

# **МОРСЬКА ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЯ**

УДК 551.509.329

Е.Н. Воскресенская, В.А. Наумова, М.П. Евстигнеев,  
В.П. Евстигнеев

## **КЛАССИФИКАЦИЯ СИНОПТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ШТОРМОВ В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ БАССЕЙНЕ**

Выполнена классификация крупномасштабных синоптических процессов, приводящих к штормовым условиям в Азово-Черноморском бассейне, основанная на объективном методе кластерного анализа. Проведен анализ синоптических процессов штормов в Азово-Черноморском бассейне с использованием полученной классификации за период 1954-2008 гг.

### **Введение**

Одним из методов анализа макросиноптических процессов является их классификация, которая позволяет в большом многообразии синоптических ситуаций найти общие черты развития крупномасштабных процессов [1]. Задача классификации в целом сводится к разделению совокупности объектов некоторой выборки по максимально различающимся между собой группам [2].

Анализ проведенных ранее исследований свидетельствует о том, что задача типизации синоптических процессов, приводящих к штормам в Азово-Черноморском регионе, до сих пор не решена. Существующая классификация Черняковой А.П., в основу которой заложены типовые поля ветра, успешно использовалась для расчета ветра и волнения в открытом море [3, 4]. Однако данная классификация выполнена для приземных барических полей и не отражает особенности крупномасштабных синоптических процессов. В связи с этим возникает необходимость в создании классификации, которая позволит описать крупномасштабные синоптические процессы возникновения штормов в Азово-Черноморском бассейне и послужит дополнительным инструментом при составлении прогнозов. Не менее важно было выполнить классификацию таким образом, чтобы она позволила детализировать синоптические процессы в рамках установленных типов.

Отметим, что классификация штормовых ситуаций приобретает

особую актуальность для Азово-Черноморского бассейна, поскольку в условиях глобальных и региональных изменений климата отмечается увеличение вероятности возникновения опасных стихийных гидрометеорологических явлений (СГЯ) и возможных техногенных катастроф.

Примером подобной ситуации может быть шторм 11 ноября 2007 г., последствием которого стала гибель 23 человек и 5 затонувших судов. Кроме того, в районе Керченского пролива произошёл разлив мазута и нефти (1200 т), а на трёх затонувших судах находилась сера, которая представляет огромную экологическую угрозу для Азово-Черноморского бассейна.

Для предотвращения потерь из-за штормов различного масштаба необходимо системное исследование и заблаговременное предупреждение об их возникновении.

### **Использованные данные и метод классификации**

В работе использовался массив международных данных NCEP/NCAR, а также данные морских прибрежных наблюдений Государственной гидрометслужбы Украины за период 1954-2008 гг.

В настоящее время существует несколько десятков различных видов типизации синоптических процессов. Несмотря на разнородность типизируемых объектов: осей, траекторий, барических и метеорологических полей, различного рода переносов и потоков, воздушных масс и разделяющих их атмосферных фронтов, в большинстве случаев исследователями используется один единственный подход – принцип аналогичности [2, 5]. Основным недостатком такого подхода является то, что оценка однородности и аналогичности макросиноптических полей производится на качественном уровне (синоптическим методом) и содержит элемент субъективности, внося некоторую неоднозначность в получаемые результаты. В связи с этим возникает необходимость в создании объективной типизации с применением современных статистических методов.

Для объективной типизации синоптических процессов исследователи используют в целом однотипный подход, основанный на последовательном применении метода главных компонент PCA (Principal Component Analysis) и неиерархического или иерархического кластерного анализа [6]. Метод главных компонент реализует предварительную обработку массива данных наблюдений, позволяет

отфильтровать статистически малозначимые данные наблюдений и одновременно выделить число групп данных, которое может быть использовано в качестве входного параметра в последующей процедуре кластеризации (как правило, методом К-средних). В качестве наиболее яркого примера удачного применения данной методики можно привести работу [7], в которой была проведена классификация синоптических процессов 40-летнего массива ежедневных карт барической топографии (АТ 500 гПа) для западноевропейского региона.

В отличие от [7], в настоящей работе рассматриваются отобранные из общего массива данных барические поля АТ 500 гПа, соответствующие штормовым ситуациям. В связи с этим применение метода РСА по отношению к временной координате лишено смысла. Возможной альтернативой рассматриваемому подходу является процедура районирования, примененная, например, в работе [5, 9] с использованием РСА, и позволяющая отсеять статистически малозначимые географические области на анализируемых картах. К сожалению, применение метода РСА к координатной переменной в настоящей работе не дало положительного результата: статистический вес первой главной компоненты составил более 80 %. Таким образом, предварительное выделение числа кластеров с помощью РСА и последующая неиерархическая кластеризация в настоящей работе были заменены одной процедурой – иерархическим кластерным анализом.

Результатом процедуры иерархической кластеризации является диаграмма-дерево (рис. 1). По горизонтали откладываются наблюдаемые случаи (барические поля), объединяемые в группы (кластеры), по вертикали – статистическая мера различия между кластерами. По мере движения по дереву «сверху-вниз» статистическое различие данных в кластерах уменьшается, что приводит к дроблению кластеров на более мелкие составляющие (разветвление дерева). Число пересечений любой горизонтальной линии, проведенной на диаграмме, совпадает с числом кластеров данного уровня. Таким образом, интерпретация диаграммы-дерева основывается на представлении о подобии данных внутри кластеров и различии данных в разных кластерах.

В настоящей работе кластерный анализ проводился в статистическом пакете „Statistika 5”, с использованием в качестве входных данных отклонений абсолютных значений геопотенциальной высоты барического поля АТ 500 гПа поверхности от его среднего

значения, нормированных на среднее квадратическое отклонение (СКО) поля. Данная процедура позволяет снизить влияние на результат кластеризации интенсивности барических образований, поскольку именно подобие макросиноптических полей является целевой функцией их анализа, а не глубина (высота) поля.

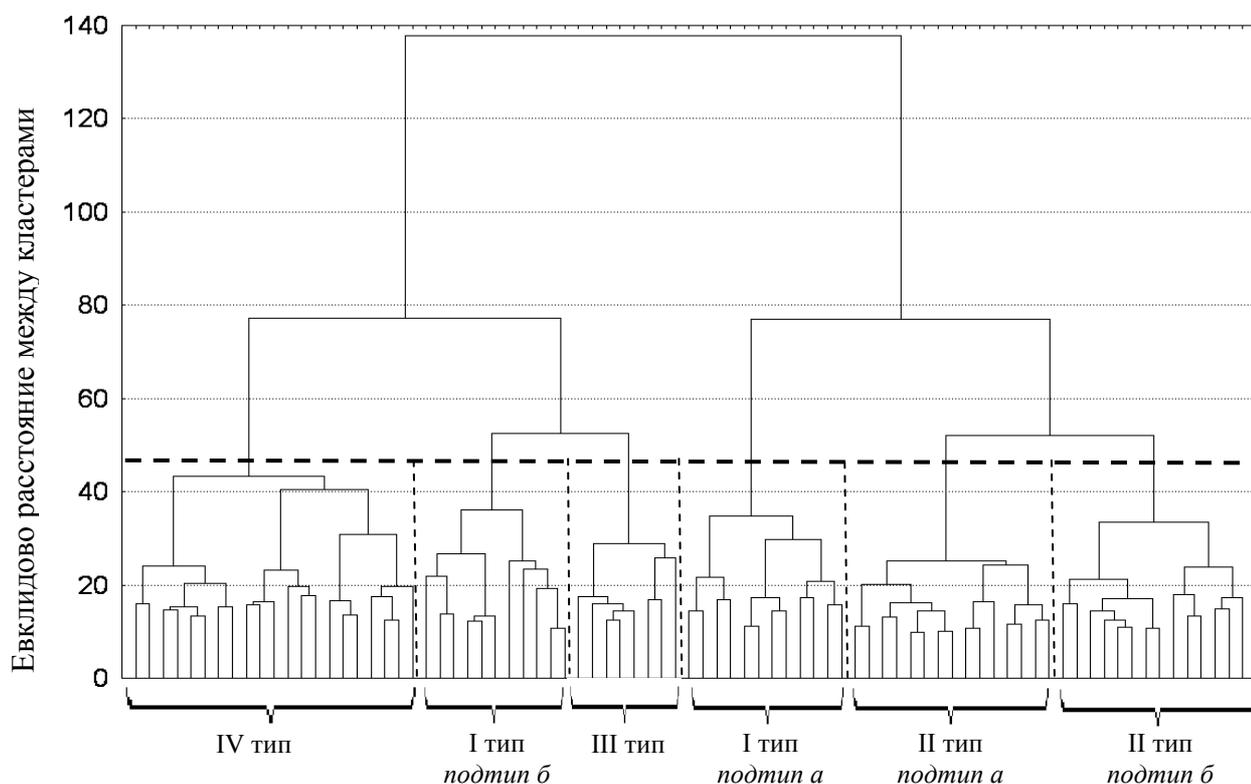


Рис. 1. Дендограмма для 81 случая (АТ 500 гПа) штормов в Азово-Черноморском регионе (высота волн 4,0-4,9 м), полученная с использованием метода Варда

Кластеризация проводилась с использованием стандартной эвклидовой меры – расстояния между наблюдениями и семи основных методов определения меры различия кластеров, доступных в программном пакете „Statistika 5”, а именно: метод одиночной связи, метод полной связи, метод невзвешенного попарного среднего, метод взвешенного попарного среднего, невзвешенный центроидный метод, взвешенный центроидный метод, метод Варда. Кластерный анализ проводился для случаев штормовой волны в Азово-Черноморском бассейне Украины отдельно по группам: 5 м и более; 4,0-4,9 м; 3,5-3,9 м и 3,0-3,4 м. За период 1954-2008 гг. таких случаев наблюдалось соответственно 45, 81, 106 и 210.

Верификация результатов процедуры кластеризации выполнялась на основании стандартного синоптического анализа (принципа аналогичности) для барических полей АТ 500 гПа. Наилучший результат, соответствующий эмпирическому ожиданию, был получен при использовании метода полной связи и метода Варда, дающих одинаковую классификацию. Коэффициент корреляции для классов объективной классификации барических полей АТ 500 гПа и синоптического анализа составил 0,92-0,99.

### **Результаты и обсуждение**

На основе описанного метода в работе проводилась классификация крупномасштабных синоптических процессов, приводящих к образованию штормов на Чёрном море.

Следует отметить, что все случаи штормового волнения в Черноморском регионе с высотой волны 3 м и более соответствуют меридиональному типу атмосферной циркуляции. При зональной форме циркуляции высота волны 3 м и более не наблюдается, так как в зональных процессах географическая локализация гребней и ложбин в силу их значительной подвижности и малой амплитуды не оказывают существенного влияния на общие характеристики макропроцесса. Ранее А.Л. Кацем [10] меридиональный тип был эмпирически разделен на четыре формы в зависимости от локализации высотных гребней на пространстве первого естественного синоптического (е.с.) района: западную – у западного побережья Европы; центральную – зимой над западом, а летом – над востоком ЕТ СССР; восточную – над Западной Сибирью и смешанную – два высотных гребня.

В результате проведенной в данной работе объективной классификации были также выявлены четыре типа меридиональной циркуляции. На рис. 2-7 в качестве примера представлены результаты кластеризации синоптических процессов, соответствующих штормам с высотой волн 4,0-4,9 м. Анализ композитов позволил дать характеристику выделенных типов в настоящей работе: I тип – западный, II тип – смешанный, III тип – центральный, IV тип – восточный. Помимо этого для западного и смешанного типов дополнительно были выделены два подтипа, макросиноптические условия которых значительно отличаются между собой. Так в одном из подтипов западного типа осуществляется северо-западный перенос воздушных масс, а в другом – северо-восточный, восточный (см. рис. 2, 3). Аналогично смешанный тип, в

зависимости от локализации гребней по отношению к Азово-Черноморскому бассейну, представляется двумя подтипами (см. рис. 4, 5), в одном из которых перенос воздушных масс осуществляется с юга на Черное море, в другом случае – из севера, северо-запада.

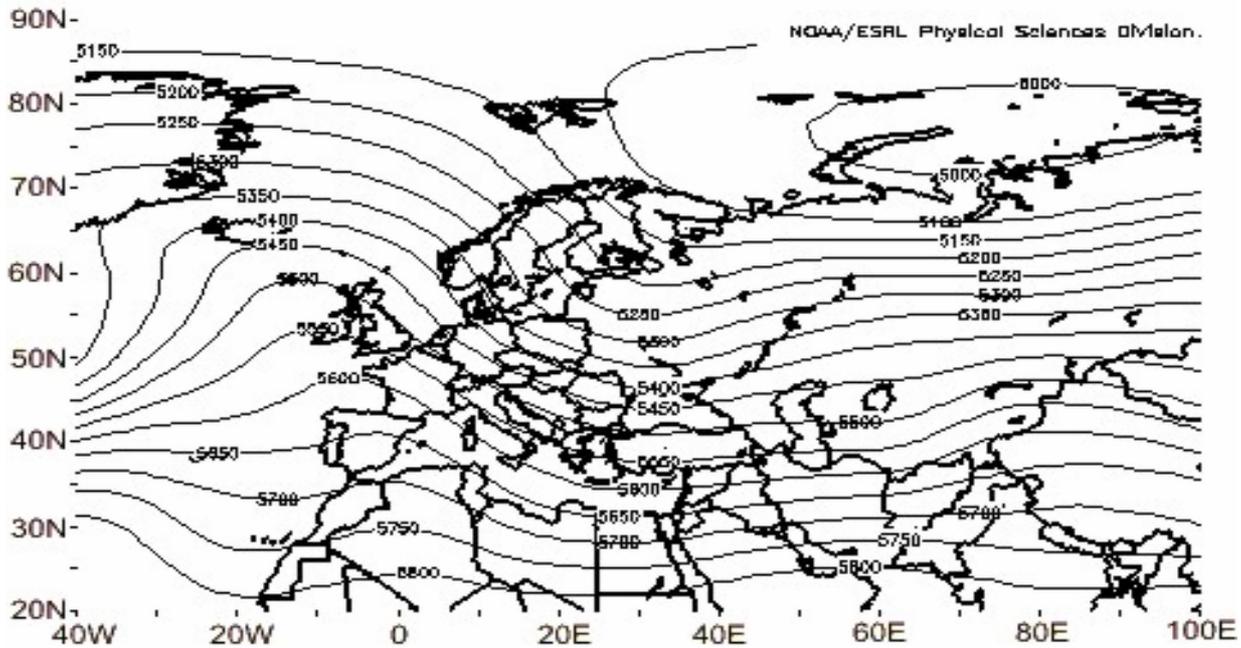


Рис. 2. Композит барического поля АТ 500 мб поверхности *I* (западного) типа, подтипа «а» для волн высотой 4,0-4,9 м за период 1954-2008 гг.

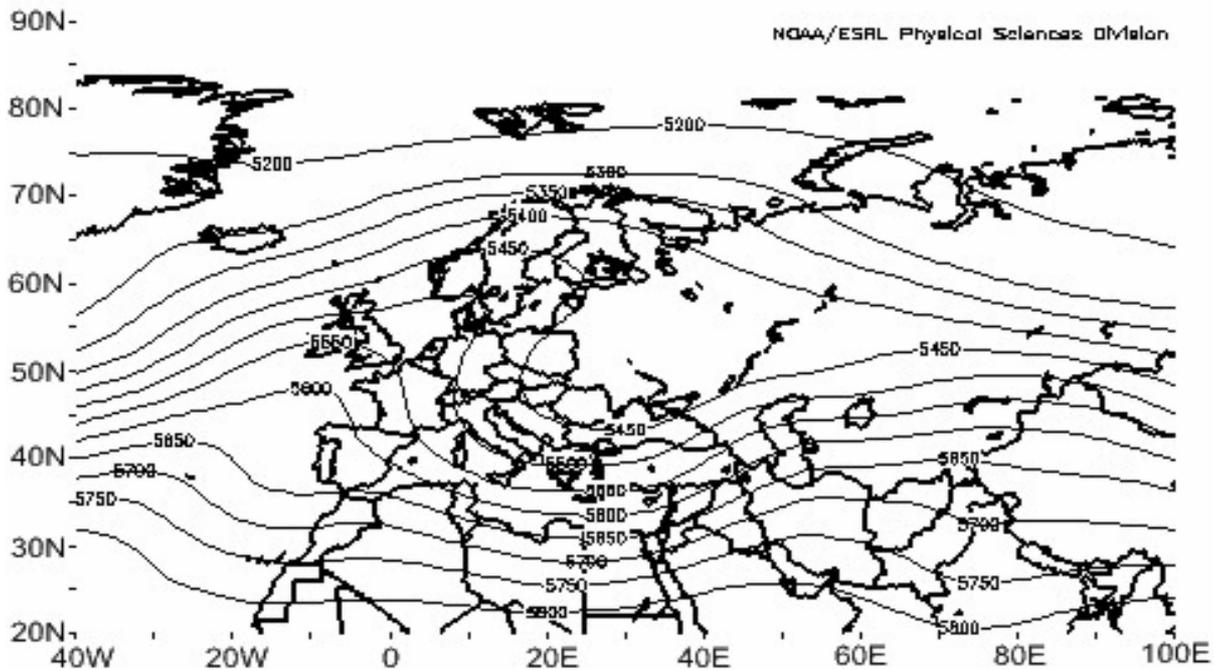


Рис. 3. Композит барического поля АТ 500 мб поверхности *I* (западного) типа подтипа «б» для волн высотой 4,0-4,9 м за период 1954-2008 гг.

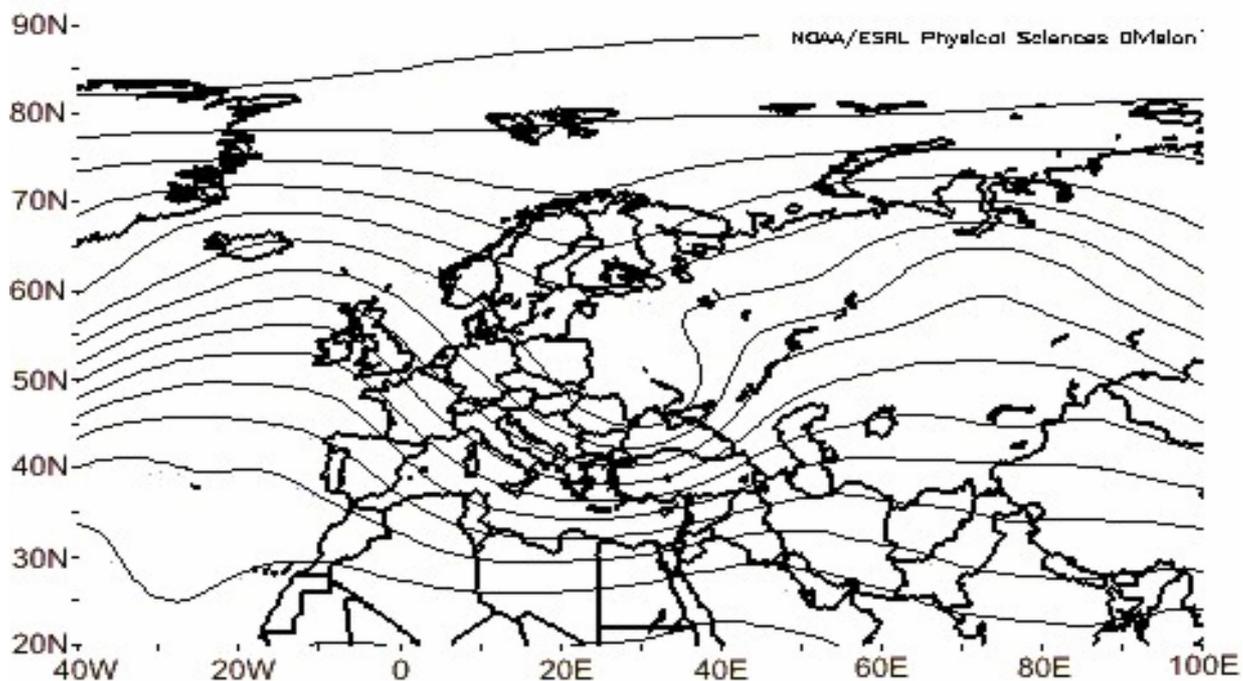


Рис. 4. Композит барического поля АТ 500 мб поверхности II (смешанного) типа подтип «а» для волн высотой 4,0-4,9 м за период 1954-2008 гг.

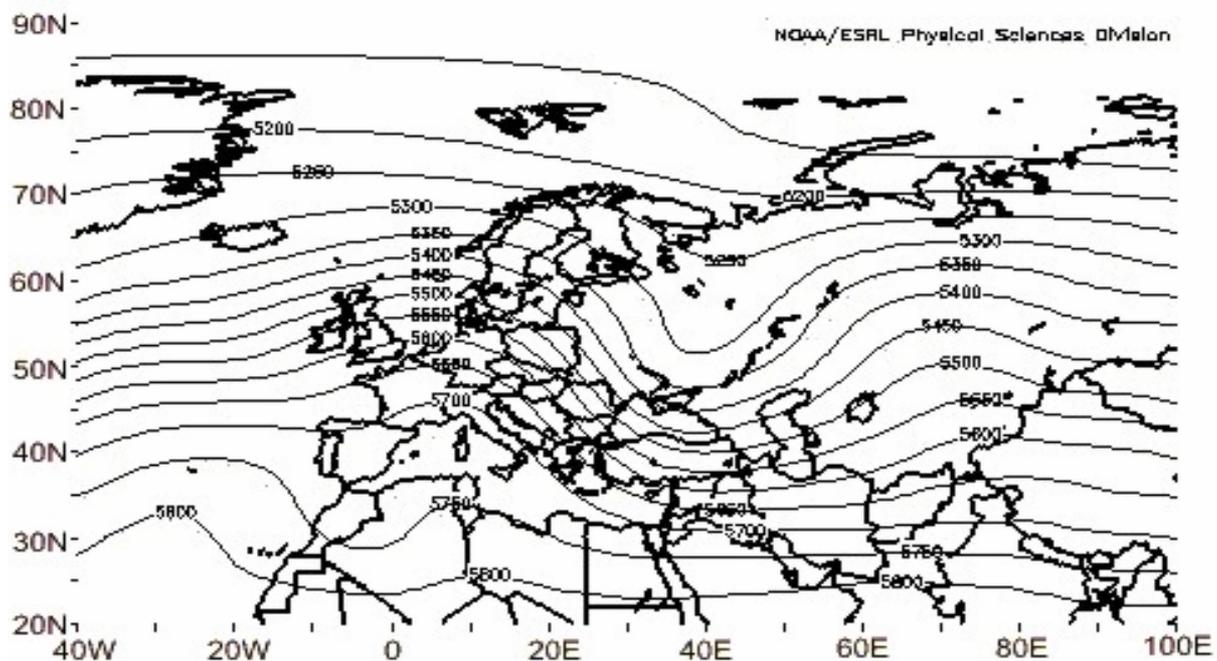


Рис. 5. Композит барического поля АТ 500 мб поверхности II (смешанного) типа подтип «б» для волн высотой 4.0-4.9 м за период 1954-2008 гг.

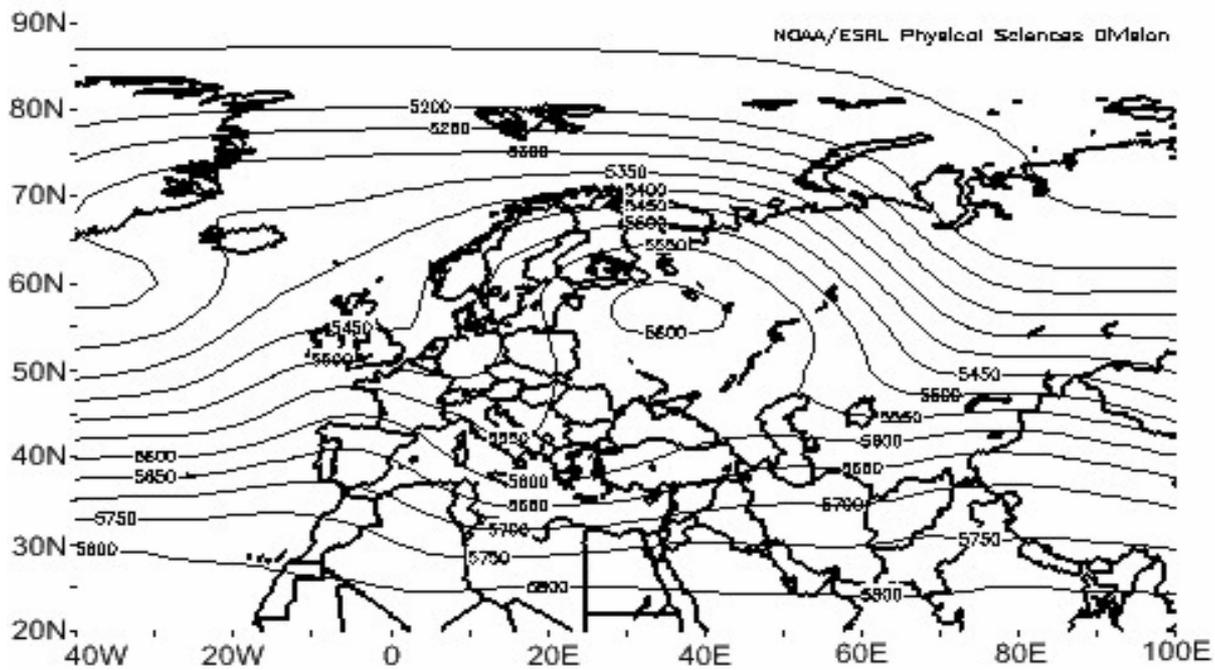


Рис. 6. Композит барического поля АТ 500 мб поверхности III (центрального) типа для волн высотой 4,0-4,9 м за период 1954-2008 гг.

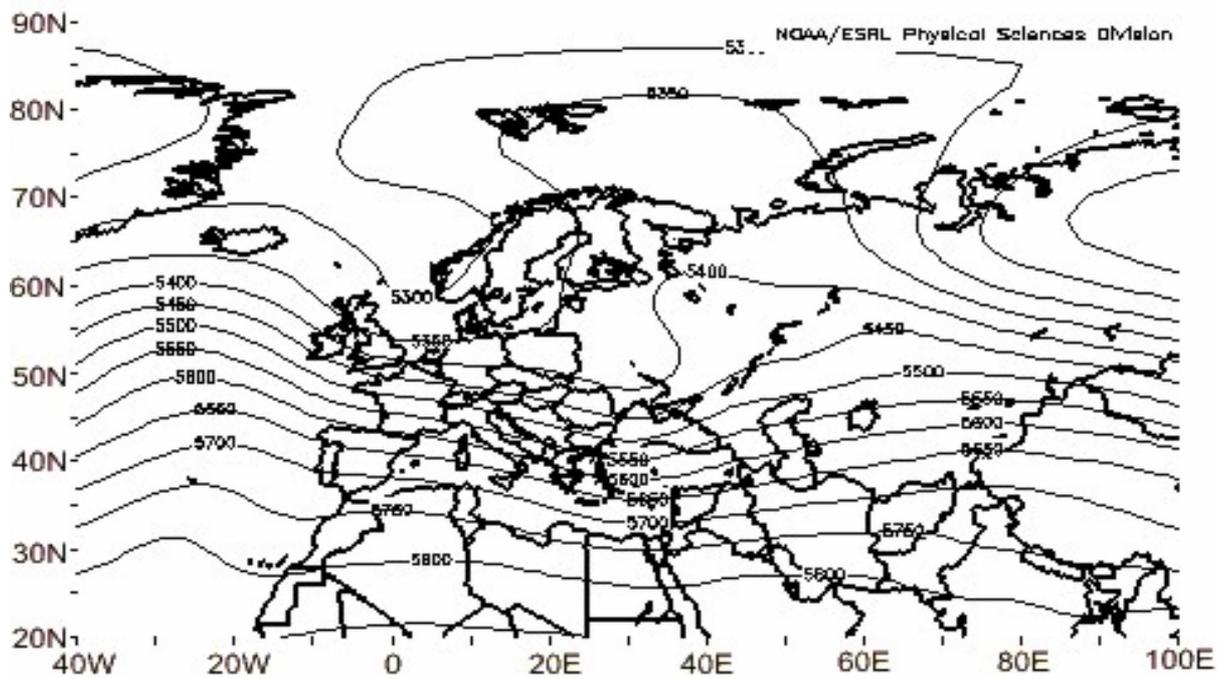


Рис. 7. Композит барического поля АТ 500 мб поверхности IV (восточного) типа для волн высотой 4,0-4,9 м за период 1954-2008 гг.

Повторяемость крупномасштабных синоптических процессов штормов (высота волн больше 3 м) по типам распределилась следующим образом: около 42 % случаев приходится на смешанный тип (II тип);

значительно реже наблюдаются шторма IV типа – их повторяемость составляет около 13 % (рис. 8).

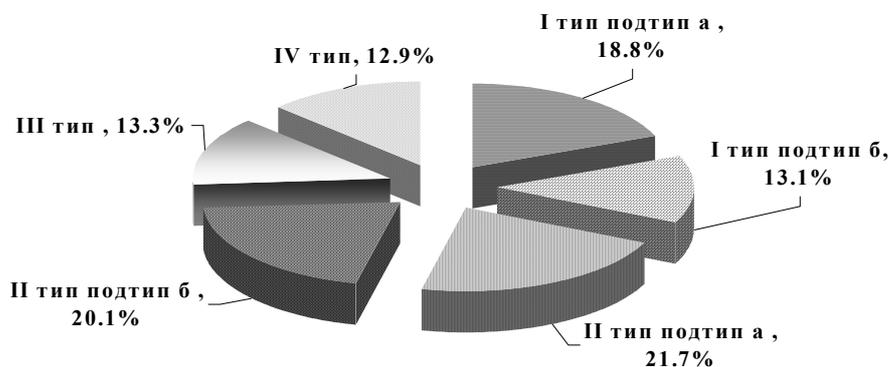


Рис. 8. Повторяемость (%) типов синоптических процессов для штормов

*Внутригодовое распределение типов синоптических процессов.* Более 82 % штормов наблюдается в холодное полугодие и чаще всего при II типе подтип «б». Максимальная повторяемость штормов отмечается в январе и составляет около 23 %. Активность синоптических процессов в теплую половину года (с апреля по сентябрь) значительно меньше, чем в холодную. Повторяемость штормов по месяцам теплого периода (от общего числа случаев) составляет около 2 %. Только в сентябре – 6 %. Существенный вклад (35 %) в формирование штормов в теплое полугодие вносит II тип подтип «а», тогда как повторяемость II типа подтипа «б» незначительная и в период с мая по август не наблюдается (рис. 9).

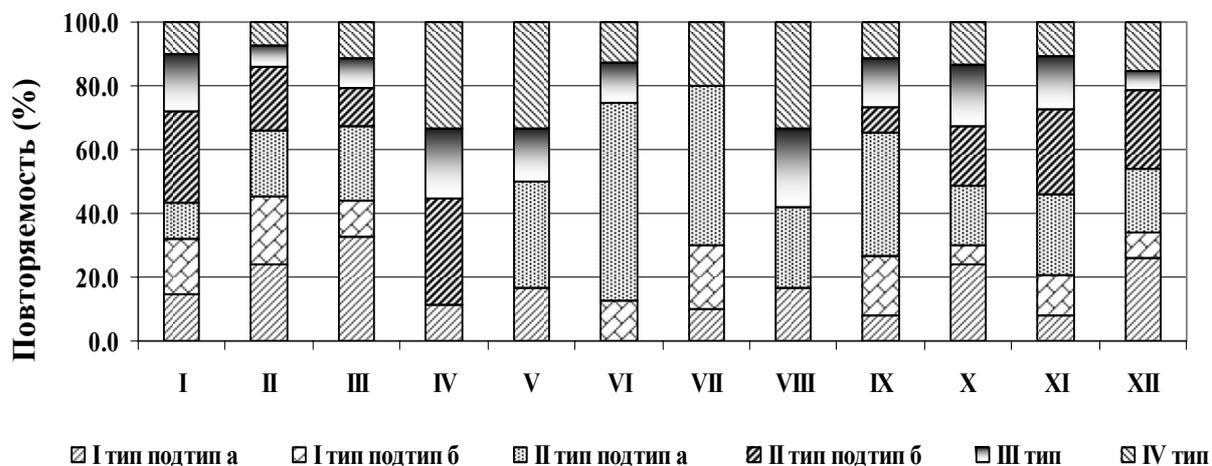


Рис. 9. Повторяемость (%) типов синоптических процессов для штормов с высотой волн 3 м и более по месяцам

*Повторяемость типов по высотам волн.* Наиболее полно типы и подтипы представлены для синоптических ситуаций штормов 4,0-4,9 м (рис. 10). Для случаев штормов с высотой волн 5 м и более отсутствует IV тип, а I тип представлен только подтипом б. Несколько сложными получились результаты при кластеризации синоптических ситуаций штормов от 3,0-3,4 м. Как и в предыдущих случаях, были выделены все типы, но выражены они менее четко. Такая ситуация по-видимому вызвана тем, что синоптические процессы штормов от 3,0-3,4 м менее активны и устойчивы во времени.

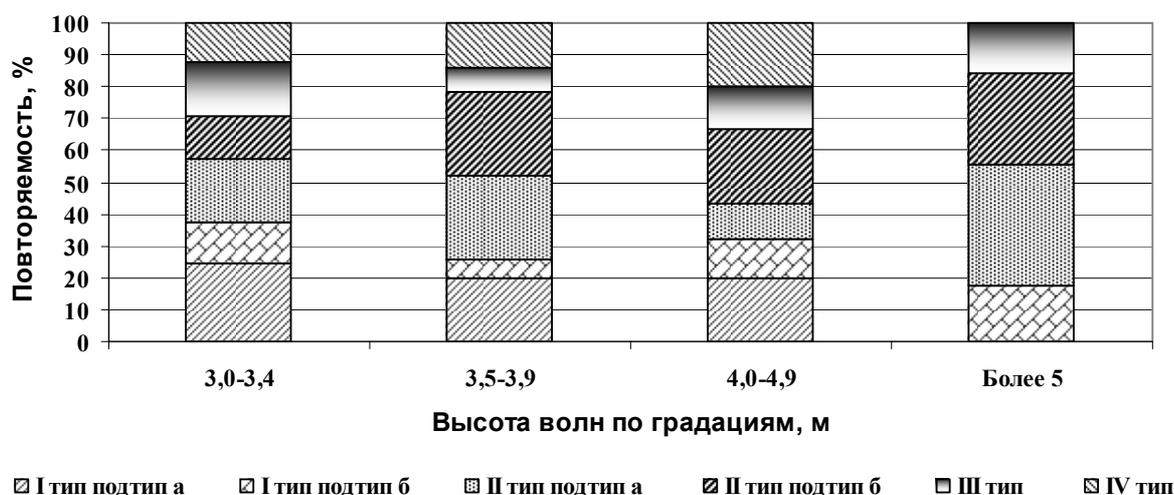


Рис. 10. Распределение (%) типов синоптических процессов для разных высот волн

Волны высотой 5 м и более наблюдаются достаточно редко и составляют всего 10 % от общего числа рассматриваемых штормов. Ещё реже высота волн достигает критерия СГЯ, который для Черного моря составляет 6,0 м и более [10]. Так, за 1954-2008 гг. на Азово-Черноморском бассейне наблюдалось 8 случаев СГЯ. Шесть из них – на морской гидрометеорологической (МГ) станции Херсонесский маяк, а два случая – на МГ Ялта. На юго-западе Крымского побережья (МГ Херсонесский маяк) максимальное развитие волн происходит в период развития синоптических процессов I типа подтип «б» и II типа подтип «а». Наибольшая высота волн 7,3 м была отмечена 10 ноября 1981 г. (I тип подтип «б») и несколько меньше (7,0 м) – 21 ноября 1960 г. (II тип подтип «а»). На Южном побережье Крыма (ЮБК) по данным МГ Ялта высота волн 6 м наблюдалась 6 января 1969 г. и 10 марта 1970 г. Оба эти случая относятся к III типу данной типизации. За исследуемый период

высота волн не достигала 6,0 м при I типе подтип «а» и IV типе синоптических процессов.

Предложенная методика типизации крупномасштабных процессов может быть использована в синоптической практике для исследований крупномасштабных процессов. Дополнительная детализация классов возможна на основе синоптического метода, исходя из условий решаемых задач.

### **Выводы**

1. Впервые выполнена типизация крупномасштабных процессов, приводящих к штормовым условиям в Азово-Черноморском бассейне, основанная на объективном методе кластерного анализа.

2. В результате проведенной классификации было выделено четыре основных типа: западный, смешанный, центральный и восточный, а также два подтипа западного и смешанного типов. Полученные типы синоптических процессов штормов в Азово-Черноморском регионе соответствуют меридиональному типу циркуляции.

3. Установлено, что в Азово-Черноморском регионе наиболее часто наблюдаются шторма смешанного типа. Несколько реже наблюдаются шторма западного типа подтип «а» и восточного типа.

\* \*

1. *Педь Д.А., Попов А.В.* О классификации средних месячных полей H500 в первом естественном синоптическом районе // Тр. Гидромет. науч.-исслед. центра СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – Вып. 231. – С. 100-121.
2. *Груза Г.В., Раньков Е.Я.* О принципах автоматической классификации метеорологических объектов // Метеорология и гидрология. – 1970. – № 2. – С. 12-21.
3. *Чернякова А.П.* Типовые поля ветра Черного моря // Сб. работ Бассейновой гидрометеорологической обсерватории Черного и Азовского морей. – 1965. – Вып. 3. – С. 78-121.
4. Атлас волнения и ветра Черного моря / Под ред. *Ржеплинского Г.В.* – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 111 с.
5. *Яковлева Н.И.* Применение статистических главных компонентов для целей объективной классификации метеорологических ситуаций и полей // Метеорология и гидрология. – 1970. – № 2. – С. 23-32.
6. *Huth R.* A circulation classification scheme applicable in GCM studies //

- Theor. Appl. Climatol. – 2000. – V. 67. – P. 1-18.
7. *Esteban P., Martin-Vide J., Mases M.* Daily atmospheric circulation catalogue for western Europe using multivariate techniques // *Int. J. Climatol.* – 2006. – V. 26. – P. 1501-1515.
  8. *Romero R., Sumner G., Ramis C., Genoves A.* A classification of the atmospheric circulation patterns producing significant daily rainfall in the Spanish mediterranean area // *Int. J. Climatol.* – 1999. – V. 19. – P. 765-785.
  9. *Кац А.Л.* Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 270 с.
  10. Положення про порядок складання та передачі попереджень і донесень про виникнення стихійних явищ, різких змін погоди, поєднання небезпечних явищ та випадків екстремально високого забруднення природного середовища. – К., 1994.

*Морской гидрофизический институт НАН Украины,  
Севастопольская ГМО,  
Севастопольский национальный  
технический университет*

**О.М. Воскресенська, В.А. Наумова, М.П. Євстігнєєв, В.П. Євстігнєєв**

### **Класифікація синоптичних процесів штормів в Азово-Чорноморському басейні**

*Виконано класифікацію великомасштабних синоптичних процесів, що призводять до штормових умов в Азово-Чорноморському регіоні, яка базується на об'єктивному методі кластерного аналізу. Здійснено аналіз штормових синоптичних ситуацій в Азово-Чорноморському регіоні з використанням отриманої класифікації за 1954-2008 роки.*

**E.N. Voskresenskaya, V.A. Naumova, M.P. Evstigneev, V.P. Evstigneev**

### **Classification of synoptic processes of storms in the Azov-Black sea region**

*The classification of large-scale synoptic processes leading to the storm conditions in the Azov-Black sea region based on objective method of cluster analysis has been made. Analysis of the storm synoptic situations in Azov-Black sea region has been carried out using the obtained classification during the period of 1954-2008.*