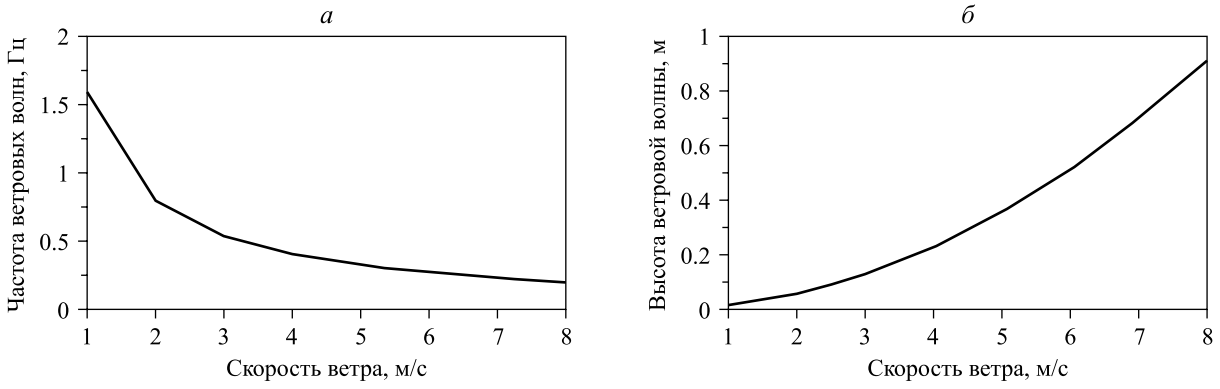

Рис. 8. Зависимость частоты (*а*) и высоты (*б*) ветровых волн в Калининградском заливе от скорости ветра

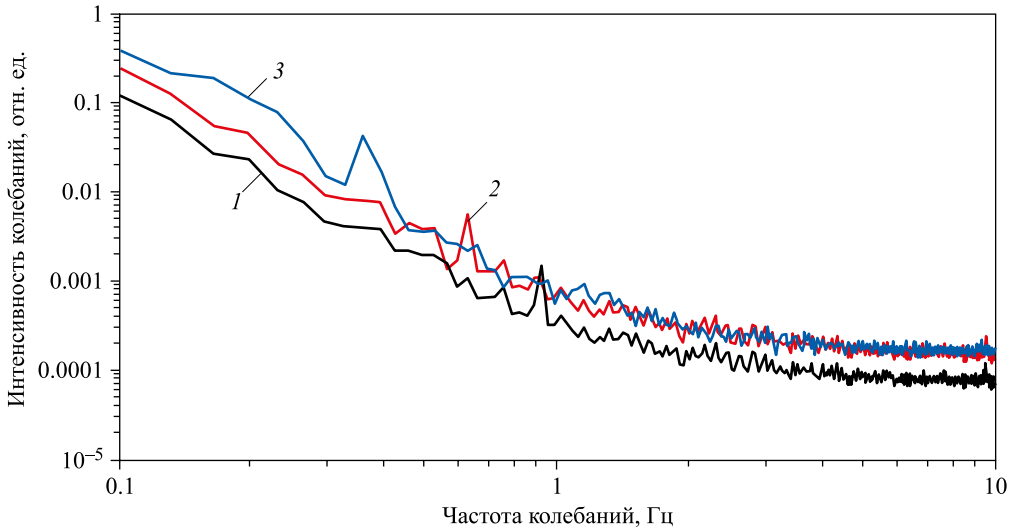

Рис. 9. Спектрограммы инфразвуковых колебаний в приземном слое атмосферы в окрестностях обсерватории КФ ИЗМИРАН при скорости западного ветра 3–4 (*1*), 7–8 (*2*) и 8–10 (*3*) м/с

Уровни инфразвукового фона в районе обсерватории КФ ИЗМИРАН для дней с восточными и западными ветрами

Направление ветра	Уровень фона, Па	
	Частотный диапазон 0.01–10 Гц	Частотный диапазон 0.1–1 Гц
Восточное	1.2 ±0.46	0.12±0.045
Западное	2.25±1.12	0.25±0.15

При сильном (8–10 м/с) ветре в спектре ветровых волн максимальные частоты составили 0.28–0.4 Гц (см. рис. 9). Вероятным источником таких колебаний являются ветровые волны в Калининградском заливе. Максимум излучения соответствует частоте равной [*Бреховских*, 1966, 1968]:

$$f = \frac{\sqrt{2}}{3\pi}\frac{g}{V}.$$

При скорости ветра 6–10 м/с частота колебаний таких волн составляет 0.18–0.15 Гц, что соответствует инфразвуковым колебаниям 0.36–0.3 Гц. Видно хорошее совпадение с экспериментальными данными.

ОЦЕНКА УРОВНЯ ИНФРАЗВУКОВОГО ФОНА

Для организации мониторинга за инфразвуковыми полями, возбуждаемыми природными и техногенными источниками, необходимо установить структуру и состав технических средств инфразвукового мониторинга и разработать алгоритм принятия решения об обнаружении сигнала. Сигнал считается принятым, если его амплитудное значение превысит некоторый порог, обусловленный уровнем инфразвукового шума в месте размещения технических средств мониторинга инфразвука. В связи с этим необходимо знать фоновые характеристики инфразвука в этом месте.

Как было показано выше, основные источники инфразвукового шума в окрестностях обсерватории – ветровая турбулентность и ветровые волны. Следует отметить, что ветровые волны являются источником инфразвука в полосе частот 0.1–1 Гц при ветре со стороны залива. Поэтому оценку уровня инфразвукового фона необходимо проводить в двухчастотных диапазонах с учетом направления ветра. В таблице указаны среднеквадратические уровни фона для ветров восточного и западного направлений в частотных диапазонах 0.01–10 и 0.1–1 Гц.

Как видно из приведенных в таблице данных, при западном ветре (со стороны залива) уровень фона инфразвуковых волн и его изменчивость приблизительно в 2 раза превышают эти показатели при восточном ветре. Результаты наблюдений и анализ полученных данных показывают, что уровень фона определяется не только скоростью ветра, но и его направлением, что является отличительной особенностью рассматриваемого региона.

АТМОСФЕРНЫЕ ВОЛНЫ ВО ВРЕМЯ СИЛЬНОГО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ЯВЛЕНИЯ

По имеющимся данным в марте–апреле 2024 г. в месте расположения обсерватории КФ ИЗМИРАН в тропосфере не зафиксировано штормовых значений скорости ветра. Обычно сильные метеорологические события в данном регионе случаются в осенне-зимний период, когда в Атлантическом океане начинается сезон штормов (мощных циклонов). Зародившись над

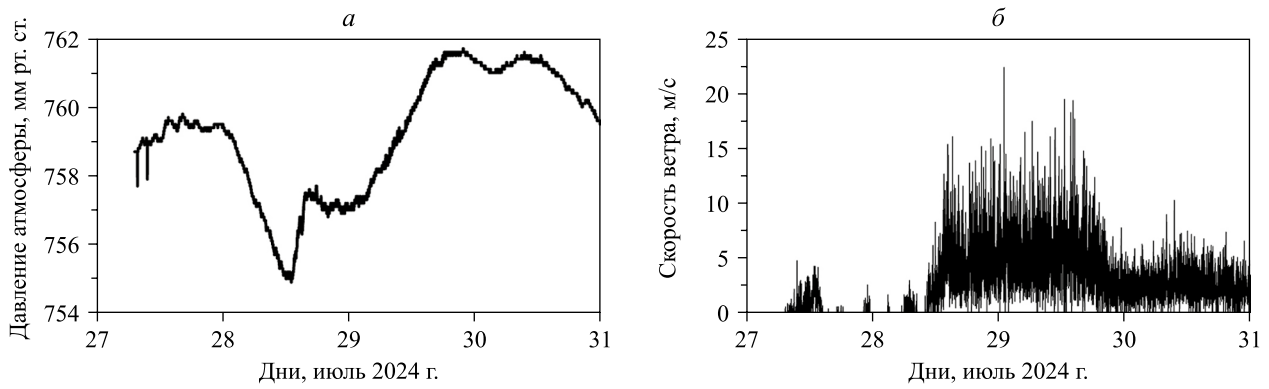

Рис. 10. Вариации приземного давления и скорости ветра 27–31 июля 2024 г. в окрестностях обсерватории КФ ИЗМИРАН по данным метеостанции М-49М

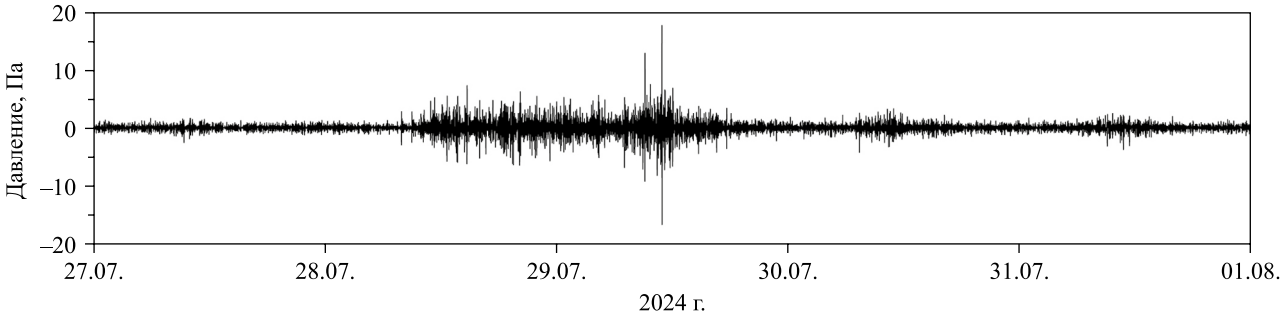

Рис. 11. Вариации приземного давления 24 июля – 01 августа 2024 г. в окрестностях обсерватории КФ ИЗМИРАН, усредненные на 1-минутном интервале

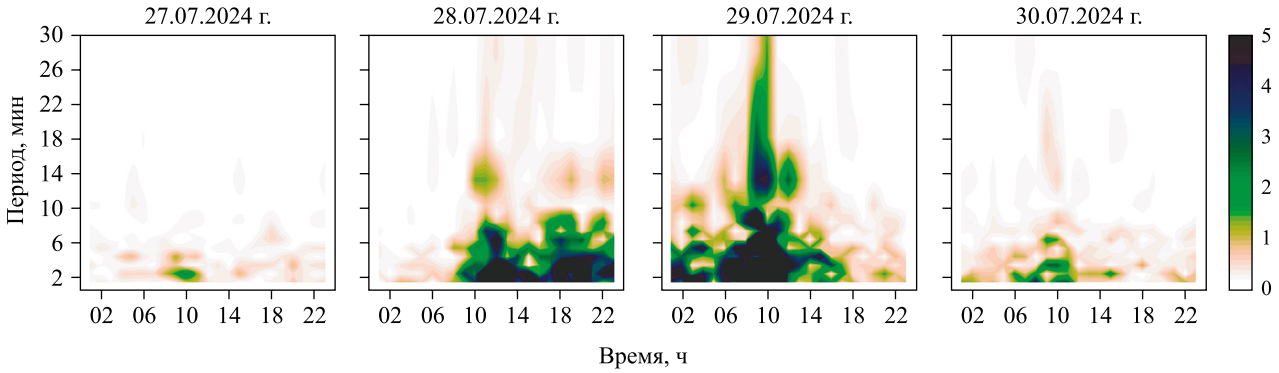

Рис. 12. Периодограммы 27–30 июля 2024 г. вариаций приземного давления в окрестностях обсерватории КФ ИЗМИРАН по данным микробарометра МБ-03

водами океана, европейские шторма в силу орографических особенностей достигают восточной части Балтийского моря примерно за одни сутки.

В июле 2024 г. шторм с порывами ветра до 30 м/с и высотой волн в Балтийском море до 3.5 м достиг побережья Калининградской обл. На рис. 10 представлены ежеминутные вариации атмосферного давления и мгновенной скорости ветра 27–31 июля 2024 г. по данным метеорологической станции М-49М. Во второй половине 28 июля скорости ветра превысили 15 м/с и к ночи 29 июля достигали 20 м/с.

Для дней метеорологического шторма нами были построены детрендированные, усредненные на 1-минутном интервале вариации давления, полученные с помощью микробарометра МБ-03 (рис. 11), которые могут быть использованы для численного моделирования волновых возмущений в верхней атмосфере [*Курдяева и др.*, 2019; *Kshevetskii et al.*, 2020]. Отметим, что вариации мгновенной скорости ветра и вариации давления показывают увеличение амплитуд в одно и то же время – 28–29 июля 2024 г.

Для спектральных характеристик, возникающих во время метеорологических возмущений, был

использован метод Ломба–Скаргла [*Витязев*, 2001]. Данный метод является аналогом спектральной плотности энергии Фурье и позволяет определить спектрограммы в заданном диапазоне частот как для регулярного, так и для нерегулярного ряда данных. На рис. 12 представлены периодограммы вариаций показаний микробарографа для каждого дня с 27 по 30 июля 2024 г.

Небольшие амплитуды волн, с периодами до 5 мин, отмечаются 27 и 30 июля, а во второй половине 28 июля и первой половине 29 июля амплитуды вариаций с периодами 2–8 мин существенно увеличиваются, достигая иногда периодов ~10 мин. Данные периоды в тропосфере относятся к акустическим и внутренним гравитационным волнам, которые генерируются в нижней атмосфере и могут достигать высот термосферы и ионосферы. Во время метеорологического шторма амплитуды таких атмосферных волн существенно увеличиваются.

РЕЗЮМЕ

Результаты экспериментальных наблюдений за уровнем инфразвукового фона, проведенные в магнитно-ионосферной обсерватории КФ ИЗМИРАН (пос. Ульяновка Калининградской обл.) с марта по сентябрь 2024 г., показали, что уровень инфразвукового фона с большой долей вероятности определяется не только скоростью ветра, но и его направлением. При западном ветре, со стороны Калининградского залива, уровень инфразвукового фона приблизительно в 2 раза превышает уровень фона в дни, когда ветер восточный, т.е. дует со стороны суши. Вероятным источником повышения уровня фона являются ветровые волны, возникающие под действием ветра в прибрежных районах.

Проведенный спектральный анализ результатов измерений во время метеорологического шторма показал увеличение амплитуд короткопериодных (с периодами от 2 до 8 мин) атмосферных гравитационных волн.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-77-10004).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

Адушкин В.В., Рыбнов Ю.С., Спивак А.А. Инфразвук в атмосфере. М.: ТОРУС ПРЕСС, 2020. 319 с.

Борчевкина О.П., Коренькова Н.А., Лещенко В.С., Клименко М.В., Карпов И.В., Радиевский А.В., Бессараб Ф.С., Власов В.И., Котова Д.С., Носиков И.А., Карпов М.И., Лисина В.Л., Шагимуратов И.И., Ефишов И.И., Якимова Г.А. Комплекс радиофизических, геомагнитных и метеорологических наблюдений Калининградского филиала ИЗМИРАН // Хим. физика. 2020. Т. 39, № 10. С. 80–89.

Бреховских Л.М. Звуковые волны под водой, обусловленные поверхностными волнами в океане // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1966. Т. 2, № 9. С. 970–980.

Бреховских Л.М. Об излучении океанскими волнами инфразвука в атмосферу // Изв. АН СССР. Физика атмосфера и океана. 1968. Т. 4, № 4. С. 444–450.

Витязев В.В. Анализ неравномерных временных рядов: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2001. 68 с.

Курдяева Ю.А., Куличков С.Н., Кшевецкий С.П., Борчевкина О.П., Голикова Е.В. Вертикальное распространение акустико-гравитационных волн от атмосферных фронтов в верхнюю атмосферу // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55, № 4. С. 3–12.

Моисеев Г.А. Задачи исследования естественных инфразвуковых электроакустических полей как одного из экологических факторов в зоне сопряжения суши и моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2001. № 2. С. 177–194.

Спивак А.А., Кишкина С.Б., Локтев Д.Н., Рыбнов Ю.С., Соловьев С.П., Харламов В.А. Аппаратура и методика для мониторинга геофизических полей мегаполиса и их применение в Центре геофизического мониторинга г. Москвы ИДГ РАН // Сейсмические приборы. 2016. Т. 52, № 2. С. 65–78.

Провоторов Д.С., Соловьев А.В. Низкочастотные акустические шумы в городской среде и в загородной зоне // Изв. вузов. Физика. 2012. Т. 55, № 8/3. С. 173–174.

Титов Л.Ф. Ветровые волны. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 296 с.

Хван А.П. О нарастании длины ветровой волны на мелководном море // Докл. АН СССР. 1961. Т. 138, № 5. С. 1080–1083.

Chaddock R.E. Principles and methods of statistics. Boston; N.Y., 1925. 471 p.

Kshevetskii S., Borchevkina O., Kurdyaeva Yu., Kulichkov S., Golikova E., Gavrilov N. Simulation of propagation of acoustic-gravity waves generated by tropospheric front instabilities into the upper atmosphere // Pure and Appl. Geophys. 2020. V. 177, N 11. P. 5567–5584.

Сведения об авторах

РЫБНОВ Юрий Сергеевич – кандидат технических наук, Институт динамики геосфер им. академика М.А. Садовского РАН. Россия, 119334, г. Москва, Ленинский просп., д. 38, к. 1. E-mail: rybnov.y@mail.ru

БОРЧЕВКИНА Ольга Павловна – кандидат физико-математических наук, Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН. Россия, 236010, г. Калининград, ул. Пионерская, д. 61. E-mail: olga.borchevkina@mail.ru

КУРДЯЕВА Юлия Андреевна – кандидат физико-математических наук, Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН. Россия, 236010, г. Калининград, ул. Пионерская, д. 61. E-mail: yakurdyaeva@gmail.com

КЛИМЕНКО Максим Владимирович – доктор физико-математических наук, Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН. Россия, 236010, г. Калининград, ул. Пионерская, д. 61. E-mail: maksim.klimenko@mail.ru

РЯХОВСКИЙ Илья Александрович – кандидат физико-математических наук, Институт динамики геосфер им. академика М.А. Садовского РАН. Россия, 119334, г. Москва, Ленинский просп., д. 38, к. 1; Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН. Россия, 236010, г. Калининград, ул. Пионерская, д. 61. E-mail: Ryakhovskiy88@yandex.ru

MONITORING OF INFRASOUND BACKGROUND IN THE OBSERVATORY OF THE KALININGRAD BRANCH OF IZMIRAN

© 2025 Yu.S. Rybnov[1]*, O.P. Borchevkina[2], Yu.A. Kurdyaeva[2], M.V. Klimenko[2], I.A. Ryakhovsky[1, 2]**

[1] Sadovsky Institute of Geospheres Dynamics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

[2] Kaliningrad Branch of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, (KB IZMIRAN), Kaliningrad, Russia

*e-mail: rybnov.y@mail.ru

**e-mail: olga.borchevkina@mail.ru

Abstract. The data of field measurements of infrasound and acoustic-gravity waves in the observatory of the Kaliningrad Branch of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, located on the shore of the Kaliningrad Bay, are presented. It was established that the main factors determining the infrasound background in the observatory are wind turbulence and wind waves from oscillatory movements of the water surface conjugated into a single circulation system. Estimates of the infrasound background level in different frequency ranges from wind turbulence and wind waves were obtained.

Keywords: infrasound background, wind turbulence, wind waves, coastal water-air interaction, acoustic waves.

About the authors

RYBNOV Yury Sergeevich – Cand. Sci. (Tech.), Sadovsky Institute of Geospheres Dynamics, Russian Academy of Sciences. Russia, 119334, Moscow, Leninsky av., 38-1. E-mail: rybnov.y@mail.ru

BORCHEVKINA Olga Pavlovna – Cand. Sci. (Phys. and Math.), Kaliningrad Branch of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences. Russia, 236010, Kaliningrad, Pionerskaya st., 61. E-mail: olga.borchevkina@mail.ru

KURDYAEVA Yulya Andreevna – Cand. Sci. (Phys. and Math.), Kaliningrad Branch of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences. Russia, 236010, Kaliningrad, Pionerskaya st., 61. E-mail: yakurdyaeva@gmail.com

KLIMENKO Maxim Vladimirovich – Dr. Sci. (Phys. and Math.), Kaliningrad Branch of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences. Russia, 236010, Kaliningrad, Pionerskaya st., 61. E-mail: maksim.klimenko@mail.ru

RYAKHOVSKY Ilya Alexandrovich – Cand. Sci. (Phys. and Math.), Sadovsky Institute of Geospheres Dynamics, Russian Academy of Sciences. Russia, 119334, Moscow, Leninsky av., 38-1; Kaliningrad Branch of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences. Russia, 236010, Kaliningrad, Pionerskaya st., 61. E-mail: Ryakhovskiy88@yandex.ru

Cite this article as: Rybnov Yu.S., Borchevkina O.P., Kurdyaeva Yu.A., Klimenko M.V., Ryakhovsky I.A. Monitoring of infrasound background in the observatory of the Kaliningrad Branch of IZMIRAN, *Geofizicheskie processy i biosfera* (Geophysical Processes and Biosphere), 2025, vol. 24, no. 1, pp. 94–102 (in Russian). https://doi.org/10.21455/GPB2025.1-5

English version: *Izvestiya*, *Atmospheric and Oceanic Physics*, 2025, vol. 61. ISSN: 0001-4338 (Print), 1555-628X (Online). https://link.springer.com/journal/volumesAndIssues/11485