

14. Muratov, M. V. (1975). Istoriya geologicheskogo razvitiya vpadiny Chernogo moray I okruzhauschih yeye oblastey [The history of geological development of the Black Sea basin and surrounding areas]. Zemnaya kora I istoriya rozvitiya Chernomorskoj vpadiny [The earth's crust and the history of the Black Sea basin]. Nauka, 123–131.

15. Sulimov, I. N., Zelinskiy, I. P., Moroz, S. A., Larchenkov, E. P. (1984). Tektonika Chernogo moray kak osnova prognoza neftegazonosnosti [Tectonics of the Black Sea as a basis for the forecast of oil and gas potential]. The global tectonic regularities of oil and gas. Moscow: Science, 112–119.

16. Melnik, V. I. (1993). Mesoformy relefa materikovogo klona zapadnogo I severnogo sektorov Chernogo morya [Mesofoms of the relief of the continental slope of the western and northern sectors of the Black Sea]. Kyiv, 51.

17. Roberts, D. G. (1972). Slumping on the eastern margin of the Rockall Bank, North Atlantic Ocean. Marine Geology, 13 (4), 225–237. doi: 10.1016/0025-3227(72)90052-7

18. Ryan, W. B. F., Pitman, W. C., Major, C. O., Shimkus, K. et al. (1997). An abrupt drowning of the Black Sea shelf. Marine Geology, 138 (1–2), 119–126. doi: 10.1016/s0025-3227(97)00007-8

19. Pitman, W. (1998) Noah's Flood: the New Scientific Discoveries about Events that Changed History. Simon and Schuster, New York.

20. Yanko-Hombach, V., Mudie, P. J., Kadurin, S., Larchenkov, E. (2014). Holocene marine transgression in the Black Sea: New evidence from the northwestern Black Sea shelf. Quaternary International, 345, 100–118. doi: 10.1016/j.quaint.2013.07.027

Рекомендовано до публікації д-р геол.-мінерал. наук Ємельянов В. О.

Дата надходження рукопису 24.07.2015

Нікітіна Анна Олексіївна, аспірант, Провідний інженер відділу сучасного морського седиментогенезу, Інститут геологічних наук НАН України, вул. О. Гончара, 556, м. Київ, Україна, 01601
E-mail: eva@nas.gov.ua

УДК 911.2; 551.513

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.48198

АТМОСФЕРНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ И СЕВЕРОАТЛАНТИЧЕСКОЕ КОЛЕБАНИЕ

© А. В. Холопцев, Д. А. Астафьева, М. П. Никифорова

Выявлены условия, при которых статистические связи межгодовых изменений суммарных продолжительностей периодов преобладания в Северном полушарии Земли ЭЦМ, относящихся к группам МС и МЮ, с вариациями состояния Северо-Атлантического колебания, являются значимыми. Показано, что происходящие в современном периоде изменения характеристик этих связей могут быть обусловлены изменениями распределения поверхностных температур Мирового океана

Ключевые слова: элементарный циркуляционный механизм, Арктическая осцилляция, температура поверхности океана, межгодовые изменения

Conditions under which statistical connections of interannual changes of repetition of duration periods in Northern hemisphere of elementary circulation mechanisms associated to meridional northern and meridional southern groups with variations of North Atlantic oscillation are significant were revealed. It is shown, that the characteristics changes of these connections taking place in modern period can be caused by distribution changes of distribution of sea surface temperatures

Keywords: elementary circulation mechanism, Arctic oscillation, sea surface temperature, interannual changes

1. Введение

Атмосферная циркуляция является одним из важнейших факторов развития ландшафтной оболочки и всей климатической системы нашей планеты. Поэтому развитие представлений об особенностях влияния на нее различных природных процессов является актуальной проблемой не только метеорологии, но также физической географии, геофизики ландшафтов и биогеографии.

Наибольший интерес решение рассматриваемой проблемы представляет в отношении процессов, воздействующих на циркуляцию атмосферы в Северном полушарии нашей планеты, где проживает основная часть ее населения и размещается практически вся Мировая экономика. Одним из таких процессов является Северо-Атлантическое колебание (далее

САК) – квазипериодические изменения разности атмосферного давления между Азорским максимумом и Исландским минимумом.

2. Обзор литературы

САК является одним из наиболее мощных барических сигналов, воздействующих на атмосферную циркуляцию. Так как подобные вариации поля атмосферного давления обусловлены изменениями потоков тепла и водяного пара, поступающих в атмосферу над различными участками земной поверхности, принято считать, что главной причиной существования САК является взаимодействие с атмосферой различных участков поверхности Северной Атлантики [1–4]. Районы Северной Атлантики, в которых межгодовые вариации аномалий среднемесячных

значений их поверхностных температур (далее ТПО) значимо связаны с совпадающими по времени изменениями индекса САК действительно выявлены [5].

САК впервые было описано Г. Т. Уолкером и Блоссом в 1933 г. [6]. Ими установлено, что САК управляет интенсивностью геострофического переноса воздушных масс с Северной Атлантики на Европу, а также траекториями движения над ней атлантических циклонов.

Наиболее ощутимым влияние САК является зимой. Оно способно влиять на состояние синоптических процессов во всем Северном полушарии [4].

Выявлено подобие некоторых особенности межгодовых изменений состояний САК, а также Арктической осцилляции [7, 8], что позволяет рассматривать эти процессы как главные факторы межгодовой и долгопериодной изменчивости циркуляции внетропической тропосферы и стратосферы над Арктикой.

Главной характеристикой состояния рассматриваемого процесса является индекс САК. Он является одним из глобальных климатических индексов, которые характеризуют состояние поля атмосферного давления в Евroatлантическом регионе Северного полушария.

Изменчивость индекса САК в зимние месяцы во многом определяет особенности происходящих в указанном регионе синоптических процессов. При положительных значениях данного индекса меридиональные составляющие атмосферной циркуляции над Европой ослабевают, а зональные усиливаются, а при его отрицательных значениях происходят противоположные изменения.

Наиболее длинные временные ряды значений индекса САК, усредненных за период с декабря по март, соответствующие периоду с 1823 г. и по настоящее время, представлены на сайте университета Восточной Англии. Эти значения рассчитаны как разность нормированных значений атмосферного давления на уровне моря, измеренных на станциях Гибралтар и Рейкьявик (Исландия).

Временные ряды значений данного индекса, вычисленных как разность нормированных значений давления на станции Лиссабон (Португалия) и станции Рейкьявик (Исландия), которые усреднены за те же месяцы, для периода 1860 – 2006 гг. представлены на сайте NCAR. Кроме того там же для периода 1899–2006 гг. представлены значения индекса САК, усредненные за тот или иной год, сезон и месяц.

С 1950 г. расчет значений индекса САК также производится по первой составляющей разложения эмпирических ортогональных функций (ЭОФ) поля давления на уровне моря для зоны Северного полушария, расположенной к северу от параллели 20°N. Вычисленные таким образом значения индекса за каждые сутки, месяц и календарный сезон нормализуются относительно базового периода 1979–2000 гг. Они представлены на сайте Климатического прогнозистического центра США (CPC/NCER/NOAA) [9].

Несмотря на то, что изучению закономерностей, обуславливающих влияние САК на изменения характеристик атмосферной циркуляции в Северном полушарии Земли, посвящены работы многих отече-

ственных и зарубежных авторов [1–8, 10, 11], многие его особенности ныне исследованы недостаточно.

Последнее относится в частности к дальним связям САК с межгодовыми вариациями аномалий среднемесячных значений ТПО других регионов Мирового океана. Поскольку учет таких связей при моделировании и прогнозировании изменчивости индекса САК способствовал бы повышению качества их результатов, их выявление является практически значимым.

Не менее актуальным является также выявление условий, при которых результаты мониторинга состояния САК целесообразно учитывать при моделировании и прогнозировании вариаций состояния атмосферной циркуляции во всем Северном полушарии.

Количество факторов, влияющих на изменения атмосферной циркуляции, весьма велико. К тому же многие из них не являются наблюдаемыми. Вследствие этого в вариациях состояния атмосферной циркуляции над Северным полушарием, как правило, присутствует мощная случайная составляющая. Наряду с ней в этих вариациях присутствует и детерминированная компонента. Закономерности формирования последней также представляют собой весьма интересный предмет физико-географического исследования.

Впервые предположил существование в синоптических процессах подобных детерминированных компонент, а также возможность их типизации, в 1915 г. Б. П. Мультановский, который, для обозначения системы воздушных течений и распределения атмосферного давления над естественным синоптическим районом, которые, как правило, сохраняются на протяжении 3–4 суток, ввел в метеорологию термин: «элементарный синоптический процесс». Подобные процессы в каждом естественном синоптическом районе сменяются квазициклически, что позволяет рассматривать устойчиво повторяющиеся их последовательности, как «естественные синоптические периоды» [12].

В 1944 г. Х. Виллетт [13, 14] и К. Г. Россби [15] установили, что квазициклическая смена структур атмосферной циркуляции происходит не только в естественных синоптических районах, но и во всей земной атмосфере. По оценкам Х. Виллетта и К. Г. Россби средняя продолжительность цикла таких изменений составляет 3–4 недели (для южного полушария это 18–23 суток, а для северного полушария 20–26 суток) [16].

Значительным вкладом в развитие современных представлений о межгодовой и сезонной изменчивости преобладающих типов макроциркуляционных процессов в Северном полушарии Земли явились работы Г. Я. Вангейма [17], Б. Л. Дзердиевского [18] и А. А. Гирса [19].

Б. Л. Дзердиевским, а также его ученицами В. М. Курганской и З. М. Витвицкой осуществлен анализ ежесуточных синоптических карт для Северного полушария за 1936–1946 гг. Это позволило предложить схему типизации происходящих здесь синоптических процессов, которая основана на учете перемещений циклонов и антициклонов во внетропических широтах.

В соответствии с упомянутой схемой в Северном полушарии существует 41 вид макроциркуляционных процессов, которые различаются между собой по направлению и количеству арктических блокингов, а также выходов южных циклонов. Соответствующие этим видам системы воздушных течений, обеспечивающие происходящий в данном полушарии воздухообмен и теплообмен, получили название элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ).

Устойчивость того или иного ЭЦМ сохраняется на протяжении в среднем 4–6 суток, а переход к каким либо другим ЭЦМ происходит практически скачкообразно.

Упомянутые виды ЭЦМ объединены в 13 типов, которые различаются наличием или отсутствием блокирующих процессов и их направлениями. В зависимости от количества блокирующих процессов выявленные типы ЭЦМ отнесены к 4 группам: зональной (З), нарушенной зональной (НЗ), меридиональной северной (МС) и меридиональной южной (МЮ).

Типы ЭЦМ 1 и 2, при которых над Арктикой атмосферное давление повышено, блокирующие процессы отсутствуют, отмечаются одновременные выходы южных циклонов в двух – трех секторах полушария, отнесены к группе З.

Типы ЭЦМ 3–7, для которых характерно расположение антициклона в районе Северного полюса, а также происходит один арктический блокинг и имеет место до трех выходов южных циклонов, вошли в группу НЗ.

Типы ЭЦМ 8–12, при которых атмосферное давление в районе Северного полюса также повышено, но блокирующих процессов происходят 2–4, а также наблюдается 2–4 выхода южных циклонов, образуют группу МС.

Единственный тип ЭЦМ (№ 13), при котором над Арктикой располагается область пониженного атмосферного давления, происходит развитие циклонической деятельности на арктическом фронте, а также наблюдается вхождение из низких широт в высокие трех – четырех циклонов, представляет группу МЮ.

ЭЦМ, относящиеся к группе МЮ, чаще наблюдаются летом. При этом выходов южных циклонов происходит четыре, а атмосферное давление над материками понижено. В период их возникновения зимой наблюдается три выхода южных циклонов, а атмосферное давление над материками повышено.

Изменения суммарных продолжительностей на протяжении года периодов преобладания в Северном полушарии ЭЦМ, относящихся к той или иной группе в период с 1899 г., изучены в [20]. Показано, что ЭЦМ, входящие в группу З, преобладали в Северном полушарии в начале XX в. В его 20–40-е годы господствовали ЭЦМ, относящиеся к группе НЗ. Приблизительно с середины 50-х годов XX в. доминируют ЭЦМ, которые входят в группу МЮ, а суммарные продолжительности периодов преобладания ЭЦМ НЗ и З снижаются, а ЭЦМ МС возрастают.

В XXI веке суммарные продолжительности за год периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группам НЗ и МЮ, уменьшаются, для ЭЦМ группы З

они практически равны нулю, а для ЭЦМ группы МС возросли до уровня, соответствующего ЭЦМ МЮ.

Несмотря на то, что изучению закономерностей, которые вызывают смену ЭЦМ в Северном полушарии нашей планеты, а также изменения суммарных продолжительностей периодов преобладания различных их групп посвящены работы многих отечественных и зарубежных авторов, причины, вызывающие эти явления, до сих пор не установлены [21]. Принято считать, что сигналы, при появлении которых происходит «переключение» одного вида ЭЦМ на другой, формируются в результате взаимодействия океана и атмосферы [1–4, 22]. Тем не менее, океанические районы, в которых межгодовые изменения их ТПО значимо связаны с вариациями суммарных продолжительностей периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к той или иной группе, не выявлены.

Как следует из изложенного, современным представлениям о связях атмосферной циркуляции, САК, а также распределения ТПО различных районов Мирового океана, не противоречат следующие гипотезы.

1. Изменения суммарных продолжительностей периодов преобладания в Северном полушарии ЭЦМ, относящихся к тем или иным группам и вариации состояния САК в некоторые месяцы между собой значимо статистически связаны.

2. Существуют океанические районы, в которых вариации их ТПО способны значимо влиять на изменения как суммарной продолжительности периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к той или иной группе, так и индекса САК.

3. Постановка задач

Мониторинг изменчивости поля атмосферного давления в Северном полушарии Земли осуществляется многими его метеорологическими обсерваториями, а оцененные по его результатам значения индекса САК за каждый месяц представлены в [9]. Наблюдения за изменениями ТПО многих акваторий Мирового океана, также производятся систематически, а полученные при этом временные ряды аномалий среднемесячных значений данной характеристики представлены в [23]. Оценки суммарных продолжительностей в том или ином месяце периодов преобладания в Северном полушарии Земли ЭЦМ, относящихся к той или иной группе, представлены в [24].

Несмотря на это ранее адекватность выдвинутых гипотез не проверялась, а условия, при которых статистические связи между рассматриваемыми процессами являются значимыми, изучены недостаточно.

Это не позволяет использовать результаты мониторинга индекса САК, а также ТПО соответствующих океанических районов, при моделировании и прогнозировании изменений суммарных продолжительностей периодов преобладания в Северном полушарии Земли ЭЦМ, относящихся к тем или иным группам. По указанной причине изучение связей между данными процессами, а также проверка адекватности выдвинутых гипотез пред-

ставляют существенный теоретический и практический интерес.

Учитывая изложенное в качестве объекта исследования в данной работе выбраны межгодовые изменения суммарных продолжительностей периодов преобладания в земной атмосфере ЭЦМ, относящихся к группам МЮ, МС и НЗ, а также вариации индекса САК и ТПО различных районов Мирового океана, соответствующие различным месяцам.

Предметом исследования являются статистические связи межгодовых изменений суммарных продолжительностей периодов преобладания в земной атмосфере ЭЦМ, относящихся к различным группам, а также вариаций индекса САК и ТПО различных океанических районов, существующие в те или иные месяцы.

Целью работы является проверка адекватности выдвинутых гипотез, а также выявление условий, при которых статистические связи между рассматриваемыми процессами являются наиболее сильными.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

– определение условий, при которых статистические связи между вариациями индекса САК, а также изменениями суммарных продолжительностей в том или ином месяце периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группам МЮ, МС и НЗ, являются значимыми;

– выявление районов Мирового океана, в которых межгодовые вариации их ТПО значимо статистически связаны с изменениями суммарных продолжительностей периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к изучаемым группам, а также с изменениями индекса АО, которые опережают их на некоторое время δ (быть может равное и нулю).

4. Методика исследований и фактический материал

Как известно, широко применяемой на практике количественной мерой значимости статистической связи между реализациями двух стационарных случайных процессов является α – отношение модуля коэффициента их парной корреляции к соответствующему уровню порога достоверной корреляции по критерию Стьюдента [25, 26].

Применение указанной меры является вполне корректным, если изучаемые процессы стационарны, а также являются гауссовыми.

В рассматриваемой задаче гауссовость исследуемых многофакторных процессов можно предположить, основываясь на центральной предельной теореме теории вероятностей, а также подтвердив адекватность этого предположения с использованием критерия Пирсона. Вместе с тем, каких либо фактов, позволяющих допускать эти процессы стационарными, не установлено. Более того, выявленные особенности данных процессов позволяют предполагать более вероятной противоположную гипотезу.

По указанной причине применение рассматриваемой меры значимости статистической связи между процессами в рассматриваемой задаче является не вполне корректным. Тем не менее, известные преи-

мущества данной меры и возможность ее применения при выявлении наиболее сильных статистических связей между изучаемыми процессами обусловили целесообразность применения для решения поставленных задач метода корреляционного анализа [25].

При этом использовано допущение, согласно которому связь между некоторыми процессами является значимой, если значение указанной меры, оцененное для сопоставляемых фрагментов их временных рядов, превышает единицу.

При решении первой задачи, с использованием указанного метода, для каждой из рассматриваемых групп ЭЦМ, и каждого месяца определены временные сдвиги δ между изменениями суммарной продолжительности периода ее преобладания, а также вариациями индекса САК, при которых статистические связи между ними являются значимыми. Кроме того аналогичным образом определена оптимальная длина сопоставляемых фрагментов временных рядов рассматриваемых процессов, при которых отношение максимального значения модуля коэффициента их корреляции к уровню 95 % порога является наибольшим.

Для каждого месяца изучена также зависимость силы связи между фрагментами изучаемых процессов, обладающими оптимальной длиной, от года их начала. Это позволило выявить статистические связи между рассматриваемыми процессами, которые за период их изучения устойчиво усиливались и ныне являются наиболее значимыми.

Нетрудно видеть, что для сценария будущего, при котором основные закономерности изучаемых процессов сохраняются неизменными, вероятность того, что статистические связи между ними, обладающие указанными свойствами, внезапно перестанут быть значимыми, является минимальной. Следовательно, вероятность того, что прогнозы данных процессов, разработанные с учетом таких связей, окажутся адекватными, максимальна. Поэтому выявление подобных связей представляет немалый теоретический и практический интерес.

При решении второй задачи для каждого такого месяца определены расположения районов Мирового океана, где межгодовые изменения их ТПО значимо связаны с вариациями как суммарных продолжительностей периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к той или иной рассматриваемой группе, так и индекса САК. При оценке значимости связи между рассматриваемыми процессами анализировались фрагменты их временных рядов оптимальной длины, значение которой установлено в ходе решения первой задачи.

Связь признается значимой, если модуль произведения коэффициента корреляции межгодовых изменений ТПО в рассматриваемом океаническом районе с вариациями индекса САК, на коэффициент их корреляции с вариациями суммарной продолжительности периодов преобладания ЭЦМ, относящейся к некоторой группе, превышает уровень, соответствующий квадрату 95 % порога достоверной корреляции по критерию Стьюдента для изучаемых фрагментов временных рядов.

При отображении на контурных картах океанов границ областей, которые включают все выявленные для некоторого месяца подобные районы, использован метод триангуляции Делоне [27].

При решении поставленных задач как фактический материал об изменениях суммарных продолжительностей в том или ином месяце периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группам МЮ, НЗ и МС, использованы временные ряды, которые получены из [24]. Упомянутые временные ряды, сформированы по методике Б. Л. Дзердиевского и соответствуют периоду 1899–2013 гг.

Как фактический материал об изменениях среднемесячных значений индекса САК, использованы соответствующие каждому месяцу временные ряды, представленные на сайте Климатического прогностического центра США (CPCC/NCPC/NOAA) [9]. Указанные ряды соответствуют периоду, начинающемуся с января 1950 г.

Как фактический материал об изменениях ТПО различных районов Мирового океана использованы результаты реанализа среднемесячных значений их аномалий, временные ряды которых, представлены в [23]. При этом учитывались все океанические районы, размерами $5^\circ \times 5^\circ$, в которых в период с января 1950 г. пропуски данных отсутствуют. Подобные районы расположены в Тихом, Атлантическом,

Индийском океане, а также Северо-Европейском бассейне Северного Ледовитого океана.

5. Результаты исследования и их анализ

Поскольку изменения характеристик атмосферной циркуляции – процесс относительно малоинерционный, а их причинами, равно как и изменениями индекса САК, являются соответствующие вариации поля атмосферного давления, следовало ожидать, что значимые статистические связи между их временными рядами могут существовать при условии, что сопоставляемые фрагменты данных рядов совпадают по времени.

В результате решения первой задачи выявлены месяцы, для которых между рассматриваемыми процессами подобные связи действительно существуют. При этом максимальных уровней соответствующие им значения α достигают при анализе фрагментов временных рядов, содержащих 43 члена.

В табл. 1, в качестве примера, приведены максимальные значения α , характеризующих связи фрагментов временных рядов суммарных продолжительностей в том или ином месяце периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группам МЮ, НЗ и МС, а также фрагментов рядов индекса САК, длиной 43 члена, которые соответствуют периоду 1970–2012 гг. и совпадают по времени.

Таблица 1

Максимальные значения α_{\max} для статистических связей между совпадающими по времени фрагментами временных рядов суммарных продолжительностей периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группам МЮ, НЗ и МС, а также индекса САК, длиной 43 члена, соответствующие периоду 1970–2012 гг.

	ЭЦМ МЮ	ЭЦМ МС	ЭЦМ НЗ
Месяц	α_{\max}	α_{\max}	α_{\max}
Январь	0,575	0,855	0,634
Февраль	1,041	0,977	0,509
Март	1,840	1,461	0,353
Апрель	0,090	0,027	0,527
Май	1,132	0,990	0,705
Июнь	1,098	1,413	0,518
Июль	0,593	1,250	0,333
Август	1,076	0,936	0,454
Сентябрь	0,272	0,243	0,898
Октябрь	0,465	1,022	0,842
Ноябрь	1,232	1,396	0,093
Декабрь	0,481	0,653	0,713

Из табл. 1 видно, что значимыми в период с 1970 по 2012 гг. являлись статистические связи межгодовых изменений индекса САК в некоторые месяцы лишь с вариациями суммарных продолжительностей периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группам МЮ и МС. При этом наиболее сильными подобные статистические связи были в марте. $\alpha_{\max}=1,84$

Связи межгодовых изменений индекса САК с вариациями суммарных продолжительностей периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группе НЗ не являлись значимыми в любые месяцы и на любых отрезках времени длиной 43 года, начинающимися после 1950 г.

Учитывая это, на рис. 1 приведены зависимости значений α_{\max} для совпадающих по времени фрагм-

ентов временных рядов суммарных продолжительностей в марте периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группам МЮ и МС, а также индекса САК, длиной 43 члена.

Из рис. 1 следует, что в период после 1965 г. в изменениях максимальной значимости α_{\max} связей между совпадающими по времени фрагментами временных рядов суммарных продолжительностей в марте периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группам МЮ и МС, а также индекса САК, преобладали тенденции к ее возрастанию. При этом на любых отрезках времени длиной 43 года связи между этими процессами являлись значимыми.



Рис. 1. Изменения максимальной значимости α_{max} связей между совпадающими по времени фрагментами временных рядов суммарных продолжительностей в марте периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группам МЮ и МС, а также индекса САК, длиной 43 члена

Выявленные особенности позволили предположить, что с наибольшей вероятностью связи между данными процессами останутся значимыми и в будущем, а значит, их целесообразно учитывать при их моделировании и прогнозировании. Аналогичные особенности выявлены также для таких месяцев, как февраль, май, июнь, август и ноябрь.

Установлено также, что значимыми могут являться статистические связи между рассматриваемыми процессами и в случаях, когда фрагменты временных рядов САК опережают фрагменты рядов суммарных продолжительностей периодов преобладания ЭЦМ на некоторое количество месяцев.

Как пример, на рис. 2 приведены взаимно корреляционные функции (ВКФ) изменений суммарных продолжительностей периодов преобладания ЭЦМ МЮ и МС в марте, а также опережающих их по времени вариаций индекса САК, рассчитанные для фрагментов их временных рядов длиной 43 года.

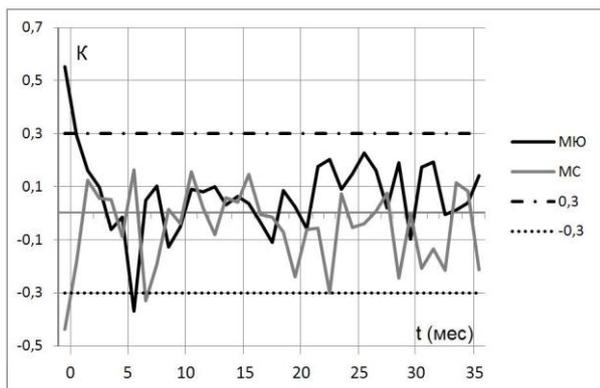


Рис. 2. ВКФ изменений суммарных продолжительностей периодов преобладания ЭЦМ МЮ и МС в марте, а также опережающих их по времени вариаций индекса САК, рассчитанные для фрагментов их временных рядов длиной 43 года

Как видно из рис. 2, статистические связи изменений суммарных продолжительностей периодов преобладания ЭЦМ МЮ и МС в марте, а также вариаций индекса САК являются значимыми не только

при нулевых сдвигах между этими процессами, но также при условии, что сдвиги между ними составляют соответственно 6 и 7 месяцев. Последнее позволяет предположить, что учет подобных связей, при прогнозировании изменений суммарных продолжительностей периодов преобладания ЭЦМ МЮ и МС в марте, по результатам мониторинга вариаций индекса САК, является целесообразным.

Вместе с тем, установлено, что адекватным подобное предположение является лишь в отношении ЭЦМ, относящихся к группе МЮ. Это подтверждают приведенные на рис. 3 зависимости α_{max} связей между фрагментами временных рядов суммарных продолжительностей в марте периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группам МЮ и МС, а также фрагментами рядов индекса САК, длиной 43 члена, которые опережают их на 6 и 7 месяцев, от года их начала.

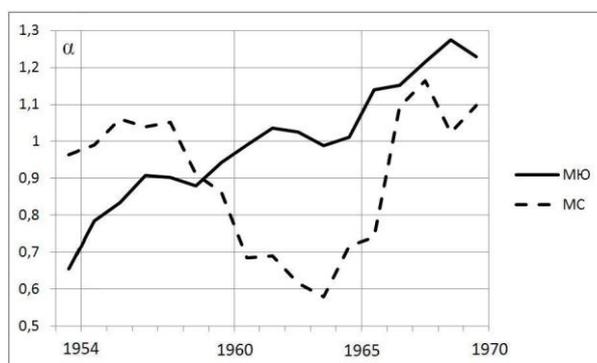


Рис. 3. Изменения в зависимости от года начала фрагментов временных рядов суммарных продолжительностей в марте периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группам МЮ и МС, значимости α_{max} их связей с фрагментами рядов индекса САК, длиной 43 члена, которые опережают их на 6 и 7 месяцев

Из рис. 3 видно, что зависимость от года начала фрагментов временных рядов суммарных продолжительностей в марте периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группе МЮ, и содержащих 43 члена, значений α_{max} их связей с фрагментами рядов индекса САК, которые опережают их на 6 и 7 месяцев, носит возрастающий характер. Это свидетельствует о том, что выявленную связь целесообразно учитывать при прогнозировании изменений суммарных продолжительностей в марте периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группе МЮ, поскольку вероятность утраты ею значимости в ближайшем будущем не велика.

Из того же рис. 3 следует, что аналогичная зависимость для суммарных продолжительностей в марте периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группе МС, представляет собой колебание. Поэтому вероятность утраты значимости связи данного процесса с межгодовыми вариациями индекса САК существенно выше.

Аналогичные особенности выявлены также для связей между рассматриваемыми процессами в некоторые другие месяцы.

Как подтверждение этому, в табл. 2 приведены максимальные значения α_{\max} , для фрагментов за 1970–2012 гг. временных рядов суммарных продолжительностей в том или ином месяце периодов преоб-

ладания ЭЦМ, относящихся к группам МЮ и МС, а также фрагментов рядов индекса САК, которые опережают их на время δ .

Таблица 2

Максимальные значения α_{\max} , для фрагментов за 1970 – 2012 гг. временных рядов суммарных продолжительностей в том или ином месяце периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группам МЮ и МС, а также фрагментов рядов индекса САК, которые опережают их на время δ

Месяц	ЭЦМ МЮ		ЭЦМ МС	
	δ (мес)	α_{\max}	δ (мес)	α_{\max}
Январь	19	1,557	19	1,012
Февраль	13	1,338	3	1,334
Март	6	1,229	7	1,098
Апрель	31	1,501	17	1,133
Май	3	1,259	10	1,143
Июнь	4	1,385	8	1,082
Июль	17	1,505	9	1,133
Август	6	1,402	10	1,107
Сентябрь	12	1,287	11	1,100
Октябрь	29	0,917	12	1,209
Ноябрь	21	1,139	6	0,903
Декабрь	11	1,533	34	1,341

Как видим из табл. 2, значимые статистические связи между рассматриваемыми процессами, при временных сдвигах между ними δ , существуют во все месяцы, кроме октября (для ЭЦМ МЮ) и ноября (для ЭЦМ МС). Это свидетельствует о перспективности изучения возможностей использования выявленных связей при прогнозировании рассматриваемых процессов.

При решении второй задачи установлено, что значительные по площади акватории, на которых межгодовые вариации их ТПО в современный период значимо статистически связаны с изменениями как индекса САК, так и суммарных продолжительностей периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группам МЮ и МС, в выявленные месяцы существуют в Тихом, Атлантическом и Индийском океане. Могут присутствовать они и в Северо-Европейском бассейне Северного Ледовитого океана.

В качестве примера, на рис. 4 приведены расположения океанических акваторий, на которых вариации их мартовских ТПО в период 1970–2012 гг. были значимо статистически связаны с совпадающими по времени изменениями как индекса САК, так и суммарных продолжительностей периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группам МЮ.

Как видно из рис. 2, районы, в которых межгодовые вариации их мартовских ТПО в период 1970–2012 гг. были значимо связаны с совпадающими по времени межгодовыми изменениями как индекса САК, так и суммарной продолжительности периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группе МЮ, рас-

положены не только в северной части Атлантического океана. Немало их находится и в его южной части. Значительные по площади аналогичные области выявлены также в Тихом и Индийском океане.

Выявлены также океанические районы, где вариации их ТПО, соответствующих всем прочим месяцам, значимо влияют на межгодовые изменения индекса САК, которые опережают по времени перемены повторяемости ЭЦМ МЮ и МС на δ .

Полученный результат позволяет предположить, что влияния на рассматриваемые процессы их дальних связей с межгодовыми изменениями ТПО многих районов Мирового океана, является существенным. Это соответствует представлениям [1–8, 10, 21, 22] о том, что пространственно-временная изменчивость ТПО Мирового океана принадлежит к числу главных факторов, порождающих вариации, как поля атмосферного давления (в том числе САК), так и суммарной продолжительности периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группам МС и МЮ.

Как уже упоминалось выше, изменения суммарной продолжительности периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группам МС и МЮ, являются значимыми факторами вариаций климата Северного полушария [20]. Учитывая это, полученный результат свидетельствует о том, что разработка прогнозов межгодовых ТПО выявленных районов Мирового океана является актуальной в плане совершенствования методик прогнозирования происходящих в данном полушарии климатических изменений.

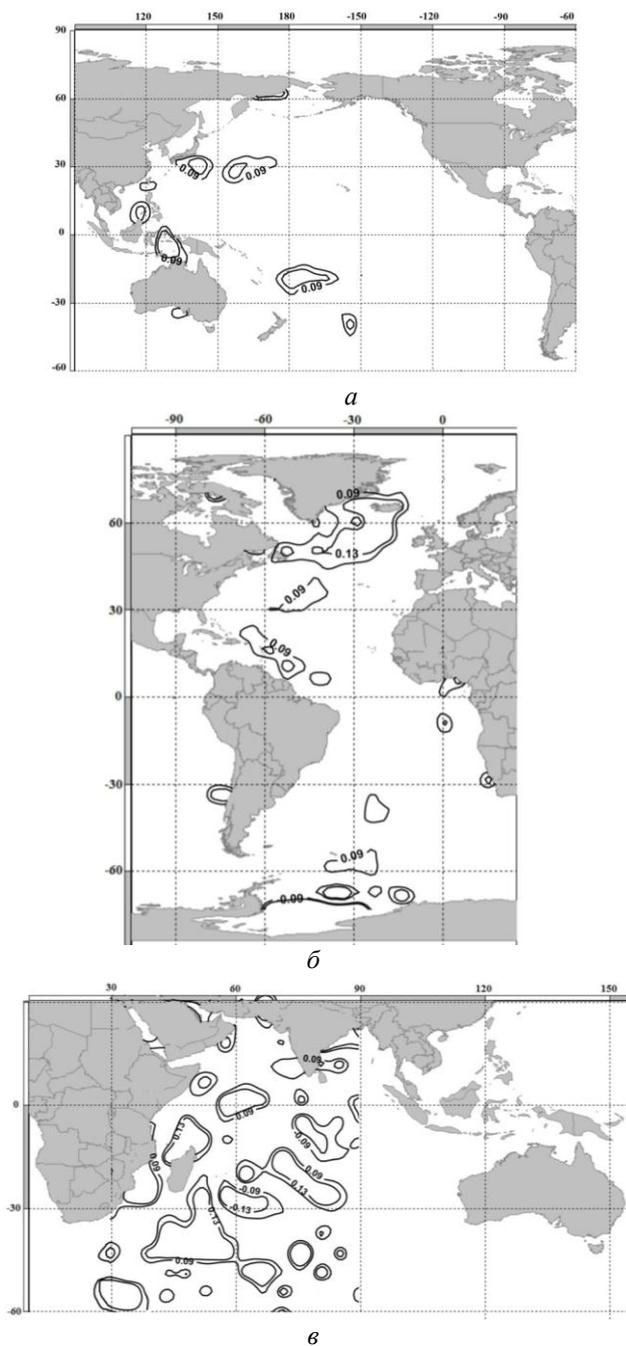


Рис. 4. Районы Мирового океана, где межгодовые вариации их ТПО в марте значимо связаны как с совпадающими по времени изменениями индекса САК, так и суммарных продолжительностей периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группе МЮ: а – Тихий океан; б – Атлантический океан; в – Индийский океан

6. Выводы

Таким образом, установлено:

1. Статистические связи межгодовых изменений суммарных продолжительностей периодов преобладания в Северном полушарии ЭЦМ, которые относятся к группам МЮ и МС, а также вариаций индекса САК в современный период являются значимыми во многие месяцы, при условии, что временные сдвиги между ними равны нулю, либо значениям, приведенным в табл. 2. Особенности подобных

связей свидетельствуют о целесообразности их учета при решении задач прогнозирования изучаемых процессов.

2. Океанические районы, в которых межгодовые изменения ТПО значимо коррелированы с вариациями как суммарных продолжительностей периодов преобладания в Северном полушарии ЭЦМ МЮ и МС, так и значений индекса САК существуют не только в Северной Атлантике. Они находятся также в Южной Атлантике, в Тихом и Индийском океане. Для ЭЦМ относящихся к группе НЗ подобных связей не обнаружено.

3. Выявленные особенности изучаемых процессов позволяют предположить, что происходящие вариации их характеристик обусловлены изменениями состояния факторов, обуславливающих пространственно-временную изменчивость ТПО Мирового океана.

Литература

1. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан [Текст]. – Тираж 250 экз.; Сборник Трудов ФГБУ «Гидрометцентр России», «Гидрометеорологические прогнозы». – Москва, 2013.
2. Гилл, А. Динамика атмосферы и океана [Текст]: в 2-х томах / А. Гилл; пер. с англ. В. Э. Рябинина, А. И. Филатова; под ред. Г. П. Курбаткина. – М.: Мир, 1986. – 396, 415 с.
3. Каган, Б. А. Взаимодействие океана и атмосферы [Текст] / Б. А. Каган. – С.-Пб.: Гидрометеиздат, 1992. – 333 с.
4. Нестеров, Е. С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан [Текст] / Е. С. Нестеров. – М.: Триада, 2013. – 144 с.
5. Лаврова, И. В. Влияние северо-атлантического колебания в океане на формирование летних условий погоды в Европе [Текст]: автореф. дис. ... канд. геогр. наук / И. В. Лаврова. – СПб., 2009. – 21 с.
6. Walker, G. T. World weather V [Text] / G. T. Walker, E. W. Bliss // *Memoirs of Royal Meteorology Society.* – 1932. – Vol. 4, Issue 36. – P. 53–84.
7. Матвеев, Л. А. Теория атмосферной циркуляции и климата Земли [Текст] / Л. А. Матвеев. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 291 с.
8. Thompson, D. W. J. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields [Text] / D. W. J. Thompson, J. M. Wallace // *Geophysical Research Letters.* – 1998. – Vol. 25, Issue 9. – P. 1297–1300. doi: 10.1029/98gl00950
9. База данных Центра прогноза климата национальной администрации по океану и атмосфере [Электронный ресурс]. – National Oceanic and Atmospheric Administration's – NOAA. – Режим доступа: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>
10. Перри, А. Х. Система океан атмосфера [Текст] / А. Х. Перри, Дж. М. Уокер. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 194 с.
11. Борисенков, Е. П. О цикличности колебаний температуры воды Северной Атлантики [Текст] / Е. П. Борисенков, В. Г. Семенов // *Изв. АН СССР. Сер. ФАО.* – 1970. – Т. 6, № 9. – С. 965–969.
12. Мультиановский, Б. П. Основные положения синоптического метода долгосрочных прогнозов погоды [Текст] / Б. П. Мультиановский. – М.: Издательство ЦУ-ЕГМС, 1933. – 140 с.
13. Willett, H. C. Patterns of world weather changes [Text] / H. C. Willett // *Transactions, American Geophysical Union.* – 1948. – Vol. 29, Issue 6. – P. 803. doi: 10.1029/tr029i006p00803

14. Willett, H. C. Descriptive meteorology [Text] / H. C. Willett. – New York: Academic press, 1944. – 310 p.

15. Rossby, C. G. The circulation of the upper troposphere and lower stratosphere [Text] / C. G. Rossby, H. C. Willett // Science. – 1948. – Vol. 108, Issue 2815. – P. 643–652. doi: 10.1126/science.108.2815.643

16. Kononova, N. K. Peculiarities of atmospheric circulation of Northern hemisphere during end XX – beginning XXI centuries and its reflection in climate [Text] / N. K. Kononova // Complex systems. – 2014. – Vol. 2, Issue 11. – P. 11–36.

17. Вангейм, Г. Я. О колебаниях атмосферной циркуляции над Северным полушарием [Текст] / Г. Я. Вангейм // Известия АН СССР. Сер. Географ. и Геофиз. – 1946. – № 5. – С. 405–416.

18. Дзердиевский, Б. Л. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов [Текст] / Б. Л. Дзердиевский, В. М. Курганская, З. М. Витивичкая. – Тр. Н.-и. учреждений Гл. упр. Гидрометеорол. Службы при Совете Министров СССР. Сер. 2 Синоптическая метеорология; Вып. 21. Центральный институт прогнозов. – М., Л.: Гидрометеоздат, 1946. – 80 с.

19. Гирс, А. А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов [Текст] / А. А. Гирс. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 488 с.

20. Кононова, Н. К. Циркуляция атмосферы в Европейском секторе северного полушария в XXI веке и колебания температуры в Крыму [Текст] / Н. К. Кононова // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, Вып. 1. – С. 633–640.

21. Сидоренков, Н. С. Многолетние изменения атмосферной циркуляции и колебания климата в первом естественном синоптическом районе [Текст] / Н. С. Сидоренков, П. И. Свиренко // Труды Гидрометцентра СССР. – 1991. – Вып. 316. – С. 93–105.

22. Climate Change 2007 – Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to Assessment Report Four of the Intergovernmental Planes of Climate Change (IPCC) [Electronic resource]. – Cambridge University Press. Cambridge. UK, 2007. – 973 p. – Available at: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4_wg2_full_report.pdf

23. База данных об изменениях за весь период наблюдений аномалий ТПО различных районов Мирового океана, ограниченных квадратами координатной сетки 5x5 градусов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wxweb.meteostar.com/SST/index.shtml?point=730>

24. База данных об изменениях в 1899–2011 гг. суммарных продолжительностей периодов, в течение которых ЭЦМ различных групп преобладали в северном полушарии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.Atmospheric-circulation.ru>

25. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учеб. пос. / В. Е. Гмурман. – Москва: Высшая школа, 2004. – 479 с.

26. Закс, Ш. Теория статистических выводов [Текст] / Ш. Закс. – М.: Мир, 1975. – 776 с.

27. Скворцов, А. В. Триангуляция Делоне и её применение [Текст] / А. В. Скворцов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с.

References

1. Severoatlanticheskoe kolebanie: atmosfera i okean. Tirazh 250 jekz.; Sbornik Trudov FGBU «Gidrometcentr Rosii», «Gidrometeorologicheskie prognozy» (2013). Moscow.

2. Gill, A.; Kurbatkin, G. P. (Ed.) (1986). Dinamika atmosfery i okeana. Moscow: Mir, 396, 415.

3. Kagan, B. A. (1992). Vzaimodejstvie okeana i atmosfery. Sankt Petersburg: Gidrometeoizdat, 333.

4. Nesterov, E. S. (2013). Severoatlanticheskoe kolebanie: atmosfera i okean. Moscow: Triada, 144.

5. Lavrova, I. V. (2009). Vlijanie severo-atlanticheskogo kolebanija v okeane na formirovanie letnih uslovij pogody v Evrope. Sankt Petersburg, 21.

6. Walker, G. T., Bliss, E. W. (1932). World weather V. Memoirs of Royal Meteorology Society, 4 (36), 53–84.

7. Matveev, L. A. (1991). Teorija atmosfernoj cirkuljacii i klimata Zemli. Lviv: Gidrometeoizdat, 291.

8. Thompson, D. W. J., Wallace, J. M. (1998). The Arctic oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. Geophysical Research Letters, 25 (9), 1297–1300. doi: 10.1029/98gl00950

9. Baza dannyh Centra prognoza klimata nacional'noj administracii po okeanu i atmosfere. National Oceanic and Atmospheric Administration's – NOAA. Available at: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>

10. Perri, A. H., Uoker, Dzh. M. (1979). Sistema okean atmosfery. Lviv: Gidrometeoizdat, 194.

11. Borisenkov, E. P., Semenov, V. G. (1970). O ciklichnosti kolebanij temperatury vody Severnoj Atlantiki. Izv. AN SSSR. Ser. FAO, 6 (9), 965–969.

12. Mul'tanovskij, B. P. (1933). Osnovnye polozhenija sinopticheskogo metoda dolgosrochnyh prognozov pogody. Moscow: Izdatel'stvo CUEGMS, 140.

13. Willett, H. C. (1948). Patterns of world weather changes. Transactions, American Geophysical Union, 29 (6), 803. doi: 10.1029/tr029i006p00803

14. Willett, H. C. (1944). Descriptive meteorology. New York: Academic press, 310.

15. Rossby, C. G., Willett, H. C. (1948). The Circulation of the Upper Troposphere and Lower Stratosphere. Science, 108 (2815), 643–652. doi: 10.1126/science.108.2815.643

16. Kononova, N. K. (2014). Peculiarities of atmospheric circulation of Northern hemisphere during end XX – beginning XXI centuries and its reflection in climate. Complex systems, 2 (11), 11–36.

17. Vangejm, G. Ja. (1946). O kolebanijah atmosfernoj cirkuljacii nad Severnym polushariem. Izvestija AN SSSR. Ser. Geograf. i Geofiz, 5, 405–416.

18. Dzerdievskij, B. L., Kurganskaja, V. M., Vitivickaja, Z. M. (1946). Tipizacija cirkuljacionnyh mehanizmov v severnom polusharii i harakteristika sinopticheskix sezonov. Tr. N.-i. uchrezhdenij Gl. upr. Gidrometeorol. Sluzhby pri Sovete Ministrov SSSR. Ser. 2 Sinopticheskaja meteorologija; Vyp. 21. Central'nyj institut prognozov. Moscow, Leningrad: Gidrometeoizdat, 80.

19. Girs, A. A. (1974). Makrocirkuljacionnyj metod dolgosrochnyh meteorologicheskix prognozov. Leningrad: Gidrometeoizdat, 488

20. Kononova, N. K. (2014). Cirkuljacija atmosfery v Evropejskom sektore severnogo polusharija v XXI veke i kolebanija temperatury v Krymu. Geopolitika i jekogeodinamika regionov, 10 (1), 633–640.

21. Sidorenkov, N. S., Svireno, P. I. (1991). Mnogoletnie izmenenija atmosfernoj cirkuljacii i kolebanija klimata v pervom estestvennom sinopticheskom rajone. Trudy Gidrometcentra SSSR, 316, 93–105.

22. Climate Change 2007 – Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to Assessment Report Four of the Intergovernmental Planes of Climate Change (IPCC) (2007). Cambridge University Press. Cambridge. UK, 973. Available at: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4_wg2_full_report.pdf

23. Baza dannyh ob izmenenijah za ves' period nabljudenij anomalij TPO razlichnyh rajonov Mirovogo okeana,

ogranichennyh kvadratami koordinatnoj setki 5h5 gradusov. Available at: <http://wxweb.meteostar.com/SST/index.shtml?point=730>

24. Baza dannyh ob izmenenijah v 1899–2011 gg. summarnyh prodolzhitel'nostej periodov, v techenie kotoryh JeCM razlichnyh grupp preobladali v severnom polusharii. Available at: <http://www.Atmospheric-circulation.ru>

25. Gmurman, V. E. (2004). Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistik: Uchebnoe posobie dlja vuzov. 10th edition. Moscow: Vysshaja shkola, 479.

26. Zaks, Sh. (1975). Teorija statisticheskikh vyvodov. Moscow: Mir, 776.

27. Skvorcov, A. V. (2002). Trianguljacija Delone i ejo primenenie. Tomsk: Izdatelstvo Tomskogo universiteta, 128.

Дата надходження рукопису 22.07.2015

Холопцев Александр Вадимович, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой, кафедра Судовождения и безопасности мореплавания, Севастопольская морская академия, ул. Рыбаков, 7-а, г. Севастополь, 99055

E-mail: kholoptsev@mail.ru

Никифорова Мария Павловна, кандидат географических наук, старший преподаватель, кафедра Судовождения и безопасности мореплавания, Севастопольская морская академия, ул. Рыбаков, 7-а, г. Севастополь, 99055

E-mail: maha.ukraine@gmail.com

Астафьева Дарья Андреевна, кафедра «Физика», Севастопольский государственный университет, ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 99055

E-mail: dary-astafev@yandex.ru