

Модель гидродинамико-статистического прогноза штормового ветра в Северном, Норвежском и Баренцевом морях

Э.В. Переходцева, К.Н. Головлев

ФГБУ «Гидрометцентр России»,
123242, Москва, Б. Предтеченский пер., 11-13
E-mail: perekhod@mecom.ru

В статье изложены результаты прогноза штормового ветра и связанного с ним опасного ветрового волнения в Северном, Норвежском и Баренцевом морях, являющихся важнейшими рыбопромысловыми районами. Предупреждение (за 12–48 ч) об этих опасных и неблагоприятных явлениях позволяет рыбацким судам принять превентивные меры и снизить экономические потери. Успешный прогноз наиболее сильных штормов ($V > 20$ м/с, $V > 24$ м/с) и опасного волнения (4–7 м) в этих морях весной и в осенне-зимний период года давался с использованием адаптированной гидродинамико-статистической модели прогноза сильного летнего ветра. Верификация прогнозов адаптированной модели проводилась в сравнении с фактическими данными о скорости ветра и с фактическими данными о высоте волн в этих морях, поступающих как альтиметрические данные со спутников TERRA, NOAA и др., а также с судов и буев. Прогноз штормового ветра рассчитывается два раза в сутки для использования в оперативной синоптической практике при прогнозе опасного волнения.

Ключевые слова: прогноз, гидродинамико-статистическая модель, штормовой ветер, опасное волнение, спутниковое зондирование, территория Северного, Норвежского, Баренцева морей.

Введение

Успешный прогноз максимальной скорости ветра в Северном, Норвежском и Баренцевом морях является очень важной составляющей успешного прогноза ветрового волнения в этих морях, т.к. высота волн тесно связана со скоростью штормового ветра: $H = aV + b$. Высота волн от четырех до шести метров может наблюдаться уже при максимальных порывах ветра скоростью $V > 20$ м/с и тем более при скорости ветра $V > 24$ м/с и более. Синоптический прогноз даже с заблаговременностью 12 ч такой скорости ветра при использовании имеющихся графических и расчетных методов прогноза в значительной мере субъективен и зависит от интуиции синоптика. Отечественные гидродинамические модели пока не прогнозируют успешно максимальную скорость порывов $V > 20$ м/с и тем более $V > 24$ м/с. Успешный оперативный прогноз такого ветра с заблаговременностью 12–24–36–48 ч и вызываемого им волнения позволил бы своевременно принять предохранительные меры и уменьшить экономические потери. В настоящее время наиболее объективными и успешными представляются статистические методы прогноза таких явлений, когда с помощью некоторого статистического решающего правила проводится распознавание метеорологических ситуаций, (интерпретируемых как вектора $X(A) = (x_1(A), x_2(A), \dots, x_n(A))$), способствующих возникновению этих явлений и их прогноза. на основе использования значений выходных прогностических (на 12–48 ч) полей гидродинамических моделей.

Модель автоматизированного гидродинамико-статистического прогноза максимальной скорости ветра при неблагоприятных и опасных летних явлениях – сильных шквалах и смерчах

Модель автоматизированного гидродинамико-статистического прогноза (с заблаговременностью 12 и 24 ч) максимальной скорости летнего ветра $V = 20$ м/с и более с использованием значений выходных прогностических полей первой оперативной полусферной модели

Гидрометцентра России (Беркович и др., 1986) оперативно использовалась в течение 15 лет в пяти Управлениях по Гидрометслужбе Европейской Территории России, в 2000 г. была также разработана модель прогноза максимальной скорости ветра $V > 24$ м/с с заблаговременностью 12–24–36 ч ((Perekhodtseva, 2003). В этой гидродинамико-статистической модели прогноза сильного ветра двух классов ($V > 19$ м/с, $V > 24$ м/с), как и в ранее разработанной физико-статистической модели прогноза шквалов (Переходцева, 1985), были исследованы связи между всеми 38 потенциальными предикторами, произведено сжатие исходного пространства предикторов (признаков) до восьми наиболее информативных и слабо зависимых предикторов, которые и вошли в исходный вектор-предсказатель (Переходцева, 2009; 2010; 2011).

На основе байесовского подхода (Андерсон, 1963) были рассчитаны линейные статистические решающие правила диагноза и прогноза явлений ветра первого и второго классов с заблаговременностью 12–24–36 ч:

$$F_1(X) = \sum a_i x_i + c_1, \quad i=1, \dots, k, \quad k < n, \quad \text{и} \quad F_2(X) = \sum b_i x_i + c_2, \quad i=1, \dots, k, \quad k < n, \quad (1)$$

В качестве переменных x_i в этих функциях использовались прогностические значения геопотенциала на уровне 100 гПа, температуры и модуля градиента температуры у земли, температуры точки росы у земли, скорости ветра на уровне 750 гПа, сдвига ветра в средней тропосфере, а также индекса неустойчивости Вайтинга. Методы были автоматизированы и рекомендованы к использованию в синоптической практике в четырех регионах ЕТР, в частности, в Северо-Западном регионе. Как видно из таблицы 1, там оценки прогноза опасного летнего ветра ($V > 24$ м/с) для прогноза с заблаговременностью 36 ч оказались самыми высокими (предупрежденность прогноза такого ветра и его отсутствия составили соответственно $P_{\text{я}} = 93\%$, $P_{\text{отс}} = 97\%$, а критерий Пирси-Обухова $T = 0.9$).

Таблица 1. Оценки независимых испытаний автоматизированного оперативного прогноза с заблаговременностью 36 ч летнего максимального ветра с $V > 24$ м/с по территории Северо-Западного региона России (2003-2005 гг.)

Прогноз	Фактические данные		Сумма	Оправды- ваемость F	Критерий (Т) Пирси- Обухова
	Наличия явлений	Отсутствия явлений			
Наличия явлений	n_{11} 14	n_{12} 23	n_{10} 37	$F_{\text{я}} = 38\%$	
Отсутствия явлений	n_{21} 1	n_{22} 829	n_{20} 830	$F_{\text{от}} = 99\%$	
Сумма	n_{01} 15	n_{02} 852	n_{00} 867		
Предупреж- денность наличия и отсутствия явлений	$P_{\text{я}} = 93,3\%$	$P_{\text{от}} = 97,3\%$	Общая оправды- ваемость	$F_{\text{общ}} = 97,4\%$	$T = 0,906$ $T = 1 - a - b$

Примечание: а – ошибка первого рода, т.е. ошибка «пропуска цели»;
в – ошибка второго рода, т.е. ошибка «ложной тревоги»

Гидродинамико-статистический прогноз сильного ветра над Балтийским морем по данным полусферной модели оказался успешным в осенне-зимние месяцы в период наводнений в Санкт-Петербурге. Это привлекло внимание авторов к прогнозу штормового ветра и в северных морях. В настоящее время в статистической модели прогноза максимальной скорости летнего ветра, сильных шквалов и смерчей используются гидродинамические прогнозы региональной модели Гидрометцентра РФ (Лосев, 2010). В статье (Переходцева, 2009; 2010) приводятся результаты, свидетельствующие об устойчивости для Европейской территории России разработанной статистической модели по отношению к используемым про-

гностическим полям как полусферной, так и региональной моделей. Такой же вывод сделан и в работе (Переходцева, 2011), где приводятся результаты адаптации обеих гидродинамико-статистических моделей к территории Сибири.

Адаптация модели гидродинамико-статистического прогноза летнего максимального ветра к прогнозу штормового ветра в Северном, Норвежском и Баренцевом морях в холодный период года

При разработке оперативного автоматизированного прогноза двух классов штормового ветра в холодный период года (со скоростью ветра более 19 м/с и со скоростью ветра более 24 м/с) проводился расчет значений дискриминантных функций $F_1(\mathbf{X})$ и $F_2(\mathbf{X})$ по формуле (1) по прогностическим данным региональной модели, а также зависящих от них вероятностей прогноза $P_1(\mathbf{X})$ и $P_2(\mathbf{X})$ (Переходцева, 2011). При адаптации статистической модели прогноза к новой гидродинамической модели и другому сезону прогноза следовало учесть систематические ошибки региональной гидродинамической модели при переходе от вероятностного прогноза к категорическому. По эмпирически найденным для каждой заблаговременности и новым пороговым вероятностям для явлений каждого класса выделялись прогнозируемые области штормового ветра первого и второго классов соответственно (при наличии в области узлов сетки с $P > P_{\text{пор}}$). В целом значения этих пороговых вероятностей несколько понизились в связи с более низкими для холодного периода значениями температуры у земли.

В следующей таблице 2 представлена средняя повторяемость штормового ветра со скоростью $V \geq 15$ м/с и повторяемость таких явлений за 2011 г. (табл.3). Данные о скорости и направлении ветра поступают оперативно в виде радиограмм со всех судов акватории, а также в виде информации в специальном международном коде с прибрежных станций.

Таблица 2. Среднее за 10 лет количество штормовых дней (от $V=15$ м/с и более) по территории Северного, Норвежского и Баренцева морей (рыбопромысловым районам)

Море	Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Баренцево море		13	12	10	9	5	3	3	4	6	12	12	12
Норвежское море		19	16	14	10	5	3	4	5	11	18	17	19
Северное море		17	11	11	5	2	2	2	4	8	12	11	13

Таблица 3. Количество штормовых дней (от $V=15$ м/с и более) в 2011 г. по территории Северного, Норвежского и Баренцева Северного морей (рыбопромысловым районам)

Море	Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Баренцево море		12	12	17	2	5	4	3	1	3	11	19	8
Норвежское море		18	23	24	15	7	6	5	7	11	24	20	23
Северное море		7	16	9	5	7	2	9	8	9	15	12	19

Из таблиц видно, что наибольшее количество явлений приходится на раннюю весну, предзимье и зиму. Авторами было проведено сравнение авторских прогнозов штормового ветра над акваториями Северного, Норвежского и Баренцева морей в холодные периоды 2010–2011 гг. с фактическими данными о скорости ветра и с данными о высоте волн в этих морях. В периоды наличия штормового ветра высота волн h достигает критерия «опасное волнение», что составляет $h=3$ м и более (у берега) до $h=4-7$ м в открытом море. Важнейшую роль в определении фактической высоты волнения играет спутниковое зондирование и прием альтиметрических данных со спутников TERRA, NOAA и др., поступающих в единую систему информации об обстановке в Мировом океане. Кроме того, в эту же систему поступают данные о высоте волн с морских судов и буев.

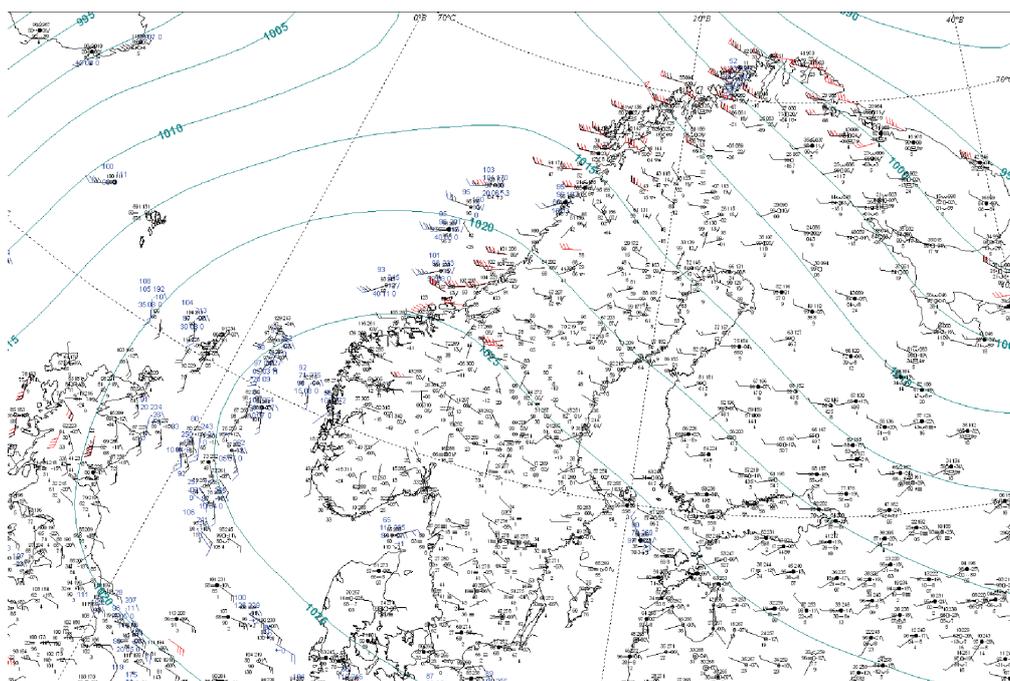


Рис. 1. Карта фактических значений максимальной скорости ветра на ночь 8.11.2011 г. По обозначениям скорость ветра на побережье Норвегии и в море достигала 20–25 м/с

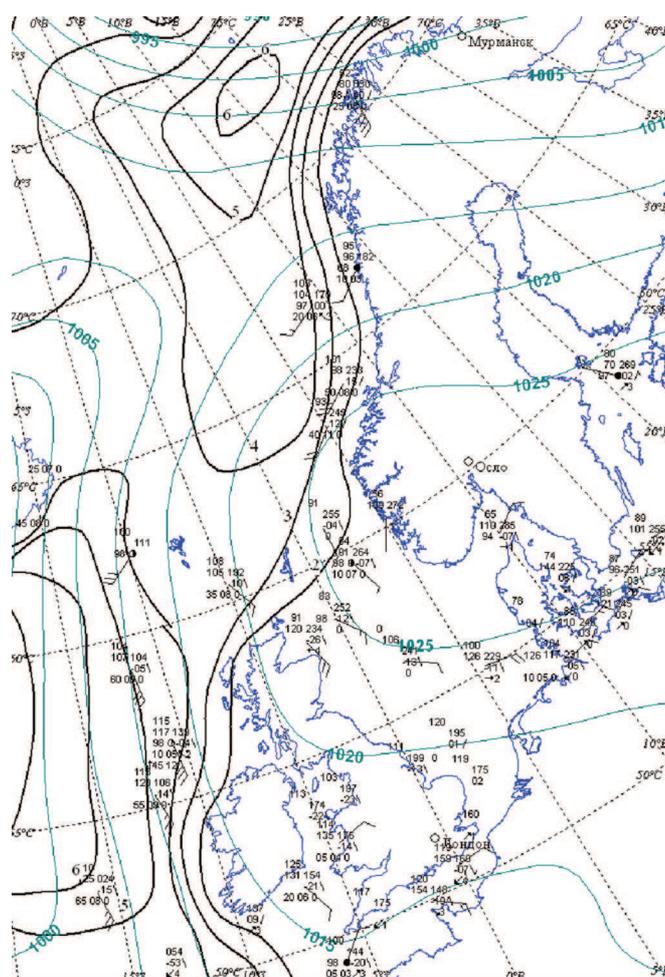


Рис. 2. Карта изолиний высоты волнения ночью 8.11.2011 г. в Норвежском море; высота волн 4–6 м

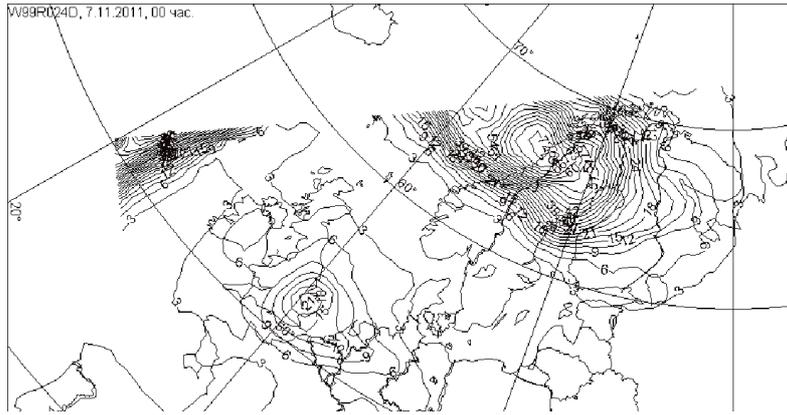


Рис. 3. Область прогнозируемого на 24 ч штормового ветра, рассчитанная 7.11.2011 г. на следующую ночь 8.11.2011 г. Область прогноза ветра скоростью $V > 24$ м/с ограничена изолинией вероятности $P_{пор} = 55\%$

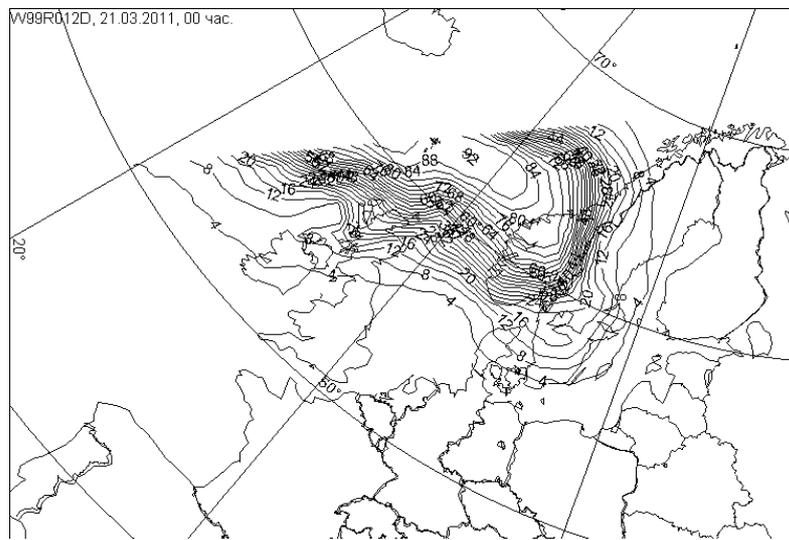


Рис.4. Область прогнозируемого на 12 ч штормового ветра, рассчитанная на 21.03.2011 г. Область прогноза ветра скоростью $V > 24$ м/с ограничена изолинией вероятности $P_{пор} = 60\%$

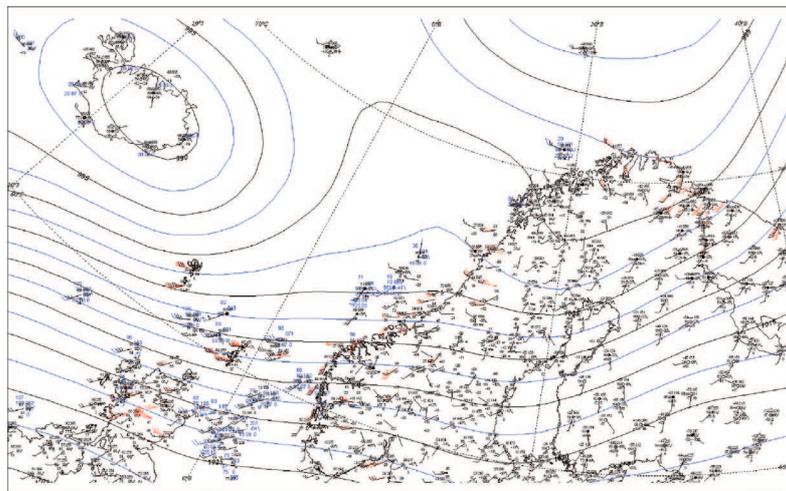


Рис. 5. Карта фактических значений максимальной скорости ветра на 21.03.2011 г. По обозначениям скорость ветра на побережье Норвегии и в море достигала 20–27 м/с. Высота волнения в Норвежском и Баренцевом морях была зафиксирована 4–7 м

Технология прогнозирования штормового ветра с заблаговременностью 12–24–36–48 ч и опасного волнения на основе гидродинамико-статистической модели прогноза

Прогноз штормового ветра в холодный период года по гидродинамико-статистической модели на основе данных региональной модели для территории Северного, Норвежского и Баренцева морей оказался достаточно успешным. В оперативной системе Гидрометцентра России расчет вероятностей прогноза штормового ветра на 12–24–36–48 ч проводился два раза в сутки. На карте Европы с помощью графического пакета «ИЗОГРАФ» автоматически расчерчиваются изолинии равной вероятности как для поля $P_1(\mathbf{X})$, так и для поля $P_2(\mathbf{X})$. Прогнозируемая по $P_2(\mathbf{X})$ область штормового ветра (Переходцева, 2011), выделяется на карте Европы изолинией пороговой вероятности $P_{\text{пор}}$, соответствующей заданной заблаговременности. Карты высоты волнения и фактической скорости штормового ветра, относящиеся к ночи 8.11.2011 г. (рис. 1 и рис. 2), еще раз подтверждают тесную связь этих явлений. Областям с фактически наблюдаемым штормовым ветром ($V=20–25$ м/с) соответствуют области опасного волнения ($h=4–6$ м). Область прогноза штормового ветра, рассчитанная с заблаговременностью 24 ч на ночь 8.11.2011 г., практически совпадает с этими областями (рис. 3). Предупрежденность с заблаговременностью 12–24 ч (36–48 ч) штормового ветра в исследуемых районах для холодного периода 2011 года составила 90% (79%). Один из примеров прогноза и фактического ветра в весенний период (на дату 21.03.2011 г.) представлен на рис. 4 и рис. 5. Таким образом, успешно прогнозируя максимальную скорость штормового ветра ($V=20–27$ м/с) с заблаговременностью 12–24–36–48 ч, можно заранее дать предупреждение о надвигающемся шторме и спрогнозировать высоту волнения от четырех до семи метров в соответствии с прогнозом скорости ветра.

Заключение

Представленные в работе результаты прогноза (на 12–48 ч) штормового ветра и связанного с ним опасного волнения в Северном, Норвежском и Баренцевом морях в весенний и осенне-зимний период на основе адаптированной гидродинамико-статистической модели прогноза показали устойчивость разработанной ранее статистической модели прогноза сильного летнего ветра. Оценки предупрежденности гидродинамико-статистического прогноза штормового ветра показали возможность использования этой модели прогноза для оперативного заблаговременного расчета скорости штормового ветра и высоты опасного волнения в этих морях в качестве дополнительной полезной информации.

Литература

1. *Андерсон Т.* Введение в многомерный статистический анализ // М. Физматгиз, 1963. 500 с.
2. *Беркович Л.В., Ткачева Ю.В.* Развитие неадиабатической полушарной прогностической модели атмосферы // Труды Гидрометцентра СССР. Вып. 277. С. 3–29.
3. *Лосев В.М.* Региональная гидродинамическая модель прогноза Гидрометцентра России. В кн. «80 лет Гидрометцентру России». М.: Триада ЛТД, 2010. С. 36–58.
4. *Переходцева Э.В.* Прогноз шквалов статистическими методами классификации на основании диагностических и прогностических синхронных связей // Труды Гидрометцентра СССР, 1985. Вып. 271, С. 37–60.
5. *Переходцева Э.В.* Анализ устойчивости гидродинамико-статистической модели прогноза шквалов и смерчей для территории России // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2009. Т. 6. № 1. С. 155–162.
6. *Переходцева Э.В.* Прогноз сильных шквалов и смерчей в летний период 2009 года на основе статистических моделей // Труды Гидрометцентра России. 2010. Вып. 344. С. 265–279.

7. *Переходцева Э.В.* Модель гидродинамико-статистического прогноза с заблаговременностью 12–48 ч сильных шквалов и смерчей для территории Сибири // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 263–270.
8. *Perekhodtseva E.V.* Hydrodynamic-statistical model of forecast to 36h ahead of dangerous convective phenomena – squalls, tornadoes and rainfalls // Research activities in atmospheric and oceanic modeling. 2003. Rep. 32. Part 2. P. 21–23.

The hydrodynamic-statistical forecast model of storm wind over the North, Norway and Barents seas

E.V. Perekhodtseva, K.N. Golovlev

*Hydrometeorological Research Center
121243 Moscow, B. Predtechenskii line, 11-13
e-mail:perekhod@mecom.ru*

The results of the storm wind and dangerous wind wave forecast over the North, Norway and Barents seas are submitted at this paper. These regions are very important for the fish ships. The warning (to 12-48h ahead) of the dangerous wind wave have allowed to reduce the economic losses. The successful forecast of severe storms ($V > 20\text{m/s}$, $V > 24\text{m/s}$) and dangerous wind wave (4-7m) at these seas in the spring, winter and autumn periods was made by the using of the hydrodynamic-statistical model of the dangerous summer wind forecast. The results of model forecast were compared with the factice data of the wind velocity and with the factice data of the wave altitude values. The wave altitude values were given as the altimetry data from the satellite sounds TERRA, NOAA and others and from the ship radiograms. Nowadays the forecast of storm wind is calculated two times per day for the using in the operative practice.

Key words: the storm wind forecast, the statistical model, dangerous wind wave, satellite sound, the territory of North, Norway, Barents seas.