

Междесятилетняя изменчивость ветрового режима в регионе Черного моря

© 2015 Т.М. Баянкина, А.А. Сизов, А.Н. Жуков,
О.И. Комаровская, С.Ф. Пряхина

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия
E-mail: sizov_anatoliy@mail.ru

Поступила в редакцию 05.03.2015 г. После доработки 30.03.2015 г.

Рассматривается пространственная изменчивость аномалий модуля скорости приземного ветра в регионе Черного моря в годы четного и нечетного циклов солнечной активности. Найдено, что в годы четного цикла, когда реализуется преимущественно положительная фаза индекса Североатлантического колебания, над западной частью моря формируется отрицательная аномалия модуля скорости ветра, над восточной частью – положительная. В годы нечетного цикла солнечной активности знак аномалий модуля скорости приземного ветра над западной и восточной частями моря меняется на противоположный.

Ключевые слова: циркуляция атмосферы, солнечная активность, модуль скорости ветра, аномалии давления, Черное море, Североатлантическое колебание.

Введение. Начиная со второй половины XX столетия в прибрежных районах Черного моря наблюдается отрицательный тренд скорости ветра [1]. В то же время на западном побережье Крыма в течение последних 30 лет происходит увеличение скорости ветра западного и юго-западного направлений [2]. По наблюдениям на Южном берегу Крыма (ЮБК), смена направления сильных ветров (25 – 30 м/с) имела некоторую цикличность [3], которая связана с изменчивостью циркуляции атмосферы в Атлантико-Европейском секторе, определяемой индексом Североатлантического колебания (САК). Известно, что поле температуры в западной и восточной частях Черного моря неоднозначно реагирует на изменчивость САК [4]. По некоторым оценкам, так же неоднозначно ведет себя и поле скорости ветра и соответственно – поле ветровых волн. В частности, в [2] показано, что максимальные высоты волн в прибрежной зоне юго-западной части Крыма наблюдались в годы, когда индекс САК имел преимущественно отрицательные значения ($САК \leq -1$). С другой стороны, исследования, проведенные на ЮБК [3, 5], дают основание полагать, что максимальные высоты волн в этом районе наблюдались преимущественно в годы с $САК \geq 1$. Такое различие в проявлении экстремальности волнения в двух указанных районах при положительной и отрицательной фазах САК может быть объяснено особенностью в структуре барического поля над западной и восточной частями Черного моря. Эта особенность формируется циркуляцией атмосферы, представленной индексом САК, который, в свою очередь, заметно отличается в годы четного и нечетного циклов солнечной активности [4].

Цель настоящей работы – исследование пространственной структуры зимних аномалий модуля скорости приземного ветра над акваторией Черного моря в годы четного и нечетного циклов солнечной активности.

Использованный материал и методика исследования. Особенности структуры приземного давления над акваторией Черного моря можно определить, условно разделив бассейн на западную и восточную части по меридиану 34° в. д. Для этого из массива *NCEP/NCAR* [6] выбирались три точки (на широте 42° с. ш.) в западной части моря и две – в восточной. В этих точках рассчитывались средние аномалии приземного давления, а затем вычислялся градиент приземного давления ΔP , гПа (разность аномалий) между западной и восточной частями моря. Все расчеты выполнялись для зимнего сезона (январь, февраль, март).

Модуль скорости приземного ветра в регионе Черного моря выбирался из массива *NCEP/NCAR* [6]. Затем в каждой точке региона вычислялись его средние значения за январь – март 1948 – 2012 гг. ($U_{\text{ср}}$, м/с). Относительно этих средних значений находились отклонения (аномалии) модуля скорости ветра за январь – март каждого года ($U'_i = U_i - U_{\text{ср}}$, где i – номер года). Для расчета пространственной структуры аномалий модуля скорости ветра использовались данные по всему региону Черного моря, ограниченному координатами $40 - 50^\circ$ с. ш., $25 - 42^\circ$ в. д.

Оценка трендовых характеристик модуля скорости ветра осуществлялась по данным береговых гидрометеорологических станций, взятым из архива Морского гидрофизического института РАН (МГИ). Тренды приземного давления оценивались по данным из массива *NCEP/NCAR*.

Полученные результаты и их анализ. Приземное давление над Черным морем формируется циркуляцией атмосферы в Атлантико-Европейском секторе. Климатические тренды атмосферного давления в этом регионе отражают соответствующие тенденции в изменчивости циркуляции атмосферы. В [7, 8] показано, что начиная со второй половины XX столетия индекс САК, характеризующий циркуляцию атмосферы над Европой, проявлял тенденцию к росту. Таким образом, с 1950-х гг. над Европой в зимний сезон преобладал зональный перенос в атмосфере, при этом регион Черного моря находился преимущественно в области антициклонической циркуляции. Этому способствовало также влияние Сибирского антициклона в зимний сезон на этот регион. Отмеченный в [1] отрицательный тренд модуля скорости ветра на береговых гидрометеорологических станциях подтверждает тенденцию к возрастанию влияния Азорского и Сибирского антициклонов на барическое поле Черноморского региона. В этом легко убедиться, если сопоставить междесятилетние изменения приземного давления над Черным морем и в южном отроге Сибирского антициклона. Для большей наглядности представим исходные данные в виде осредненных по годам 11-летних циклов солнечной активности. Исследуемый ряд представлял собой временной интервал с 1948 по 1996 г. Приведем соответствие временных отрезков номерам 11-летних циклов:

Номер цикла	18	19	20	21	22
Годы	1945 – 1954	1955 – 1964	1965 – 1976	1977 – 1986	1987 – 1996

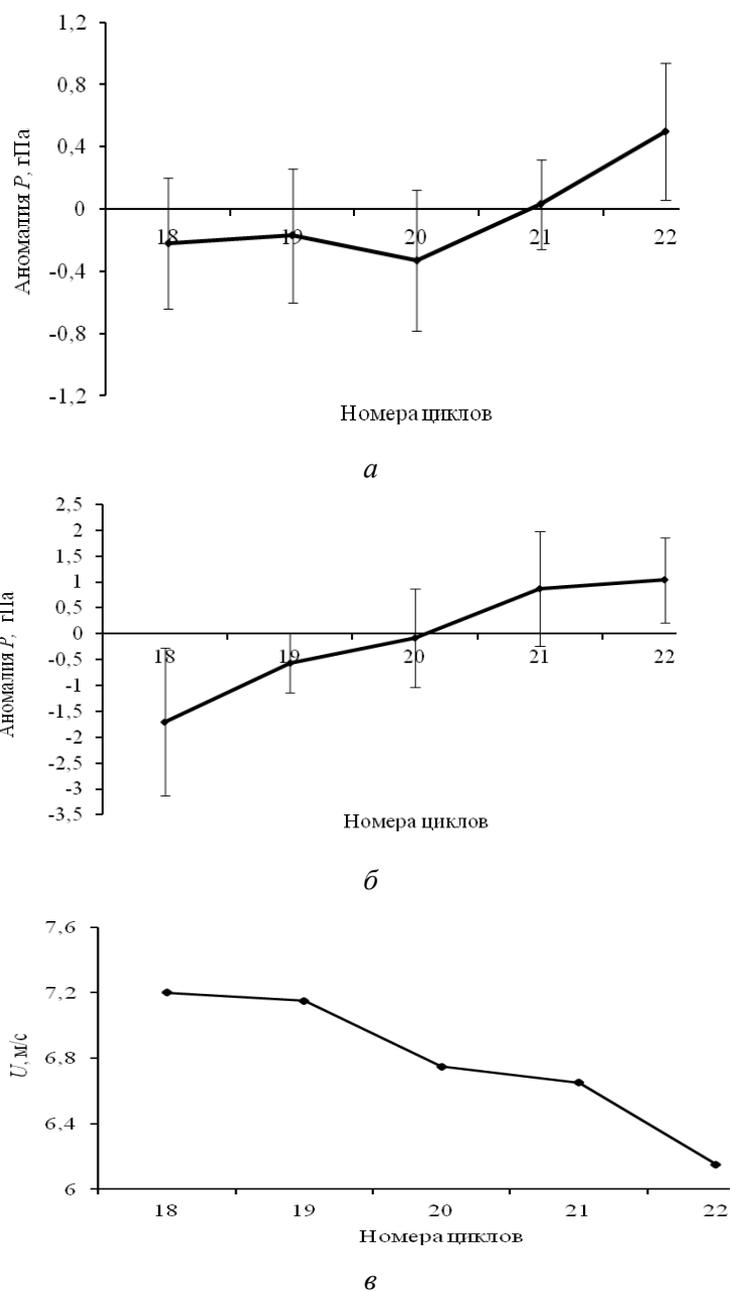


Рис. 1. Междесятилетняя изменчивость средних за январь – март аномалий приземного давления в западной части Черного моря (а), в южном отроге Сибирского антициклона (б) и модуля скорости приземного ветра по данным гидрометеорологической станции «Херсонесский маяк» (в)

В качестве примера междесятилетней изменчивости модуля скорости ветра используем данные гидрометеостанции «Херсонесский маяк», а приземное давление над западной частью Черного моря и районом оз. Балхаш ($40 - 50^\circ$ с. ш., $70 - 80^\circ$ в. д.) возьмем из массива *NCEP/NCAR* [6]. Заметим, что изменчивость аномалий приземного давления над западной частью Чер-

МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ № 4 2015 31

ного моря полностью соответствует подобной изменчивости над всей акваторией моря. На рис. 1, *a*, *б* показан характер изменчивости этих параметров за исследуемый временной интервал, на рис. 1, *в* – модуль скорости ветра.

Хорошо видно, что во второй половине XX столетия прослеживалась устойчивая тенденция к росту приземного давления над акваторией Черного моря и в южном отроге Сибирского антициклона. Особенно отчетливо этот процесс в Черноморском регионе проявился со второй половины 1970-х гг., в годы так называемого климатического сдвига (*climatic shift*) [9]. С этого временного интервала над регионом Черного моря стала, по-видимому, интенсивно формироваться область повышенного атмосферного давления, характеризующаяся преобладанием антициклонических условий циркуляции атмосферы. Естественно, такая тенденция в изменчивости барического поля над Черным морем привела к отрицательному тренду скорости приземного ветра в исследуемые годы.

Наряду с отмеченной фоновой тенденцией в поле приземного давления региона Черного моря существуют и более «тонкие» особенности в характере его перераспределения между западной и восточной частями моря. Как было показано в [4], эти особенности, представленные в виде разности аномалий давления между западной и восточной частями моря, позволяют оценить смену знака ΔP в зависимости от циркуляции атмосферы в Атлантико-Европейском секторе. На рис. 2, *a* показана междесятилетняя изменчивость градиента давления ΔP в зависимости от индекса САК.

Как следует из рис. 2, *б*, минимальные значения САК наблюдались в годы 19-го цикла, т. е. в годы максимума векового цикла солнечной активности [7, 8]. В дальнейшем, к концу XX столетия, индекс САК непрерывно возрастал. Это свидетельствует о положительном тренде давления в Азорском максимуме в рассматриваемый временной интервал. Сравнение с рис. 1, *б* позволяет предположить, что во второй половине XX столетия в изменчивости Азорского и Сибирского максимумов наблюдался положительный тренд. Согласно [10], при больших положительных значениях САК траектории циклонов смещаются на север Европы, создавая над югом континента преимущественно антициклонические условия циркуляции. Но наиболее значимое изменение циркуляции атмосферы над Черным морем произошло при достижении САК величины 0,5 в годы климатического сдвига (21-й цикл солнечной активности). По оценкам [7], величина САК = $\pm 0,5$ характеризует климатические условия циркуляции атмосферы. Наблюдавшиеся в начале XXI в. значения САК = 0,44 дают основание полагать, что в ближайшие годы регион Черного моря будет находиться под воздействием условий циркуляции атмосферы, близких к климатической норме. К чему это может привести в поле градиента приземного давления над акваторией моря? Как следует из рис. 2, *a*, в годы преимущественно низких значений САК приземное давление над западной частью моря выше, чем над восточной. В годы высоких значений САК ситуация противоположная. Амплитуды приземного давления невелики, но подобное перераспределение приземного барического поля между западной и восточной частями моря может повлиять на формирование (трансформацию) барических систем в нижней тропосфере, что, безусловно, должно отразиться на особенностях формирования полей приземного ветра.

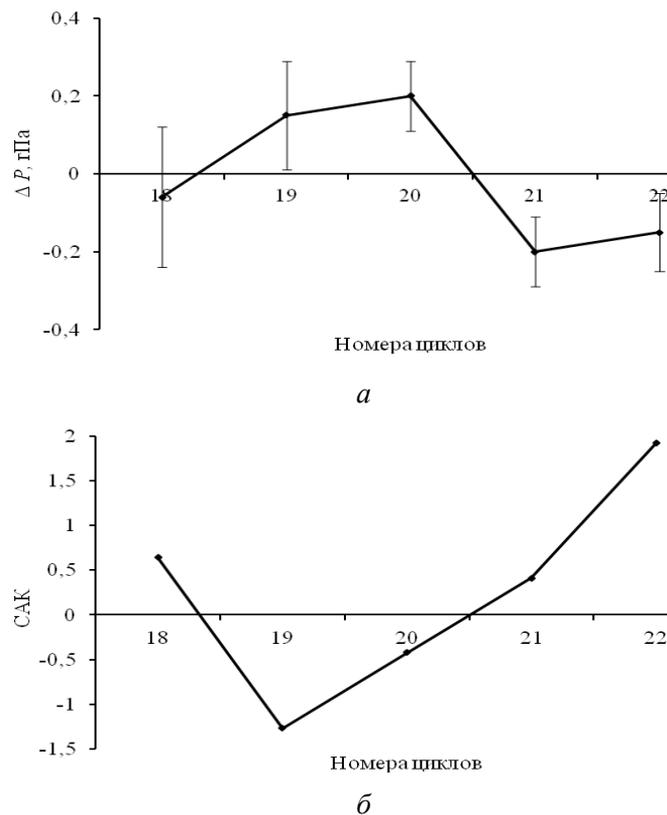


Рис. 2. Междесятилетняя изменчивость разности аномалий приземного давления между западной и восточной частями Черного моря (*а*) и индекса САК (*б*)

Необходимо учитывать, что, как правило, индекс САК в годы четного цикла солнечной активности принимает более высокие значения, чем в годы нечетного цикла. По нашим оценкам, $САК = 0,5 (\pm 0,5)$ (осредненные значения по 6 четным циклам солнечной активности) и $САК = 0,04 (\pm 0,41)$ (значения, осредненные по 7 нечетным циклам). В скобках у величин индекса САК показаны доверительные интервалы, соответствующие доверительной вероятности 95%. Заметим, что, согласно гипотезе о равенстве двух центров распределения [11], разность между индексами САК в четный и нечетный циклы солнечной активности также значима на уровне 95%.

Принимая во внимание этот результат, обратимся к анализу пространственного распределения аномалий модуля скорости приземного ветра в регионе Черного моря, которое показано на рис. 3. Для большей наглядности аномалии представлены на площади, превышающей акваторию Черного моря. Видно, что в годы четного цикла солнечной активности, когда САК принимает максимальные значения и приземное давление над западной частью моря ниже, чем над восточной, скорость приземного ветра над восточной частью становится максимальной, а над западной – минимальной (рис. 3, *а*). В годы нечетного цикла солнечной активности, когда приземное давление над восточной частью моря ниже, чем над западной, скорость приземного ветра

над восточной частью становится меньше, чем над западной (рис. 3, б). Эти особенности пространственного распределения аномалий модуля скорости приземного ветра позволяют ожидать, что в годы четного цикла солнечной активности над восточной частью моря в зимний сезон с высокой вероятностью будут реализовываться ветровые условия, превышающие климатические нормы. Таким образом, над восточной частью Черного моря скорость ветра, вероятнее всего, будет выше, чем над западной.

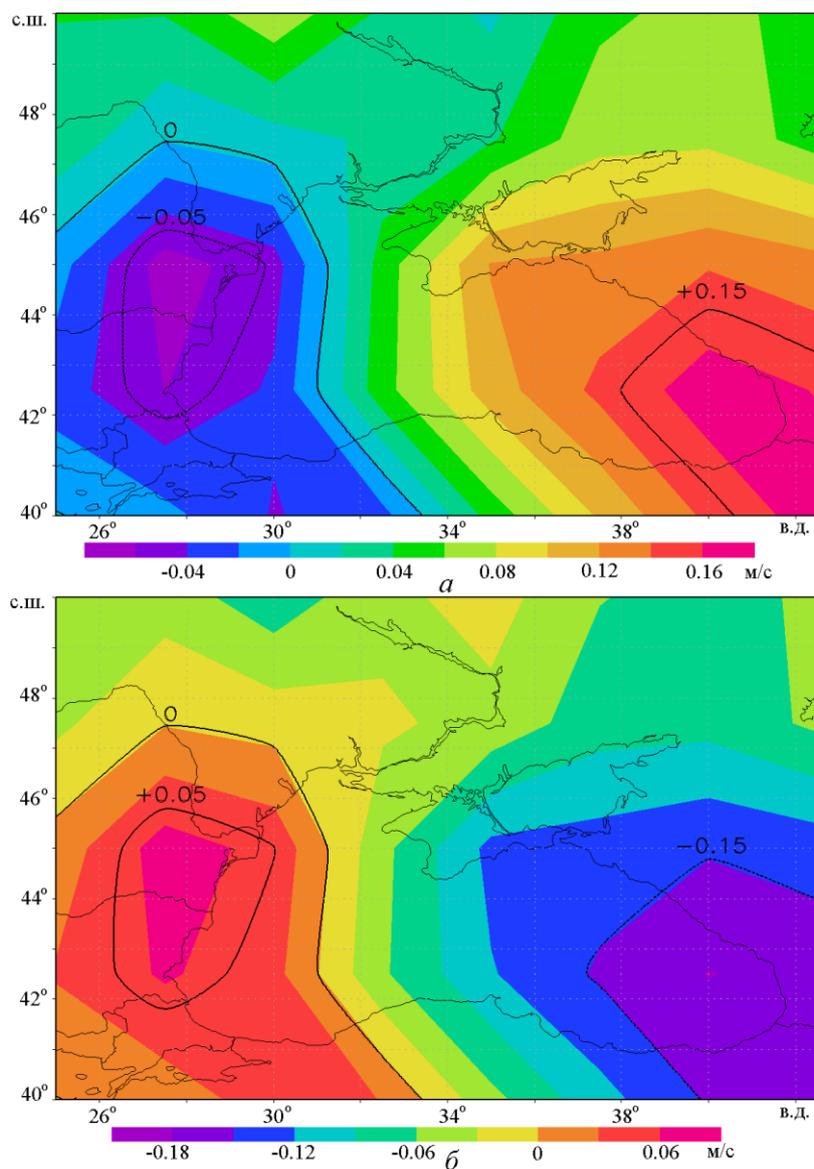


Рис. 3. Пространственное распределение аномалий модуля скорости приземного ветра в годы четного (а) и нечетного (б) циклов солнечной активности

Заключение. Решение поставленной задачи, заключающейся в поиске ответа на вопрос о неоднозначности реакции поля приземного ветра на возмущение барического поля в регионе Черного моря в годы четного и нечетного циклов солнечной активности, позволило получить следующие результаты.

Приземное барическое поле над акваторией Черного моря во второй половине XX столетия проявляло тенденцию к росту. Особенно заметным этот рост стал с 1977 г. (21-й цикл солнечной активности), когда, по некоторым оценкам, в климатической системе наметился сдвиг. Рост приземного давления, создавая условия, характерные для антициклонической циркуляции атмосферы над Черным морем, приводил к тому, что приземный ветер на береговых станциях непрерывно уменьшался.

Циркуляция атмосферы в Атлантико-Европейском секторе, определяемая индексом САК, начиная с 19-го цикла (1955 – 1964 гг.) имела тенденцию к зональности, которая наиболее явно проявилась в годы климатического сдвига (21-й и 22-й циклы солнечной активности). При этом разность аномалий приземного давления между западной и восточной частями Черного моря была максимальной в годы отрицательной фазы САК и минимальной – в годы положительной фазы. Это означает, что в годы минимальных значений САК приземное давление над западной частью моря выше, чем над восточной. В годы максимальных значений САК, наоборот, приземное давление над восточной частью моря выше, чем над западной. Такое неравномерное распределение аномалий давления приводит к знакопеременному распределению аномалий модуля скорости приземного ветра над регионом Черного моря. С учетом того, что положительная фаза САК реализуется преимущественно в годы четного цикла солнечной активности, а отрицательная – в годы нечетного цикла, были получены оценки пространственного распределения аномалий модуля скорости приземного ветра над регионом моря. Установлено, что в годы четного цикла максимальные скорости приземного ветра наблюдаются над восточной частью моря, минимальные – над западной. В годы нечетного цикла знак аномалий модуля скорости приземного ветра над восточной и западной частями Черного моря меняется.

В настоящее время климатическая система Черного моря находится в режиме четного цикла солнечной активности (24-й цикл). С большой долей вероятности можно ожидать, что зимы текущего временного интервала будут характеризоваться повышенными скоростями ветра над восточной частью моря и пониженными – над западной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н., Липченко М.М.* Ветры и волнение в прибрежной зоне юго-западной части Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – Вып. 9. – С. 13 – 28.
2. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А.* Изменение климата и динамика берегов Украины // Доповіді НАН України. – 2008. – № 10. – С. 118 – 122.

3. Куклин А.К., Куклина Н.Я., Шабалина О.А. и др. Экстремальные значения высот и периодов морских волн в районе Южного берега Крыма // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. – Вып. 19. – С. 156 – 161.
4. Сизов А.А., Чехлан А.Е., Анисимов А.Е. Аномалии поверхностной температуры Черного моря в годы четного и нечетного циклов солнечной активности // Морской гидрофизический журнал. – 2013. – № 4. – С. 51 – 60.
5. Гармаилов А.В., Коровушкин А.И., Полонский А.Б., Толочков Ю.Н. Гидрометеорологические условия на Черноморском подспутниковом полигоне // Тез. докладов международной научной конференции «Современное состояние и перспективы наращивания морского ресурсного потенциала Юга России». – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. – С. 133 – 135.
6. Kalney E., Kanamitsu M., Kistler R. et al. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project // Bull. Amer. Meteorol. Soc. – 1996. – 77. – P. 437–471.
7. Еремеев В.Н., Жуков А.Н., Крашенинникова М.А., Сизов А.А. Климатическая изменчивость индекса Северо-Атлантического колебания (САК) и связанные с ней флуктуации температуры // Изв. РАН. Сер. географическая. – 2014. – № 2. – С. 53 – 60.
8. Еремеев В.Н., Жуков А.Н., Крашенинникова М.А., Сизов А.А. Волновые процессы в изменчивости поверхностной температуры Черного моря // ДАН. – 2012. – 443, № 1. – С. 112 – 115.
9. Tsonis A.A., Swanson K., Kravtsov S. A new dynamical mechanism for major climate shifts // Geophys. Res. Lett. – 2007. – 34, L13705. – doi:10.1029/2007GL030288.
10. Rogers J.C. North Atlantic storm track variability and its association to the North Atlantic oscillation and climate variability of Northern Europe // J. Clim. – 1977. – 10. – P. 1635 – 1647.
11. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. – М.: Наука, 1965. – 511 с.

Inter-decadal variability of wind mode in the Black Sea region

**T.M. Bayankina, A.A. Sizov, A.N. Zhukov, O.I. Komarovskaya,
S.F. Pryakhina**

*Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia
e-mail: sizov_anatoliy@mail.ru*

Spatial variability of anomalies of the surface wind velocity module in the Black Sea region during even and odd cycles of solar activity (s. a.) is considered. It is found that during the even cycle, i.e. when the positive phase of the North Atlantic oscillation (NAO) index is mainly predominant, negative anomaly of the wind velocity module is formed above the western part of the sea, whereas positive one – above the eastern part. During the odd cycle of solar activity the signs of the surface wind anomalies' modules above the western and eastern parts of the sea are changed into opposite ones.

Keywords: atmospheric circulation, solar activity, wind velocity module, pressure anomalies, Black Sea, North Atlantic oscillation.