

ПРОЯВЛЕНИЕ РАЗНЫХ ТИПОВ ЛА-НИНЬЯ В ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ

О.В. Марчукова, Е.Н. Воскресенская, А.С. Лубков

Институт природно-технических систем
РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: olesjath@mail.ru

В работе исследованы проявления событий Ла-Нинья в Черноморском регионе в полях аномалий основных климатических характеристик: температуры воздуха, приземного давления и осадков. Закономерности возникновения гидрометеорологических аномалий в регионе обнаружены с учетом пространственной классификации событий Ла-Нинья. Описаны температурные условия на побережье Черного моря в конце 2016 – начале 2017 гг., сопровождавшие зрелую фазу Ла-Нинья 2016 г. и показано, что они типичны для события Центрально-Тихоокеанского типа.
Ключевые слова: Ла-Нинья, Черноморские регион, климатические отклики, температура воздуха, приземное давление, Эль-Ниньо – Южное Колебание.

Введение. Одним из наиболее важных сигналов в межгодовой изменчивости глобальной системы океан-атмосфера является Эль-Ниньо – Южное Колебание (ЭНЮК). Его проявления за счет дальнодействующих связей отмечаются в аномалиях погоды и климата не только над тропической зоной Тихого океана, но и во внутротропических широтах Земного шара [1, 2]. Этот феномен имеет две крайних фазы существования – теплую (Эль-Ниньо) и холодную (Ла-Нинья). ЭНЮК вызывает большой интерес, как ученых, так и специалистов разных областей деятельности, что обусловлено результатом глобальных климатических воздействий на окружающую среду, сопровождающихся негативными последствиями [3]. Исследование региональных проявлений ЭНЮК в гидрометеорологических аномалиях по всему Земному шару является одной из наиболее актуальных тем в изучении взаимодействия океана и атмосферы. В настоящей статье речь пойдет о холодной фазе – явление Ла-Нинья.

События Ла-Нинья, как правило, характеризуются экстремальным понижением поверхностной температуры воды (ТПО), ростом индекса Южного Колебания и усилением пассатных ветров в экваториальной зоне Тихого океана [4]. Интерес к изучению этих событий, в отличие от Эль-Ниньо, возник ни сразу. Долгое время Ла-Нинья рассматривали

не как отдельный процесс, а как результат развития Эль-Ниньо. Лишь в конце 1990-х, после мощного события Ла-Нинья 1998 – 2000 гг., которое привело к катастрофическим последствиям глобальных масштабов, холодную фазу ЭНЮК стали изучать более внимательно [5]. Позже, в работах [6–8], несмотря на общепринятый механизм описания Ла-Ниньи, было показано, что существуют различия среди этих событий. Авторы статьи [9] доказали наличие двух типов Ла-Ниньи, отличающихся по пространственному формированию отрицательных аномалий ТПО относительно экваториальной зоны Тихого океана и по значениям индекса Южного колебания, отражающего вклад атмосферной составляющей этих событий. Первый выделенный тип получил название Восточно-Тихоокеанский тип Ла-Нинья (ВТ), а второй – Центрально-Тихоокеанский (ЦТ).

Цель настоящей работы – на основании полученной ранее пространственной классификации исследовать влияние разных типов Ла-Нинья на формирование погодно-климатические аномалий в Черноморском регионе в 1900 – 2014 гг., а затем проанализировать температурные аномалии над побережьем Черного моря, в период – с октября 2016 по апрель 2017 гг., с целью подтверждения правомерности установленной закономерности проявления Ла-Ниньи в Чер-

номорском регионе. Как известно из статьи [10], в конце 2016 г. наблюдалось событие Ла-Нинья Центрально-Тихоокеанского типа.

Черноморский регион находится в средних широтах между 41° и 47° с.ш. и характеризуется наличием зон умеренного и субтропического пояса. Регион размещен в восточной части Европы, которая чувствительно реагирует на проявления ЭНЮК. В работах [6, 11, 12] подробно описано влияние событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья на циркуляцию атмосферы в Европейском регионе. В статьях [6, 11] упор делается на то, что в годы Ла-Нинья происходит более выраженная изменчивость циркуляции атмосферы в Атлантико-Европейском регионе, по сравнению с годами Эль-Ниньо. Важную роль в формировании климатических аномалий Черноморского региона играет активность циклонов или антициклонов и смещение их траекторий: в летний период экстремально высокие температуры связаны с влиянием Азорского антициклона, а зимой – вторжение отрога Сибирского антициклона формирует отрицательные температуры и ясную устойчивую погоду приносит [13]. При блокирующих ситуациях, когда Азорский и Сибирский антициклон развиты сильнее, чем обычно, наблюдаются экстремально низкие отрицательные температуры и продолжительный устойчивый характер погоды. Также сильное влияние на аномалии климата Черноморского региона определяется прохождением циклонов из Атлантики или Средиземноморья, которые обычно приносят дожливую неустойчивую погоду и более мягкие температурные условия [13].

Данные и методы. В анализе для определения гидрометеорологических аномалий в Азово-Черноморском регионе используются следующие массивы:

- данные приземного давления и температуры воздуха реанализа 20-го столетия (*20th Century Reanalysis V2c*) с шагом сетки $2^{\circ} \times 2^{\circ}$, за период 1871–2015 гг. [14];

- данные о количестве среднемесячных осадков из Глобального климатического центра по осадкам (*GPCC*) за пе-

риод 1901–2010 гг. на пространственной сетке $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ [15].

Для анализа температурных аномалий в Черноморском регионе за период с октября 2016 по апрель 2017 гг. используется массив *GHCN Gridded V2* с глобальными ежемесячными данными о приземной температуре воздуха с 1948 г. по настоящий период, с разрешением сетки $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$. Выбор массива обусловлен тем, что он включает в себя историческую климатологию и международную систему мониторинга, которая помогает обновлять данные в режиме реального времени.

Дополнительно привлечен индекс Северо-Атлантического колебания (САК) из официального сайта *NOAA* (Национальное управление океанических и атмосферных исследований).

Из всех массивов данных исключены сезонная изменчивость и тренд глобального потепления, а гидрометеорологические характеристики выражены в естественных аномалиях. Исследование откликов в Черноморском регионе выполнено с помощью метода анализа композитов с учетом статистической значимости по критерию Стьюдента на 95% уровне для трех основных гидрометеорологических характеристик – приземного давления, температуры воздуха и осадков. Композиты построены ежемесячно с декабря «0» года по ноябрь «+1» года для Восточно-Тихоокеанского и Центрально-Тихоокеанского типов Ла-Нинья с 1900 по 2014 гг.

Полученные результаты. Среди 24 выделенных событий Ла-Нинья в работе [9] за период с 1900 по 2014 гг. было получено 12 Ла-Нинья ЦТ (1933–1934, 1949–1950, 1950–1951, 1973–1974, 1975–1976, 1983–1984, 1984–1985, 1988–1989, 1998–1999, 1999–2000, 2010–2011, 2011–2012 гг.) и 12 ВТ Ла-Нинья (1909–1910, 1916–1917, 1924–1925, 1938–1939, 1942–1943, 1954–1955, 1955–1956, 1964–1965, 1967–1968, 1970–1971, 1995–1996, 2007–2008 гг.). Как написано выше, анализ типичных аномалий гидрометеорологических характеристик, обусловленных событиями Ла-Нинья двух типов, прово-

дился последовательно для каждого месяца.

Восточно-Тихоокеанский тип Ла-Нинья. В январе отмечаются на 95% статистическом значимом уровне аномалии давления. На северо-востоке Черноморского региона образуется положительная аномалия приземного давления от 0,5 до 2 мб и отрицательная (-1 мб) – на юго-западе (рис. 1, а). Подобный характер поля может говорить о переносе холодных северных воздушных масс с континентальной части России, в связи с усилением Сибирского антициклона. Однако, изучив более глобальные карты откликов в Атлантико-Европейском регионе, можно сделать вывод, что Восточный тип Ла-Нинья сопровождается усилением отрицательной фазы Восточно-Атлантического Колебания (ВАК) в зимний период и первые месяцы весны, что обусловливает холодные зимы в Восточной Европе и поздние весны во всем Европейском регионе. Это хорошо прослеживается в полях аномалий температуры воздуха, где показаны значимые отрицательные аномалии от -0,5 до -2,5°C на северо-востоке Черноморского региона (рис. 1, б). Можно заключить, что в январе влияние Ла-Нинья Восточно-Тихоокеанского типа не проявляется

значимо на Крымском полуострове, в то время как на Черноморском и Азовском побережьях Краснодарского края отмечается сурое похолодание на фоне начала усиления отрицательной фазы ВАК. В феврале наблюдается значимая положительная аномалия давления в центре, на юге и юго-западе Черноморского региона в пределах значений от 0,5 до 2,5 мб. Полученная аномалия давления в феврале сопровождается аномальным понижением среднемесячной температуры воздуха с центром аномалии на северо-западе, где температура воздуха понижается более чем на -2°C (рис. 1, в, г).

В ноябре и декабре выраженных значимых аномалий в Черноморском регионе не наблюдается. В весенний, летний и осенний сезоны значимые аномалии в исследуемых гидрометеорологических характеристиках также не выражены. При этом интересно отметить, что через год после окончания Восточного типа Ла-Нинья наступает аномально теплая зима (до +3,5°C на северо-востоке) со значимостью выше 95% по критерию Стьюдента, которая также сопровождается аномальным падением среднемесячных значений приземного давления до -4 мб (карта не приводится).

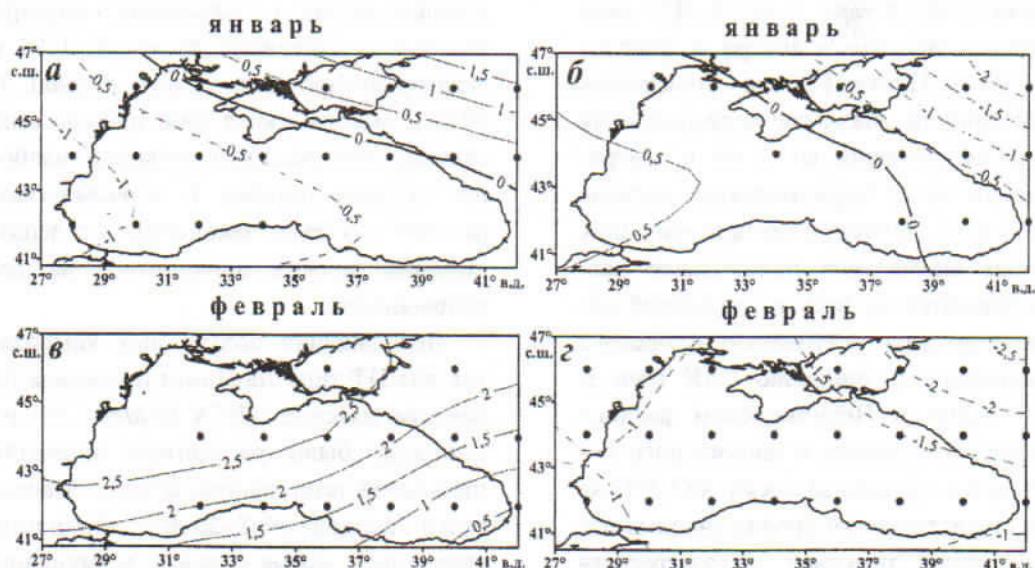


Рис. 1. Композиты аномалий приземного давления (а, в) в миллибарах и композиты аномалий температуры воздуха (б, г) в градусах Цельсия в годы событий Ла-Нинья Восточного типа по данным реанализа 20-го столетия. Точками отмечена статистическая значимость на 95% уровне, пунктиром – отрицательные значения, сплошной – положительные

Из анализа следует, что Восточно-Тихоокеанский тип Ла-Нинья в январе сопровождается понижением среднемесячной температуры воздуха на величину до $-2,5^{\circ}\text{C}$ на северо-востоке Черноморского региона, а в феврале – аномальным похолоданием более чем на -2°C на северо-западе, что согласуется со структурой аномалий в поле приземного давления.

В годы Ла-Нинья Центрально-Тихоокеанского типа его значимые аномалии проявляются, начиная с декабря, когда прослеживается значимая положительная аномалия приземного давления (превышение в 1 мб) с эпицентром на западе. Подобное расположение аномалии может говорить о смещении к северу траекторий Средиземноморских и Атлантических циклонов, классически проходящих через исследуемый регион. И действительно, в годы Ла-Нинья Центрального типа идет усиление положительной фазы Северо-Атлантического колебания (САК) в зимний период, что приводит к смещению Средиземноморских и Атлантических циклонов в северном направлении. Отмеченные аномалии давления отражаются в значимых аномалиях осадков (рис. 2, а, б). Для двух холодных месяцев – января и февраля всех лет Ла-Нинья ЦТ типа – отмечается статистически значимая положительная аномалия давления до 2 мб в северо-западной части Черноморского региона (рис. 3 а, в). Причем, в течение этих двух месяцев аномальное похолодание распространяется на весь исследуемый регион благодаря углублению Азорского антициклиона и усилению САК (рис. 3, б, г). Весна в Черноморском регионе начинается в апреле с аномального потепления в среднем за месяц на $1,5^{\circ}\text{C}$ на 85% статистическом уровне значимости. В сентябре значимая положительная аномалия давления, как правило, сопровождается прохождением атлантических

циклонов (рис. 2 в, г). Это проявляется в аномалиях осадков, как на побережье Крыма, так и на Азовском море, которые могут достигать в среднем от 15 до 30 мм в месяц. Это достаточно большие величины, если учесть, что среднее сентябрьское количество осадков в Крыму и на Азове не превышает 40–50 мм в месяц. Анализ композитов исследуемых гидрометеорологических характеристик в другие месяцы не выявил существенно-значимых аномалий. Таким образом, показано, что влияние Ла-Нинья Центрально-Тихоокеанского типа проявляется опосредованно через влияние САК.

Анализ температурных аномалий в Черноморском регионе в период Ла-Нинья 2016 г. Из официального сайта *NOAA* известно, что в июне 2016 г. было зарегистрировано Ла-Нинья, которое длилось пять месяцев и в 2017 г. уже не наблюдалось. В статье [10] было определено, что Ла-Нинья 2016 г. слабое по интенсивности и носит характер Центрально-Тихоокеанского типа. Из статьи [2] известно, что схема дальнодействия в атмосфере устанавливается в течение 2–6 недель после образования максимальной фазы развития (т.е., три последующие месяца с максимально отрицательными значениями аномалий ТПО в экваториальной зоне Тихого океана). В 2016 г. максимальная фаза пришла на сентябрь-ноябрь, соответственно, наиболее сильная реакция в Черноморском регионе с учетом закономерного запаздывания должна приходиться на декабрь-январь.

Верификация полученных композитов для ЦТ типа Ла-Нинья проведена по данным массива *GHCN Gridded V2*, по которому были рассчитаны аномалии приземной температуры воздуха относительно периода 1948–2016 гг. Как и подтвердились, самые сильные возмущения наблюдаются в декабре и январе (рис. 4).

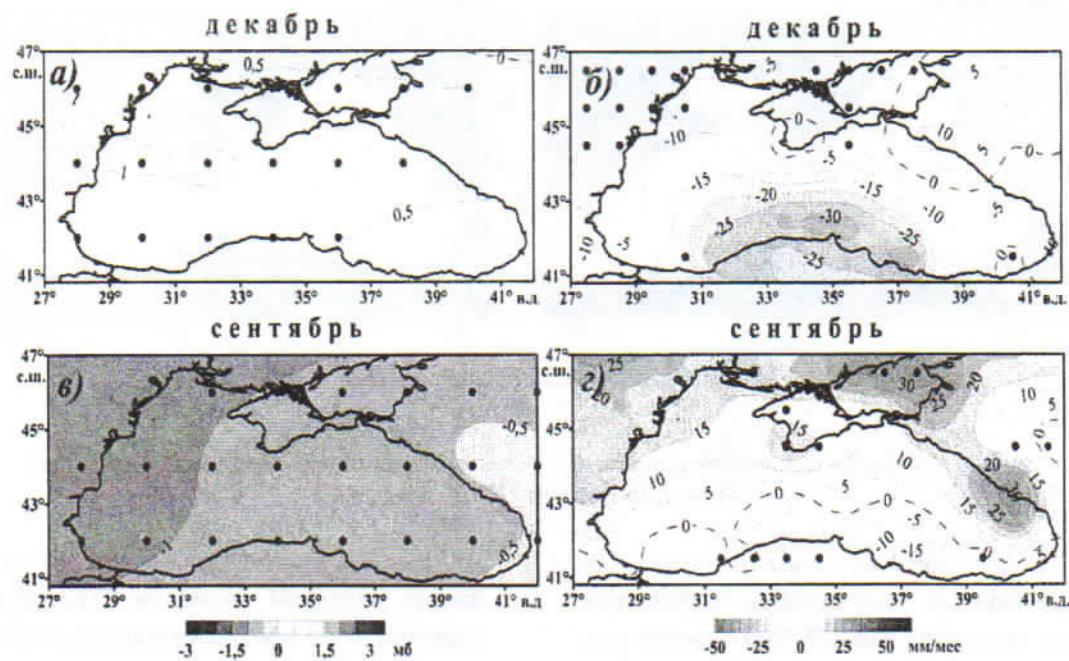


Рис. 2. Композиты аномалий приземного давления по данным реанализа 20-го столетия (а, в) и композиты аномалий осадков по данным GPCC (б, г) в годы событий Ла-Нинья Центрального типа. Точками отмечена статистическая 95% значимость

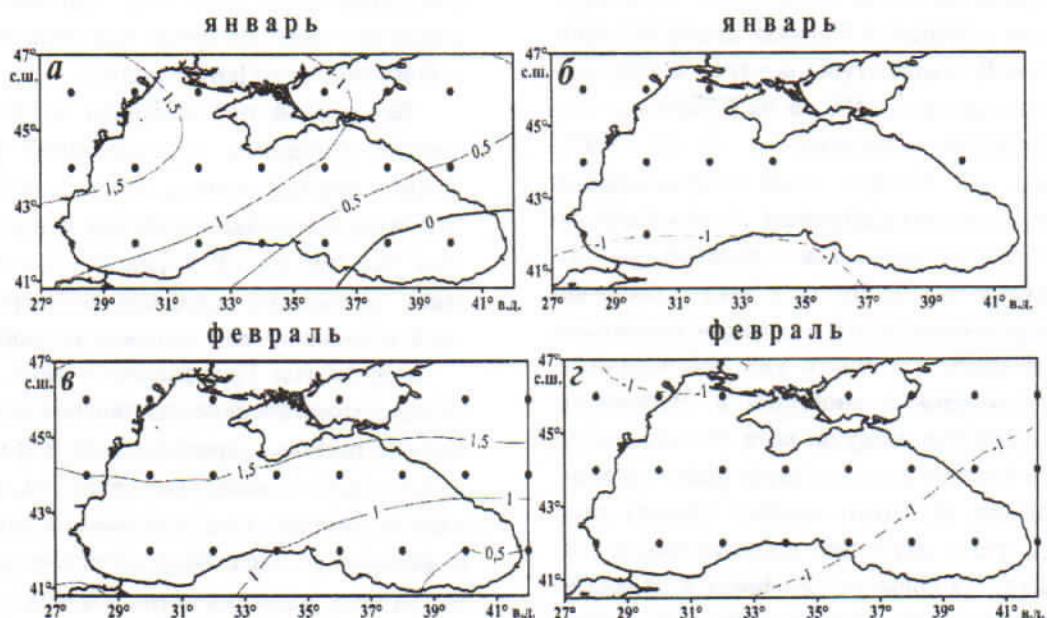


Рис. 3. Композиты аномалий приземного давления (а, в) в миллибарах и композиты аномалий температуры воздуха (б, г) в градусах Цельсия в годы событий Ла-Нинья Центрального типа по данным реанализа 20-го столетия. Точками отмечена статистическая значимость на 95% уровне, пунктиром – отрицательные значения, сплошной – положительные

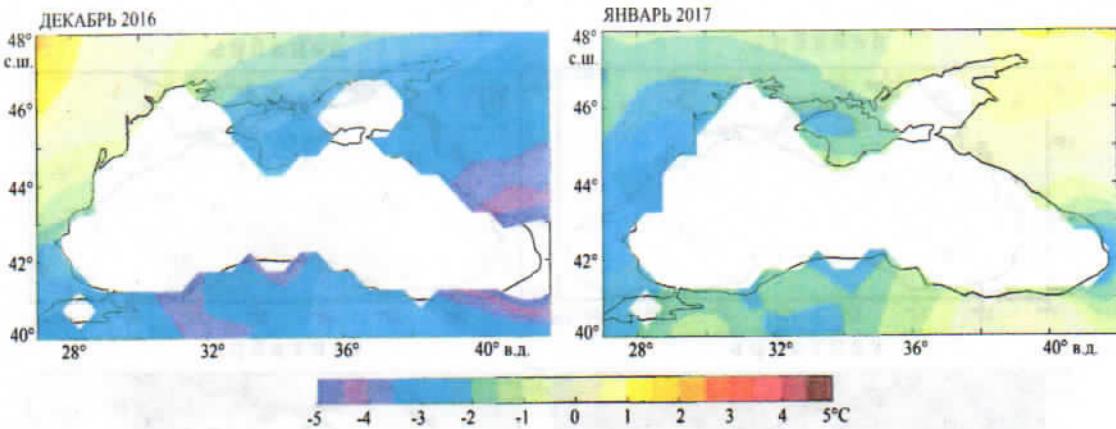


Рис. 4. Аномалии приземной температуры воздуха относительно периода 1948–2016 гг. по данным массива *GHCN Gridded V2*

Выше уже было сказано, что в годы Ла-Нинья ЦТ типа декабрь сопровождается положительными аномалиями давления, ростом индекса САК и отрицательными аномалиями температуры воздуха. Декабрь 2016 г. в Черноморском регионе также сопровождался экстремально низкими температурами и положительным значением индекса САК (0,8 по данным сайта NOAA). На Черноморском побережье Кавказа аномалия приземной температуры воздуха в этом месяце достигла -5°C , а на Крымском полуострове – порядка от -2 до $-3,5^{\circ}\text{C}$ (рис. 4). Январь тоже сопровождался низкими температурами, но не настолько экстремальными, как в декабре (рис. 4), потому что Ла-Нинья в 2016 г. было не продолжительным и слабоинтенсивным. В феврале и в марте уже наблюдались положительные аномалии в приземной температуре воздуха, хотя по композитным картам должны были быть отрицательные. Из этого следует сделать вывод, что к изучению климатических откликов на события Ла-Нинья в отдаленных регионах следует подходить более детально. Главным фактором в формировании климата Черноморского региона остаются региональные особенности, однако глобальные процессы вносят немалый вклад в его особенности, как это и подтвердилось в настоящей работе. Но в случае с Ла-Нинья роль дальнодействия глобального масштаба в атмосфере

ре, помимо пространственного расположения холодной аномалии ТПО, будет зависеть и от продолжительности события, и его интенсивности.

Выводы. Проведенное в работе исследование позволило выявить на статистически значимом уровне гидрометеорологические аномалии в Черноморском регионе, связанные с событиями Ла-Нинья в их «+1» год, принимая во внимание наличие среди них двух типов – Восточного и Центрального.

Восточный тип Ла-Нинья сопровождается усилением отрицательной фазы ВАК в зимний период, что в результате развития антициклонической деятельности над Восточной Европой обусловливает аномально-холодные температурные условия в Черноморском регионе.

В «+1» год Центрального типа Ла-Нинья климатические проявления в изучаемом регионе характеризуются достаточно сухим и холодным декабрям, аномально низкими температурами в январе и феврале во всем Черноморском регионе за счет усиления антициклонической активности, соответствующей положительной фазе САК. Еще одной особенностью этого года является наступление ранней дождливой осени в сентябре.

Проявление события Ла-Нинья 2016 г. укладывается в рамки типичного проявления Ла-Нинья Центрального типа.

Работа выполнена частично при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 16-05-00231 А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. McPhaden M.J., Zebiak S.E., Glantz M.H. ENSO as an integrating concept in Earth science // Science. 2006. V. 314. № 5806. P. 1740–1745.
2. Liu Z., Alexander M. Atmospheric bridge, oceanic tunnel, and global climatic teleconnections // Rev. Geophys. 2007. V. 45. RG2005.
3. Rasmusson E.M., Wallace J.M. Meteorological aspects of El Niño/Southern Oscillation // Science. 1983. № 222. P. 1195–1202.
4. Glantz M.H. A La Niña Summit: A Review of the Causes and Consequences of Cold Events. Boulder: Environmental and Societal Impacts Group, NCAR. 1998. 43 p.
5. Glantz M.H. La Niña and its impacts: facts and speculations. New York: The United Nations University. 2002. 313 p.
6. Impacts of two types of La Niña on the NAO during boreal winter / W. Zhang, L. Wang, B. Xiang [et al.] // Climate Dynamics. 2014. V. 44. P. 1351–1366.
7. Yuan Y., Yan H.M. Different types of La Niña events and different responses of the tropical atmosphere // Chin. Sci. Bull. 2013. V. 58. № 3. P. 406–415.
8. Воскресенская Е.Н., Марчукова О.В. Качественная классификация событий Ла-Ниня // Морской гидрофизический журнал. 2015. № 3. С. 15–26.
9. Воскресенская Е.Н., Марчукова О.В. Пространственная классификация Ла-Ниня // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2017. Т. 53. № 1. С. 125–134.
10. Ла-Ниня 2016 года в рамках пространственной классификации событий / О.В. Марчукова, Е.Н. Воскресенская, В.Н. Маслова [и др.] // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2016. Вып. 6 (26). С. 84–92.
11. Predictable winter climate in the North Atlantic sector during the 1997–1999 ENSO cycle / B.W. Dong, R.T. Sutton [et al.] // Geophys. Res. Lett. 2000. V. 27. № 7. P. 985–988.
12. Мохов И.И., Смирнов Д.А. Исследование взаимного влияния процессов Эль-Ниньо – Южное колебание и Северо-Атлантического и Арктического колебаний // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42. № 5. С. 650–667.
13. Кузьминская Г.Г. Черное море. Краснодар: Книжное издательство. 1977. 96 с.
14. Compo G.P., Whitaker J.S., Sardeshmukh P.D. Feasibility of a 100 year reanalysis using only surface pressure data // Bull. Amer. Met. Soc. 2006. V. 87. P. 175–190.
15. Global precipitation analysis products / B. Rudolf, C. Beck, J. Grieser [et al.] // Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), DWD, Internet publication. P. 1–8.

DIFFERENT LA NINA TYPES MANIFESTATIONS IN THE BLACK SEA REGION

O.V. Marchukova, E.N. Voskresenskaya, A.S. Lubkov

Institute of Natural and Technical Systems, Russian Federation, Sevastopol, Lenin St., 28

La Niña manifestations in the Black Sea region are studied in the paper using the fields of the main climatic anomalies such as air temperature, sea surface pressure and precipitation. The features of hydrometeorological anomalies are analyzed taking into account the preliminary spatial La Niña events classification. It is shown that the air temperature anomalies at the Black Sea coast in late 2016 - early 2017 are the manifestation of Central-Pacific La Niña type.

Key words: La Niña, Black Sea region, climatic responses, air temperature, pressure, El Niño - Southern Oscillation.