

УДК 551.465

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-152-167>

СРАВНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЯВЛЕНИЙ В РЕГИОНЕ ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ РАЗЛИЧНЫХ РЕ-АНАЛИЗОВ*

И.В. Серых¹, А.Г. Костяной^{1,2}, Я.А. Экба³

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

²Московский Университет им. С.Ю. Витте, г. Москва, Россия

³Институт экологии Академии наук Абхазии, г. Сухум, Республика Абхазия

Выполнено сравнение климатических изменений температуры воздуха у поверхности в регионе восточной части Черного моря по данным восьми различных ре-анализов за период 1980-2010 гг. На основе этого сравнения выбран ре-анализ MERRA-2, результаты которого наиболее близки к другим исследованным источникам данных для выбранного региона. По ре-анализу MERRA-2 исследованы климатические изменения амплитуды, количества и продолжительности экстремальных температурных явлений в регионах побережий Краснодарского края и Абхазии за период 1980-2016 гг.

Ключевые слова: *Черное море, ре-анализы, изменения климата, экстремальные температурные явления.*

Глобальное потепление климата ведет к изменениям частоты, интенсивности, пространственных масштабов, продолжительности и сроках экстремальных метеорологических явлений. Общее число опасных гидрометеорологических явлений в России в конце XX – начале XXI века в среднем увеличилось. Из них 52% наблюдались на Европейской территории России. Наиболее подвержены возникновению разных экстремальных метеорологических явлений Северо-Кавказский и Южный федеральные округа России, в частности, черноморское побережье Краснодарского края, и Республика Абхазия. Так в Южном федеральном округе в 2010 году наблюдалось 60 опасных гидрометеорологических явлений, а в 2011 – 78. Состояние прибрежных экосистем Черноморского региона вызывает серьезную тревогу, порожденную не только

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-55-40015_Абх_а «Климатические изменения интенсивности и повторяемости экстремальных гидрологических и метеорологических явлений в прибрежной зоне Краснодарского края и Абхазии»

антропогенными, но и природными причинами (экстремальными метеорологическими явлениями, опасными стихийными бедствиями и т.д.), а также частотой их повторения.

Под экстремальными метеорологическими явлениями обычно понимают статистику «экстремальных», т.е. резко выделяющихся на фоне «нормы», явлений в климатической системе. Как правило, такие явления оказывают особое (чаще – негативное) воздействие на природные системы, которые поэтому особенно чувствительны к изменениям их повторяемости и интенсивности [1-6].

В Четвертом (2007 г.) и Пятом (2014 г.) оценочных докладах по изменению климата Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC) [1–2] указывается, что в XXI веке изменение климата будет сопровождаться увеличением частоты, интенсивности и продолжительности таких экстремальных природных явлений как: экстремальные осадки или засухи и экстремально высокие или низкие температуры воздуха. Все это будет приводить к наводнениям, засухам, пожарам, обмелению рек, озер и водохранилищ, опустыниванию, пылевым бурям, таянию ледников и вечной мерзлоты, цветению морей и пресноводных водоемов. В свою очередь эти явления будут приводить к химическому и биологическому загрязнению вод, земель и воздуха. Конечным результатом этих событий являются ухудшение качества жизни населения, значительные финансовые потери, связанные с ущербом, нанесенным жилому фонду, предприятиям, дорогам, сельскому и лесному хозяйству, туризму, а во многих случаях они заканчиваются людскими потерями.

Эти же прогнозы подтверждаются результатами исследований, представленных в Первом (2008 г.) и Втором (2014 г.) [4–5] оценочных докладах Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Прогнозы ученых неоднократно подтверждались за последние 15 лет – это наводнения, засухи и пожары в различных регионах РФ, включая Краснодарский край, а также в Республике Абхазия, где в 2016 г. впервые выпала двукратная годовая норма осадков. В связи с этим анализ и прогнозирование экстремальных климатических событий, связанных с региональным изменением климата на территории и акватории Краснодарского края и Абхазии, представляет собой чрезвычайно важную задачу, учитывая какое важное значение для этих регионов играет сельское хозяйство и туризм.

Современное состояние исследований по данной проблеме обобщено в Пятом оценочном докладе IPCC [2] по изменению климата и во Втором оценочном докладе Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации [5], которые были опубликованы в 2014 г. Кроме основных оценочных докладов IPCC выпускает и специализированные отчеты по экстремальным явлениям или проблемам (недостатку водных ресурсов и др.). Аналогичные Ежегодные

доклады о состоянии климата на территории Российской Федерации выпускаются Росгидрометом.

Недостатком проводимых исследований является осреднение исследуемых параметров и обобщение полученных выводов для очень больших территорий и акваторий, сравнимых с размерами отдельных стран или морей. В данной работе сделана детализация изменчивости характеристик экстремальных температурных событий с пространственным масштабом порядка одного градуса на акватории восточной части Черного моря и побережье Краснодарского края и Республики Абхазия.

Для морской акватории Абхазии не хватает данных контактных методов измерений для статистического описания основных параметров состояния морской воды и выделения экстремальных гидрологических и/или метеорологических явлений. Это справедливо и для горных или предгорных районов, где инструментальных измерений метеорологических параметров явно не хватает. Например, в работе [7] по данным наблюдений 50 метеорологических станций Грузии за 1936–2011 гг. исследованы некоторые температурные индексы для оценки изменения климата – экстремальные значения температуры, число морозных, холодных и жарких дней, тропических ночей и индексы, основанные на процентилях распределения. Построены геоинформационные карты пространственной структуры и исследована динамика этих индексов за период глобального потепления. Определены средние значения индексов за разные периоды осреднения. Однако такая смелая экстраполяция данных на горные районы приводит к существенным ошибкам в оценках климатической изменчивости экстремальных метеорологических явлений [8]. Поэтому для исследования климатической изменчивости экстремальных метеорологических явлений вместе с данными метеонаблюдений необходимо использовать результаты ре-анализов.

Целью данной работы является определение ре-анализа, наиболее адекватно воспроизводящего климатические изменения температуры восточной части Черного моря, и оценка по нему изменений характеристик экстремальных температурных явлений, наблюдавшихся в этом регионе.

Использованные данные и методика их обработки

В данной работе исследованы данные температуры воздуха у поверхности (ТВП) из восьми ре-анализов:

- 1) NOAA CIRES 20th Century Global Reanalysis Version 2c (20thC Rean V2c) на сетке $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ за период 1980-2011 гг. [9],
- 2) ECMWF ERA-20C на сетке $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ за период 1980-2010 гг. [10],
- 3) JMA JRA-55 на сетке $1.25^{\circ} \times 1.25^{\circ}$ за период 1980-2013 гг. [11],
- 4) NCEP/NCAR Reanalysis на сетке $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ за период 1980–2014 гг. [12],

5) NCEP-DOE на глобальной сетке T62 Gaussian (192x94) за период 1980–2013 гг. [13],

6) NASA MERRA-2 на сетке 0.5°ш x 0.625°д за период 1980–2016 гг. [14],

7) ERA-Interim на сетке 0.75°x0.75° за период 1980–2016 гг. [15],

8) NCEP-CFSR на сетке 0.5°x0.5° за период 1980–2016 гг. [16].

Рассчитывались средние значения для 3-х регионов: восточная часть Черного моря (42°–45° с.ш.; 37°–42° в.д.), Абхазия (42°–43.5° с.ш.; 40°–42° в.д.) и побережье Краснодарского края (43.5°–45° с.ш.; 37°–40° в.д.). Регион восточной части Черного моря включает в себя регионы Абхазии и побережья Краснодарского края, которые исследовались отдельно для более детального анализа особенностей региональных изменений климата и характеристик экстремальных температурных явлений.

Все результаты подсчитывались отдельно для каждого из 3-х выбранных регионов и для каждого из восьми исследуемых ре-анализов. После чего производилось сравнение полученных результатов между собой с целью выбора ре-анализа, наиболее близко воспроизводящего остальные источники данных. Изучались различия в изменениях ТВП побережий Краснодарского края и Абхазии.

По среднемесячным данным методом наименьших квадратов рассчитывались линейные тренды изменения средней ТВП в выбранных регионах за исследуемый период. Затем из начальных данных в каждом узле сетки был удален сезонный сигнал путем вычитания среднего годового хода за рассматриваемый период. После чего производилось осреднение аномалий исследуемых параметров для выбранных регионов. По рядам средних аномалий ТВП исследуемых регионов рассчитывались линейные тренды. Производились однолетнее и восьмилетнее скользящие осреднения исследуемых рядов. Рассчитывались накопленные суммы рядов аномалий после удаления линейного тренда. Рассчитывались средние значения аномалий отдельно для каждого теплого (май–октябрь) и холодного (ноябрь–апрель) полугодия всего исследуемого периода.

Сравнение ре-анализов

Результаты расчета линейных трендов по рядам аномалий за единый для исследуемых ре-анализов период 1980–2010 гг. были сведены в Таблицу 1. Все ре-анализы показывают сильный рост ТВП в рассматриваемых регионах за период 1980–2010 гг.: в среднем на 0.50 °C / 10 лет в восточной части Черного моря, на 0.38 °C / 10 лет в Абхазии и на 0,57 °C / 10 лет в Краснодарском крае. ТВП в регионе побережий восточной части Черного моря за период 1980–2010 гг. меньше всего увеличилась по данным 20thC_ReanV2c (на 1,2 °C) и сильнее всего по

данным ERA-20C (на 2,1 °C). Рост ТВП за период 1980-2010 гг. в регионе Абхазии показывает более сильный разброс (от 0,4 °C по данным NCEP-DOE до 2,0 °C по данным ERA-20C), чем в регионе побережья Краснодарского края (от 1,4 °C по данным 20thC_ReanV2c до 2.3 °C по данным ERA-20C).

Т а б л и ц а 1

Средние значения роста ТВП (°C / 10 лет) в исследуемых регионах (рассчитанные по линейным трендам) для различных ре-анализов за 1980–2010 гг., и их средние значения.

	20thC Rean V2c	ERA -20C	JRA- 55	NCEP / NCA R	NCEP -DOE	MERRA - 2	ERA- Interi m	NCEP - CFSR	Средн ее
Восточная часть Черного моря	0,39	0,69	0,44	0,59	0,45	0,50	0,53	0,45	0,50
Абхазия	0,32	0,64	0,38	0,43	0,12	0,39	0,47	0,30	0,38
Краснодар ский край	0,47	0,76	0,48	0,68	0,55	0,56	0,59	0,51	0,57

Линейные тренды за 1980–2010 гг. можно отнести к междекадным колебаниям (половина квази-60-летнего периода). И полученные результаты показали, что на этом временном масштабе ре-анализ MERRA-2 ближе всего воспроизводит средние значения по всем рассмотренным ре-анализам.

Для сравнения изменчивости ТВП рассчитаны кросс-корреляции изменений среднемесячных аномалий (относительно сезонного хода) в выбранных регионах между различными ре-анализами. Для сравнения внутри-сезонных колебаний исследованы кросс-корреляции аномалий без фильтрации (табл. 2). А для сравнения межгодовых колебаний рассчитаны кросс-корреляции аномалий с фильтрацией годовым скользящим сглаживанием (Табл. 3).

В целом значения кросс-корреляций изменений аномалий ТВП для региона восточной части Черного моря между различными ре-анализами оказались довольно высокими (>0.8) – на статистически-значимом уровне. Значения кросс-корреляций внутри-сезонных изменений оказались выше, чем межгодовых, что свидетельствует о большем соответствии ре-анализов друг-другу в воспроизведении короткопериодной изменчивости, чем межгодовой. Значения кросс-корреляций для региона Краснодарского края оказались выше, чем для региона Абхазии (таблицы не приводятся), что может быть объяснено влиянием горного рельефа, преобладающего в Абхазском регионе.

Т а б л и ц а 2

Матрица кросс-корреляций изменений (без фильтрации) средних аномалий ТВП между различными ре-анализами в регионе восточной части Черного моря за 1980-2010 гг.

	20thC Rean V2c	ERA-20C	JRA-55	NCEP-NCAR	NCEP-DOE	MERRA-2	ERA-Interim	NCEP-CFSR
20thC_Rean V2c	1	0,89	0,88	0,89	0,89	0,91	0,91	0,92
ERA-20C	0,89	1	0,95	0,95	0,94	0,97	0,97	0,96
JRA-55	0,88	0,95	1	0,95	0,95	0,97	0,98	0,97
NCEP-NCAR	0,89	0,95	0,95	1	0,96	0,96	0,95	0,96
NCEP-DOE	0,89	0,94	0,95	0,96	1	0,95	0,95	0,95
MERRA-2	0,91	0,97	0,97	0,96	0,95	1	0,98	0,99
ERA-Interim	0,91	0,97	0,98	0,95	0,95	0,98	1	0,98
NCEP-CFSR	0,92	0,96	0,97	0,96	0,95	0,99	0,98	1

Т а б л и ц а 3

Матрица кросс-корреляций изменений (с фильтрацией годовым скользящим сглаживанием) средних аномалий ТВП между различными ре-анализами в регионе восточной части Черного моря за 1980-2010 гг.

	20thC Rean V2c	ERA-20C	JRA-55	NCEP-NCAR	NCEP-DOE	MERRA-2	ERA-Interim	NCEP-CFSR
20thC_Rean V2c	1	0,80	0,84	0,84	0,85	0,87	0,83	0,87
ERA-20C	0,80	1	0,94	0,95	0,89	0,96	0,98	0,96
JRA-55	0,84	0,94	1	0,93	0,90	0,97	0,97	0,97
NCEP-NCAR	0,84	0,95	0,93	1	0,94	0,96	0,93	0,96
NCEP-DOE	0,85	0,89	0,90	0,94	1	0,91	0,88	0,92
MERRA-2	0,87	0,96	0,97	0,96	0,91	1	0,96	0,99
ERA-Interim	0,83	0,98	0,97	0,93	0,88	0,96	1	0,97
NCEP-CFSR	0,87	0,96	0,97	0,96	0,92	0,99	0,97	1

Анализ кросс-корреляций внутри-сезонных и межгодовых колебаний показал, что на этих временных масштабах ре-анализ MERRA-2 ближе всего воспроизводит изменчивость ТВП в рассмотренном регионе рассчитанную по другим анализируемым источникам данных. Таким образом, для анализа климатических

изменений экстремальных температурных событий был выбран ре-анализ MERRA-2.

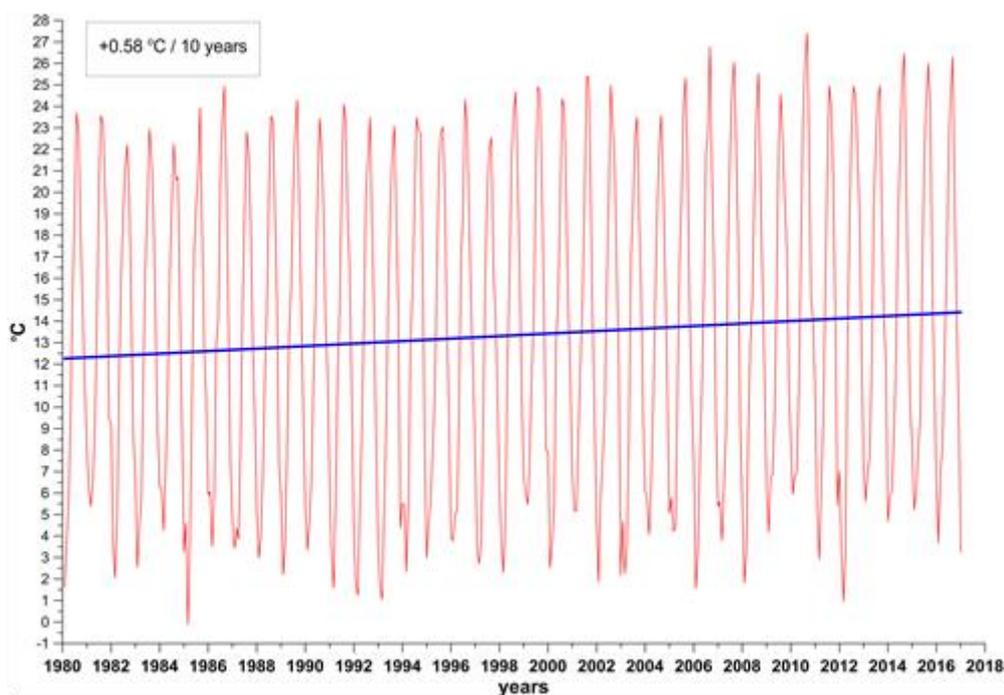
По среднесуточным аномалиям (относительно сезонного хода) ТВП, рассчитанным по данным MERRA-2, для каждого года было рассчитано количество экстремальных температурных событий, превосходящих по модулю своими аномалиями одно и два среднеквадратических отклонения исследуемого ряда за 1980–2016 гг., а также изменения средней амплитуды и продолжительности этих экстремальных событий. Методом наименьших квадратов для положительных и отрицательных экстремальных событий рассчитаны линейные тренды, аппроксимирующие изменения их количества, средней амплитуды и продолжительности.

Климатическая изменчивость

Изменения среднемесячных значений ТВП в регионе восточной части Черного моря за период 1980-2016 гг., рассчитанные по данным MERRA-2, (рис. 1) демонстрируют средний рост порядка $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 10 лет, при аппроксимации их линейным трендом, что скорее всего вызвано глобальным потеплением климата. В силу непродолжительной длины исследуемого ряда, если допустить происходящие из-за влияния глобального потепления за рассматриваемый период изменения линейными, то средняя ТВП в регионе с 1980 по 2016 гг. выросла приблизительно на $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$: с $12,4$ до $14,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, что составляет около 8% от наблюдаемых ежегодных сезонных колебаний, которые приблизительно равняются $22\text{ }^{\circ}\text{C}$: от $2\text{--}4\text{ }^{\circ}\text{C}$ зимой до $23\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$ летом.

На фоне положительного линейного тренда изменений среднемесячных значений ТВП в регионе восточной части Черного моря наблюдаются мультидекадные колебания аномалий ТВП за рассматриваемый период (рис. 2). Так в период 1980–1984 гг. наблюдались положительные аномалии относительно линейного тренда, при общем понижении ТВП в регионе, что привело к смене положительных аномалий на период нейтральных 1985–1991, а затем и отрицательных 1992–1997 гг. Период 1998–2001 гг. характеризуется ростом ТВП темпами линейного тренда с последующим периодом отрицательных аномалий 2002–2007 гг. Начиная с 2008 года аномалии становятся положительными и наблюдается ускорение роста ТВП в регионе. Изменения, произошедшие в 1998 году, могут быть объяснены переходом между фазами Тихоокеанской десятилетней осцилляции (PDO), которые привели к глобальному климатическому сдвигу [17–21]. По-видимому, вследствие этого произошла смена фазы Северо-Атлантического колебания (NAO), что привело к изменениям количества циклонов и приповерхностной температуры в Северной Атлантике, а

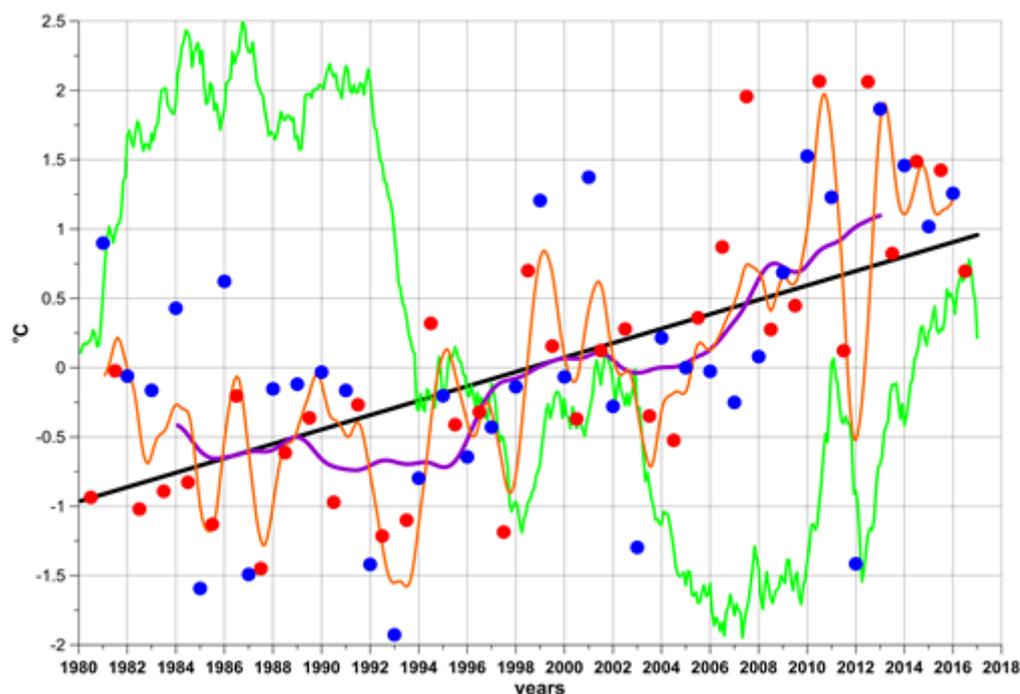
также выноса тепла из этого региона на Евро-Азиатский континент, включая регион Черного моря [22].



Р и с. 1: Изменения среднемесячных значений ТВП (красный) и их линейный тренд (синий) в регионе восточной части Черного моря (42°–45° с.ш.; 37°–42° в.д.), рассчитанные по данным MERRA-2.

На фоне мультидекадных колебаний в регионе происходили более мощные межгодовые колебания (с периодами от 2 до 7 лет), которые демонстрировали периоды усиления (1992–1998, 2010–2014) и ослабления (2002–2008) амплитуды. Это может быть вызвано тем, что в начале 2000-х произошла смена климатических сценариев в системе океан-атмосфера Северной Атлантики [23]. Увеличение амплитуды межгодовых колебаний и остановка роста ТВП, произошедшие в первой половине 1990-х годов, могут быть связаны с произошедшим в 1991 году извержением вулкана Пинатубо. После этого события, примерно с 1992/1993 года, стали наблюдаться сокращение потоков скрытого и явного тепла из океана в атмосферу и увеличение теплосодержания Северной Атлантики [24, 25], что вызвало перестроение атмосферной циркуляции в регионе и изменение направления движения циклонов [26]. Окончанием этого периода могло послужить оседание вулканического пепла из атмосферы и сильнейшее событие Эль-Ниньо 1997/1998 гг. После Эль-Ниньо 2002 года сильных событий не наблюдалось до 2009–2010 гг. В 2010 году произошло сильнейшее событие Ла-Нинья, которое

могло вызвать усиление межгодовой климатической изменчивости в регионе. Так в период 2010–2014 гг. наблюдается наиболее мощное усиление межгодовых колебаний ТВП в регионе восточной части Черного моря. Физическим механизмом, определяющим дальние связи между тропиками Тихого океана и восточной частью Черного моря, могло явиться, как Глобальная атмосферная осцилляция [27, 28], так и воздействие на климатическую систему таких внешних сил, как полярный прилив, вызванный чандлеровским колебанием полюсов Земли [29, 30].



Р и с. 2: Изменения среднемесячных аномалий ТВП (относительно сезонного хода) сглаженных однолетним (оранжевый) и восьмилетним (фиолетовый) скользящими осреднениями в регионе восточной части Черного моря (42° – 45° с.ш.; 37° – 42° в.д.). Показаны их линейный тренд (черный) и накопленная сумма аномалий после удаления линейного тренда (зеленый). Отмечены средние значения аномалий для теплого (красные круги) и холодного (синие круги) полугодий. Использованы данные ре-анализа MERRA-2.

Межгодовая изменчивость аномалий ТВП в холодное полугодие превосходит изменчивость в теплое. Это может быть вызвано тем, что зимой Северная Атлантика оказывает большее влияние на регион, чем летом. Холодное полугодие с наиболее сильными отрицательными аномалиями ТВП наблюдалось в 1992/1993 г., а с наиболее

положительными в 2012/2013. Теплые полугодия с наиболее сильными положительными аномалиями наблюдались в 2007, 2010 и 2012 годах, а с отрицательными в 1987 г.

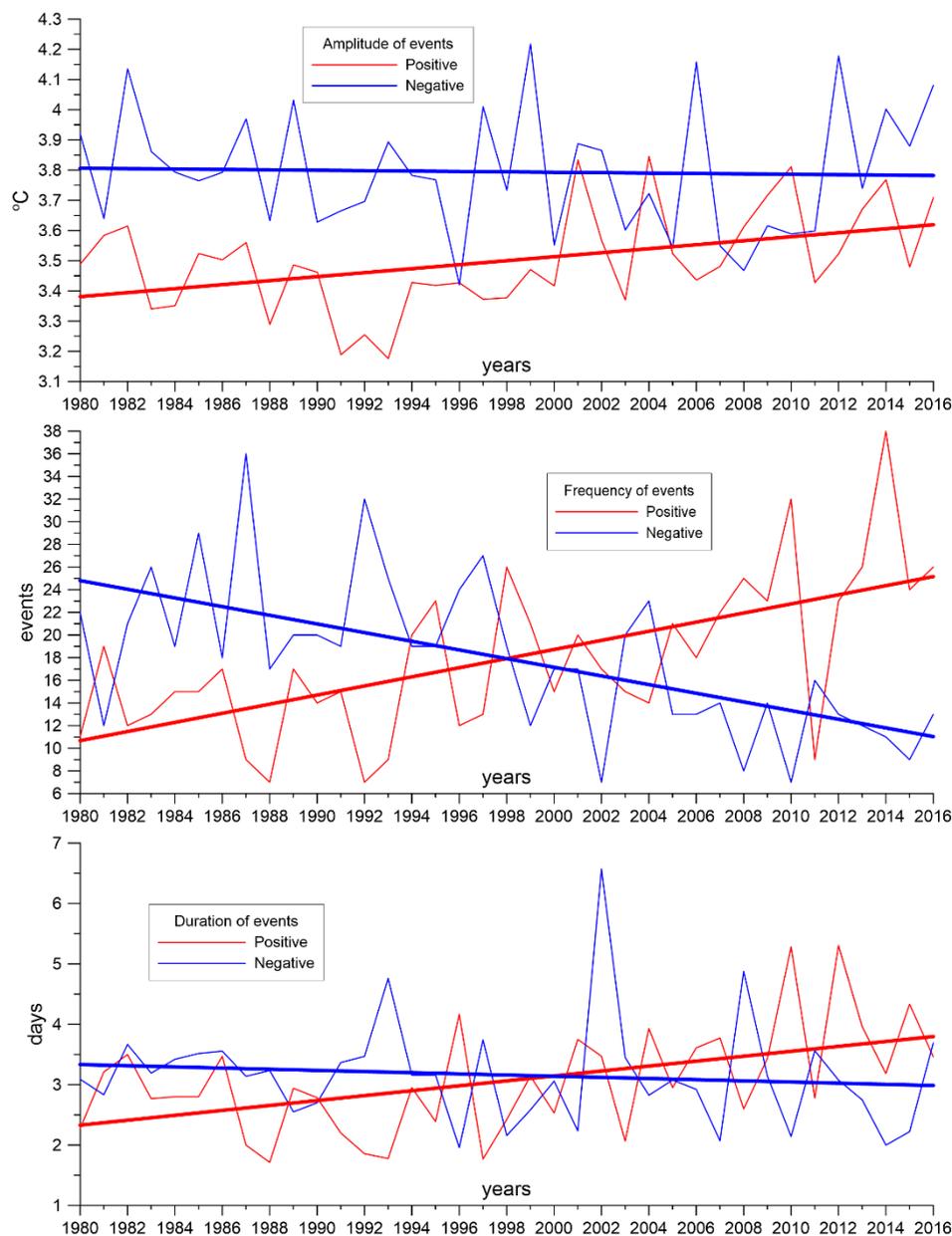
Изменчивость экстремальных явлений

В регионе восточного побережья Черного моря за период 1980-2016 гг. произошло увеличение амплитуды температурных экстремальных явлений с положительными аномалиями (Рис. 3 и 4): с 3,4°C до 3,6 °C для явлений превышающих 1 стандартное отклонение, и с 5 °C до 5,5 °C для явлений превышающих 2 стандартных отклонения. При этом амплитуда экстремальных явлений с отрицательными аномалиями оставалась практически неизменной – на уровне 3,8 °C и 6°C, соответственно.

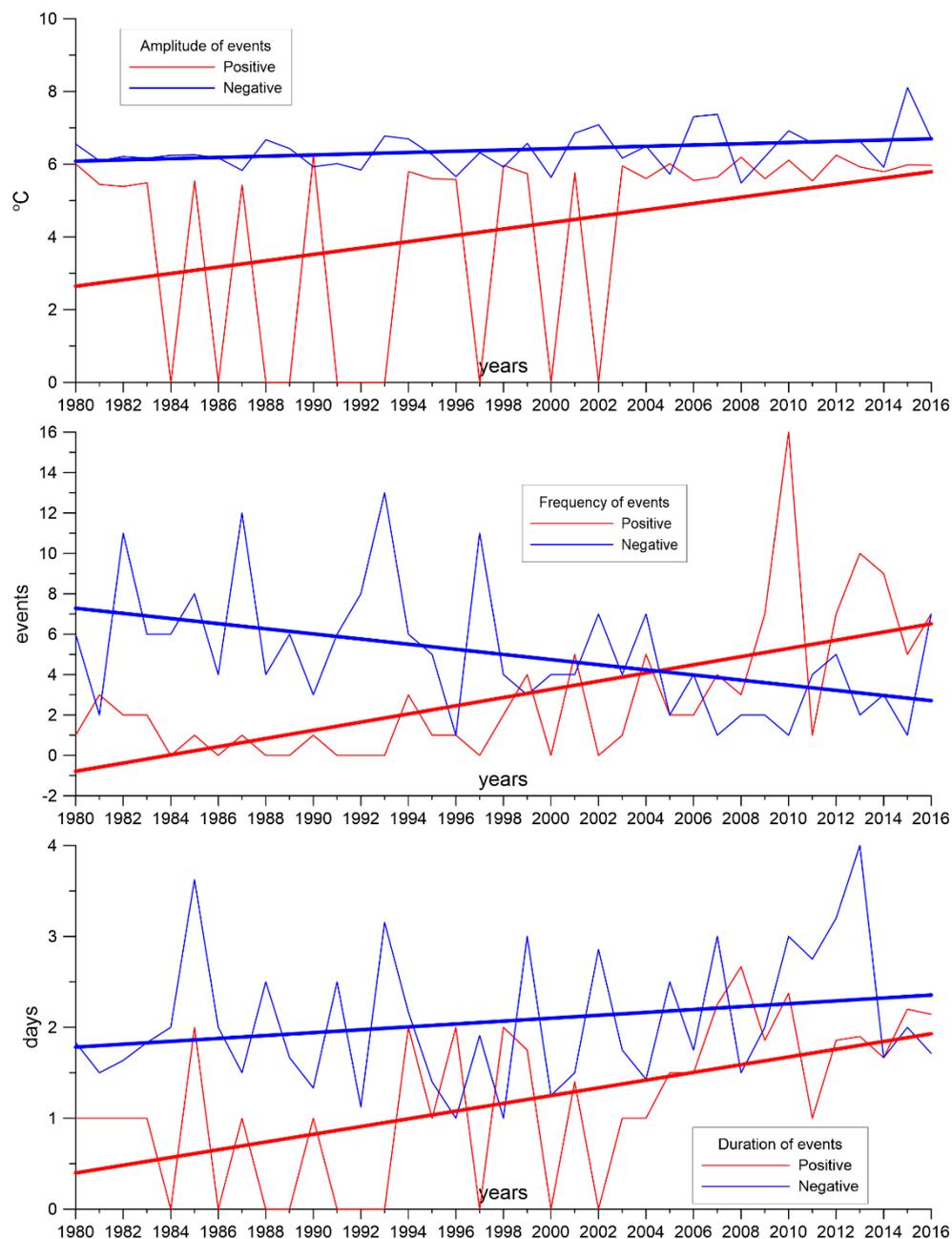
Количество экстремальных явлений с положительными аномалиями, превышающими 1 стандартное отклонение, увеличилось за рассматриваемый период с 8–14 до 20–30 событий в год, а превышающих 2 стандартных отклонения с 1-2 до 7–8 событий в год. При этом число экстремальных событий с отрицательными аномалиями превышающих 1 стандартное отклонение снизилось с 20–30 до 8–14 событий в год, а превышающих 2 стандартных отклонения с 6-8 до 2–4 событий в год (рис. 3 и 4).

Средняя продолжительность экстремальных явлений с положительными аномалиями, превышающими 1 стандартное отклонение, увеличилось за рассматриваемый период с 2,5 до 3,5 дней, с отрицательными аномалиями сократилась с 3,3 до 2,7 дня. Продолжительность экстремальных явлений с аномалиями, превышающими 2 стандартных отклонения, увеличилась с 1 до 2 дней для событий положительного знака, и с 1,8 до 2,2 дня для отрицательных аномалий (рис. 3 и 4).

2010 и 2014 годы явились рекордсменами по количеству экстремальных явлений с положительными аномалиями ТВП, а 1987 и 1992 с отрицательными. Это свидетельствует об учащении экстремально жарких температурных событий в начале XXI века, что подтверждается результатами, полученными в [31].



Р и с. 3: Ежегодные изменения средней амплитуды (верхняя часть), количества (средняя часть) и средней продолжительности (нижняя часть) экстремальных явлений с положительными (красные линии) и отрицательными (синие линии) аномалиями ТВП в регионе восточной части Черного моря (42°–45° с.ш.; 37°–42° в.д.), превосходящими 1 стандартное отклонение, и их линейные тренды. Использованы данные ре-анализа MERRA-2.



Р и с. 4: Ежегодные изменения средней амплитуды (верхняя часть), количества (средняя часть) и средней продолжительности (нижняя часть) экстремальных явлений с положительными (красные линии) и отрицательными (синие линии) аномалиями ТВП в регионе восточной части Черного моря (42°–45° с.ш.; 37°–42° в.д.), превосходящими 2 стандартных отклонения, и их линейные тренды. Используются данные ре-анализа MERRA-2.

Заключение

Анализ данных ТВП различных ре-анализов показал их высокое соответствие друг другу для региона восточного побережья Черного моря. Климатические изменения средней ТВП в данном регионе на протяжении 1980–2016 гг. демонстрируют рост порядка 0,5 °С за 10 лет, который ускорился в начале 2010-х. На фоне ускоряющегося роста ТВП наблюдается усиление межгодовой изменчивости. Рост ТВП и её межгодовой изменчивости сопровождается увеличением амплитуды, количества и продолжительности экстремальных температурных явлений с аномалиями положительного знака.

Список литературы

1. Climate Change. The Physical Science Basis. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press. 2007.
2. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects. – Cambridge University Press, 2014.
3. Школьник И.М., Мелешко В.П., Ефимов С.В., Стафеева Е.Н. Изменения экстремальности климата на территории Сибири к середине XXI века: ансамблевый прогноз по региональной модели ГГО // Метеорология и гидрология. 2012. № 2. С. 5-23.
4. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1. Изменения климата. – М.: Росгидромет, 2008. – 227 с.
5. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Росгидромет, 2014. – 1008 с.
6. Karl T. R., Nicholls N., Ghazi A. Clivar/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes workshop summary // Weather and Climate Extremes. Springer Netherlands, 1999. P. 3–7.
7. Элизбарашвили Э.Ш., Элизбарашвили М.Э., Куталадзе Н.Б., Кеггенхофф И., Киквадзе Б.М., Гогия Н.М. География и динамика некоторых температурных индексов для оценки изменения климата // Метеорология и гидрология. 2015. № 1. С. 58–66.
8. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 50–66.
9. Compo, G.P., Whitaker J.S., Sardeshmukh P.D. et al. The Twentieth Century Reanalysis Project. – Quarterly J. Roy. Meteorol. Soc., 2011, Vol. 137, P. 1–28.
10. Stickler A., Brönnimann S., Valente M.A. et al. ERA-CLIM: Historical Surface and Upper-Air Data for Future Reanalyses. – Bull. Amer. Meteor. Soc., 2014, Vol. 95, N 9, P. 1419–1430.

11. Kobayashi S., Ota Y., Harada Y. et al. The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. – J. Met. Soc. Jap., 2015, Vol. 93, N 1, P. 5–48.
12. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. et al. The NCEP / NCAR 40-year reanalysis project. – Bull. Amer. Meteor. Soc., 1996, Vol. 77, P. 437–471.
13. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2): M. Kanamitsu, W. Ebisuzaki, J. Woollen, S-K Yang, J.J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter. 1631-1643, Nov 2002, Bulletin of the American Meteorological Society
14. Gelaro et al. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2). 2017. Journal of Climate. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0758.1
15. Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., Hersbach, H., Hólm, E. V., Isaksen, L., Kállberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.-N. and Vitart, F. (2011), The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. Q.J.R. Meteorol. Soc., 137: 553–597. doi:10.1002/qj.828
16. Saha S. et. al. 2014: The NCEP Climate Forecast System Version 2. J. Climate, 27, 2185-2208 (DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00823.1).
17. Folland C.K.; J.A. Renwick; M.J. Salinger; A.B. Mullan (2002). Relative influences of the Interdecadal Pacific Oscillation and ENSO in the South Pacific Convergence Zone. - Geophysical Research Letters. 29 (13): 21–1–21–4.
18. Mantua, N.J., Hare, S.R. The Pacific Decadal Oscillation. Journal of Oceanography. 2002. Vol. 58, Issue 1, P. 35–44.
19. Chavez, Francisco P; John Ryan, Salvador E. Lluch-Cota, Miguel Niñiquen C. (2003). From Anchovies to Sardines and Back: Multidecadal Change in the Pacific Ocean. - Science. 299(5604): 217–221.
20. Bond, N.A.; J.E. Overland; M. Spillane; P. Stabeno (2003). Recent shifts in the state of the North Pacific. - Geophys. Res. Lett. 30 (23).
21. Ding H., Greatbatch R.J., Latif M., Park W., Gerdes R. Hindcast of the 1976/77 and 1998/99 Climate Shifts in the Pacific. – J. Climate. 2013. 26. P. 7650–7661.
22. Jung, T., M. Hilmer, E. Ruprecht, S. Kleppek, S.K. Gulev, and O. Zolina. 2003. Characteristics of the recent eastward shift of interannual NAO variability. - J. Climate, 16, 3371–3382.
23. Byshev V.I., Neiman V.G., Romanov Yu.A., Serykh I.V. On the spatial nonuniformity of some parameters of global variations in the recent climate. Doklady Earth Sciences, 2009, Vol. 426, No. 1, pp 705–709.

24. Liu W., Xie SP, Lu J. Tracking ocean heat uptake during the surface warming hiatus. - Nat. Commun. 2016. 7:10926.
25. Byshev V.I., Neiman V.G., Anisimov M.V., Gusev A.V., Serykh I.V., Sidorova A.N., Figurkin A.L., Anisimov I.M. Multi-decadal oscillations of the ocean active upper-layer heat content // Pure and Applied Geophysics. 2017. Vol. 174. No. 7. P. 2863–2878.
26. Voskresenskaya E.N. and Maslova V.N. Winter-spring cyclonic variability in the Mediterranean-Black Sea region associated with global processes in the ocean-atmosphere system. - Adv. Sci. Res., 2011, №6, P. 237–243.
27. Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В. О влиянии событий Эль-Ниньо на климатические характеристики Индоокеанского региона // Океанология. 2012. Т. 52. № 2. С. 165–175.
28. Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В., Сонечкин Д.М. О статистической значимости и климатической роли Глобальной атмосферной осцилляции // Океанология. 2016. Т. 56. № 2. С. 179–185.
29. Серых И.В., Сонечкин Д.М. О влиянии полюсного прилива на Эль-Ниньо // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 2. С. 44–52.
30. Серых И.В., Сонечкин Д.М. О проявлениях движений полюсов Земли в ритмах Эль-Ниньо – Южного колебания // Доклады Академии наук. 2017. Т. 472. № 6. С. 716–719.
31. Kostianoy A.G., Serykh I.V., Ekba Y.A., Kravchenko P.N. Climate variability of extreme air temperature events in the Eastern Black Sea. Ecologica Montenegrina. 2017. Vol. 14. pp. 21–29.

**COMPARISON OF CLIMATE CHANGES OF EXTREME
TEMPERATURE EVENTS IN THE REGION OF THE EASTERN
COAST OF THE BLACK SEA BY DATA OF DIFFERENT RE-
ANALYSIS**

I.V. Serykh¹, A.G. Kostianoy^{1,2}, Ya.A.Ekba³

¹ Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² S.Yu.Witte Moscow University, Moscow, Russia

³ Institute of Ecology, Academy of Sciences of Abkhazia, Sukhum, Republic of Abkhazia

Comparison of climatic changes in air temperature at the surface in the eastern part of the Black Sea according to eight different re-analyzes for the period 1980-2010 was presented. Based on this comparison, the MERRA-2 re-analysis was chosen, the results of which are closest to other investigated data sources for the selected region. According to the MERRA-2 re-analysis, climatic changes in the amplitude, quantity and duration of extreme temperature

phenomena in the regions of the coasts of the Krasnodar Territory and Abkhazia for the period 1980-2016 were investigated.

Keywords: *Black Sea, re-analyzes, climate changes, extreme temperature events.*

Об авторах:

СЕРЫХ Илья Викторович – кандидат физико-математических наук (2009) в области теории колебаний климата, изменчивости гидрофизического режима Мирового океана, применения нелинейной динамики в исследовании климатических изменений. E-mail: iserykh@ocean.ru

КОСТЯНОЙ Андрей Геннадьевич – д.ф.-м.н., главный научный сотрудник Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, профессор Льежского Университета, почетный профессор Тверского государственного университета. E-mail: Kostianou@gmail.com.

ЭКБА Январби Алиевич – Академик Академии наук Абхазии, академик МАНЭБ, лауреат государственной премии РА по науке, заслуженный деятель науки РА. профессор, д.ф.-м.н., заместитель директора Института экологии Академии наук Абхазии, заведующий кафедрой прикладной экологии Абхазского государственного университета. E-mail: ekba-yan@yandex.ru.