

УДК 551.594

ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА УРОВЕНЬ ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ОНЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ

Г.И. Дружин, Д. В. Санников, В. Н. Уваров (ИКИР ДВО РАН)

Рассматривается влияние скорости ветра в приземном слое на амплитуду принимаемого электромагнитного излучения естественного происхождения в диапазоне частот от 30 Гц до 6,5 кГц. На основе корреляционного анализа показано, что ветер оказывает наиболее значительное влияние на электрическую составляющую поля в диапазоне частот от 30 Гц до 2 кГц за 10–25 дней до его прихода в пункт наблюдения.

The influence of wind velocity in the ground layer is considered on the amplitude of received electromagnetic radiation of natural origin in the range frequency from 30 Hz up to 6.5 kHz. On the basis of correlation analysis it is shown, that most considerable influence of the wind on electrical component of the field has occurred in the range from 30 Hz up to 2 kHz before 10–25 days up to its arrival to the observation point.

Введение

К диапазону очень низких частот (ОНЧ) обычно относят диапазон от 3 до 30 кГц. Иногда под ОНЧ-диапазоном подразумевают и более широкий диапазон частот (< 30 кГц, включая частоты ниже 3 кГц). В данной статье будем понимать под ОНЧ расширенный частотный диапазон.

Естественное электромагнитное ОНЧ-излучение определяется грозовыми, ионосферно-магнитосферными и литосферными источниками [1–6]. Тем не менее следует отметить, что структура источников излучения, их вклад в общую интенсивность поля и их связь с различными геофизическими факторами исследованы недостаточно полно. Необходимость этих исследований обусловлена тем, что они могут служить источником информации о процессах космического, планетарного и регионального масштаба. Полученная информация может

быть использована не только в науке, но и в практической деятельности человека, например в медицине, авиации, связи, при прогнозе сейсмической активности. Настоящая работа посвящена исследованию взаимосвязи естественного электромагнитного ОНЧ-излучения и ветровой обстановки.

Аппаратура и методы наблюдений

Регистрация естественного электромагнитного излучения проводится на Камчатке в экспедиционном пункте «Карымшина», вдали от помех промышленного происхождения, в диапазоне частот от единиц Гц до ~10 кГц. Электромагнитные излучения принимаются двумя магнитными рамочными и одной электрической штыревой антеннами. Рамочные антенны расположены вертикально и ориентированы в направлении север – юг и восток – запад. Штыревая антенна высотой 1,5 м расположена над рамочными антеннами и крепится к верхней части их пересечения. Высота рамочных антенн – 7,5 м, длина – 15 м. Каждая рамочная антенна состоит из 100 витков провода, заключенных в электростатический экран. Выход рамочной антенны подключен к предварительному усилителю через согласующий трансформатор. Предварительные усилители рамочных и штыревой антенн расположены в нижней части пересечения рамочных антенн. Питание предварительных усилителей осуществляется от аккумуляторных батарей. Сигналы с предварительных усилителей поступают по кабельной линии связи в пункт аналого-цифровой обработки сигналов, расположенный на расстоянии 150 м от антенной системы. В пункте обработки сигналов находится блок повторителей напряжения, сигналы с которых подаются на звуковые карты и персональный компьютер типа Notebook, где они проходят через цифровые частотные фильтры и записываются на носитель информации.

Электромагнитные излучения регистрируются по каждой компоненте поля (E , H_x , H_y) в семи частотных полосах. В дальней зоне направление максимального приема для антенны H_x – восток – запад, для антенны H_y – север – юг. Диаграммы направленности антенн H_x и H_y в горизонтальной плоскости имеют вид «восьмерки», антенны E – круга.

Влияние ветра на ОНЧ-излучение рассмотрены для зимнего периода времени. С этой целью мы взяли данные о скорости ветра с Интернет-сайта «Расписание погоды» [8] за 30 суток начиная с 1 февраля 2008 г. и за 30 суток начиная с 1 февраля 2009 г. Согласно информации, предоставленной на сайте «Расписание погоды», точка сбора погодных данных находится на станции с координатами 52°59' N, 158°39' E. Координаты станции на реке Карымшина, где проводились измерения ОНЧ-сигналов, составляют 52°82' N, 158°13' E, расстояние между станциями – 40 км.

Данные о скорости ветра мы сопоставили с данными по ОНЧ-излучению. Поскольку скорость ветра измерялась через каждые 3 ч, амплитудные значения сигнала ОНЧ-излучения мы также усреднили за трехчасовые промежутки времени. На рис. 1 приведен фрагмент записи скорости ветра и компонент электромагнитного поля за десятидневный временной промежуток. Согласно данному рисунку больше всего на ветер реагирует компонента E электромагнитного поля, а на компоненты H_x и H_y явного влияния ветра не просматривается. Видно также, что в компонентах H_x и H_y хорошо выражен суточный ход сигнала, который в компоненте E из-за большой амплитуды сигнала почти не виден.

Для того чтобы получить более полную информацию о влиянии ветра, мы исследовали нормированные взаимно-корреляционные функции (ВКФ) между скоростью ветра и ОНЧ-излучением. Интервал времени для исследования составляет два месяца. Расчет корреляции проводился согласно формуле

$$R_{xy}(m) = \frac{\sum_{n=0}^{N-m-1} x_{n+m} y_n}{\sqrt{\sum_{n=1}^N (x_n)^2 \sum_{n=1}^N (y_n)^2}}, \quad (1)$$

где x , y – массивы данных ОНЧ и скорости ветра;

N – количество отсчетов в рядах данных.

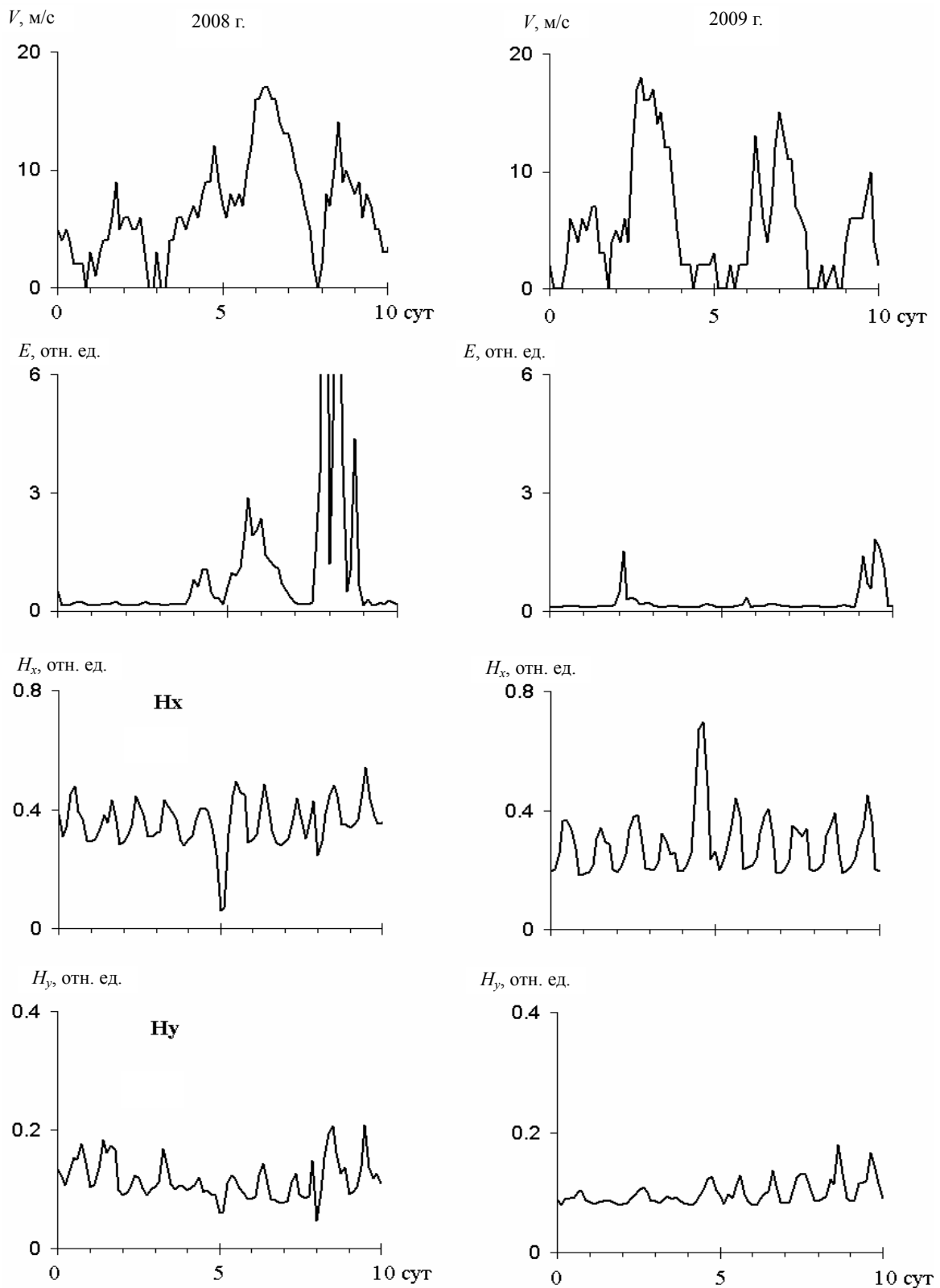


Рис. 1. Временные зависимости скорости ветра V и амплитуд составляющих электромагнитного поля E , H_x , H_y на частотах 200–600 Гц (с 20 февраля 2008 г. по 20 февраля 2009 г.)

Для устранения краевых эффектов в одном из массивов элементы краевых участков размером $N/3$ приравнивались к нулю, а диапазон изменения m ограничивался интервалом $-N/3 \leq m \leq N/3$. Результаты построения ВКФ приведены на рис. 2.

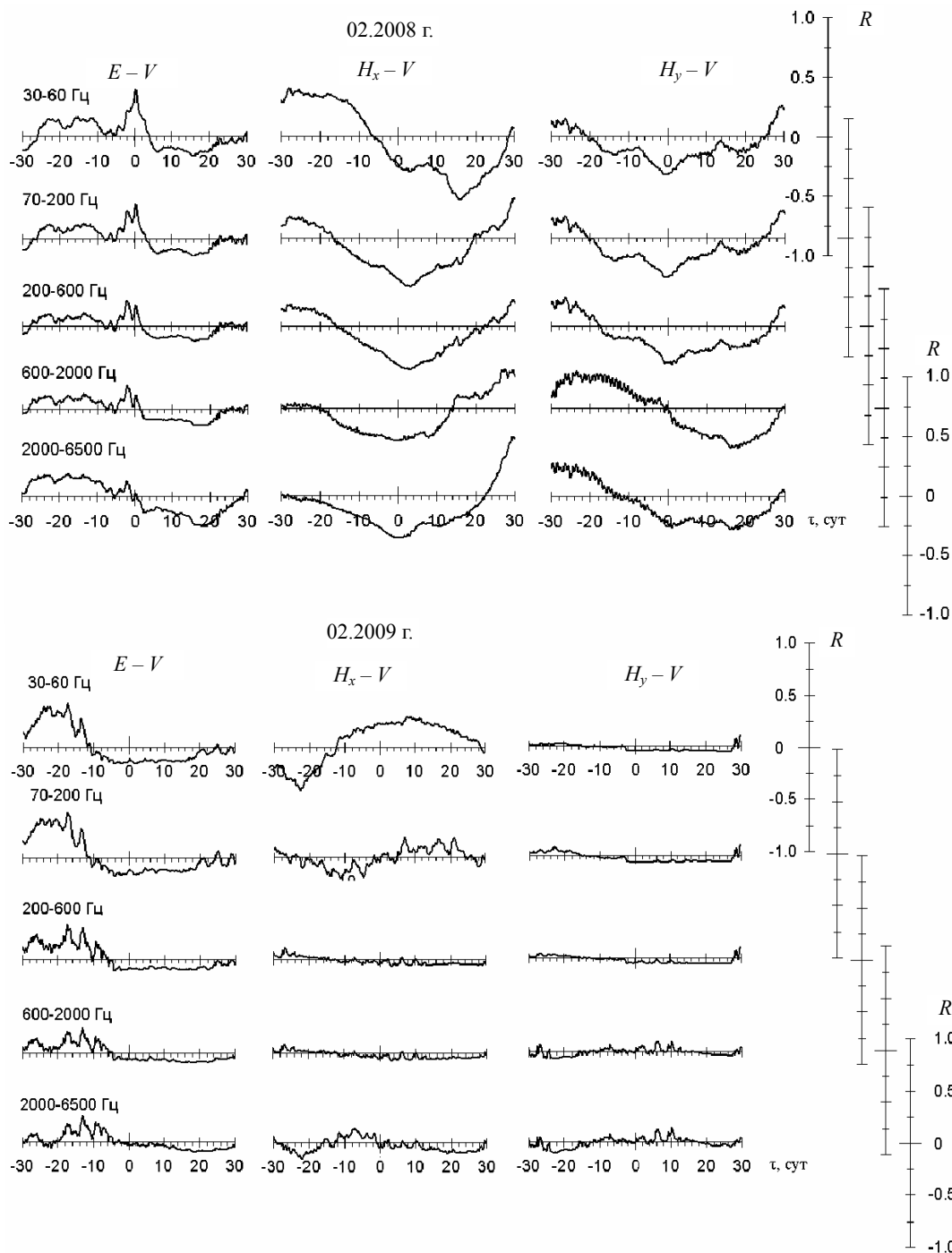


Рис. 2. Взаимно-корреляционные функции (между значениями скорости ветра V и составляющими электромагнитного поля E , H_x , H_y) в различных частотных диапазонах

Согласно рис. 2 при нулевом сдвиге ВКФ между скоростью ветра и компонентой поля E в 2008 г. имелся локальный максимум, который проявился на всех частотах. Наибольшие значения коэффициента корреляции наблюдались в области нижних частот (30–60 Гц). Это свидетельствует о том, что ветер оказывал непосредственное влияние на уровень шумов компоненты E . Однако в 2009 г. в этот же период времени (февраль) при нулевом сдвиге влияние ветра на компоненту E практически не наблюдалось. Тем не менее имелось довольно значительное повышение значения ВКФ (ветер – компонента E) в 2008 и 2009 гг. на всех частотах за 10–25 дней до нулевого сдвига. Это может быть следствием того, что электрическая компонента поля за несколько суток реагирует на изменения скорости ветра при приближении его к пункту наблюдения.

Совершенно другой ход ВКФ виден на графиках, связывающих скорость ветра с амплитудой поля компонент H_x и H_y . В ВКФ, связанной с H_x , в 2008 и 2009 гг. максимум при нулевом сдвиге

не наблюдался. Более того, в 2008 г. коэффициент корреляции в исходном положении имел отрицательное значение. На нижних частотах максимум наблюдался за 10–30 суток, на верхних – после 20–30 суток до исходного положения.

В ВКФ, связанной с H_y , в 2008 и в 2009 гг. при нулевом сдвиге максимум также не наблюдался, причем имела даже антикорреляция с ветром. Максимум ВКФ в 2008 г. имелся, как и по компоненте H_x , за несколько (20–30) суток, наблюдался также подъем после 20–30 суток. В 2009 г. коэффициенты корреляции, связанные с компонентами H_x и H_y , при сдвиге как влево, так и вправо принимали близкие к нулевым значения, за исключением компоненты H_x в полосе частот 30–60 Гц.

Для определения взаимной связи между компонентами E , H_x , H_y мы построили нормированную ВКФ этих компонент за те же временные отрезки, что и при определении ВКФ между скоростью ветра и компонентами поля. Эти характеристики представлены на рис. 3, из которого следует, что максимум ВКФ в 2008 и 2009 гг. наблюдался, за редкими исключениями, при нулевом сдвиге.

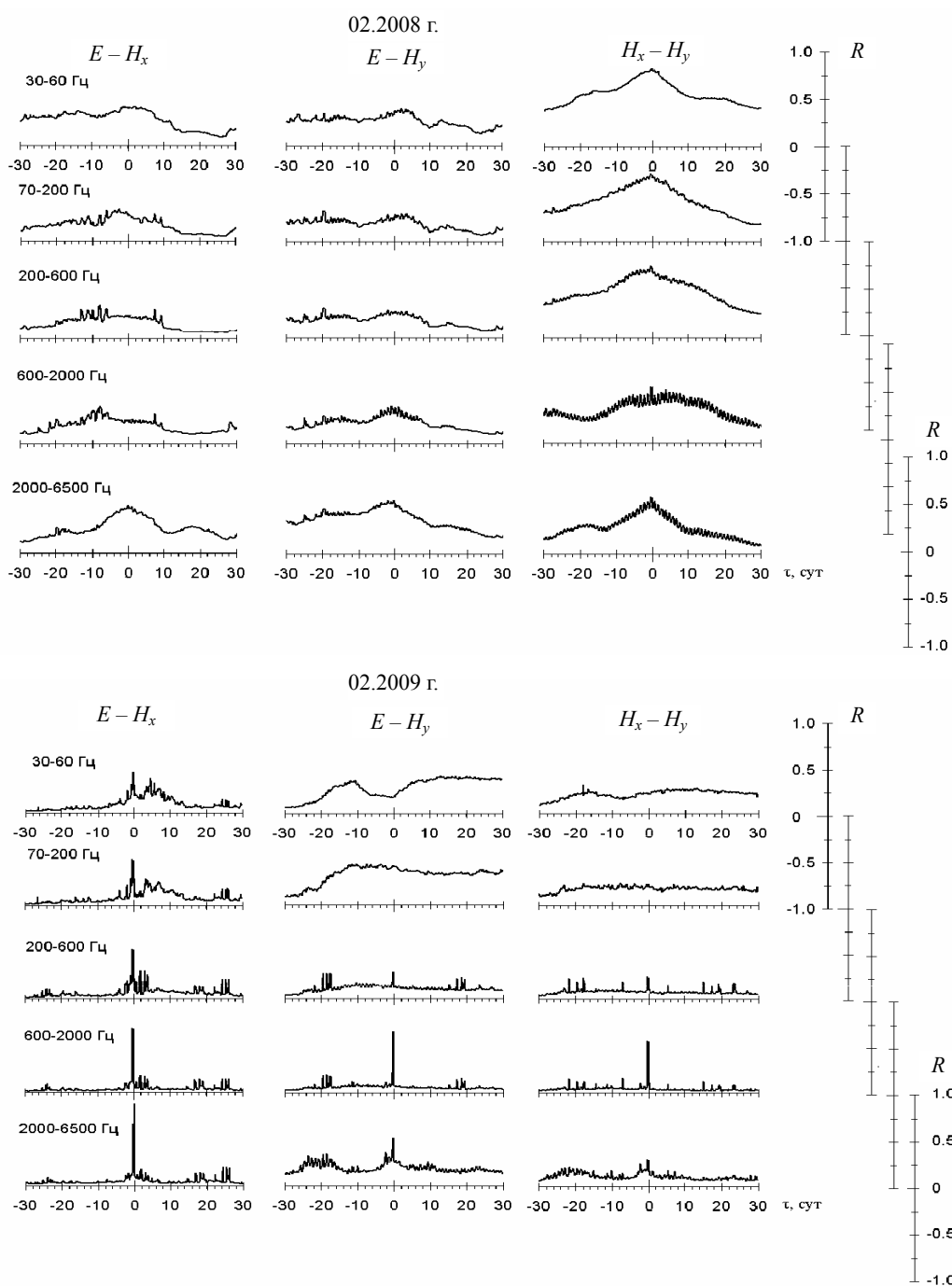


Рис. 3. Взаимно-корреляционные функции (между составляющими электромагнитного поля E , H_x , H_y) в различных частотных диапазонах

В некоторых случаях (в 2009 г.) коэффициент корреляции при нулевом сдвиге был достаточно высоким, а при сдвиге влево или вправо – низким. Это свидетельствует о неполной, но достаточно тесной связи между компонентами поля.

Обсуждение результатов

Известно, что принимаемое электромагнитное излучение обусловлено пространственно-временными перемещениями электрических зарядов. Возникает вопрос: каким же образом ветер влияет на интенсивность ОНЧ-излучений, если он переносит в основном нейтральные заряды? Действительно, сам по себе ветер не может вызвать электромагнитное излучение, но под его действием происходят конвективные движения. В результате трения частиц воды, снега, аэрозолей возникает разделение зарядов, которые в конечном итоге нейтрализуются, т. е. происходят разряды, приводящие к электромагнитному излучению.

Согласно рис. 1, 2 ветер оказывает различное влияние на компоненты поля. Наилучшая корреляция ветра наблюдалась с компонентой E . Как уже отмечалось, в 2008 г. имелся максимум при нулевом сдвиге, что указывает на то, что повышение скорости ветра происходило синхронно с компонентой поля E . Причиной этого может быть поднимаемый ветром снег, который взаимодействовал с окружающей средой в районе пункта наблюдения, в результате чего происходило разделение зарядов с последующим их разрядом. Поскольку электрические разряды происходят вблизи пункта наблюдения, то отношение напряженностей электрического и магнитного

полей в ближней зоне приема $\frac{E}{H} = Z \gg 120\pi$, где $120\pi = Z_0$ – волновое сопротивление

свободного пространства [8]. Условие, при котором излучение происходит в ближней зоне, принимается за $kr \ll 0,1$, где $k = 2\pi/\lambda$ – волновое сопротивление; $\lambda = c/f$ – длина волны; c – скорость света; f – частота сигнала. В нашем случае для частот ниже 1 кГц ближней зоной можно считать расстояние менее 200 км.

Согласно рис. 1 на частотах 200–600 Гц амплитуды компонент E , H_x , H_y значительно отличаются друг от друга, причем амплитуда составляющей E намного больше амплитуд составляющих H_x и H_y , следовательно, $Z \gg Z_0$ и излучение происходит в ближней зоне приема. Согласно рис. 2 коэффициенты корреляции при нулевом сдвиге между ветром и составляющими ОНЧ-излучения – разные по различным составляющим поля. Видно также, что в 2008 г. в исходном положении коэффициент корреляции, связанный с компонентой E , падает с ростом частоты. Все это подтверждает, что в данном случае излучение происходило в ближней зоне.

Наличие повышенного значения ВКФ между скоростью ветра и компонентой E (см. рис. 2) в течение длительного времени (10–25 дней до исходного положения) указывает на то, что ветер оказывает свое влияние задолго до прихода в пункт регистрации. Поскольку положительный коэффициент корреляции (за 20–25 суток в 2008 г.) наблюдался практически по всем компонентам поля и на всех частотах, то это свидетельствует о достаточно тесной связи ветра с ОНЧ-излучением.

Заключение

Циркуляция воздушных масс на Камчатке происходит таким образом, что ветры дуют преимущественно с западной стороны и усиление ветра происходит с подходом циклонов. Известно, что фоновый уровень ОНЧ-излучений на северо-востоке России определяется, помимо других источников, также мировыми и местными очагами гроз. В зимнее время грозовые разряды случаются редко. Циклоны же, а с ними и ветры, приходят на Камчатку часто.

Из сравнительного анализа взаимозависимостей скорости ветра и амплитуды ОНЧ-излучений следует, что в зимнее время 2008 г. имелась хорошая корреляционная связь между скоростью ветра и компонентой E поля при нулевом сдвиге взаимно-корреляционной функции в диапазоне частот от 30 Гц до 2 кГц. В 2009 г. такая связь (в это же время сезона и при нулевом сдвиге) отсутствовала. В зимнее время 2008 и 2009 гг. ветер оказывал наибольшее влияние на компоненту E электромагнитного поля за 10–25 дней до его прихода в пункт наблюдения.

В компонентах H_x и H_y максимум корреляционной функции наблюдался в 2008 г. за 25–30 суток практически на всех регистрируемых частотах, затем происходил плавный спад с минимумом при нулевом сдвиге корреляционной функции и с последующим плавным подъемом коэффици-

ента корреляции. При этом взаимно-корреляционная функция приобретала как положительные, как и отрицательные значения. Зимой 2009 г. коэффициенты корреляции между скоростью ветра и компонентами H_x , H_y были близки к нулю.

Результаты данной работы показывают, что в диапазоне частот от 30 Гц до 6,5 кГц имеется достаточно тесная связь ветра с естественным электромагнитным ОНЧ-излучением. Наибольшая корреляционная связь наблюдается между скоростью ветра и амплитудой компоненты E электромагнитного поля за 10–25 дней до прихода ветра в пункт наблюдения.

Литература

1. *Лихтер Я.И., Осинин В.Ф.* Характеристики пурговых радиопомех // Распространение дециметровых радиоволн. – М.: Наука, 1978. – С. 120–122.
2. *Альперт Я.Л.* Распространение электромагнитных волн в ионосфере. – М.: Наука, 1972. – 564 с.
3. *Муллаяров В.А., Музлов Е.О.* Эффекты геомагнитных импульсов в среднеширотных ОНЧ-излучениях // Геомагнетизм и аэрономия. – 2001. – Т. 41. – № 5 – С. 619–623.
4. *Дружин Г.И., Шапаев В.И.* Роль мировой грозовой активности в формировании амплитуды регулярного шумового фона // Геомагнетизм и аэрономия. – 1988. – Т. 28. – № 1. – С. 81–86.
5. *Козлов В.И., Муллаяров В.А.* Грозовая активность в Якутии. – Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН. – 2004. – 104 с.
6. *Дружин Г.И.* Опыт прогноза камчатских землетрясений на основе наблюдений за электромагнитным ОНЧ-излучением // Вулканология и сейсмология. – 2002. – № 6. – С. 51–52.
7. *Семенов Н.А.* Техническая электродинамика. – М.: Связь, 1973. – 480 с.
8. www.rp5.ru