

## ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПРИЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ И ИХ ИЗМЕНЧИВОСТЬ В СВЯЗИ С КРУПНОМАСШТАБНЫМИ КЛИМАТИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ МЕЖГОДОВОГО МАСШТАБА

*О.Ю. Коваленко*<sup>1)\*</sup>, *М.Ю. Бардин*<sup>2)</sup>, *Е.Н. Воскресенская*<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Институт природно-технических систем,  
Россия, 299011, г. Севастополь, ул. Ленина, 28; \* *kovalenko\_olga89@mail.ru*

<sup>2)</sup> Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН,  
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

**Резюме.** Исследованы изменения и изменчивость экстремальных значений температуры воздуха в Причерноморском регионе во все сезоны года в 1950 - 2014 гг. Были использованы суточные данные 13 метеорологических станций региона. Для характеристики экстремальной температуры воздуха использованы 5-й и 95-й процентиля внутрисезонных аномалий среднесуточной температуры воздуха. Использовалось также число дней с температурой воздуха выше или ниже заданного процентильного порога, рассчитанного для всего ряда. Получено, что за период современного потепления (с 1976 г.) значения 5-го и 95-го процентилей внутрисезонных аномалий температуры для всех сезонов, кроме зимнего, увеличиваются. Зимой встречаются тренды обоих знаков; преобладают положительные, но все они статистически незначимы. Тренды числа зимних дней с экстремальными температурами также незначимы. В остальные сезоны число дней с экстремально низкими температурами значимо уменьшается, а с экстремально высокими – растет. Характеристики экстремальной температуры воздуха подвержены сильной межгодовой изменчивости на фоне долгопериодных изменений. Основным крупномасштабным процессом межгодового масштаба в системе океан – атмосфера, оказывающим непосредственное влияние на юг Европы, является Североатлантическое колебание (САК). Обнаружено, что наиболее интенсивные проявления этой климатической моды на территории Причерноморского региона отмечаются в экстремально низких значениях температуры в осенне-зимний период. Положительная фаза САК, по сравнению с отрицательной фазой, проявляется в росте частоты и интенсивности экстремально холодных погодных условий осенью, а зимой – в их убывании. Частота экстремально высоких значений температуры воздуха во все сезоны выше в отрицательной фазе САК. В статье также приведено сравнение экстремально низких значений температуры воздуха (т. е. 5-го процентиля сезонного распределения) в годы, соответствующие событиям Эль-Ниньо разных типов, и годы, когда это явление отсутствовало. Показано, что в Причерноморском регионе годовой ход 5-го процентиля температуры в годы с Эль-Ниньо любого типа, относительно лет, когда это явление отсутствует, характеризуются более ранним (на 2 - 3

---

месяца, в зависимости от типа) минимумом. Однако отклики для разных типов Эль-Ниньо демонстрируют также существенные различия.

**Ключевые слова.** Среднесуточная температура воздуха, экстремум, процентиль, число дней, экстремальная температура, тренд, Североатлантическое колебание, типы Эль-Ниньо.

## CHANGES IN CHARACTERISTICS OF AIR TEMPERATURE EXTREMES OVER THE BLACK SEA REGION AND THEIR VARIABILITY ASSOCIATED WITH INTERANNUAL LARGE-SCALE CLIMATIC PROCESSES

*O.Yu. Kovalenko*<sup>1)\*</sup>, *M.Yu. Bardin*<sup>2)</sup>, *E.N. Voskresenskaya*<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Institute of Natural and Technical Systems,  
28, Lenina str., 299011, Sevastopol, Russia; \* *kovalenko\_olga89@mail.ru*

<sup>2)</sup> Institute of Global Climate and Ecology of Roshydromet and RAS,  
20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russia

**Summary.** Trends and variability of air temperature extremes in the Black Sea region for all seasons in 1950 - 2014 are studied. Daily data from 13 meteorological stations of the region are used. Air temperature extremes are characterized with the 5<sup>th</sup> and the 95<sup>th</sup> percentiles of intra-seasonal anomalies of daily mean air temperature. Numbers of days with air temperature greater (lower) than a specified percentile threshold calculated for the whole period are also employed as air temperature extremes' index. The 5<sup>th</sup> and the 95<sup>th</sup> percentiles of intra-seasonal temperature anomalies are found to increase throughout the period of modern warming (since 1976) for all seasons except winter. In winter, trends of both signs are observed with the prevalence of positive ones. However, all winter trends are statistically insignificant. Trends in the number of winter days with extreme temperatures are also statistically insignificant. For other seasons, number of days with extremely low temperatures decreases significantly, while number of days with extremely high temperatures increases. Characteristics of temperature extremes show strong interannual variability against the background of long-term changes. In the ocean-atmosphere system, the principal large-scale process of the interannual timescale that directly influences the south of Europe is the North Atlantic Oscillation (NAO). It is found that this climatic mode is most clearly manifested in the low temperature extremes of the fall-winter period. Against negative NAO phase, positive NAO phase is accompanied by increased frequency and intensity of extremely cold weather conditions in the fall, while in winter both characteristics decrease. Frequency of warm temperature extremes is greater in the negative NAO phase for all seasons. The paper also presents a comparison of extremely low air temperatures, i.e., 5<sup>th</sup> percentiles of seasonal distribution, in El Nino (of any type) years and in no El Nino years. It is shown that in the Black Sea region a seasonal cycle of the 5<sup>th</sup> percentile for years with El Nino of any type is characterized by earlier (by 2 - 3 months depending on El Nino type) minimum. However, responses to different El Nino types also demonstrate considerable differences.

---

**Keywords.** Mean daily temperature, extreme, percentile, number of days, extreme air temperature, trend, North Atlantic Oscillation, El Nino types.

## Введение

С прикладной точки зрения изменения климата можно рассматривать, как изменения статистик, описывающих одну или несколько климатических переменных в точке, регионе или глобально между различными интервалами времени (обычно масштаба десятилетий). На начальном этапе исследований изменения климата фактически единственной анализируемой статистикой было среднее. Однако почти сразу стало ясно, что наряду с изменением средних не менее важно изменение климатической изменчивости, в том числе (и особенно) статистики экстремальных явлений (состояний) – как в связи с их потенциально значительными негативными последствиями, так и в связи с простым фактом, что сравнительно незначительные изменения средних могут приводить к весьма значительным (кратным) изменениям на хвостах распределения.

В то же время стало ясно, что, во-первых, «мгновенные» экстремумы (напр., отдельные жаркие дни) не дают достаточного описания характера экстремальности климата: нужны также определенные «агрегаты» и «эпизоды», где каждое отдельное значение не экстремально, но совместная вероятность мала (засухи, «волны тепла», дождливые периоды и т.п.). В связи с этим Рабочей группой по обнаружению изменения климата был разработан список индексов для изучения изменений экстремальности климата. В качестве временного масштаба обобщения был выбран год (например, максимальная за год температура) и сразу возникло «во-вторых»: для многих индексов годовые обобщения имели мало смысла или были недостаточно «селективны»: например, не дают информации о том, за счет каких сезонов (месяцев) изменяется число безморозных дней. Соответствующие коррективы были относительно быстро внесены и стали рассматриваться ряды (с годовой дискретностью) сезонных или месячных обобщений (в действительности из-за сезонного хода во многих случаях следует использовать аномалии или нормированные аномалии).

Еще одна проблема связана с самим определением понятия «экстремальность». Ее можно рассматривать чисто статистически: экстремальны события редкие, т.е. принадлежащие хвостам соответствующих распределений. Либо подходить к ним с точки зрения величины («экстремальности») воздействия на организмы и системы. Первый подход вполне универсален, но в ряде случаев определенные таким образом экстремумы могут не иметь практического значения, поскольку не включают меру воздействия. Второй же подход явно не универсален: зависит от адаптированности к значительным аномалиям того или иного знака в разных климатических зонах.

Наконец, имеется проблема, связанная с использованием статистик части ряда (базового периода) при расчете индексов для всего ряда: этот подход априори порождает неоднородность рядов индексов (Zhang et al., 2005). Мы, как и многие, (напр., Bulygina et al., 2007), обходим эту проблему, используя полный ряд для оценки статистик.

---

---

Возрастающий интерес к изучению изменений экстремальности климата и развитию подходов прослеживается как в оценочных докладах МГЭИК (IPCC, 2013), так и в многочисленных научных публикациях (см. ссылки в Extremes 1999; IPCC, 2013 и ряд других, напр., Easterling et al., 2000; Domonkos et al., 2003). Большая часть выводов получена на основе анализа индексов экстремальности, разработанных группой экспертов МГЭИК (Alexander et al., 2006). Однако эти индексы не в полной мере описывают характер изменения функции распределения температуры воздуха на ее «хвостах». **Целью** настоящей работы является анализ изменений характеристик экстремальных температур воздуха в Причерноморском регионе и их связь с крупномасштабными процессами межгодового масштаба в системе океан – атмосфера во все сезоны года за период 1950 - 2014 гг. Будут рассматриваться не только некоторые индексы, предложенные МГЭИК, но и непосредственно величины экстремальных квантилей суточной температуры внутри календарных сезонов. Такой подход дает последовательное описание изменения экстремумов в терминах функции распределения, и был апробирован в исследованиях для территории России (Бардин, Платова, 2013а, 2013б; Второй оценочный доклад Росгидромета, 2014).

Одна из задач данного исследования – рассмотрение региональных изменений экстремальных температур воздуха в связи с глобальными климатическими процессами в системе океан – атмосфера межгодового масштаба. В настоящей работе мы остановимся на двух важнейших процессах – на Североатлантическом колебании и Эль-Ниньо. Черноморский регион был выбран для исследования по ряду причин: чувствительности к колебаниям крупномасштабной циркуляции в атлантико-европейском секторе средних сезонных температур (Barnston, Livezey, 1987) и повторяемости синоптических вихрей (Бардин, Полонский, 2005), специфичности динамических процессов, определяемой принадлежностью к прибрежному региону со сложной береговой линией и орографией; не последнюю роль играют интересы двух авторов статьи, чья научная деятельность непосредственно связана с этим регионом.

Североатлантическое колебание (САК) представляет собой квазисинхронные флуктуации различных временных масштабов между двумя центрами действия атмосферы: Исландским минимумом и Азорским максимумом (Walker, Bliss, 1932). Данный сигнал выделяется во все сезоны, однако наиболее интенсивное его проявление отмечается в зимний сезон. Принято считать, что при положительной фазе САК отмечается усиление зональной циркуляции в атлантико-европейском секторе. Это не совсем так: в положительной фазе увеличиваются как зональная, так и меридиональная компоненты ветра; усиливается циклоническая активность в Атлантике, а траектории циклонов смещаются на север, ослабляются процессы атмосферного блокирования над Атлантико-Европейским регионом (например, Hurrell, 1995; Бардин, Полонский, 2005; Нестеров, 2013). При отрицательной фазе САК в основном уменьшается меридиональная компонента ветра, и траектории атлантических циклонов приобретают более зональный характер, выходя в Средиземноморско-Черноморский регион и Малую Азию.

---

---

Событие Эль-Ниньо (ЭН) является теплой фазой процесса Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК). Под ним понимается устойчивое аномальное потепление поверхностных вод определенных частей экваториальной зоны Тихого океана, сохраняющееся в течение не менее пяти последовательных месяцев. Влияние ЭН носит глобальный характер. Его дальное действие и проявления в аномалиях гидрометеорологических характеристик, включая экстремальные, в различных регионах Земного шара достаточно активно изучались (например, Ropelewski, Halpert, 1987; Gershunov, Barnett, 1998; Груза и др., 1999; Нестеров, 2000; Петросянц, Гущина, 2002; Воскресенская и др., 2004; Мохов, Смирнов, 2006; Banholzer, Donner, 2014; Железнова, Гущина, 2015). Так, отмечено, что ЭН способствует изменению локализации и интенсивности североатлантических и средиземноморских шторм-треков (Mokhov et al., 1995), смене знака аномалий температуры воздуха над всеми умеренными и приполярными широтами Евразии (Krugov, Park, 2007), уменьшению числа теплых дней в зимний период на юго-востоке США в течение ЭН (Higgins et al., 2002). Но в большей части территории России среднестатистические проявления Эль-Ниньо в температуре воздуха незначительны. На Дальнем Востоке в период интенсивной фазы ЭН отмечаются аномально низкие температуры воздуха осенью и зимой, а в Восточной Сибири во время затухания эпизода ЭН – аномально низкие температуры в весенний период (Груза и др., 1999). Максимальная вероятность засух и положительных аномалий температуры воздуха на Европейской территории России отмечается в годы перехода от теплой фазы ЭНЮК к холодной (т.е. к Ла Нинья) (Мохов, Тимажев, 2013).

В современных исследованиях отмечается, что события Эль-Ниньо подразделяются на типы (Trenberth, Stepaniak, 2001; Horii, Hanawa, 2004; Kao, Yu, 2009; Kug et al., 2009; Воскресенская, Михайлова, 2010; Takahashi et al., 2011; Yu, Kim, 2012; Banholzer, Donner, 2014; Железнова, Гущина, 2015). Это связано с тем, что одни события формируются у побережья Южной Америки, а другие – в центральной части Тихого океана. В связи с этим их влияние на климатические характеристики в разных районах Земного шара неодинаково (Ashok et al., 2007; Weng et al., 2009; Mo, 2010; Железнова, Гущина, 2015; Воскресенская, Коваленко, 2016). При этом рассмотрение отклика гидрометеополей на все события ЭН, без учета типов, может не выявить заметных аномалий, как это показано в работе (Воскресенская, Михайлова, 2010). В настоящей работе будут получены уточненные оценки изменений экстремальной температуры воздуха в разные фазы САК и типы событий ЭН на территории Причерноморского региона.

### **Данные и методы обработки**

В настоящей работе привлекались ежедневные данные о среднесуточной температуре воздуха на 13 гидрометеорологических станциях Причерноморского региона (рис. 1) из проектов European Climate Assessment & Dataset (<http://eca.knmi.nl/>), National Climatic Data Center (<http://www.ncdc.noaa.gov/>), Расписа-

---

ние Погоды (<http://rp5.ru>) за период 1950 - 2014 гг. Временные ряды выбранных станций содержат не более 20 % пропусков за рассматриваемый отрезок времени.

В качестве характеристик экстремальной температуры воздуха (ЭТВ) рассматривали следующие:

(1) величины 5 и 95-го перцентилей внутрисезонных аномалий аномалии среднесуточной температуры воздуха текущего года: сезонные перцентили температуры  $P5(y)$  и  $P95(y)$ ;

(2) количество дней в сезоне с температурой воздуха ниже 5 и выше 95-го перцентилей (перцентили рассчитаны для каждого дня года по полному периоду):  $Q5(y)$ ,  $Q95(y)$ .

Первая характеристика ЭТВ рассчитывалась в соответствии с методикой, описанной в (Бардин, Платова, 2013а, 2013б). На первом шаге определялись аномалии среднесуточной температуры воздуха. Расчеты проводились относительно сглаженного годового хода, рассчитанного для полного периода 1950-2014 гг. В отличие от цитированных работ, сглаживание годового хода проводилось с помощью дискретной фильтрации при использовании быстрого преобразования Фурье в сочетании с разделением сигнала на блоки. Такая фильтрация позволяет компенсировать фазовый сдвиг, иными словами, данная функция реализует фильтрацию без внесения временной задержки. Осуществляется это путем двунаправленной обработки сигнала. Первый проход фильтрации осуществляется обычным образом, а затем полученный выходной сигнал фильтруется второй раз – от конца к началу. За счет этого происходит компенсация фазовых сдвигов, а результирующий порядок фильтра увеличивается в два раза (Oppenheim, 1999; Сергиенко, 2002). Ширина окна составляла 21 день. По полученным временным рядам аномалий температуры воздуха были выделены 5 и 95-й перцентили внутри каждого календарного сезона каждого года. Преимуществом данного подхода является четкое и последовательное описание изменений экстремальной температуры воздуха в терминах функции распределения (Бардин, Платова, 2013а, 2013б).

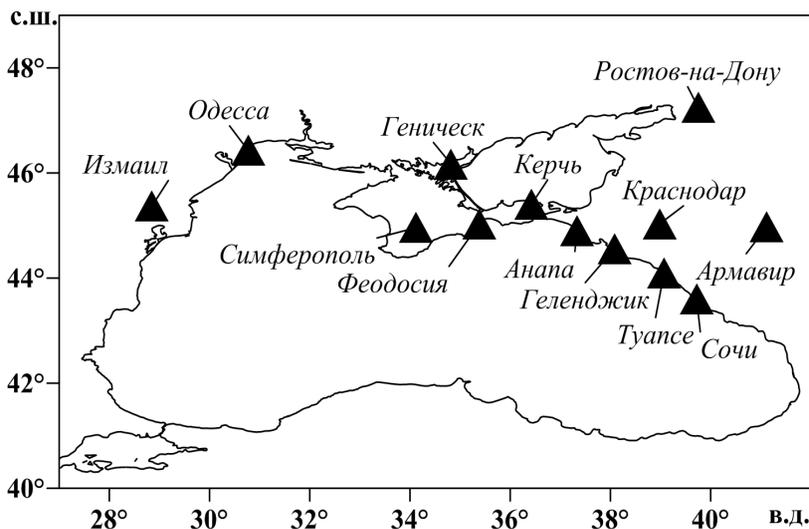


Рисунок 1. Исследуемые гидрометеорологические станции Причерноморского региона

Вторая характеристика ЭТВ – это количество дней в сезоне с аномалией температуры воздуха выше или ниже процентильного порога, рассчитанного по методике, предложенной рабочей группой МГЭИК. Для получения достоверных результатов, полную выборку среднесуточной температуры воздуха для каждого дня (в нашем случае она составляет 65 лет) мы увеличили путем включения двух соседних дней. Затем для каждого календарного дня по этой, увеличенной в 5 раз, выборке рассчитывались 5 и 95-й процентиль  $\pi_5(d)$ ,  $95(d)$ . Далее величина температуры воздуха сопоставлялась с соответствующим процентилем за определенный календарный день. Количество дней с ЭТВ рассчитывалась как сумма дней, для которых выполнялось условие: температура воздуха ниже 5-го или выше 95-го перцентиля.

В работе рассматривались 4 сезона года: зима – с декабря по февраль (90 дней, без учета 29 февраля), весна – с марта по май (92 дня), лето – с июня по август (92 дня), и осень – с сентября по ноябрь (91 день).

*Композиты характеристик ЭТВ.* Одной из задач данного исследования является оценка изменений характеристик ЭТВ в связи с разными фазами САК и разными типами событий ЭН. Для этого применялся композитный анализ, при котором рассчитываются средние для различных выделенных групп (многомерных) данных, в данном случае, фаз САК, событий ЭН и периодов с отсутствием ЭН. Для выделения фаз САК привлекался среднемесячный индекс САК (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml>), рассчитанный на основе анализа главных компонент (Barnston, Livezey, 1987). Типы событий ЭН взяты из классификации Воскресенской, Михайловой (2010). Основные характеристики этих событий приведены в табл. 1. За период 1950 - 2014 гг. весенний тип ЭН (ВЕС) наблюдался 8 раз, летне-осенний короткоживущий тип ЭН (ЛОК) – 7 раз, и летне-осенний продолжительный тип ЭН (ЛОП) – лишь дважды. Далее в работе анализировались изменения характеристик ЭТВ в годы ВЕС и ЛОК типов событий ЭН. Для выявления степени изменений исследуемых характеристик в разные типы ЭН также выполнялось сопоставление с композитами в годы, не относящиеся к эпизодам ЭН.

**Таблица 1.** Типичные характеристики событий Эль-Ниньо (Воскресенская, Михайлова, 2010)

Параметр	Весенний тип	Летне-осенний короткоживущий тип	Летне-осенний продолжительный тип
Начало	Апрель	Июль	Сентябрь
Максимальная аномалия ТПО в районе NINO 3.4	+1.85 °C	+1.24 °C	+1.26 °C
Месяц максимальной аномалии ТПО в районе NINO 3.4	декабрь (9-й месяц от начала события ЭН)	декабрь (6-й месяц от начала события ЭН)	декабрь (16-й месяц от начала события ЭН)
Продолжительность события	12 мес.	9 мес.	20 мес.

---

Композитный анализ выполнен для пороговых величин температуры (т.е. для 5 и 95-го перцентилей P5 и P95) и частоты экстремальных температур воздуха в разные фазы САК и разные типы событий ЭН. Под частотой ЭТВ понимается число экстремумов (количество дней с температурой воздуха ниже 5-го или выше 95-го перцентиля полной выборки:  $\pi_5$ ,  $\pi_{95}$ ), деленное на объем соответствующей выборки (количество месяцев, участвующее в выборке, умноженное на количество дней). Значимость разности величин перцентилей в разные фазы САК оценивалась паллиативно с помощью критерия Стьюдента, устойчивого к отклонениям от нормальности; альтернативой были бы непараметрические методы, не зависящие от распределения, но мало чувствительные, либо бутстрэп, для которого объем выборок, по-видимому, недостаточен. Оценка значимости различия частот в разные фазы САК выполнена с помощью критерия  $\chi^2$  Пирсона (Юнкеров, Григорьев, 2002).

## Результаты

*Изменения характеристик ЭТВ.* Был выполнен анализ коэффициентов линейных трендов характеристик ЭТВ за период с начала современного потепления: 1976 - 2014 гг. На рис. 2 и 3 представлено географическое распределение коэффициентов линейных трендов величины 5 и 95-го перцентилей внутрисезонных аномалий среднесуточной температуры воздуха (P5 и P95) для всех сезонов и количества дней с экстремальной температурой воздуха (Q5 и Q95) для весны и лета. Выделены станции, где тренд значим на уровне 5 %; для проверки нулевой гипотезы используется обычная t-статистика, выражаемая через коэффициент детерминации (или вклад тренда в суммарную дисперсию) и объем выборки. Разумеется, основные предположения для модели регрессии нарушены: выборочные перцентили распределены асимптотически нормально (Уилкс, 1967), но нет оснований предполагать, что распределения для разных лет одинаковы – во-первых, в связи с различием преобладающих циркуляционных условий, а во-вторых – из-за выраженной междесятилетней изменчивости средних, особенно в зимний сезон (Бардин и др., 2015), так что остатки нельзя считать независимыми. Однако критерий Стьюдента довольно устойчив к их нарушению; во всяком случае, t-статистика является удобной и надежной мерой качества аппроксимации, если и не дает формально истинных доверительных границ (что в принципе невозможно). В (Бардин, Платова, 2013а) объясняется, почему не используется какой-либо более «продвинутый» метод оценки значимости, основанный на методе Монте-Карло (обычно используемом для моделирования коррелированных остатков) либо бутстрэпе. По существу, большинство авторов поступает аналогичным образом. В ряде работ (Тимофеев, Стерин, 2010; Fan Lijun, 2014; Стерин, Тимофеев, 2016), предлагается непараметрическая квантильная регрессия для оценки трендов квантилей, что теоретически более обоснованно, чем МНК. Однако в данной работе рассматриваются просто временные ряды индексов и их тренды, независимо от их природы: практически МНК оценки

---

---

трендов квантилей и оценки на основе квантильной регрессии очень близки, и в последнем случае неизбежно применение бутстрэпа для оценки значимости.

Наиболее существенные изменения обоих показателей экстремальности температуры наблюдаются летом: процентилю P5 и P95 изменяются со скоростью от 0.4 до 1.1 °C/10 лет; наиболее велики тренды в западной части региона (Измаил, Одесса). Верхний процентиль (P95) в основном растет несколько быстрее: на 0.1 - 0.2 °C/10 лет, что свидетельствует о росте межсезонной изменчивости в регионе летом. Число дней с экстремально низкими температурами (Q5) убывает со скоростью от -1.6 дней/10 лет (Ростов-на-Дону) до -3.4 дней/10 лет (Измаил). Число дней с экстремально высокими температурами (Q95) растет примерно в том же диапазоне, но минимальные скорости роста выше (2.4 дней/10 лет в Ростове-на-Дону и Армавире). Стоит отметить, что убывание Q5 происходит быстрее в западной части региона, а рост Q95 в общем равномерно распределен.

Весной и осенью экстремальные процентилю также растут во всем регионе. Весной тренды P5 и P95 значимы несколько более, чем на половине станций. Сделать какой-либо определенный вывод об относительной величине трендов P5 и P95 не удастся. Осенью же тренды обоих индексов значимы почти везде, но тренд P5 превосходит тренд P95 более чем на 75 % станций, т.е., в общем внутрисезонная изменчивость температуры уменьшается.

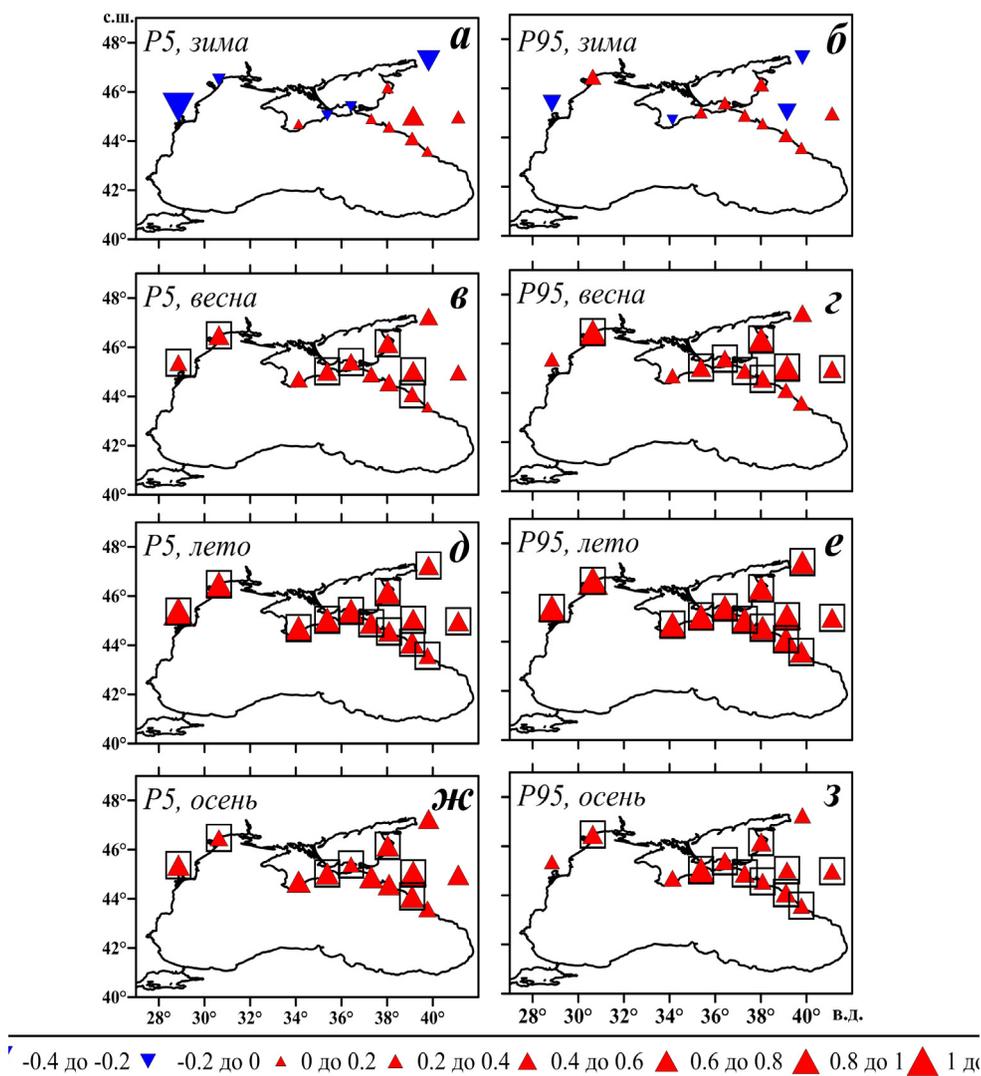
Число дней с экстремально низкими температурами (Q5) весной и осенью во всем регионе убывает, однако значимы тренды менее чем на 25 % станций (разных в разные сезоны и без прослеживающейся географической локализации). С другой стороны, числа дней с экстремально высокими температурами Q95 в оба сезона растут значимо почти повсюду (кроме Измаила и Симферополя); диапазон значимых скоростей роста – от 1.2 дней/10 лет весной и 1.5 дней/10 лет осенью до 2.5 дней/10 лет. Различие в числе значимых трендов индексов P5 и Q5, особенно заметное осенью, связано, очевидно, с дискретностью индекса  $Q$ , при малых значениях индекса осенью приводящей к значительному числу нулевых значений индекса Q5 и сильной асимметрии его функции распределения: эффект, сходный с ситуацией для аналогичного индекса экстремальных осадков (Leander et al., 2014; Золина, Булыгина, 2016). Мы, однако, не предлагаем использовать вместо  $Q$  альтернативный индекс, аналогичный предложенным в цитированных работах, т.к. его интерпретация не столь очевидна: по-видимому, лучше использовать пару индексов  $P$  и  $Q$ : первый характеризует пороговые значения сезонных экстремумов и при этом достаточно «чувствителен» для оценки значимости изменений, а второй – число экстремальных дней в сезоне, так что интерпретации понятны.

В зимний сезон все тренды незначимы. Тренды Q5 и Q95 малы по величине: 65 % из них не превосходит 0.5 дней/10 лет. Тренды P5 и P95 также невелики по величине: в основном меньше, чем в остальные сезоны (самый большой по величине тренд -0.4 °C/10 лет – P5 в Измаиле) и примерно треть из них отрицательны. В основном это связано, по-видимому, с колебаниями зимой средних сезонных температур и характеристик циклонической и анти-

---

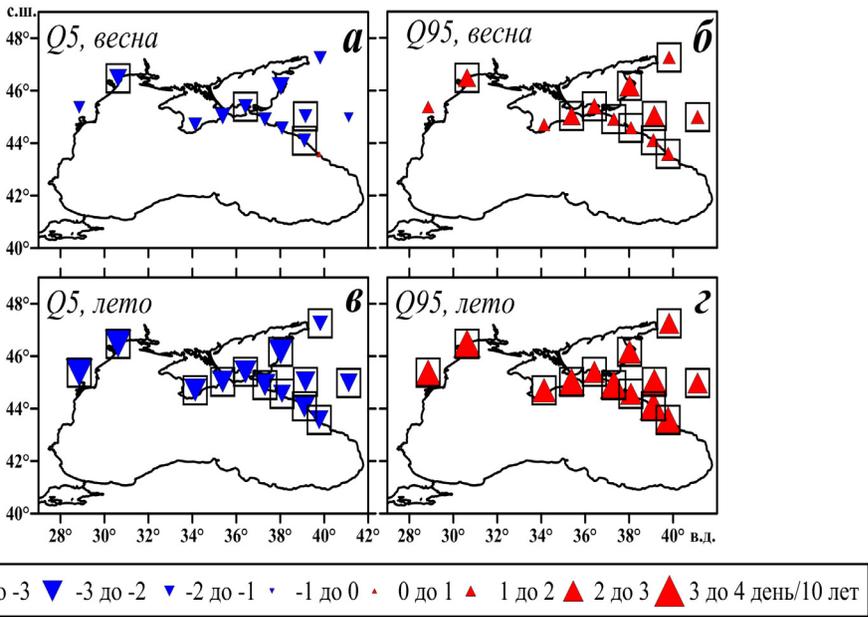
циклонической циркуляции, ассоциирующимся с долгопериодными колебаниями крупномасштабных климатических мод, преимущественно САК и Скандинавской моды (Бардин и др., 2015; Бардин, Полонский, 2005).

Таким образом, за период 1976 - 2014 гг. наблюдается уменьшение величин экстремально низких суточных температур воздуха (т.е. рост P5) и их частоты (Q5), а также увеличение величины экстремально высоких температур (т.е. рост P95) и рост их числа (т.е. рост Q95) во все сезоны года, кроме зимы. Следует обратить внимание на определенную асимметрию скорости роста P5 и P95 в отдельные сезоны, свидетельствующую об изменении внутрисезонной изменчивости суточных температур: рост летом и убывание зимой.



**Рисунок 2.** Коэффициенты линейных трендов величин 5 (а, в, д, ж) и 95го (б, г, е, з) процентилей внутрисезонных аномалий среднесуточной температуры воздуха за период 1976 - 2014 гг.

Зима (а, б), весна (в, г), лето (д, е), осень (ж, з). Квадратом выделены станции, где величина тренда значима на 5 % уровне



**Рисунок 3.** Коэффициенты линейных трендов количества дней с температурой воздуха ниже 5-го (а, в) и выше 95-го процентилей (б, г) за период 1976 - 2014 гг. весна (а, б), лето (в, г).

*Квадратом выделены станции, где величина тренда значима на 5 % уровне*

**Влияние Североатлантического колебания.** Были рассмотрены композиты показателей экстремальности температуры воздуха для наиболее выраженных эпизодов положительных и отрицательных фаз САК (САК<sup>+</sup> и САК<sup>-</sup>): по 15 % процентов месяцев из полной выборки за 1950 - 2014 гг. (всего по 30 месяцев) с каждого «хвоста» распределения. Исследование проявлений влияния САК на экстремумы температуры воздуха в Черноморском регионе показало, что значимые различия между композитами характеристик ЭТВ в разные фазы САК отмечаются только в осенне-зимний период, поэтому далее приведены результаты именно для этого периода (рис. 4).

В зимний сезон разности композитов величин P5 и P95 при положительной фазе САК (САК<sup>+</sup>) относительно его отрицательной фазы (САК<sup>-</sup>), противоположны по знаку: положительны для P5 и отрицательны для P95 (рис. 4а и 4в). Все значения P5 (напомним, что это процентиль *аномалий* относительно среднего годового хода), составляющие выборку каждого из композитов, отрицательны, а P95 – положительны. Поэтому и положительная разность композитов P5, и отрицательная разность композитов P95 означают меньшую по модулю пороговую величину при САК<sup>+</sup>, по сравнению с САК<sup>-</sup>. Так, например, на станции Краснодар величина композита P5 при САК<sup>+</sup> равна -2.9 °С, а при САК<sup>-</sup> – -10.7°С. При этом величина P95 на этой же станции при САК<sup>+</sup> составляет +2.9 °С, при САК<sup>-</sup> – +9 °С.

Осенью статистически значимые величины разности композитов P5 при САК<sup>+</sup> относительно САК<sup>-</sup> отмечаются лишь на 4 станциях в западной части региона: Анапа, Армавир, Краснодар, Туапсе (рис. 4б). При этом разность отрицательна. Поскольку все значения P5 в композитах отрицательны, это

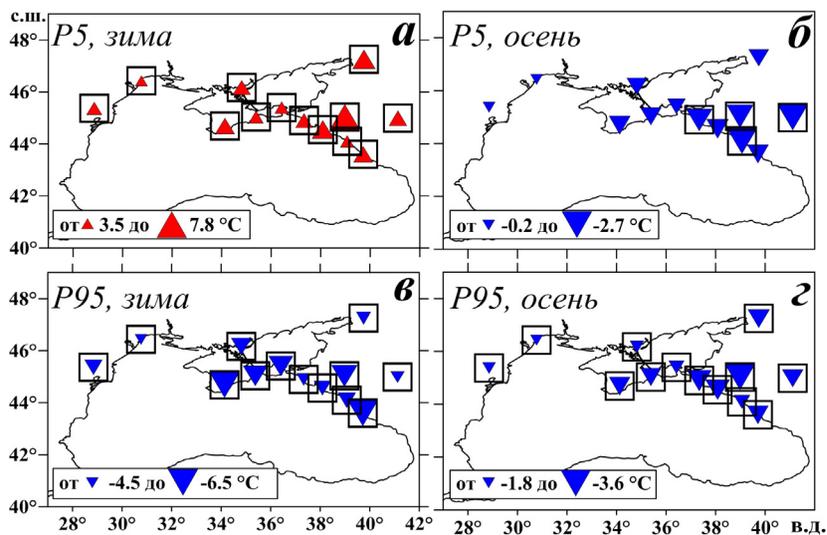
означает, что среднее значение  $P5$  при  $CAK^+$  больше по модулю, чем при  $CAK^-$  (интенсивность экстремумов холода выше). В качестве примера, приведем величины  $P5$  для станции Армавир в разные фазы САК: при  $CAK^+$  составляет  $-7.1\text{ }^\circ\text{C}$ , а при  $CAK^-$   $-4.5\text{ }^\circ\text{C}$ . В то же время разность композитов  $P95$  между  $CAK^+$  и  $CAK^-$  характеризуется значимыми отрицательными величинами во всем исследуемом регионе и достигает  $-3.6\text{ }^\circ\text{C}$  (рис. 4г).

Отметим, что абсолютные величины разности композитов в зимний сезон на всех станциях намного превышают таковые для осени: минимальные значения зимнего сезона превосходят максимальные значения осеннего.

Рассмотрим теперь частоты дней с экстремальными температурами ( $F5^\pm$ ,  $F95^\pm$ ) в разные фазы САК. Они получены как суммы месячных значений  $Q5(y, m)$ ,  $Q95(y, m)$ , т.е. числа дней  $d$  за месяц порога (для месяцев, входящих в выборку соответствующего композита  $CAK^+$  или  $CAK^-$ ) со значениями температуры ниже (выше) процентильного порога  $\pi 5(d)$  ( $\pi 95(d)$ ), рассчитанного по полной выборке 1950 - 2014 гг., поделенной на число дней с наличием данных о суточной температуре в эти месяцы.

Для величин  $F5^\pm$  значимые различия в целом для всего Причерноморского региона отмечаются только в осенний сезон, когда  $F5^+$  значимо больше  $F5^-$  (различия частот от 58 до 89 %). В остальные месяцы значимые различия наблюдаются только на отдельных станциях.

Значимые различия между величинами  $F95^\pm$  отмечаются во все сезоны года, но зимой лишь несколько больше, чем на половине станций Причерноморского региона, а в остальные сезоны – практически на всех станциях. Все разности частот отрицательны. В зимний сезон композитная величина разности  $F95^+$  минус  $F95^-$  колеблется от  $-47.7$  до  $-73.4\%$ , в весенний – от  $-69.7$  до  $-96\%$ , в летний –  $-61.6$  до  $-85.5\%$ , и в осенний сезон – от  $-51.2$  до  $-87.8\%$ .



**Рисунок 4.** Разность композитов величин 5 (а, б) и 95-го (в, г) процентилей внутрисезонных аномалий среднесуточной температуры воздуха в положительную и отрицательную фазу САК ( $CAK^+$  -  $CAK^-$ ). Зима (а, в); осень (б, г).

*Квадратом обозначены станции, где разность значима на 10% уровне.*

---

Таким образом, частоты экстремально жарких дней существенно выше в отрицательную фазу САК во все сезоны. Частоты холодных дней значимо растут в положительную фазу САК, но лишь осенью.

Стоит отметить, что для противоположных фаз САК в Черноморском регионе обнаруживаются выраженные различия циклонической и антициклонической активности (Бардин, Полонский, 2005; Кислов и др., 2016). В настоящей работе не предполагалось выполнить оценку влияния этих различий на особенности экстремальных температур, однако такое сравнение напрашивается (но требует анализа синоптической климатологии циклонов и антициклонов в регионе с учетом их генезиса); авторы предполагают провести его в одной из последующих работ.

*Типы событий Эль-Ниньо.* Поскольку явление ЭН представляет собой процесс, протяженный по времени, такой же характер естественно предполагать также для отклика на него. При этом, учитывая удаленность региона отклика и имея в виду, что "дальние связи" ЭНЮК могут осуществляться не просто через возмущения атмосферной циркуляции, но и через различные цепочки возмущений "океан->атмосфера->океан" с переносом возмущений в том числе в океане, мы также можем ожидать различного временного масштаба сдвигов отклика относительно различных реперных точек сигнала в области ЭН (начало эпизода, максимум развития, окончание). Не имея достаточной априорной информации о характере указанных связей, было бы на начальном этапе исследования преждевременно пытаться строить статистические модели, для которых можно было бы оценивать параметры и/или проверять определенные гипотезы. Вместо того мы воспользуемся концепцией "разведочного анализа" Тьюки (Тьюки, 1981) и постараемся обобщить имеющиеся данные таким образом, чтобы можно было выявить определенные эмпирические закономерности, на основе которых в дальнейшем можно строить модели и проверять статистические гипотезы

Здесь также будет применен определенный вариант «композиционного анализа» экстремальных процентилей аномалий температуры для разных типов ЭН и периодов отсутствия ЭН. Однако здесь нам нужны значения процентилей для отдельных месяцев. Поскольку данных одного месяца (28 - 31 день) недостаточно для надежной оценки экстремальных процентилей, мы будем сразу получать «композиционное значение», выбрав для каждой станции дни всех месяцев, входящих в эпизоды соответствующего типа ЭН ( $NDm \times 8$  для типа ВЕС и  $NDm \times 7$  для ЛОК) и по полученным выборкам рассчитывались проценты  $P_5$  и  $P_{95}$  для месяцев, характерных для соответствующих типов (+1). Аналогично для каждого типа рассчитывались композиты  $P_5$  и  $P_{95}$  для эпизодов «не-ЭН», т.е. для интервалов длины (*продолжительность типа*+1) месяцев, начинающихся в месяц начала типа и не содержащих месяцев ЭН соответствующего типа. Далее сравнивался временной ход композитов ВЕС, ЛОК и «не-ЭН». Чтобы облегчить визуальный анализ, вместо кривых «не-ЭН» для каждой станций брался один «типичный». Как обнаружилось, временной ход  $P_5$  и  $P_{95}$  для обоих типов «не-ЭН» подобен для всех станций, но аффинно, т.е. коэффициенты растяжения различны для разных месяцев; поэ-

---

тому была выбрана единая характерная кривая хода композитов. Величины P5 в годы «не-ЭН» (отдельно для типов ВЕС и ЛОК) были получены для каждой станции и месяца, затем усреднены по станциям, чтобы получить типичный временной ход для всего Причерноморского региона.

В ходе анализа изменений характеристик ЭТВ в годы ЭН разных типов и в годы, не относящиеся к эпизодам ЭН («не-ЭН») обнаружено, что проявления разных типов событий ЭН наиболее интенсивны в величинах P5, т.е., температурах наиболее холодных дней. На рис. 5 представлены величины P5 для каждого типа ЭН с учетом месяца начала события и его продолжительности, а также для лет, не относящихся к эпизодам ЭН («не-ЭН»).

В годовом ходе композитов P5 для лет без ЭН обоих типов минимум наблюдается в феврале, но для лет без ЭН ЛОК он примерно на 1 градус глубже. Соответствующий минимум для композитов P5 при ЭН обоих типов смещен на более ранний месяц, однако имеются значительные различия между типами.

Весенний тип ЭН, относительно лет «не-ЭН», сопровождается минимумом P5, т.е., более холодными экстремальными температурами для большинства станций в ноябре, причем для большинства из этих станций минимумы значительно (до 2.5 градусов) глубже, чем в годы без ЭН. На станциях Геничск и Измаил минимум наблюдается в декабре, а в Керчи – в январе. Отдельно отметим станцию Анапа, где имеется двойной минимум – в ноябре и январе. Для большинства станций также наблюдается неглубокий минимум в июле, однако (даже учитывая «массовость» этого явления), имеющегося объема выборки недостаточно, по-видимому, чтобы в настоящее время проверить какие-либо гипотезы о его реальности.

В целом, величины P5 в годы ЭН ВЕС-типа характеризуются по сравнению с годами «не-ЭН» более низкими значениями в октябре-декабре (т.е., наиболее холодные дни этого периода холоднее, чем при отсутствии ЭН) и более высокими в январе – феврале (рис. 5а), хотя на краях этих интервалов (декабрь и февраль) проверка отличия от композитов «не-ЭН» может оказаться непростой и должна будет включать в себя все (или часть) станций (имея в виду связи между ними) для построения адекватной модели и проверки нулевой гипотезы. По-видимому, это не так для большинства станций в ноябре: здесь, вероятно, достаточно будет простой проверки равенства средних отдельно для каждой станции. Кроме того, нужно будет выполнить оценку значимости наблюдаемых минимумов (т.е. их отличий от значений в остальные месяцы).

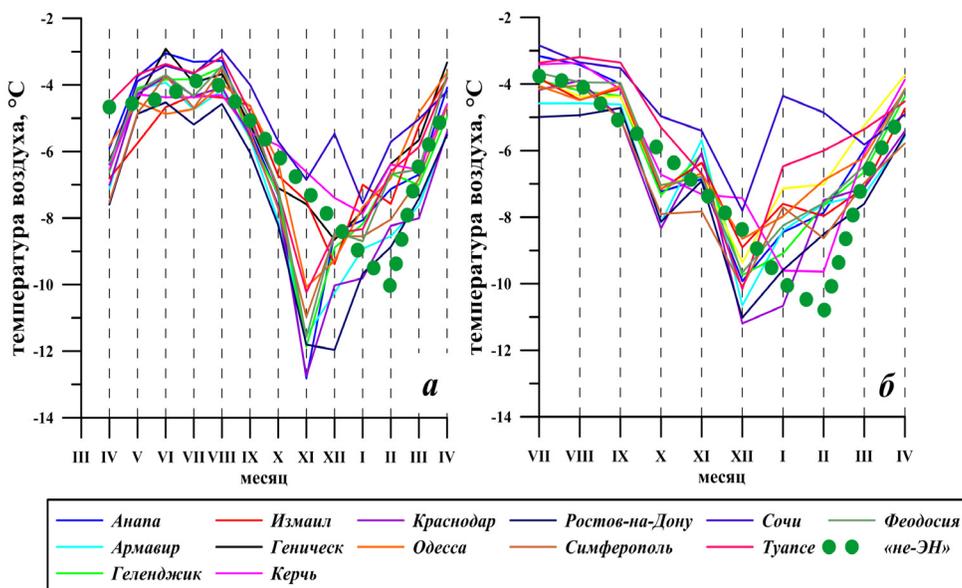
Отклик аномалий холода P5 на летне-осенний короткоживущий тип ЭН (ЛОК) более сложен и менее ярко выражен. В этом случае также минимум P5 при ЛОК-ЭН смещен на более ранние месяцы, но наблюдается двойной минимум: в декабре и октябре. Декабрьский минимум выглядит значительно более глубоким; октябрьские значения в среднем примерно на 3 градуса выше. Но относительно композита «не-ЭН» глубины почти одинаковы. Единственная станция, где нет декабрьского минимума при ЛОК-ЭН – это Керчь (которая «нестандартно» ведет себя и при ВЕС-ЭН). Кроме

Керчи, кривые хода композита P5 остальных станций при ЛОК-ЭН имеют в январе-феврале тенденцию выпуклости вверх и расположены значительно выше кривой «не-ЭН». Некоторые станции демонстрируют максимум композита P5 в январе, особенно Анапа, где этот максимум близок к абсолютному максимуму годового хода. Отметим, что для обоих типов ЭН типичен максимум развития в декабре, как и у минимума ЛОК-ЭН – т.е., в этом случае сигналы синхронны (однако не следует забывать о вторичном минимуме в октябре). В то же время асинхронность для ВЕС-ЭН, по-видимому, свидетельствует о различном механизме формирования сигнала разных типов ЭН в Черноморском регионе.

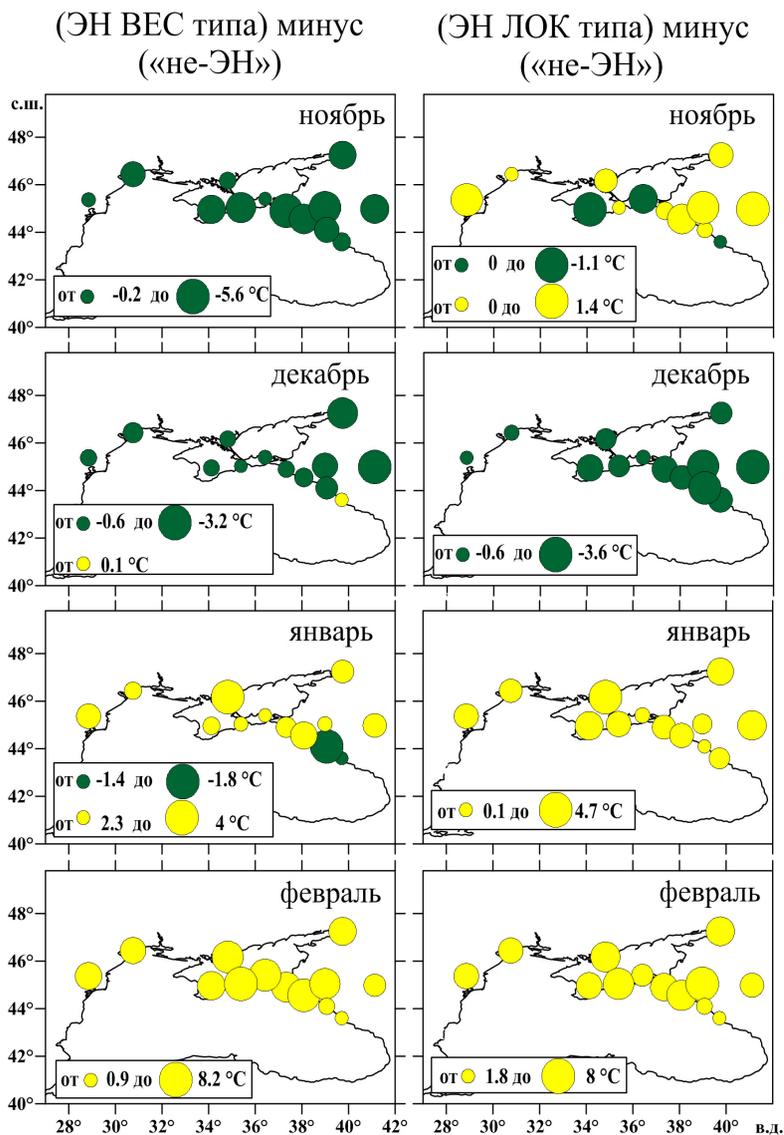
Выполненный анализ величин P5 в годы ЭН разных типов и в годы «не-ЭН» позволил выделить месяцы, в которых отмечаются существенные различия между величинами. Как видно, в основном они приходятся на осенне-зимний период. Далее приведены результаты сравнения композитов только для этих величин в указанный сезон.

На рис. 6 представлены географические распределения разности композитов P5 на территории Причерноморского региона в годы эпизодов Эль-Ниньо, для двух типов событий ЭН, и в годы, не относящиеся к эпизодам Эль-Ниньо, в осенне-зимние месяцы, так как именно в эти месяцы отмечаются значимые различия между пороговыми величинами. В данном случае, в отличие от предыдущего анализа, композиты для лет без ЭН рассчитываются отдельно для каждой станции, а не осредняются по всем станциям.

При рассмотрении изменений пороговой величины в каждый конкретный тип ЭН, относительно лет «не-ЭН» обнаруживаются следующие особенности.



**Рисунок 5.** Величины 5-го перцентиля внутрисезонных аномалий среднесуточной температуры воздуха в годы событий Эль-Ниньо весеннего (а), летне-осеннего короткоживущего (б) типов и в годы, не относящиеся ни к одному эпизоду Эль-Ниньо (зеленая пунктирная линия) для каждой станции Причерноморского региона



**Рисунок 6.** Карты разности величин 5-го процентиля внутрисезонных аномалий среднесуточной температуры воздуха в годы эпизодов Эль-Ниньо с учетом типов событий, и в годы, не относящиеся к эпизодам Эль-Ниньо («не-ЭН»).

*Весенний тип ЭН – ВЕС, летне-осенний короткоживущий тип ЭН – ЛОК. Положительная разность (желтый круг) означает, что исследуемая величина по модулю в годы «не-ЭН» больше, чем в годы ЭН. Отрицательная разность (зеленый круг) означает, что величина P5 по модулю в годы «не-ЭН» меньше, чем в годы ЭН*

Величина разности P5 при ВЕС и ЛОК типах ЭН, относительно лет «не-ЭН», в ноябре противоположна по знаку. В частности ВЕС тип ЭН, относительно лет «не-ЭН», сопровождается более низкими величинами P5 (например, на станции Ростов-на-Дону величина P5 при указанном типе ЭН составляет -11.8 °С, а в годы «не-ЭН» – -7.7 °С). В то же время разность P5 при ЛОК типе ЭН, относительно лет «не-ЭН» преимущественно положительна во всем Причерноморском регионе: на той же станции Ростов-на-

---

Дону величина  $P5$  в годы ЭН такого типа равняется  $-6.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в годы «не-ЭН» –  $-7.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это означает, что для данного типа ЭН характерна более мягкая ноябрьская погода, чем в годы без эпизодов ЭН. Следует также отметить, что при ВЕС типе, относительно ЛОК, величины  $P5$  на каждой исследуемой станции больше по абсолютной величине.

В декабре разность  $P5$  для обоих типов: (ВЕС тип ЭН) минус («не-ЭН»), так и (ЛОК тип ЭН) минус («не-ЭН»), почти везде отрицательна: величины разности достигают  $-3.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В январе – феврале разность композитов  $P5$  для рассматриваемых двух типов ЭН относительно лет без ЭН положительна. Однако максимальные величины разности при весеннем и летне-осеннем типе ЭН, относительно лет «не-ЭН», отмечаются в феврале (до  $8.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), причем абсолютные величины разностей для типов ВЕС и ЛОК примерно одинаковы.

Таким образом, несмотря на то, что в общем влияние процессов Эль-Ниньо на средние месячные (сезонные) температуры весьма слабо в смысле вклада в суммарную изменчивость (Груза и др. 1999), в Черноморском регионе обнаруживается их качественно очевидный и согласованный вклад в годовой ход интенсивности экстремальных температур. Анализ различия величин  $P5$  в годы событий ЭН и «не-ЭН» позволяет выделить месяцы наиболее интенсивного влияния событий ЭН разных типов и оценить численно величину отклика для каждого месяца. Важно подчеркнуть различие в откликах (в календарной локализации, величине, и даже в знаке, при рассмотрении отдельных месяцев) на разные типы ЭН, что указывает на необходимость использования типизации событий ЭН при анализе их влияния.

### **Заключение**

Исследование характеристик экстремальной температуры воздуха в Причерноморском регионе за период 1976 - 2014 гг. показало значимое увеличение величины порогов экстремальных температур воздуха (процентилей  $P5$  и  $P95$ ), а также уменьшение числа дней с экстремально низкими и увеличение числа дней с экстремально высокими температурами во все сезоны, кроме зимы. Полученные оценки изменений не противоречат результатам более ранних работ (например, Бардин, Платова, 2013а, 2013б), но получены на более подробном региональном материале. Кроме того, рассмотрены изменения для переходных сезонов. В частности показано, что линейный тренд, характеризующий уменьшение числа дней с экстремально низкими температурами осенью незначим, в то время, как рост соответствующего процентилля суточной температуры  $P5$  значим.

Влияние Североатлантического колебания на особенности поведения характеристик экстремальности температуры воздуха на территории Причерноморского региона наиболее явно проявляются в изменениях пороговых величин экстремально низких температур воздуха в осенне-зимний период. При положительной фазе Североатлантического колебания эта пороговая

---

величина по модулю уменьшается в зимний сезон и увеличивается в осенний, что соответствует формированию более мягких (без сильных экстремумов холода) погодных условий зимой и суровых осенью.

Минимум годового хода пороговых величин экстремумов холодной температуры воздуха в годы с Эль-Ниньо обоих типов смещен от такого же минимума при отсутствии Эль-Ниньо в феврале: при ЭН весеннего типа характерен минимум в ноябре, а для летне-осеннего типа – двойной минимум в декабре и октябре

Проявления событий Эль-Ниньо в характеристиках экстремальной температуры в Причерноморском регионе характеризуется более значительными по абсолютной величине пороговыми величинами экстремумов холодной температуры воздуха в осенне-зимний период относительно не аномальных лет. Однако в феврале наблюдается противоположная ситуация.

С учетом классификации событий Эль-Ниньо обнаружено, что пороговая величина экстремально низкой температуры при весеннем Эль-Ниньо больше по модулю, чем при летне-осеннем короткоживущем. Сопоставление пороговых величин между собой выявило существенное различие этих аномалий по величине, а в ноябре и по знаку. Это указывает на необходимость использования результатов типизации событий Эль-Ниньо для более корректного изучения его проявлений в полях гидрометеорологических переменных и последующего использования при решении прикладных задач.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты № 16-05-00231, 16-35-00186 и 16-35-50044 «мол\_нр»).*

### Список литературы

Бардин М.Ю., Платова Т.В., Самохина О.Ф. 2015. Особенности наблюдаемых изменений климата на территории Северной Евразии по данным регулярного мониторинга и возможные их факторы. – Труды Гидрометцентра России, вып. 358, с. 13 - 35.

Бардин М.Ю., Платова Т.В. 2013а. Изменения порогов экстремальных значений температур и осадков на территории России в период глобального потепления. – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. XXV, с. 71 - 93.

Бардин М.Ю., Платова Т.В. 2013б. Изменения экстремальных квантилей распределения основных климатических переменных в Европейской части СНГ. – Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря, № 27, с. 83 - 91.

Бардин М.Ю., Полонский А.Б. 2005. Североатлантическое колебание и синоптическая изменчивость в Европееко-Атлантическом регионе в зимний период. – Известия РАН. Физика атмосферы и океана, т. 41, № 2, с. 147 - 157.

Воскресенская Е.Н., Зеленко А.А., Полонский А.Б. 2004. Эль-Ниньо 1991-92 годов и его проявление в тропической Атлантике. – Морской гидрофизический журнал, № 4, с. 19 - 38.

Воскресенская Е.Н., Коваленко О.Ю. 2016. Блокирующие антициклоны в Европейском регионе и их изменения обусловленные Эль-Ниньо. – Известия РАН. Серия Географическая, № 1, с. 49 - 57. doi:10.15356/0373-2444-2016-1-49-57.

Воскресенская Е.Н., Михайлова Н.В. 2010. Классификация событий Эль-Ниньо и погодно-климатические аномалии в Черноморском регионе. – Доповіді національної академії наук України, № 3, с. 124 - 130.

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. 2014. – М., Росгидромет, 60 с.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Клещенко Л.К., Аристова Л.Н. 1999. О связи климатических аномалий на территории России с явлением Эль-Ниньо – Южное колебание. – Метеорология и гидрология, № 5, с. 32 - 51.

Железнова И.В., Гущина Д.Ю. 2015. Отклик глобальной циркуляции атмосферы на два типа Эль-Ниньо. – Метеорология и гидрология, № 3, с. 36 - 50.

Золина О.Г., Булыгина О.Н. 2016. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России. – Фундаментальная и прикладная климатология, т. 1, с. 84 - 103.

Кислов А.В., Суркова Г.В., Архипкин В.С. 2016. Повторяемость штормовых ситуаций в Балтийском, Черном и Каспийском морях в изменяющихся климатических условиях. – Метеорология и гидрология, № 2, с. 67 - 77.

Мохов И.И., Смирнов Д.А. 2006. Исследование взаимного влияния процессов Эль-Ниньо - Южное колебание и Северо-Атлантического и Арктического колебаний нелинейными методами. – Известия РАН. Физика атмосферы и океана, т. 42, № 5, с. 650 - 667.

Мохов И.И., Тимажев А.В. 2013. Климатические аномалии в регионах Евразии: эффекты явлений Эль-Ниньо/Ла-Нинья. – ДАН, т. 453, № 2, с. 211 - 214.

Нестеров Е.С. 2000. Изменчивость характеристик атмосферы и океана в атлантико-европейском регионе в годы событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья. – Метеорология и гидрология, № 8, с. 74 - 83.

Нестеров Е.С. 2013. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. – М., Триада, 144 с.

Петросянц М.А., Гущина Д.Ю. 2002. Об определении явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья. – Метеорология и гидрология, № 8, с. 24 - 35.

Расписание погоды. – Электронный ресурс. URL: <http://rp5.ru>.

Сергиенко А.Б. 2002. Цифровая обработка сигналов. – СПб., Питер, 608 с.

Стерин А. М., Тимофеев А. А. 2016. Об оценке трендов приземной температуры воздуха для территории России методом квантильной регрессии. – Метеорология и гидрология, № 6, стр. 17 - 30.

Тимофеев А. А., Стерин А. М. 2010. Применение метода квантильной регрессии для анализа изменений характеристик климата. – Метеорология и гидрология, № 5. с. 27 - 41.

Тьюки Дж. 1981. Анализ результатов наблюдений. Разведочный анализ. – М., Мир, 696 с.

Юнкеров В.И., Григорьев С.Г. 2002. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований. – СПб., ВМедА, 266 с.

---

- Уилкс С. 1967. Математическая статистика. – М., «Наука», 632 с.
- Alexander L.V., Zhang X., Peterson T.C., Caesar J., Gleason B., Klein Tank A.M.G., Haylock M., Collins D., Trewin B., Rahimzadeh F., Tagipour A., Ambenje P., Rupa Kumar K., Revadekar J., Griffiths G. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. – *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, vol. 111, Issue D5, D05109. doi: 10.1029/2005JD006290.
- Ashok K., Behera S.K., Rao S.A., Weng H., Yamagata T. 2007. El Nino Modoki and its possible teleconnection. – *Journal of Geophysical Research*, vol. 112, C11007. doi:10.1029/2006JC003798.
- Banholzer S., Donner S. 2014. The influence of different El Niño types on global average temperature. – *Geophysical Research Letters*, vol. 41, issue 6, pp. 2093 - 2099. doi: 10.1002/2014GL059520.
- Barnston A.G., Livezey R.E. 1987. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. – *Monthly weather review*, vol. 115, pp. 1083 - 1126.
- Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Korshunova N.N., Groisman, P. Ya. 2007. Climate variations and changes in extreme climate events in Russia. – *Environ. Res., Lett.* 2, No. 4 (October-December 2007) 045020, 7 p.
- Domonkos P., Kysely J., Riotrowicz K., Petrovic P., Likso T. 2003. Variability of extreme temperature events in south-central Europe during the 20th century and its relationship with large scale circulation. – *International journal of climatology*, 23, pp. 987 - 1010.
- Easterling D.R., Meehl G.A., Parmesan C., Changnon S.A., Karl T.R., Mearns L.O. 2000. Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. – *Science*, vol. 289, issue 5487, pp. 2068 - 2074. doi: 10.1126/science.289.5487.2068.
- European Climate Assessment & Dataset project. – Available at: <http://eca.knmi.nl/>.
- Extremes 1999. *Weather and Climate Extremes. Changes, Variations and a Perspective from the Insurance Industry.* /T.R. Karl, N. Nicholls and Anver Ghazi. – Kluwer Academic Publishers, 349 p. (reprinted from *Climatic Change* Vol. 42, No.1, 1999).
- Gershunov A., Barnett T.P. 1998. Interdecadal Modulation of ENSO Teleconnections. – *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 79, No. 12, pp. 2715 - 2725.
- Fan Lijun 2014. Quantile Trends in Temperature Extremes in China. – *Atmos. and Oceanic Sci. Lett.*, vol. 7, No. 4, pp. 304 - 308.
- Higgins R.W., Leetmaa A., Kousky V.E. 2002. Relationship between climate variability and winter temperature extremes in the United States. – *Journal of climate*, vol. 15, issue 13, pp. 1555 - 1572.
- Horii T., Hanawa K. 2004. A relationship between timing of El Nino onset and subsequent evolution. – *Geophysical research letters*, vol. 31, pp. 1634 - 1648.
- Hurrell J.W. 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitations. – *Science*, 269, pp. 676 - 679.
- IPCC 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on*

---

Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 p.

Kao H.-Y., Yu J.-Y. 2009. Contrasting eastern-Pacific and central-Pacific types of El Niño. – *Journal of climate*, vol. 22, pp. 615 - 632.

Kryjov V.N., Park Ch.-K. 2007. Solar modulation of the El-Niño/Southern Oscillation impact on the Northern Hemisphere annular mode. – *Geophysical research letters*, vol. 34, L10701, doi:10.1029/2006GL028015.

Kug J.S., Jin F.F., An S.I. 2009. Two types of El Niño events: Cold tongue El Niño and warm pool El Niño. – *Journal of climate*, vol. 22, pp. 1499 – 1515.

Leander L., Buishand T.A., Klein Tank A.M.G. 2014. An alternative index for the contribution of precipitation on very wet days to the total precipitation. – *J. Climate*, 27, 4, pp. 1365 - 1378. doi: 10.1175/JCLI-D-13-00144.1.

Mo K.C. 2010. Interdecadal modulation of the impact of ENSO on precipitation and temperature over the United States. – *Journal of climate*, vol. 23, pp. 3639 - 3656. doi:10.1175/2010JCLI3553.1.

Mokhov I.I., Petukhov V.K., Senatorsky A.O. 1995. Sensitivity of storm track activity and blockings to global climatic changes: Diagnostics and modeling. – *Publications of the Academy Finland*, 6/95, pp. 438 - 441.

National Climatic Data Center. – Available at: <http://www.ncdc.noaa.gov/>.

North Atlantic Oscillation. – Available at: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml>.

Ropelewski C.F., Halpert M.S. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the Southern Oscillation. – *Monthly weather review*, vol. 115, pp. 1606 - 1626.

Takahashi K., Montecinos A., Goubanova K., Dewitte B. 2011. ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño. – *Geophysical Research Letters*, vol. 38, L10704. doi:10.1029/2011GL047364.

Trenberth K.E., Stepaniak D.P. 2001. Indices of El Niño evolution. – *Journal of climate*, vol. 14, pp. 1697 - 1701.

Walker G.T., Bliss E.W. 1932. *World Weather V.* – *Memoirs of the royal meteorological society*, 4, No. 36, pp. 53 - 84.

Weng H., Behera S.K., Yamagata T. 2009. Anomalous winter climate conditions in the Pacific Rim during recent El Niño Modoki and El Niño events. – *Climate Dynamics*, 2009, vol. 32, pp. 663 - 674.

Yu J.Y., Kim S.T. 2012. Identifying the types of major El Niño events since 1870. – *International journal of climatology*, vol. 33, issue 8, pp. 2105 - 2112. doi: 10.1002/joc.3575.

Zhang X., Hegerl G., Zwiers F.W., Kenyon J. 2005. Avoiding inhomogeneity in Percentile-Based Indices of Temperature Extremes. – *J. Climate*, 18, pp.1641 - 1651.

*Статья поступила в редакцию: 25.01.2017*