С.Н. Куличков, О.Е. Попов, И.П. Чунчузов

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ АКВАТОРИИ
ГЕНЕРАЦИИ МИКРОБАРОМ В ОКЕАНЕ МЕТОДОМ
ФОРМИРОВАНИЯ НАПРАВЛЕННОСТИ ПРИЕМНЫХ АНТЕНН
ИНФРАЗВУКОВЫХ СТАНЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ
МОНИТОРИНГА**

*Институт Физики Атмосферы РАН им. Обухова
Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 3,
E-mail: snik1953@gmail.com, olegp@mail.ru,
igor.chunchuzov@gmail.com*

Приведены результаты наблюдения микробаром на инфразвуковых станциях Международной системы мониторинга. Проведено сравнение метода определения азимута прихода сигналов, основанного на измерении временных задержек между парами микробарографов, и метода формирования характеристики направленности приемной системы. Определено положение штормовой акватории в Атлантическом океане – источнике микробаром. Работа выполнена при поддержке РФФИ 18-05-00576 и 18-55-05002.

Ключевые слова: инфразвук, микробаромы, Международная система мониторинга, характеристика направленности

Сигналы микробаром регистрируются практически на всех (около 60) инфразвуковых станциях Международной системы мониторинга (International Monitoring System, IMS), расположенных на каждом из континентов. Характерным признаком микробаром является выраженный локальный максимум спектра пульсаций давления на частотах от 0.1 до 0.3 Гц [1, 2]. На рис. 1 представлены спектральные плотности в инфразвуковом диапазоне частот для двух станций IS26 и IS37 с максимумами спектра пульсаций давления около 0.17 Гц для сигналов 15.12.2016 г. [3].

Измеряя азимут прихода микробаром и параметры их спектра на нескольких станциях IMS, можно проводить слежение за изменением во времени положения штормовой акватории в океане и ее характеристиками.

Дальность распространения сигналов микробаром – тысячи км. Поскольку сигналы непрерывны, то, в отличие от импульсных сигна-

лов, одновременно на приемники могут приходить микробаромы с разных штормовых акваторий Мирового океана, что может существенно затруднять определение азимутов прихода сигналов стандартным для станций IMS методом, основанным на измерении с помощью взаимно корреляционного анализа временных задержек между сигналами пар приемников инфразвука (метод задержек, МЗ). МЗ хорошо работает при наличии одного источника инфразвука и сравнительно высоком отношении сигнал/шум.

Рис. 1. Спектральные плотности в инфразвуковом диапазоне частот для двух станций IS26 и IS37.

Формирование характеристики направленности (ХН) при использовании разнесенных в пространстве групп приемников и хорошем угловом разрешении могло бы дать ответ на вопрос о числе источников и уточнить азимуты приходов сигналов. На средней частоте микробаром 0.2 Гц длина волны при скорости звука 330 м/с составляет 1650 м. Группы приемников IMS состоят, как правило, из небольшого числа микробарографов, позволяющих регистрировать инфразвук в очень широком диапазоне частот от 0.001 до 9.5 Гц. Группа приемников одной станции состоит из 4–15 микробарографов, расположенных на поверхности земли на нерегулярной сетке на участке с характерными размерами не более 2 км. На рис. 2 представлено расположение приемников на трех станциях IMS: IS26 (Германия) 8 приемников, IS37 (Норвегия) 9 приемников и IS43 (Россия) 6 приемников.

Расстояния между парами приемников на станциях IMS изменяется в довольно больших пределах, примерно от 80 до 2000 м. При большом числе приемников в частотном диапазоне микробаром можно ожидать ХН с достаточно узкими главными максимумами. В простейшем случае для формирования ХН можно использовать стандартный метод ком-

пенсации на плоские волновые фронты (МК). На рис. 3 представлена зависимость энергии микробаром от угла компенсации по азимуту для группы приемников IS26 в полосе частот 0.275–0.325 Гц. Для сравнения представлена зависимость энергии сигнала для модельного случая. Для этого на всех приемниках IS26 рассчитывались сигналы точечного источника с азимута 300° и расстояния 1000 км для модели однородной среды. Ширина экспериментального главного максимума немного больше модельного, что можно объяснить, в первую очередь, большой площадью штормовой акватории, излучающей микробаромы.

Рис. 2. Расположение приемников на трех станциях.

Рис. 3. ХН группы приемников IS26.

Измеренные МК азимуты главных максимумов для станций IS26 и IS37 соответствуют 296.5° и 258° . Оцененные МЗ азимуты прихода сигналов для IS26 и IS37 соответственно 299° и 261° , что довольно близко к углам, измеренным методом МК. Для станции IS43 методом МЗ определен азимут 296.4° . Пересечение дуг большого круга, проведенных по измеренным азимутам от станций, дает приблизительно положение акватории, излучающей микробаромы (рис. 4). Расстояния до акватории излучения микробаром от IS26 и IS37 примерно 3600 км и от IS43 – 4780 км.

В качестве данных, позволяющих косвенно судить о характере волнения в этом районе, можно привести архивные данные о ветре с ближайшей метеостанции Ангилкок на южной оконечности Гренландии. С 12.12.2016 по утро 15.12.2016 скорость ветра доходила до 15–17 м/с. За этот период направление ветра менялось на противоположное, что приводило к возникновению стоячих волн, являющихся источниками микробаром.

Рис. 4. Пересечение дуг большого круга – жирные линии (длина 5000 км), проведенные от IS по измеренным азимутам. Тонкие линии – дуги большого круга по азимутам, отличающимся на $\pm 2^\circ$.

Инфразвуковые станции, состоящие из сравнительно небольшого числа приемников, расположенных на площади, не превышающей 4 км², дают возможность измерять азимуты на источник инфразвука методом МК. Для повышения углового разрешения можно использовать современные методы формирования ХН. При совместной обработке сигналов с нескольких станций может быть исследована динамика перемещения штормовых акваторий океана, генерирующих микробаромы, а также проведена оценка характеристик волнения и их изменение во времени.

Работа выполнена при поддержке РФФИ 18-05-00576и 18-55-05002.

Литература

1. Бреховских Л.М., Гончаров В.В., Куртепов В.М., Наугольных К.А. К вопросу об излучении инфразвука в атмосферу поверхностными волнами в океане // Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана. № 9. 1973. С. 899–907.
2. Waxler R., Gilbert K.E. The radiation of atmospheric microbaroms by ocean waves // J. Acoust. Soc. Am. 2006. Vol. 119. P. 2651–2664.
3. Куличков С.Н., Попов О.Е., Чунгузов И.П. Наблюдение микробаром на станциях международной системы инфразвукового мониторинга // Труды XXXII сессии Российского акустического общества. Москва: ГЕОС, 2019. (На CD диске).

S.N. Kulichkov, O.E. Popov, I.P. Chunchuzov

**DETERMINATION OF THE MICROBAROM GENERATION
WATER AREA IN THE OCEAN BY THE METHOD OF SHAPING
THE DIRECTIVITY OF THE RECEIVING ANTENNAS OF
THE INFRASOUND STATIONS OF THE INTERNATIONAL
MONITORING SYSTEM**

Obukhov Institute of Atmospheric Physics

Pyzhyovskiy pereulok, 3, Moscow, Russian Federation, 119017,

E-mail: snik1953@gmail.com, olegp@mail.ru, igor.chunchuzov@gmail.com

The paper presents the results of observation of microbaroms at the International Infrasound Monitoring System (IIMS) using directivity of receiving antennas. A comparison was made of the method for determining the back azimuths for the arrivals of signals, based on the measurement of time delays between pairs of microbarographs using a mutually correlation analysis, and the Bartlett method that uses the formation of the directivity characteristic of the receiving system. The results of measuring of the back azimuths of the sources of microbaroms over several days are given according to the data of the three infrasound stations IS26, IS37 and IS43. During period of observations the region of localization of the sources of microbaroms in the Atlantic Ocean was determined and the change in their intensity was estimated.

Keywords: microbaroms, international system of infrasound monitoring, directional characteristics

Acknowledgment: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research 18-05-00576 and 18-55-05002.

References

1. Brekhovskikh L.M., Goncharov V.V., Kurtepov V.M., and Naugol'nyh K.A. K voprosu ob izluchenii infrazvuka v atmosferu poverhnostnymi volnami v okeane. *Izv. AN SSSR, Fizika atmosfery i okeana*, No. 9, 1973, pp. 899–907.
2. Waxler R. and Gilbert K.E. The radiation of atmospheric microbaroms by ocean waves. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2006, Vol. 119, pp. 2651–2664.
3. Kulichkov S.N., Popov O.E., and Chunchuzov I.P. Observation of microbaroms at the stations of the international infrasound monitoring system. *Trudy XXXII sessii Rossijskogo akusticheskogo obshchestva*, Moscow: GEOS, 2019, (on the CD).