

# Изменчивость штормовых волн в Азово-Черноморском бассейне как региональный отклик на крупномасштабные процессы в системе океан-атмосфера

*Наумова В.А.<sup>1</sup>, Воскресенская Е.Н.<sup>2</sup>,  
Евстигнеев М.П.<sup>3</sup>, Евстигнеев В.П.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Севастопольская гидрометобсерватория, г.Севастополь

<sup>2</sup> Морской гидрофизический институт, г.Севастополь

<sup>3</sup> Севастопольский национальный технический университет, г.Севастополь

# Введение



Результатом шторма от 11 ноября 2007 года, было крушение 13 судов. Затонуло 3 сухогруза, перевозивших серу, разломился пополам танкер (4777 т мазута) и получил повреждения танкер «Волгонефть 123» (4000т мазута). Протяженность береговой полосы загрязнения составила более 50 км, погибли тысячи птиц, большое количество промысловых видов рыб. Трагедия не обошлась и без человеческих жертв 19 моряков погибло, 4 пропали без вести.

## Состояние проблемы

- Не изучены закономерности формирования штормовых условий на Азово-Черноморском побережье Украины
- Не исследованы масштабы климатической изменчивости ветро-волновых характеристик и их связь с крупномасштабными процессами в системе океан-атмосфера.

# Цели и Задачи

**ЦЕЛЬ:** Изучить климатические особенности формирования ветро-волновых аномалий (штормов) в Азово-Черноморском регионе Украины.

## **ЗАДАЧИ:**

- ✓ Проанализировать ветро-волновой режим прибрежной части Азово-Черноморского региона;*
- ✓ Провести классификацию крупномасштабных синоптических процессов, вызывающих штормовые условия;*
- ✓ Изучить масштабы изменчивости экстремальных ветро-волновых условий в Азово-Черноморском регионе.*
- ✓ Выявить связь ветро-волновых аномалий с крупномасштабными процессами в системе океан-атмосфера.*

# Материалы исследования

## Материалы:

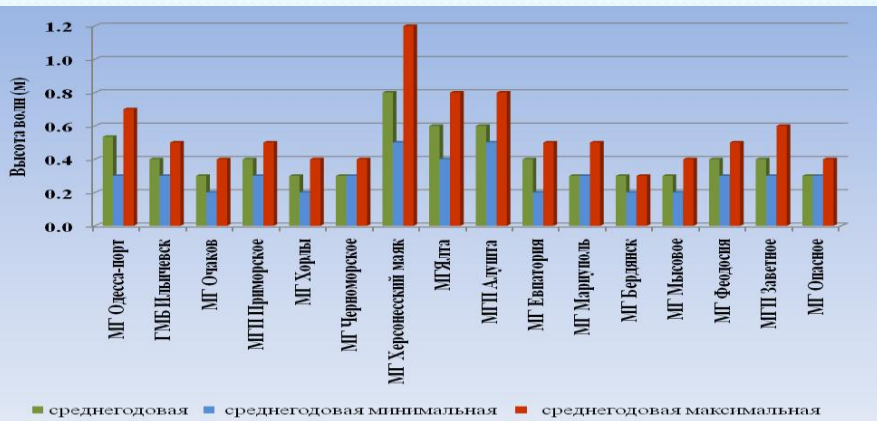
1. Данные морских береговых наблюдений за волнением (срочные) на Азово-Черноморском побережье Украины за период 1954-2008 гг., а так же по МГ «Ялта» - 1900-2008 гг., МГ «Одесса-порт» - 1915-2008 гг., МГ «Херсонесский маяк» - 1916-2008 гг.
2. - Данные ре-анализа NCEP/NCAR барических полей AT500 гПа за период 1954- 2008гг.,  
- Данные массива NOAA Extended Reconstructed v.3 по тем-рам поверхности океана (ТПО)
3. Сборно-кинематические карты за период 1954 - 2008 гг.

# Ветро-волновой режим Азово-Черноморского региона Украины

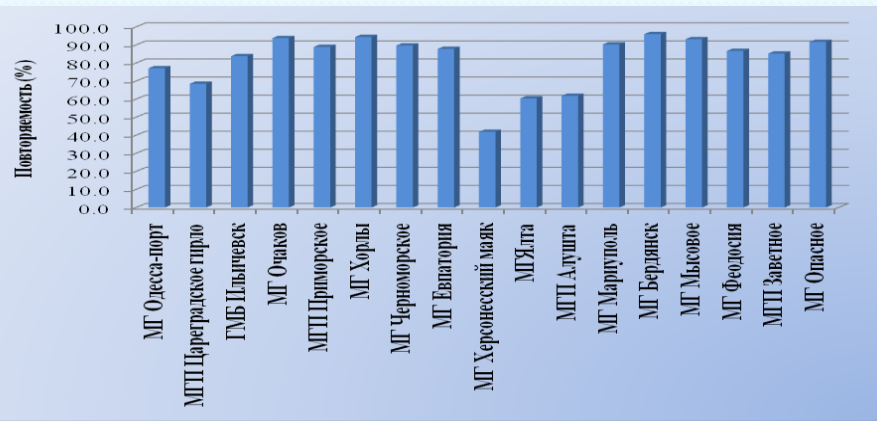
## Характеристики средне-климатических ветро-волновых условий морских портов Азово-Черноморского побережья Украины исследованные в работе.

- Высота волн и скорость ветра (средняя, максимальная, минимальная) – по месяцам и сезонам
- Повторяемость (%) ветра и волнения по направлениям – по месяцам и сезонам
- Повторяемость (%) ветра и волнения по градациям высоты волн (скорости ветра) – по месяцам и сезонам
- Повторяемость (%) типов волнения – по месяцам
- Повторяемость (%) типов волнения – по восьми румбам
- Опасная и стихийная высота волн и их повторяемость в Азово-Черноморском регионе

### Среднегодовая (среднегодовая максимальная, среднегодовая минимальная) высота волн по данным морских береговых наблюдений



### Повторяемость волн высотой 0,5м и ниже по данным морских береговых наблюдений

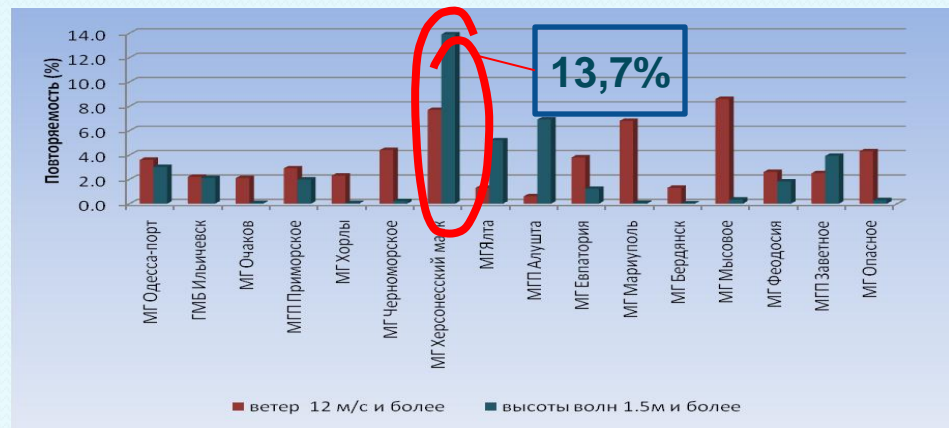


# Ветро-волновой режим Азово-Черноморского региона Украины

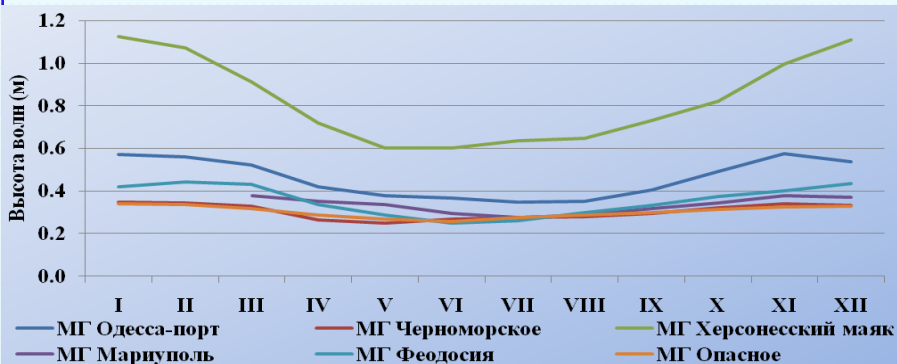
Максимальная высота волн по данным морских береговых наблюдений за период 1954-2008 г.г.



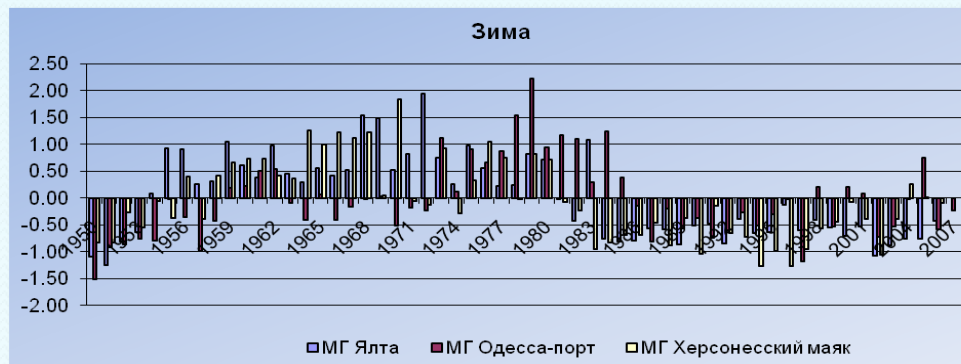
Повторяемость скорости ветра (12 м/с и более) и высоты волн (1.5 м и более), по данным морских береговых наблюдений



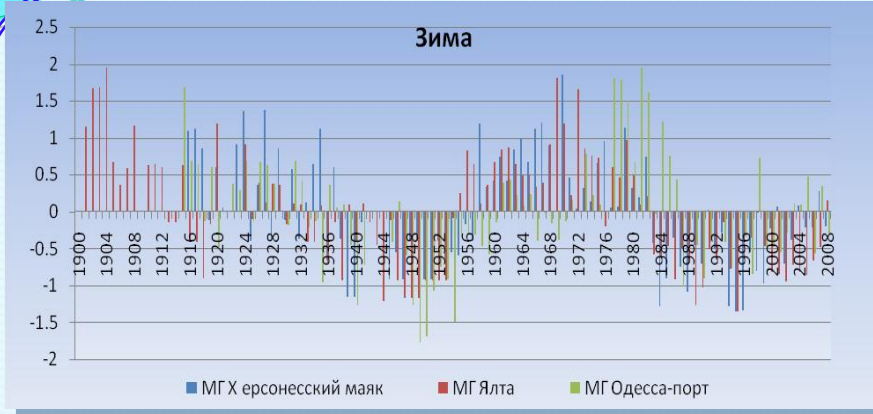
Годовой ход высоты волн по данным морских береговых наблюдений Азово-Черноморского региона Украины



Аномалии макс. высот волн по МГ «Ялта», МГ «Одесса-порт», МГ «Херсонесский маяк» за период наблюдения 1954-2008 гг.



# Ветро-волновой режим Азово-Черноморского региона Украины

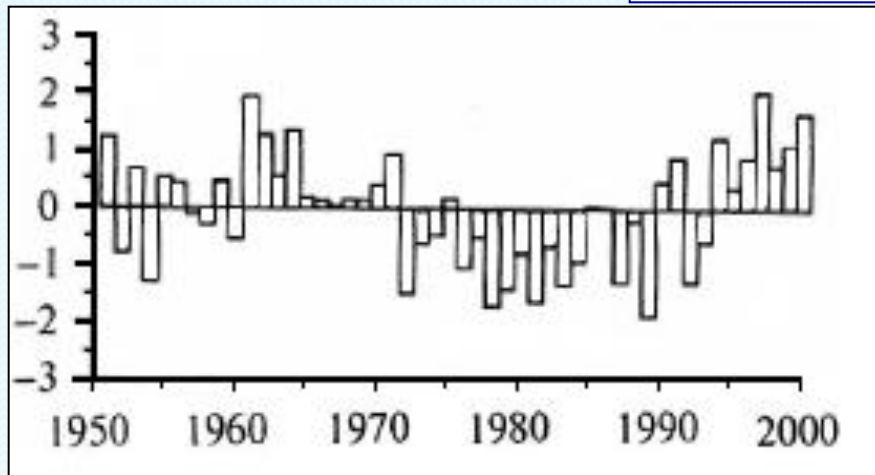


Нормированные аномалии высот волн за весь период наблюдения по трем пунктам

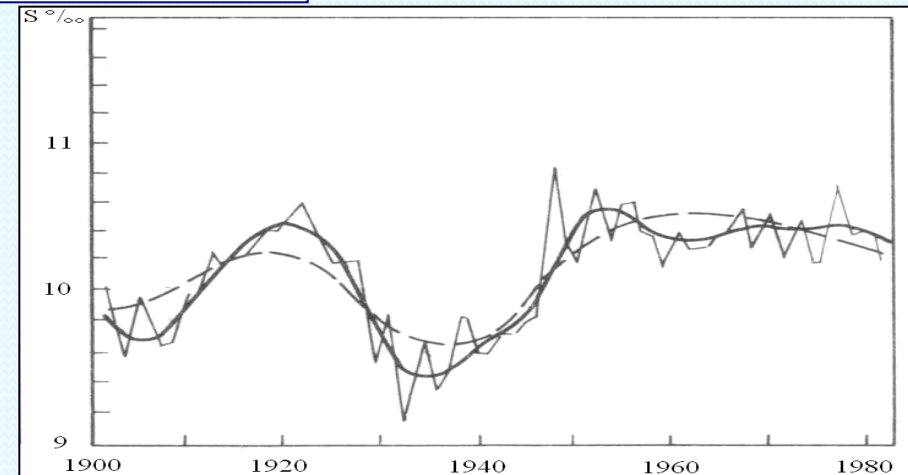


Нормированная максимальная высота волн в зимний сезон, осредненная по трем пунктам.

## Примеры в лит-ре

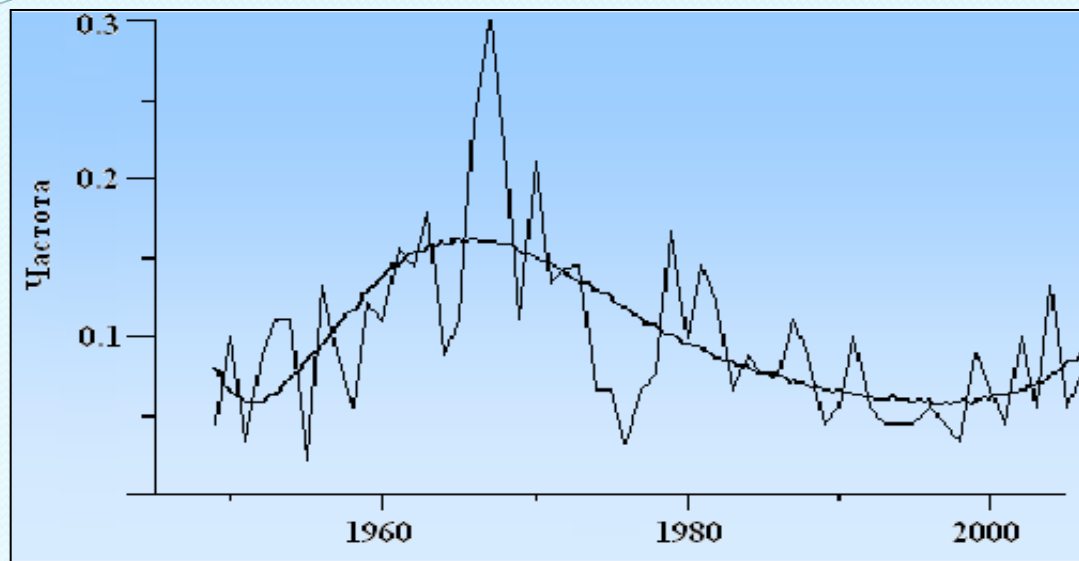


Главная компонента первой моды ЭОФ ТПО Средиземного моря, рассчитанная для зимы за период 1951-2000 гг. (Зверьяев и др., 2008)



Долгопериодная изменчивость средней по вертикали солености воды в Центральной Балтике 1900-1980 гг. (Давидан и др., 1989) 7

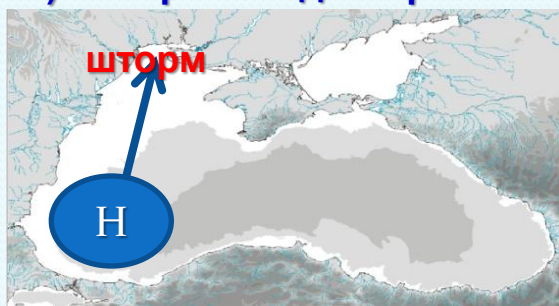
# Изменчивость штормовых волн как региональный отклик на крупномасштабные процессы в системе океан-атмосфера



Изменение ежегодной повторяемости циклонов в черноморском регионе для зимы (тонкая кривая) и аппроксимирующий полином (жирным), выделенные по данным реанализа NCEP с 1950 по 2006 гг. (Полонский и др., 2007)

## Положение циклонов у поверхности земли в период развития шторма:

а) Северо-западном районе



б) Юго-западе Крыма



в) ЮБК



Несмотря на **значительное отличие** синоптических ситуаций в период развития шторма в трех различных районах Черного моря, наличие квазипериодической изменчивости на **всех наиболее показательных пунктах наблюдения** дает основание предположить влияние крупномасштабных синоптических процессов на формирование штормовых условий в Азово-Черноморском бассейне.



Постановка задачи

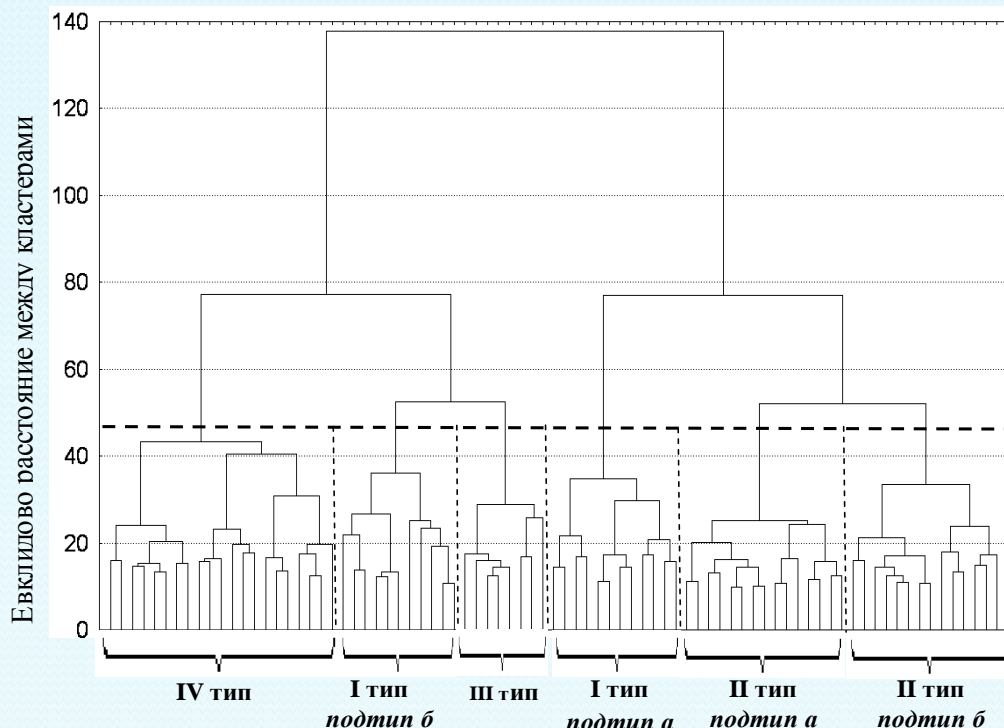
**Анализ связи ветро-волновых аномалий с крупномасштабными процессами в системе океан-атмосфера проводился в двух направлениях:**

*1. Анализ крупномасштабных (АТ 500мб) синоптических процессов, вызывающих штормовые условия;*

*2. Анализ статистической связи максимальной высоты волн с десятилетними процессами в Северной Атлантике и Тихом океане (АМО, ТДО)*

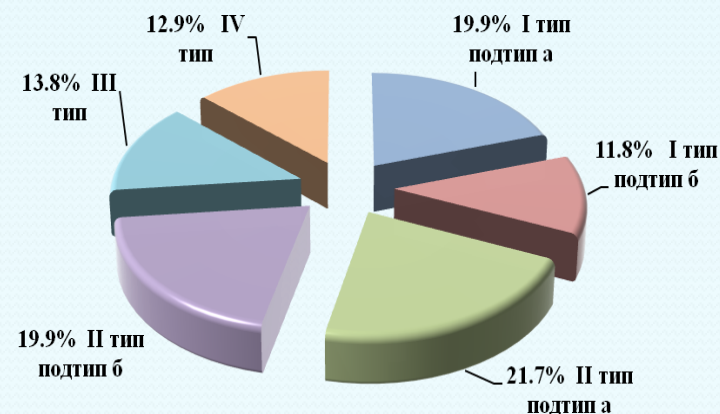
# Классификация синоптических процессов

Дендрограмма для 81 случая (АТ 500 гПа) штормов в Азово-Черноморском регионе (высота волн 4,0-4,9м), полученная с использованием метода Варда.



В данной работе критерием шторма принята высота волны 3м и более. Наблюдалось таких случаев: МГ Херсонесский маяк – 341; МГ Ялта – 115; МГ Одесса – порт 22.

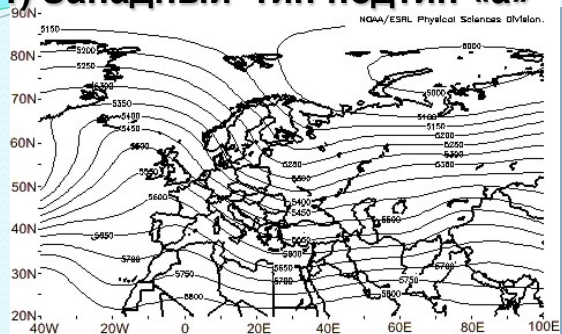
Кластерный анализ проводился для случаев штормовой волны в Азово-Черноморском бассейне Украины отдельно по группам: 5м и более, 4,0 - 4,9м, 3,5 -3,9м и 3,0 – 3,4м. За период 1954-2008 г. таких случаев наблюдалось соответственно 45, 81, 106 и 210.



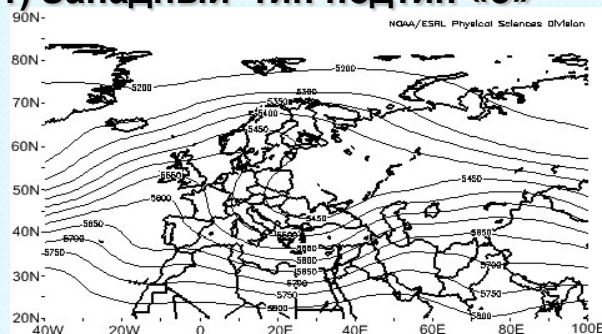
В результате кластерного анализа выявлено четыре типа меридиональной циркуляции. При этом для западного и смешанного типов выделено два подтипа, макросиноптические условия которых значительно различаются между собой.

# Композиты барического поля АТ 500гПа для волн высотой 4,0-4,9м за период 1954 - 2008г.г

1) Западный тип подтип «а»

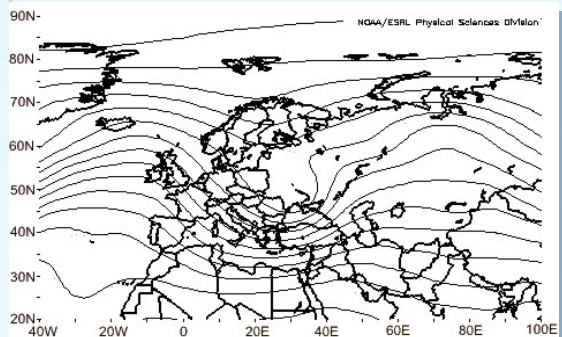


1) Западный тип подтип «б»

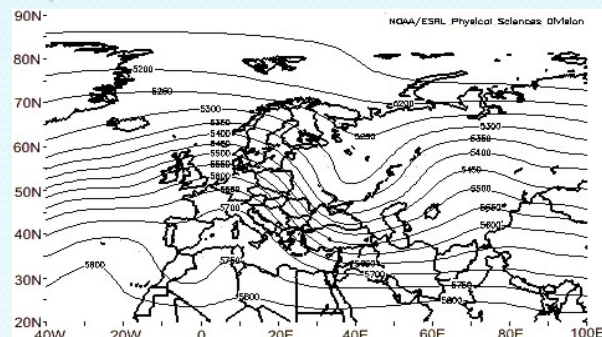


Выделенные типы меридиональной формы циркуляции совпадают с типами полученными эмпирически А.Л Кацем.

2) Смешанный тип подтип «а»

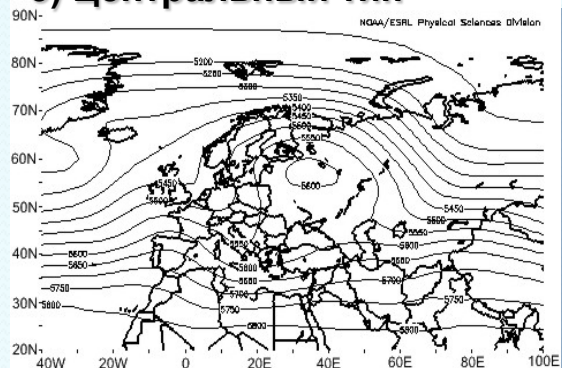


2) Смешанный тип подтип «б»

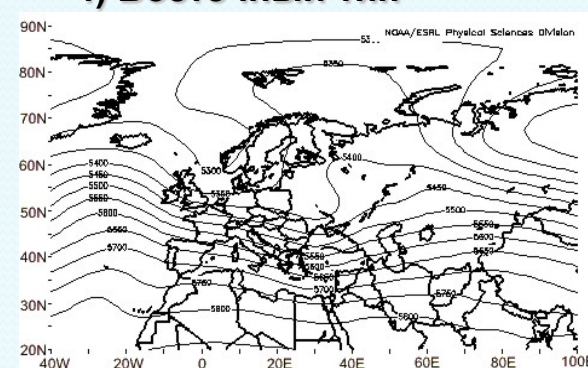


Типы определены в зависимости от локализации высотных гребней на пространстве первого е.с. (естественного синоптического) района: 50° з.д. 90° в.д.

3) Центральный тип

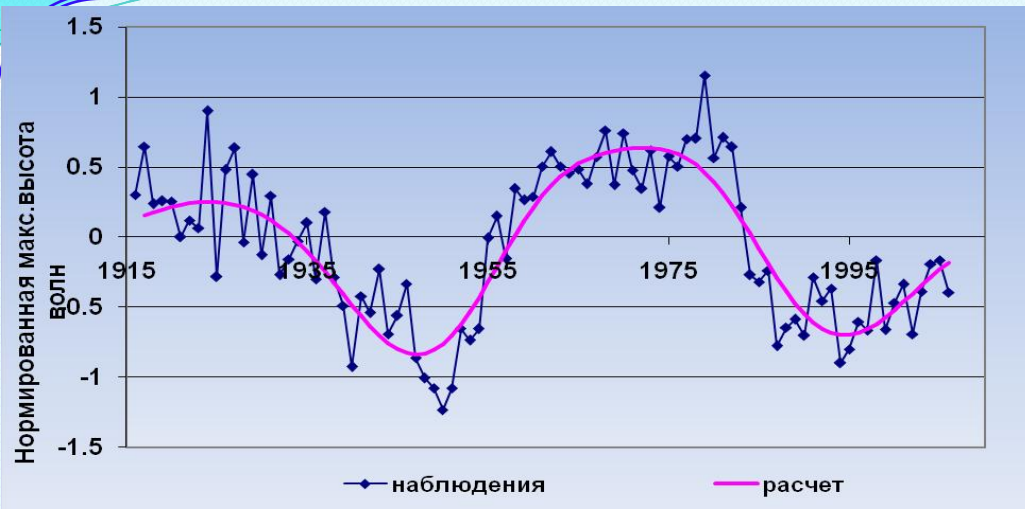


4) Восточный тип

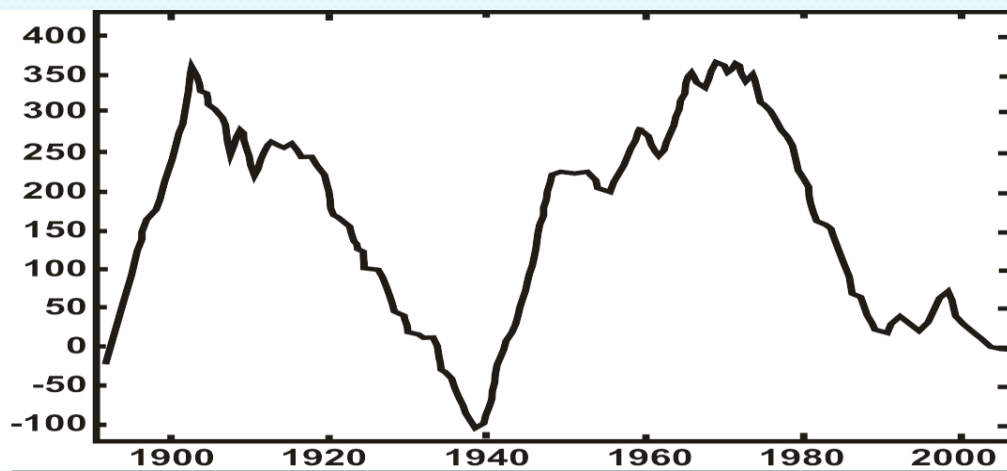


Классификация позволяет достаточно полно провести анализ условий атмосферной циркуляции, обусловивших формирование ветро-волновых аномалий.

# Связь с крупномасштабными процессами в атмосфере



**Нормированная максимальная высота волн в зимний сезон, осредненная по трем пунктам наблюдений.**

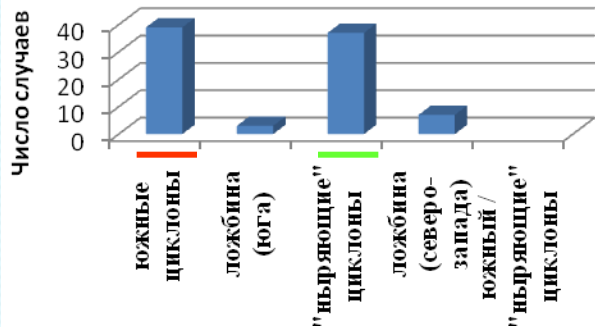


**Интегральная сумма аномалий частоты формы (меридиональной) циркуляции (С) по Г. Я. Вангенгейму - А. А. Гирсу. График из (Сидоренков и др., 2008)**

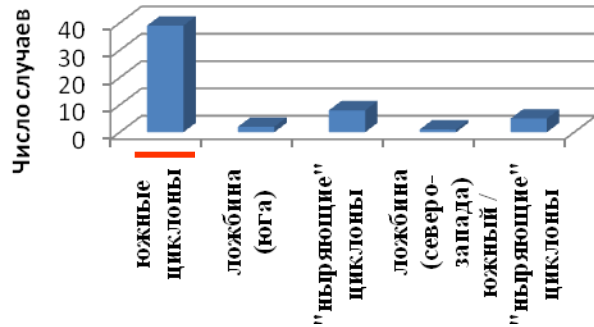
Таким образом, усиление штормовых волн обусловлено активизацией меридиональных форм циркуляции, что, в частности, проявляется в согласованности хода нормированных аномалий макс. высот волн и частоты меридиональной формы циркуляции (С).

# Анализ барических объектов у поверхности земли

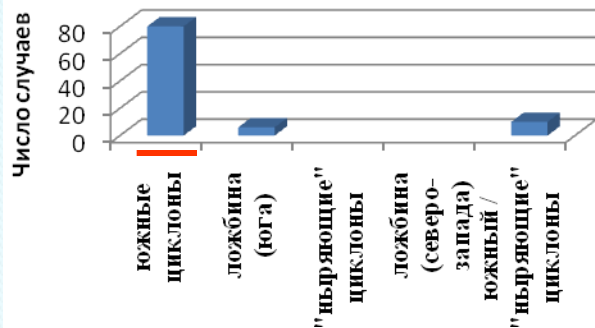
I тип подтип "а"



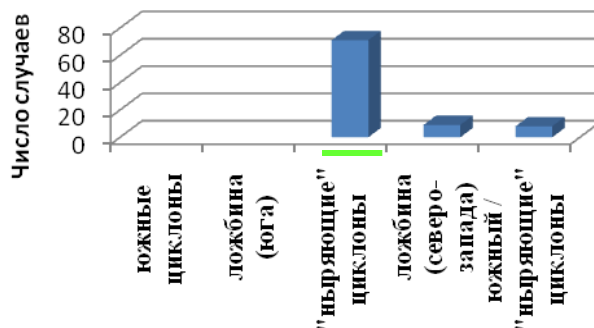
I тип подтип "б"



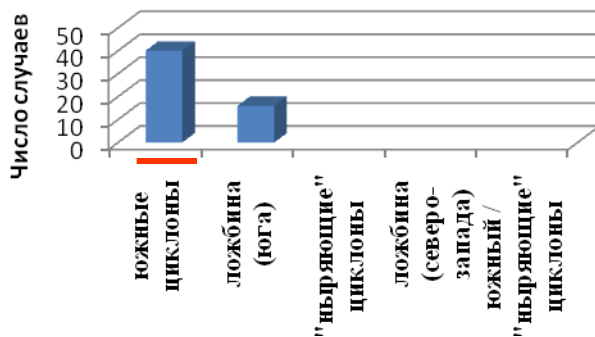
II тип подтип "а"



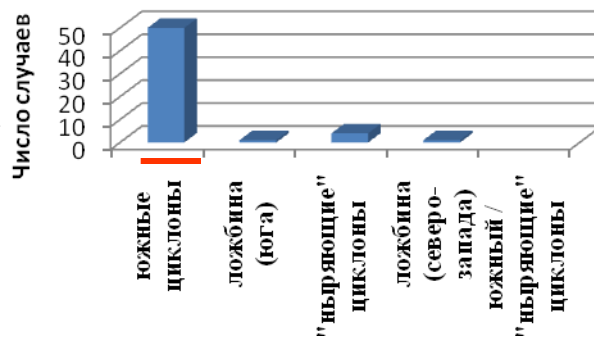
II тип подтип "б"



III тип



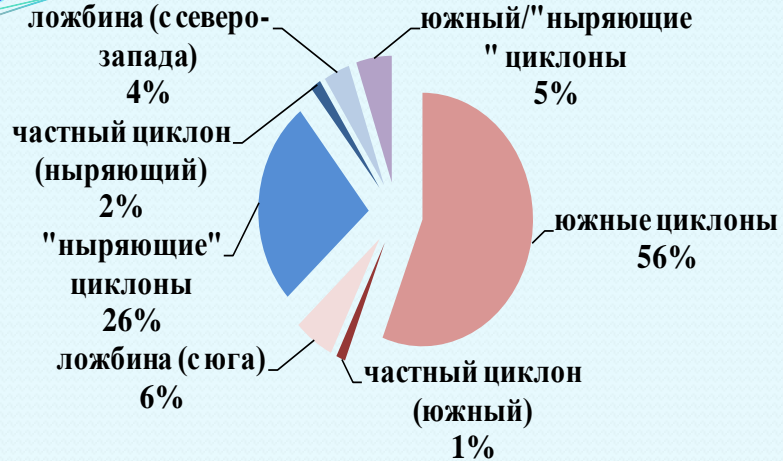
IV тип



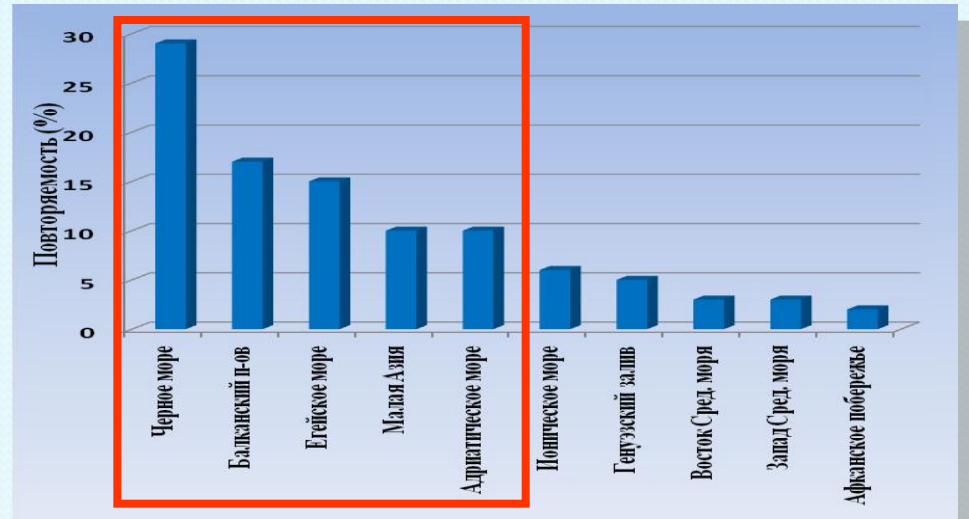
В данной работе для изучения синоптических процессов у поверхности земли были использованы сборно-кинематические карты за период 1954-2008 гг., на основании которых были выбраны основные барические объекты (образования).

Чаще всего штормовая погода в Азово-Черноморском регионе обусловлена выходом южных циклонов. Отдельно, для типов 1а и 2б отмечается высокая повторяемость ныряющих циклонов

# Анализ районов образования южных циклонов, вызывающих штормовые условия на Черное море

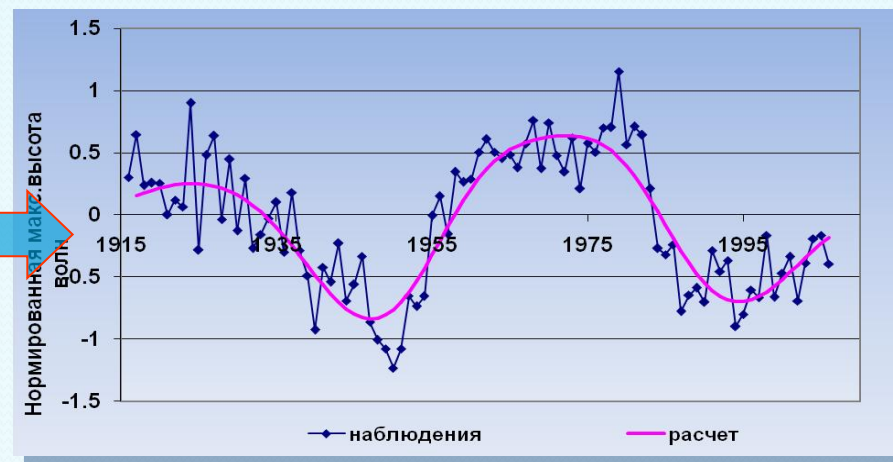
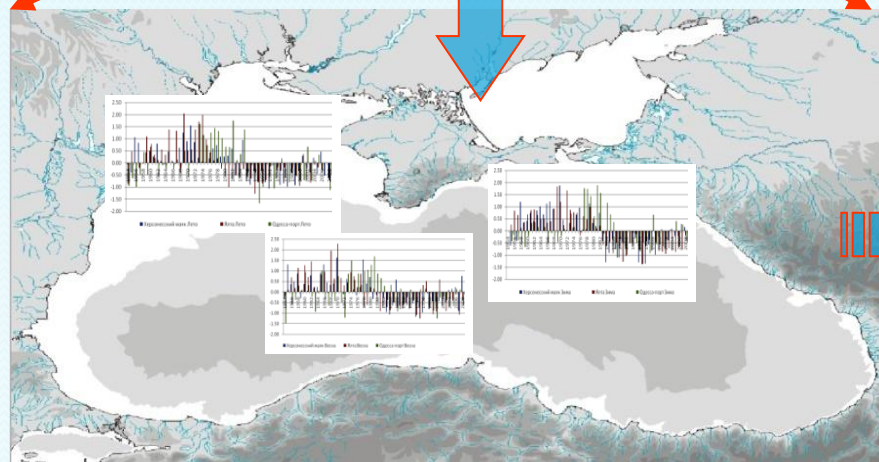
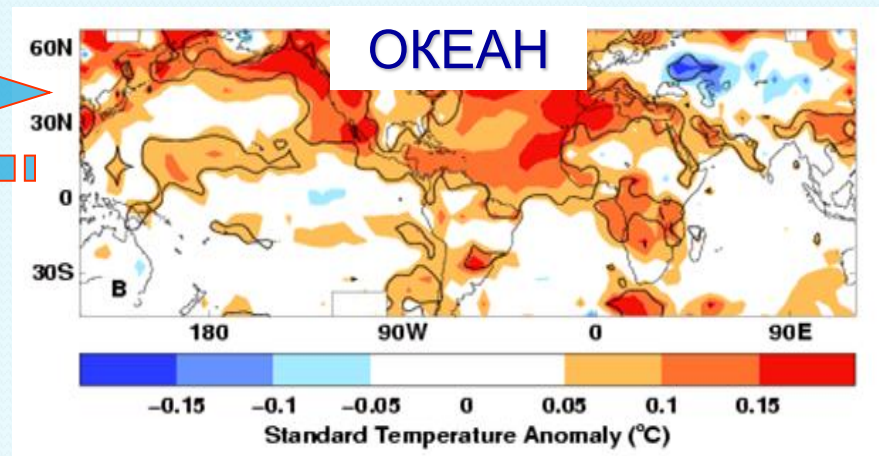
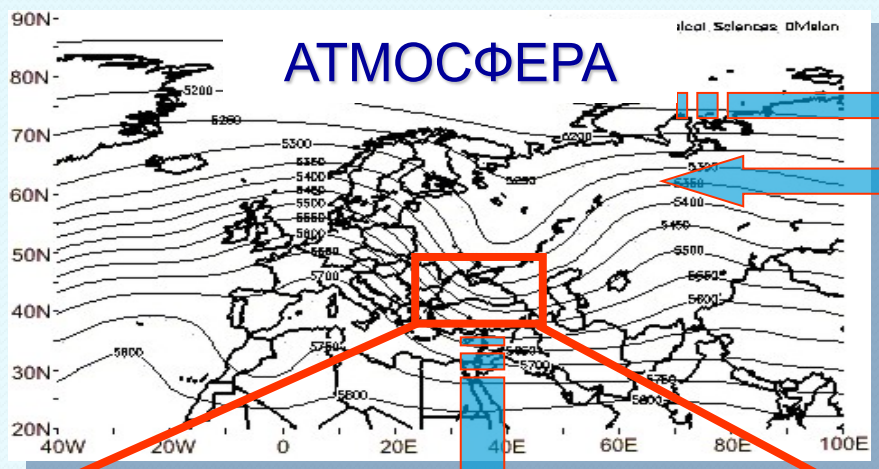


Процессами с юга обусловлено около 70% случаев штормов.



# Связь ветро-волновых аномалий с крупномасштабными процессами в системе океан-атмосфера

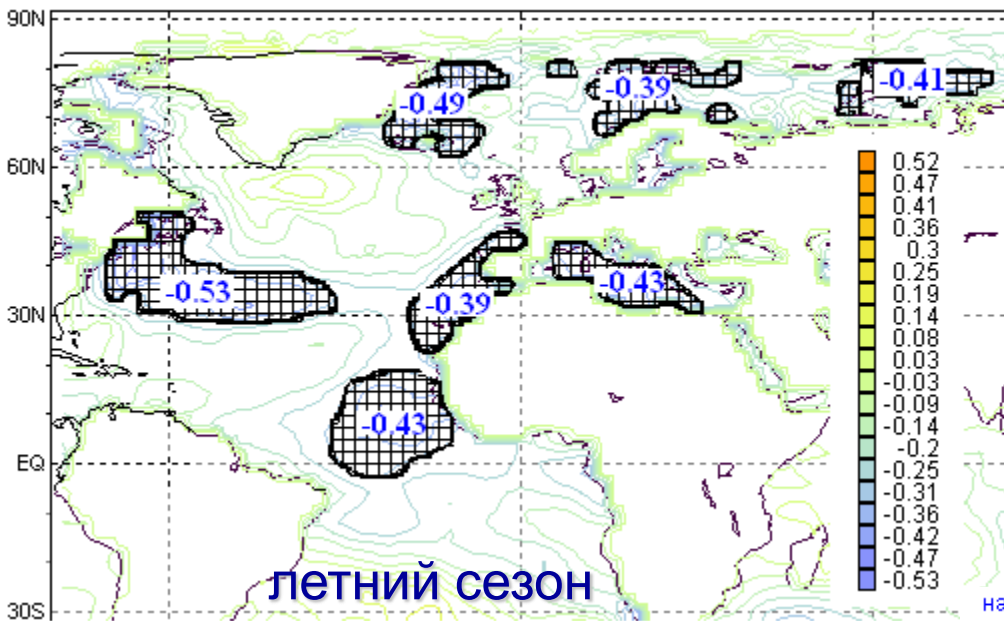
Во многих работах отмечается существенная роль океана как фактора, определяющего формирование длительных аномалий погоды



Изменчивость нормир. макс.высот волн может рассматриваться в качестве регион. отклика на крупномасштабные процессы в системе океан-атмосфера

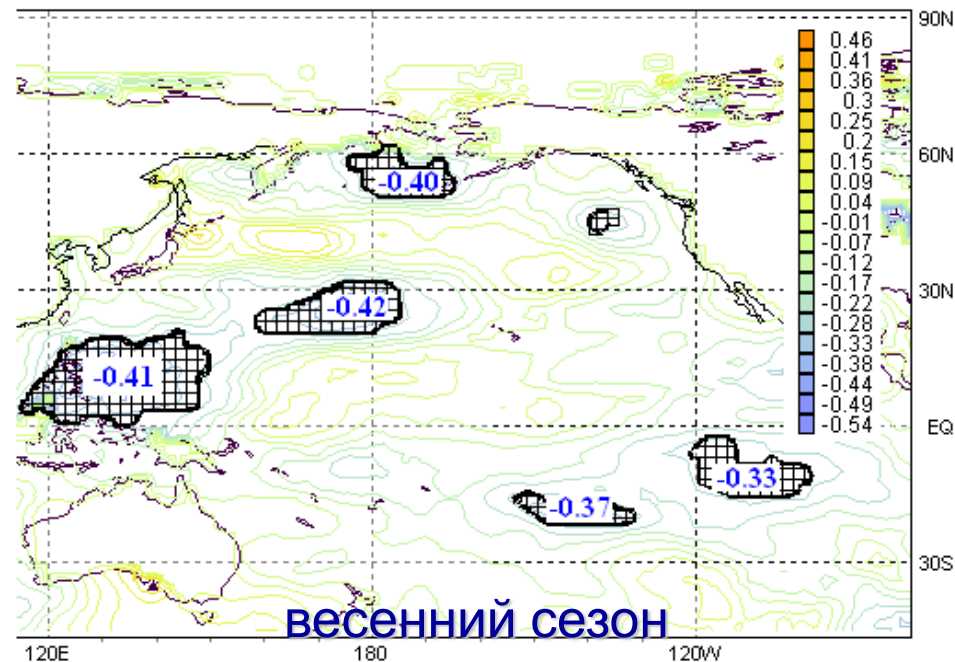
# Районирование поверхности Мирового океана в Сев.полушарии

Волна-> Корреляционное поле: с Тем-рой пов



Области значимой корреляции ТПО с аномалиями макс. высот волн в зимний сезон совпадают с зонами активного теплового взаимодействия океана с атмосферой (ЗАТВ), находящихся под непосредственным влиянием океанических течений Сев.Атлантики и Сев.части Тихого океана, т.е. циркуляции водных масс.

начиная с 1915 Среднее за месяцы: 3,4,5

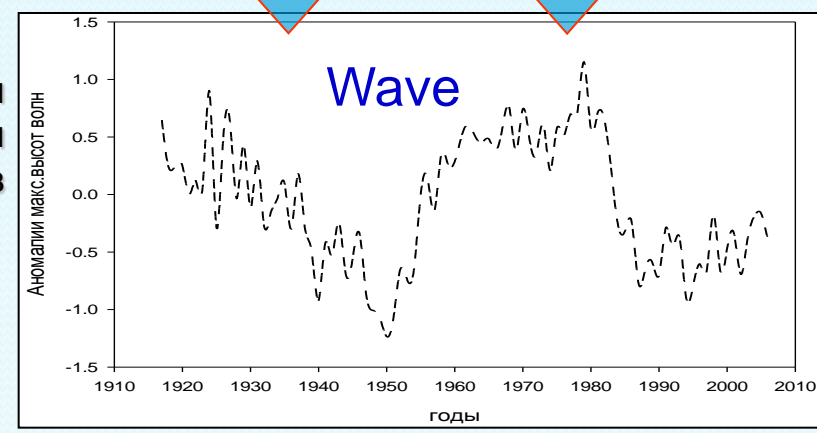
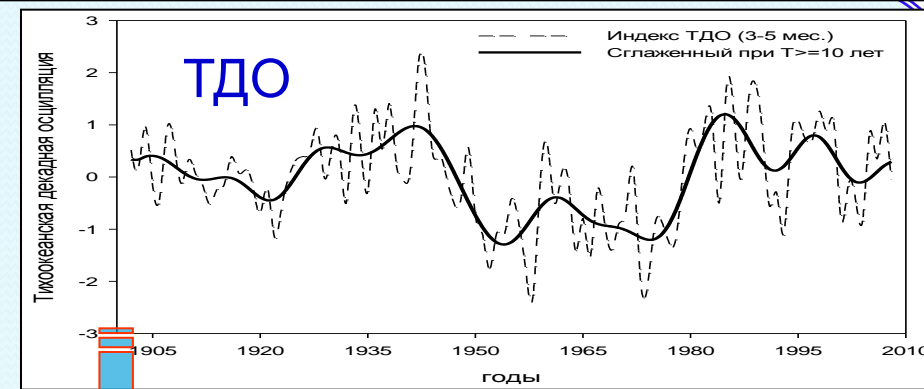
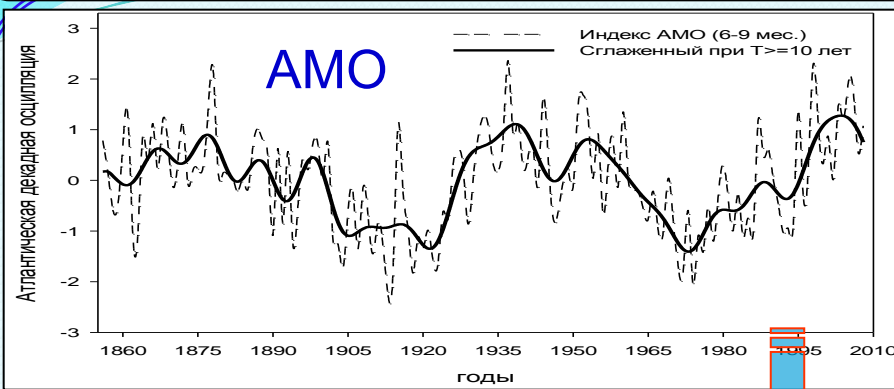


Существование областей значимой корреляции в высоких широтах (например, район Карского моря), по всей видимости, связано с многолетней изменчивостью площади ледяного покрова.

Отмечается также повышенная корреляция с тем-рой поверхности Средиземного моря, что также было отмечено в работе (Зверьяев, Архипкин, 2008)



# Оценка статистической связи аномалий максимальной высоты волны (Wave) с индексами АМО и ТДО



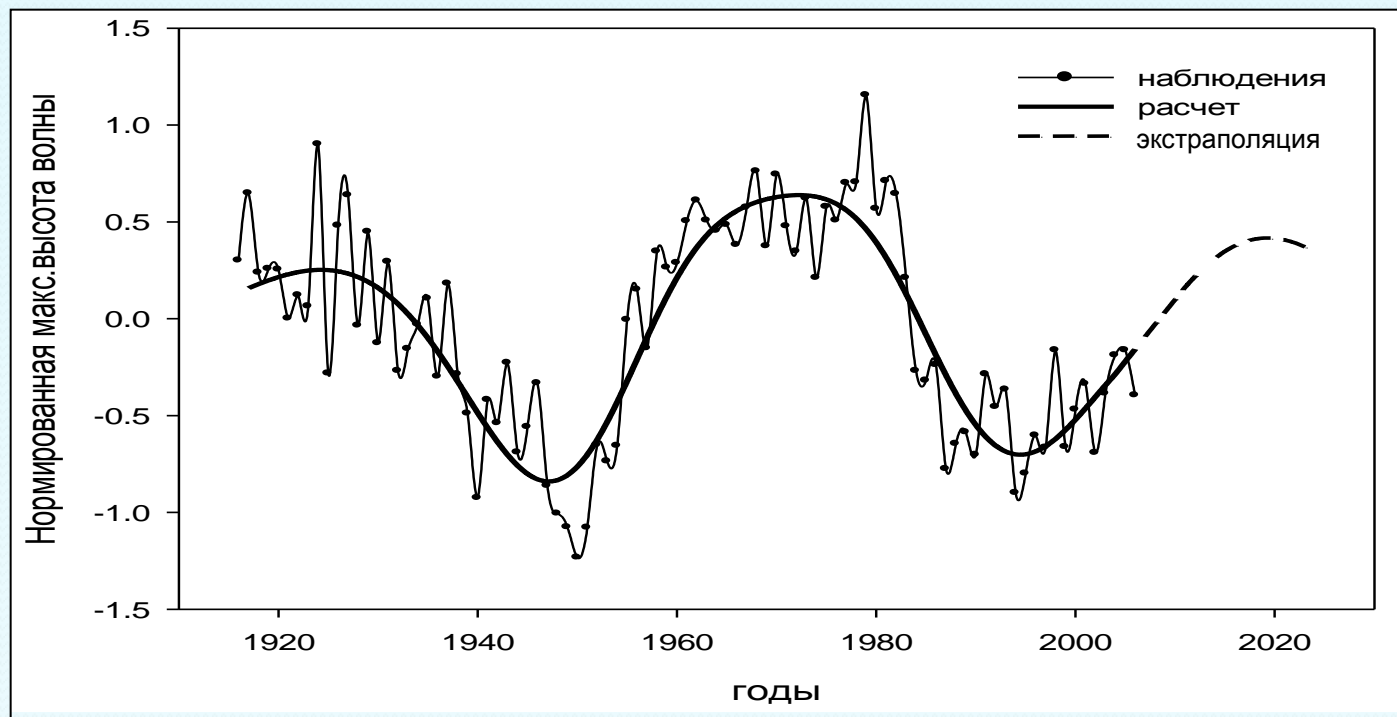
Характер изменчивости АМО подобен изменчивости аномалий высоты волн в Черноморском регионе.

В аномалиях высоты волн можно выделить периоды, соответствующие фазам ТДО: 1900-1924гг. – отрицательная; 1924-1946гг. – положительная; 1947-1976 – отрицательная; 1977-2001 – положительная фаза и с 2002г. отмечается начало отрицательной фазы ТДО.

Параметры	Оценка значимости связи							Выводы
$Wave = a \cdot AMO + b$								
$r$	0.52	$\sigma_r$	0.08	$t_r$	6.8	$t_{кр}$	1.66	значимый
$R^2$	0.27							
$a$	0.27	$\sigma_a$	0.04	$t_a$	6.8	$t_{кр}$	1.66	значимый
$b$	-0.02	$\sigma_b$	0.07	$t_b$	0.34	$t_{кр}$	1.66	незначимый
$D_y$	7.22			F	27.2	$F_{кр}$	3.95	адекватна
$D_\varepsilon$	0.27							

Параметры	Оценка значимости связи							Выводы
$Wave = a \cdot TDO + b$								
$r$	-0.50	$\sigma_r$	0.08	$t_r$	6.3	$t_{кр}$	1.67	значимый
$R^2$	0.25							
$a$	-0.27	$\sigma_a$	0.04	$t_a$	6.3	$t_{кр}$	1.66	значимый
$b$	-0.15	$\sigma_b$	0.07	$t_b$	2.03	$t_{кр}$	1.66	значимый
$D_y$	6.98			F	30.2	$F_{кр}$	3.97	адекватна
$D_\varepsilon$	0.23							

# Экстраполяция хода нормир.макс.высот волн



На основании выявленной тенденции с помощью простой экстраполяции можно полагать, что следующий максимум высот волн, достигающих отметки СГЯ в районе Черного моря, должен приходиться на период 2020-е годы, следовательно, в этот же период в Черном море можно ожидать увеличения числа штормов.

# ВЫВОДЫ

✓ Анализ ветро-волнового режима в прибрежной части Азово-Черноморского бассейна позволил выявить районы с максимальными и минимальными высотами волн и их повторяемостью и определить наиболее показательные с точки зрения климатических особенностей режима пункты наблюдения

✓ В многолетнем ходе аномалий макс. высот волн в Азово-Черноморском регионе выявлена 55-65-летняя квазипериодичность.

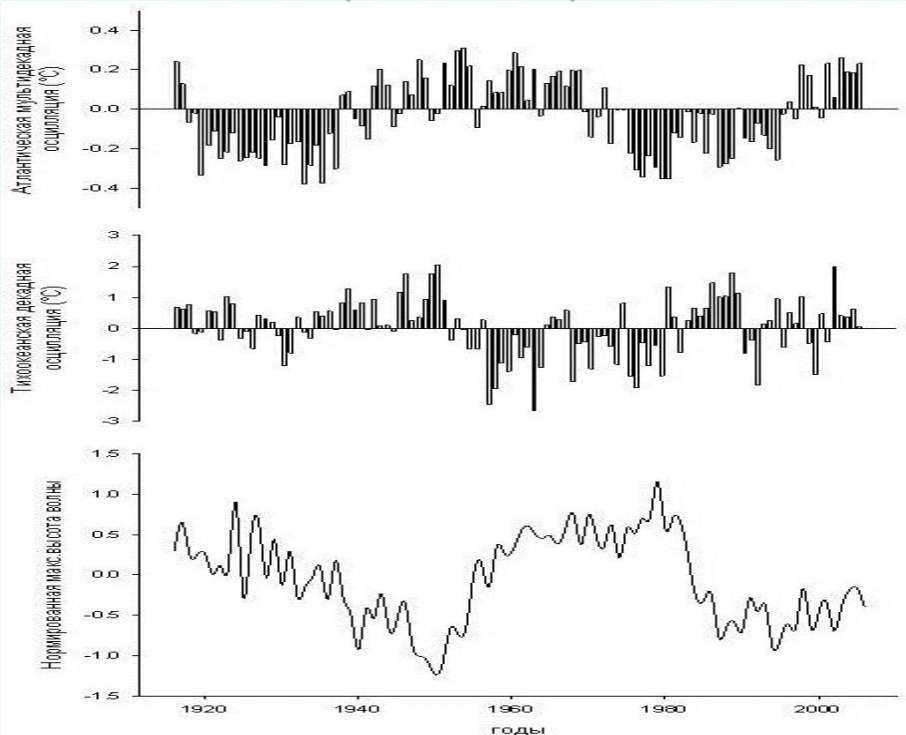
✓ Кластерный анализ крупномасштабных синоптических процессов, вызывающих штормовые условия в Азово-Черноморском регионе, показал наличие среди них 4-х типов и 2-х подтипов.

✓ Выделенные типы синоптических процессов соответствуют меридиональному типу атмосферной циркуляции.

✓ Установлена статистическая связь аномалий высоты волн в Азово-Черноморском регионе с Атлантической мультидекадной и Тихоокеанской декадной осцилляцией. Совместное влияние этих сигналов обуславливает около 52% общей изменчивости.

# Оценка статистической связи аномалий максимальной высоты волны (Wave) с индексами АМО и ТДО

## Изменчивость аномалий максимальных высот волн в зимний период и индексов АМО и ТДО (1916-2008гг.)

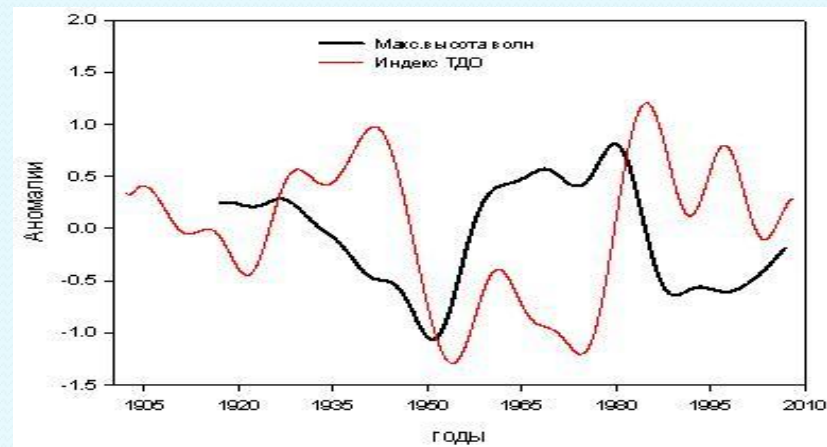
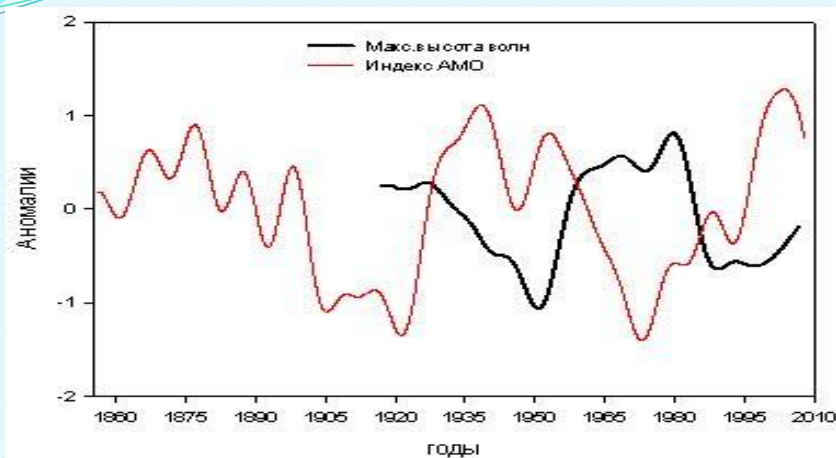


Характер изменчивости АМО подобен изменчивости аномалий высоты волн в Черноморском регионе.

В аномалиях высоты волн также можно выделить периоды, соответствующие фазам ТДО: 1900-1924гг. – отрицательная; 1924-1946гг. – положительная; 1947-1976 – отрицательная; 1977-2001 - положительная фаза и с 2002г. отмечается начало отрицательной фазы ТДО. Максимумы и минимумы изменчивости исследуемого параметра волнения приходятся примерно на, 1925, 1947 и 1976 годы.

Параметры	Оценка значимости связи							Выводы
	$Wave = a \cdot AMO + b$							
<b>r</b>	<b>0.52</b>	$\sigma_r$	<b>0.08</b>	$t_r$	<b>6.8</b>	$t_{кр}$	<b>1.66</b>	значимый
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.27</b>							
<b>a</b>	<b>0.27</b>	$\sigma_a$	<b>0.04</b>	$t_a$	<b>6.8</b>	$t_{кр}$	<b>1.66</b>	значимый
<b>b</b>	<b>-0.02</b>	$\sigma_b$	<b>0.07</b>	$t_b$	<b>0.34</b>	$t_{кр}$	<b>1.66</b>	незначимый
<b>D<sub>y</sub></b>	<b>7.22</b>			<b>F</b>	<b>27.2</b>	$F_{кр}$	<b>3.95</b>	адекватна
<b>D<sub>ε</sub></b>	<b>0.27</b>							

Параметры	Оценка значимости связи							Выводы
	$Wave = a \cdot TDO + b$							
<b>r</b>	<b>-0.50</b>	$\sigma_r$	<b>0.08</b>	$t_r$	<b>6.3</b>	$t_{кр}$	<b>1.67</b>	значимый
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.25</b>							
<b>a</b>	<b>-0.27</b>	$\sigma_a$	<b>0.04</b>	$t_a$	<b>6.3</b>	$t_{кр}$	<b>1.66</b>	значимый
<b>b</b>	<b>-0.15</b>	$\sigma_b$	<b>0.07</b>	$t_b$	<b>2.03</b>	$t_{кр}$	<b>1.66</b>	значимый
<b>D<sub>y</sub></b>	<b>6.98</b>			<b>F</b>	<b>30.2</b>	$F_{кр}$	<b>3.97</b>	адекватна
<b>D<sub>ε</sub></b>	<b>0.23</b>							



Повторяемость волн высотой 0,5 м и ниже, составляет 70-96%. По побережью Крымского района, (МГ Херсонесский маяк) - не более 42%, а на ЮБК - около 60%..