

УДК 551.465

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2018-3-79-98>

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МОДУЛЯ СКОРОСТИ ВЕТРА В РЕГИОНЕ ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЁРНОГО МОРЯ *

**Е.А. Костяная¹, И.В. Серых¹, А.Г. Костяной^{1,2}, С.А. Лебедев³,
А.К. Ахсалба⁴**

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

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

³ Геофизический центр РАН, г. Москва, Россия

⁴ Институт экологии Академии наук Абхазии, г. Сухум, Республика Абхазия

В работе проведён анализ сезонной и межгодовой изменчивости скорости ветра в восточной части Чёрного моря за период с 1980 по 2013 г. Кроме того, проведён подробный анализ экстремальных ветровых явлений для прибрежных районов Краснодарского края и Абхазии. Исследована межгодовая изменчивость амплитуды, частоты и продолжительности экстремальных метеорологических явлений, обусловленных ветром, по ежедневным данным реанализа NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2).

Ключевые слова: *Чёрное море, реанализ, скорость ветра, региональное изменение климата, экстремальные ветровые явления, Краснодарский край, Абхазия*

Введение

Аномальные природные явления, обусловленные климатическим фактором, участились в начале XXI века в восточной части Чёрного моря. Так, в 2016 году, по данным Северо-Кавказского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, в регионе Западного Кавказа и прилегающих территорий, включая прилегающую акваторию Чёрного моря, наблюдались следующие экстремальные гидрометеорологические явления [1]:

В первые дни января сильные снегопады (20–22 мм) на Северном Кавказе вызвали массовый сход снежных лавин. В горах в районе Большого Сочи лавины сходили в течение всего месяца. В Сочи сильное налипание мокрого снега наблюдалось 20 января (80–100 мм) и 22–23 января (80–97 мм), под тяжестью которого ломались деревья, отмечались отключения электроэнергии.

* 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»

В первые дни февраля на Северном Кавказе вновь прошли сильные снегопады, причём особенно сильными они были в районе Туапсе (50 мм) и Сочи (35 мм). 2 января наблюдалось налипание мокрого снега в Белореченске (52 мм), Сочи (90 мм), Адыгее (50 мм). В горных районах снегопады вызвали сход снежных лавин (так, в районе Красной Поляны сошло 5 лавин).

В марте сохранялась лавиноопасная обстановка в горах Северного Кавказа, хотя лавины сходили гораздо реже. Сильный ветер беспокоил регион гораздо чаще. 18–19 марта сильный вытер (20–30 м/с) наблюдался в Ростовской области, Ставропольском крае и республиках Северного Кавказа. Заморозки отмечались 13–16 марта в Ставропольском и Краснодарском краях, Адыгее, Дагестане.

Апрель начался на Северном Кавказе с заморозков, которые наблюдались практически повсеместно 3–4 апреля. Лавиноопасная обстановка в горных районах сохранялась до конца месяца. Так, в районе Большого Сочи 9–13 апреля сошло 12 снежных лавин, 25–26 апреля – 10. По югу Ставропольского края в начале второй декады прошли уже настоящие летние ливни, 11 апреля в Кисловодске за 55 минут выпало 34 мм осадков.

В мае в Ставропольском крае крупным градом диаметром 30–50 мм 14–15 мая повреждены более 6000 га сельскохозяйственных культур.

Июнь начался с проливных дождей на Северном Кавказе. В Краснодаре 1–2 июня за 11 часов 10 минут выпало 96 мм, причём большая часть – 82 мм – пролилась за первые 2 часа. Сильные дожди в Лазаревском районе 4–5 июня (105 мм за 12 часов) вызвали подъем уровня воды в р. Цусхвандж на 160 см, что привело к повреждению мостов, водопровода, участка дороги Джугба-Сочи. В Ставропольском крае крупным градом (25 мм) практически уничтожены посевы сельскохозяйственных культур на 387 га. Сильные дожди на Северном Кавказе прошли также 16–17, 23–24 и 28–30 июня.

И в первый день июля на Северном Кавказе шли ливневые дожди, местами очень сильные: в Геленджике за 3 часа 40 минут выпало 102 мм осадков. На р. Белой после сильных дождей прошли паводки на реках: 2–3 июля – на р. Белой уровень воды поднимался до 407 см (ОЯ 320 см). Инфраструктуре прилегающих районов был нанесён существенный ущерб паводками. Сильная жара отмечалась 16–18 июля в Южном федеральном округе (40–41°C). 19 июля жаркая погода в Ростовской области и Краснодарском крае отступила с сильными грозовыми дождями (62–78 мм), местами с градом.

В разных районах страны в течение августа прошли сильные дожди. Так, сильный ливневый дождь прошёл 5 августа в станице Каневской Краснодарского края (72 мм за 1 ч.57 м); 8 августа в посёлке Гузерипль в Адыгее (63 мм за 3 ч 55м). 11 августа шквалистый ветер (28–

32 м/с) был отмечен в Кореновском районе Краснодарского края: повреждены кровли и стекла зданий, ЛЭП, повалены деревья.

Сильные дожди обрушились на Черноморское побережье Кавказа 18-19 сентября. Так, в Анапе за 11 ч 50 мм выпало 89 мм. 21 сентября сильные дожди отмечались в Краснодарском крае.

В Новороссийске и Геленджике 25 октября наблюдался ураганный ветер (35–38 м/с) – знаменитая Новороссийская бора. Высота волн составила от 1,5 до 2,5 м. Стихия сносила не только людей, но и с корнем вырывала деревья.

29–30 ноября было отмечено сильное налипание мокрого снега (50–76 мм) в Краснодарском крае, что привело к аварийным отключениям электроэнергии.

В горах Северного Кавказа в начале декабря прошли сильные снегопады (20–51 мм), которые обострили лавиноопасную обстановку. Налипание мокрого снега до 65 мм наблюдалось в Адыгее. В отдельных районах Краснодарского края 9 декабря скорость ветра достигала 28 м/с, в результате чего были повреждены крыши, ЛЭП, трубопроводы, поломаны деревья.

Скорость ветра является одним из основных климатических параметров. Ветер оказывает существенное влияние на обмен импульсом, теплом, влагой и следовых частиц между атмосферой и подстилающим океаном и сушей. Он вызывает волнение в океанах и морях, штормовые нагоны и оказывает огромное воздействие на морской лёд. Он играет ключевую роль в циркуляции океана, которая отвечает за глобальный перенос значительного объёма тепла и углерода. Скорость ветра является чувствительным показателем состояния глобальной климатической системы. Понимание этого необходимо для изучения климатической изменчивости и изменения климата, а также для оценки климатических моделей. Данные о приземном ветре получают непосредственное применение в таких отраслях, как транспорт, строительство, производство энергии, сельское хозяйство, здоровье человека, безопасность на море и управление чрезвычайными ситуациями. Они также используются в показателях, характеризующих силу тропических циклонов [2].

В данной работе проведён анализ сезонной и межгодовой изменчивости скорости ветра в восточной части Чёрного моря за период с 1980 по 2013 г. Кроме того, проведён подробный анализ экстремальных ветровых явлений для прибрежных районов Краснодарского края и Абхазии, исследована межгодовая изменчивость амплитуды, частоты и продолжительности экстремальных метеорологических явлений, обусловленных ветром.

Использованные данные и методика их обработки

Использованы среднемесячные и среднесуточные данные компонент U и V ветра на высоте 10 метров от поверхности из реанализа

NCEP-DOE за период 1980–2013 гг. (NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) [3].

Рассчитывались средние значения для двух регионов восточной части Чёрного моря: побережье Абхазии (42° – 43.5° с.ш.; 40° – 42° в.д.) и побережье Краснодарского края (43.5° – 45° с.ш.; 37° – 40° в.д.). На рисунке 1 регион побережья Абхазии показан в жёлтом квадрате, а регион побережья Краснодарского края – в синем. Регионы Абхазии и побережья Краснодарского края исследовались отдельно для более детального анализа особенностей климатических изменений скорости ветра и характеристик экстремальных ветровых явлений в двух соседних регионах, которые существенно отличаются своими орографическими особенностями.



Р и с. 1. Два региона исследования восточной части Чёрного моря: побережье Абхазия (42° – 43.5° с.ш.; 40° – 42° в.д.), выделено жёлтым квадратом, и побережье Краснодарского края (43.5° – 45° с.ш.; 37° – 40° в.д.), выделено синим квадратом

В каждом узле сетки для каждого месяца и дня рассчитан модуль скорости ветра по формуле Пифагора. Затем в каждом узле сетки рассчитан средний годовой ход модуля скорости ветра за исследуемый период. После этого из модуля скорости ветра был вычтен средний

годовой ход. Таким образом, в каждом узле сетки для каждого месяца и дня были рассчитаны аномалии модуля скорости ветра. После этого производилось осреднение аномалий по указанным регионам.

По среднемесячным данным методом наименьших квадратов рассчитывались линейные тренды изменения средней скорости ветра в выбранных регионах за исследуемый период. По рядам средних аномалий скорости ветра 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 тёплого (май-октябрь) и холодного (ноябрь-апрель) полугодия всего исследуемого периода.

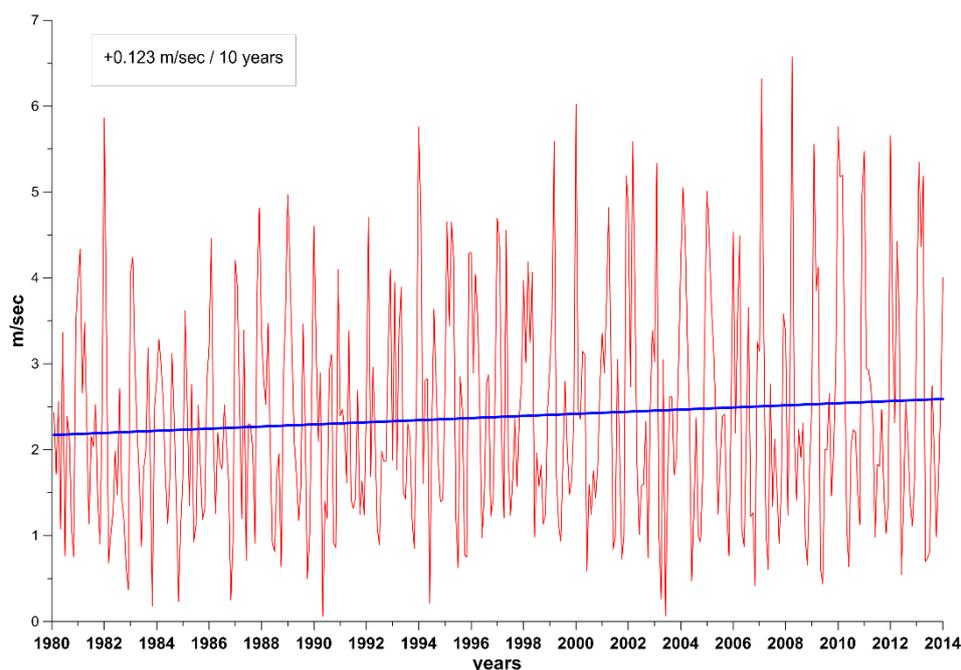
По среднесуточным аномалиям (относительно сезонного хода) скорости ветра, рассчитанным по данным реанализа NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2), для каждого года было рассчитано количество экстремальных ветровых событий, превосходящих по модулю своими аномалиями одно и два среднеквадратических отклонения исследуемого ряда за 1980–2013 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.

Аналогичный подход к исследованию климатически значимых параметров применялся для изучения сезонной и межгодовой изменчивости температуры воздуха и экстремальных температурных явлений в восточной части Чёрного моря [4, 5] и для побережья Черногории [6, 7].

Климатическая изменчивость скорости ветра

Изменения среднемесячных значений модуля скорости ветра в регионе восточной части Чёрного моря за период 1980–2013 гг., рассчитанные по данным реанализа NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2), демонстрируют для региона Абхазии (42°–43.5° с.ш.; 40°–42° в.д.) (Рис. 2а) рост среднемесячного значения модуля скорости ветра, который составляет примерно 0.123 м/сек в 10 лет. Таким образом, за рассматриваемый период с 1980 по 2013 гг., среднемесячное значение скорости ветра увеличилось примерно на 0.41 м/сек и составило к 2014 году примерно 2,5 м/сек. На рисунке видно постепенное увеличение максимальных среднемесячных значений модуля скорости ветра с 1999 года и далее, с максимумом в более, чем 6,5 м/сек, в 2008 году. Кроме этого, можно высказать предположение, что, начиная с 1993–1994 гг. выделяются три цикла примерно по 7 лет каждый, начинающийся с нового максимума среднемесячного значения модуля скорости ветра с

последующими более низкими значениями (см максимумы в 1993, 2000 и 2008 гг.).

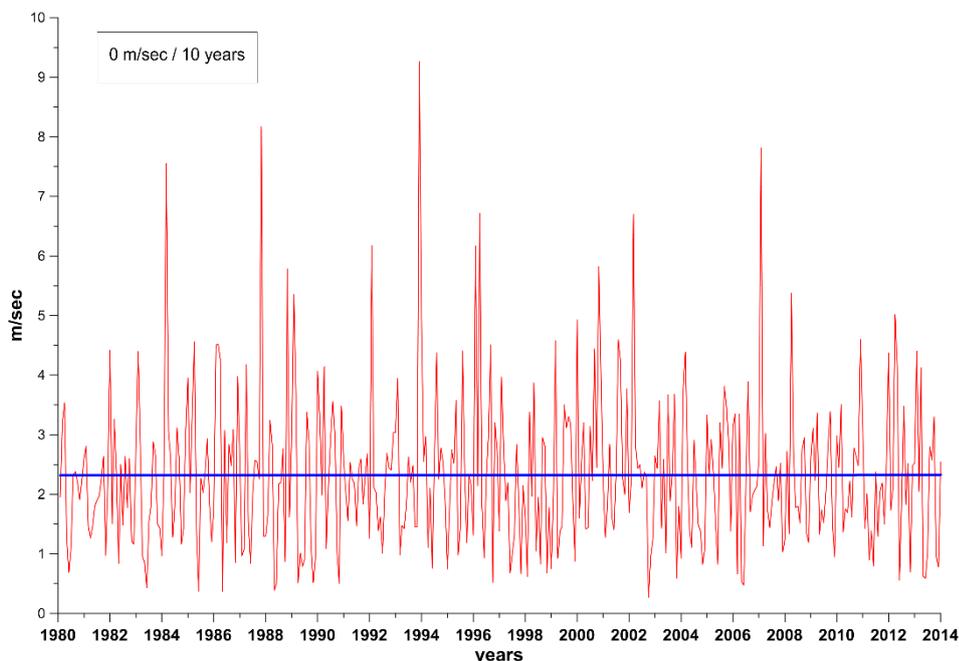


Р и с. 2а. Изменения среднемесячных значений модуля скорости ветра на высоте 10 метров от поверхности (красный) и их линейный тренд (синий) в регионе Абхазии (42°–43.5° с.ш.; 40°–42° в.д.).

Изменения среднемесячных значений модуля скорости ветра за период 1980–2013 гг., рассчитанные для региона побережья Краснодарского края (43.5°–45° с.ш.; 37°–40° в.д.) (Рис. 2б), показывают нулевое изменение среднемесячного значения модуля скорости ветра. Среднее значение за данный период составило примерно 2,3 м/сек. Максимальное среднемесячное значение модуля скорости ветра наблюдалось в 1994 году и составило примерно 9,2 м/сек.

Рисунки 2а и 2б показывают разную динамику среднемесячных изменений модуля скорости ветра в регионе Абхазии и побережья Краснодарского края. Однако можно отметить, что некоторые максимумы среднемесячных значений модуля скорости ветра для Абхазии и побережья Краснодарского края наблюдались в один и тот же год. Так, в Абхазии в 1994 году был зафиксирован максимум в 5,7 м/сек, а на побережье Краснодарского края в том же году – 9,2 м/сек. В 2008 году в Абхазии отмечен максимум в более, чем 6,5 м/сек, что представляет собой максимальный показатель среднемесячных значений модуля скорости ветра за изучаемый период времени с 1980 по 2013 гг. На побережье Краснодарского края в 2008 году также отмечено одно из максимальных значений, однако оно ниже – примерно 5,3 м/сек.

Сравнение двух рисунков показывает, что на побережье Краснодарского края за 1980–2013 гг. наблюдалось большее количество максимальных среднемесячных значений модуля скорости ветра, чем в Абхазии: если в Абхазии было одно значение скорости более 6,5 м/сек, то на побережье Краснодарского края их было 6. Кроме того, для побережья Краснодарского края с 1993–1994 гг. не выделяется 7-ми летняя цикличность скорости ветра, как в Абхазии.

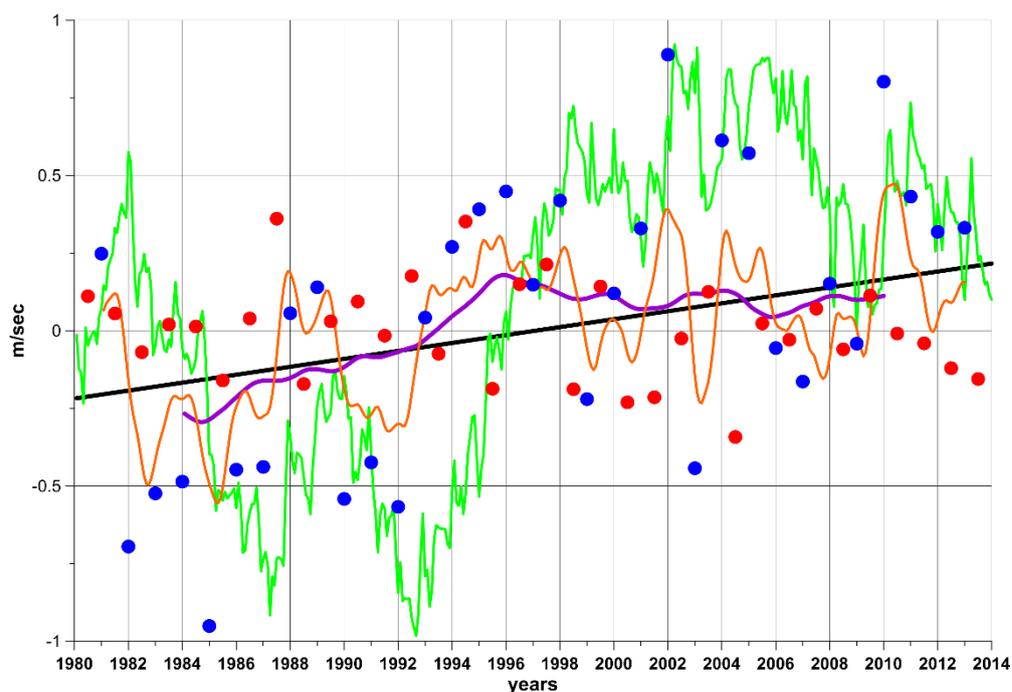


Р и с. 26. Изменения среднемесячных значений модуля скорости ветра на высоте 10 метров от поверхности (красный) и их линейный тренд (синий) в регионе побережья Краснодарского края (43,5°–45° с.ш.; 37°–40° в.д.).

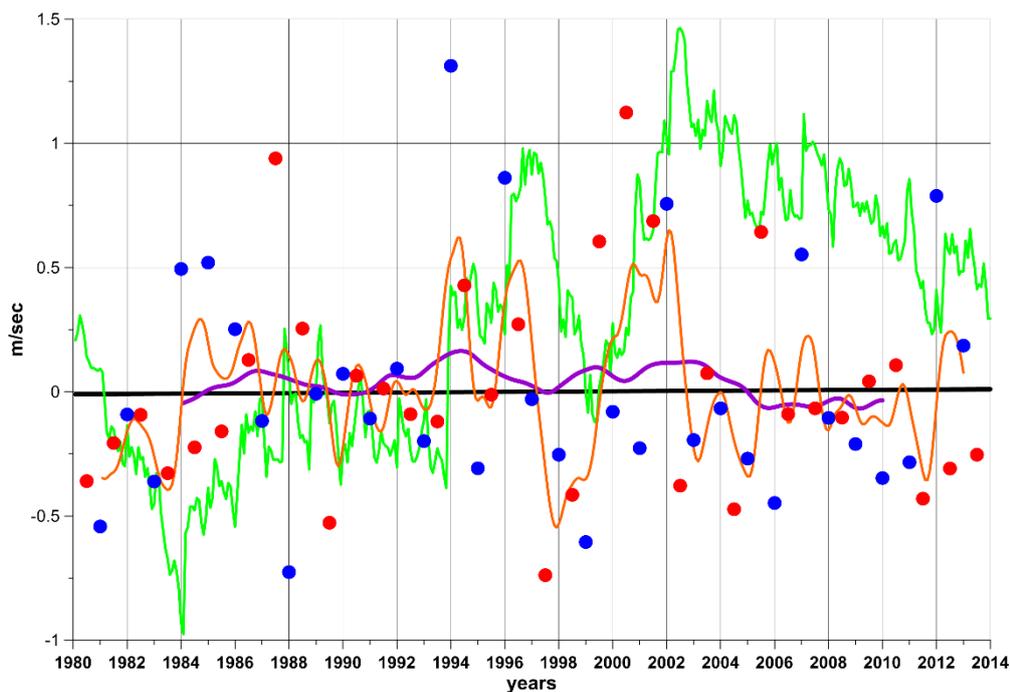
Можно предположить, что более высокие показатели среднемесячных значений модуля скорости ветра для побережья Краснодарского края могут быть вызваны наличием Новороссийской боры. Борой принято называть сильный холодный ветер, обычно возникающий в местах, где относительно тёплое море отделено невысоким горным хребтом от континента. В среднем в Новороссийске бора дует 45-46 дней в году. Из этих дней примерно в половине случаев скорость ветра превышает штормовые значения (20 м/с). На примерно 5 дней приходится превышение ураганных значений (более 33 м/с). Обычно бора длится 1–3 дня и редко превышает 7 дней [8–11].

Из рисунка 3а для региона Абхазии видно, что в период с 1982 по 1992 год более высокие аномалии приходились на холодное полугодие и были отрицательными, с максимальным отрицательным значением в

почти -1 м/сек в 1985 году. В то же период времени в тёплое полугодие аномалии располагались в интервале от $-0,25$ м/сек до примерно $+0,38$ м/сек. С 1993 года ситуация меняется: теперь в холодное полугодие аномалии являются большей частью положительными и доходят до $0,88$ м/сек. Такая характеристика сохраняется до конца исследуемого периода в 2013 году. В тёплое полугодие, однако, такого изменения с 1993 года не наблюдается – аномалии располагаются примерно в том же интервале от $-0,38$ м/сек до $0,38$ м/сек.



Р и с. 3а. Изменения среднемесячных аномалий модуля скорости ветра на высоте 10 метров от поверхности (относительно сезонного хода) сглаженных однолетним (оранжевый) и восьмилетним (фиолетовый) скользящими осреднениями в регионе Абхазии (42° – $43,5^{\circ}$ с.ш.; 40° – 42° в.д.). Их линейный тренд (чёрный) и накопленная сумма аномалий после удаления линейного тренда (зелёный). Отмечены средние значения аномалий для тёплого (красные круги) и холодного (синие круги) полугодий.



Р и с. 36. Изменения среднемесячных аномалий модуля скорости ветра на высоте 10 метров от поверхности (относительно сезонного хода) сглаженных однолетним (оранжевый) и восьмилетним (фиолетовый) скользящими осреднениями в регионе побережья Краснодарского края ($43,5^{\circ}$ – 45° с.ш.; 37° – 40° в.д.). 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.

На рис. 36 для побережья Краснодарского края не наблюдается четко выраженной тенденции по аномалиям в холодное или тёплое полугодия. Однако можно отметить, что положительных аномалий, превышающих или равных $0,5$ м/сек, больше наблюдалось в холодное полугодие, чем в тёплое, и максимальное значение положительных аномалий приходится на холодное полугодие, и оно превысило $1,25$ м/сек. Максимальная отрицательная аномалия в $-0,75$ м/сек была отмечена как в холодное полугодие в 1988 году, так и в тёплое полугодие в 1997 году. Основная часть наблюдаемых аномалий в холодное и тёплое полугодия с 1980 по 2013 гг отмечены в интервале от $-0,5$ до $0,5$ м/сек, причём большая часть аномалий в холодное полугодие является отрицательными в интервале от 0 до $-0,5$ м/сек.

Изменчивость экстремальных ветровых явлений

В регионе Абхазии (42° – $43,5^{\circ}$ с.ш.; 40° – 42° в.д.) за период 1980-2013 гг. произошло увеличение амплитуды экстремальных явлений с положительными аномалиями модуля скорости ветра (рис. 4а и 5а) с 3,4 м/сек до 3,48 м/сек для явлений, превышающих 1 стандартное отклонение, и с 5,25 м/сек до 5,5 м/сек для явлений, превышающих 2 стандартных отклонения. При этом произошло снижение амплитуды экстремальных явлений с отрицательными аномалиями с 2,96 м/сек до 2,90 м/сек для явлений, превышающих 1 стандартное отклонение, и с 4,83 м/сек до 3,6 м/сек для явлений, превышающих 2 стандартных отклонения.

Количество экстремальных явлений с положительными аномалиями, превышающими 1 стандартное отклонение, увеличилось за рассматриваемый период с 28 до 35 событий в год, а превышающих 2 стандартных отклонения – с 8 до 11 событий в год. При этом число экстремальных событий с отрицательными аномалиями, превышающими 1 стандартное отклонение, снизилось с 38 до 30 событий в год, а превышающих 2 стандартных отклонения – с 4 до 2 событий в год (рис. 4а и 5а).

Средняя продолжительность экстремальных явлений с положительными аномалиями, превышающими 1 стандартное отклонение, увеличилась за рассматриваемый период с 1,6 до 1,9 дней; с отрицательными аномалиями - сократилась с 1,65 до 1,5 дней. Продолжительность экстремальных явлений с аномалиями, превышающими 2 стандартных отклонения, увеличилась с 1,3 до 1,5 дней для событий положительного знака, и уменьшилась с 1,1 до 0,8 дня для отрицательных аномалий (рис. 4а и 5а).

1995 и 1997 годы явились рекорсменами по количеству экстремальных явлений с положительными аномалиями модуля скорости ветра, превосходящими 1 стандартное отклонение (42 и 43, соответственно), а 1986 и 2000 - с отрицательными (47 и 45, соответственно). В 1995 г. количество событий с экстремально сильными ветрами (превосходящими 2 стандартных отклонения) достигало 25.

В регионе побережья Краснодарского края ($43,5^{\circ}$ – 45° с.ш.; 37° – 40° в.д.) за период 1980-2013 гг. произошло увеличение амплитуды экстремальных явлений с положительными аномалиями модуля скорости ветра (рис. 4б и 5б) с 4,35 м/сек до 4,7 м/сек для явлений, превышающих 1 стандартное отклонение. Однако для явлений, превышающих 2 стандартных отклонения, наблюдается небольшое понижение амплитуды экстремальных явлений с положительными аномалиями модуля скорости ветра с 7 м/сек до 6,8 м/сек. При этом произошло снижение амплитуды экстремальных явлений с отрицательными аномалиями с 3,7 м/сек до 3,65 м/сек для явлений, превышающих 1 стандартное отклонение. Однако для явлений, превышающих 2

стандартных отклонения, наблюдается увеличение амплитуды экстремальных явлений с отрицательными аномалиями с 4,75 м/сек до примерно 5 м/сек.

Количество экстремальных явлений с положительными аномалиями, превышающими 1 стандартное отклонение, уменьшилось за рассматриваемый период с 33 до 32 событий в год, а превышающих 2 стандартных отклонения – увеличилось с 8 до 12 событий в год. При этом число экстремальных событий с отрицательными аномалиями, превышающими 1 стандартное отклонение, снизилось с 36 до 35 событий в год, а превышающих 2 стандартных отклонения – с 2 до 1 события в год (рис. 4б и 5б).

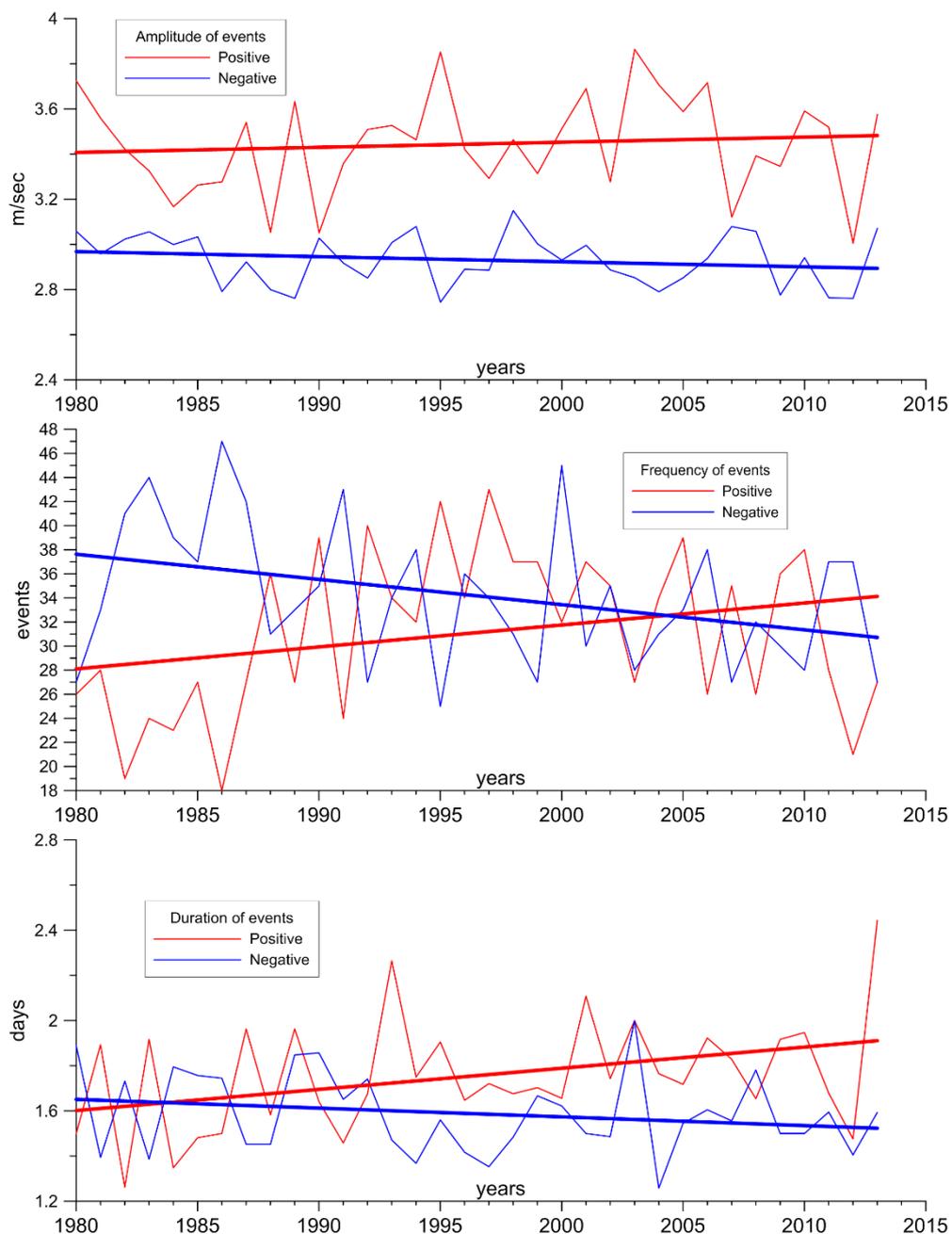
Средняя продолжительность экстремальных явлений с положительными аномалиями, превышающими 1 стандартное отклонение, увеличилась за рассматриваемый период с 1,65 до 1,75 дней; с отрицательными аномалиями - сократилась с 1,55 до 1,48 дней. Продолжительность экстремальных явлений с аномалиями, превышающими 2 стандартных отклонения, осталась одинаковой на уровне 1,38 дней для событий положительного знака, и на уровне 0,88 дней для отрицательных аномалий (рис. 4б и 5б).

Вновь в 1995 году было зафиксировано максимальное количество положительных аномалий модуля скорости ветра, превосходящих 1 стандартное отклонение, – 44, а в 2009 и 2012 годах – отрицательных аномалий, со значением 45. Таким образом, в 1995 году как в регионе Абхазии, так и в регионе побережья Краснодарского края было отмечено максимальное количество положительных аномалий модуля скорости ветра, превосходящих 1 стандартное отклонение, в период с 1980 по 2013 гг.

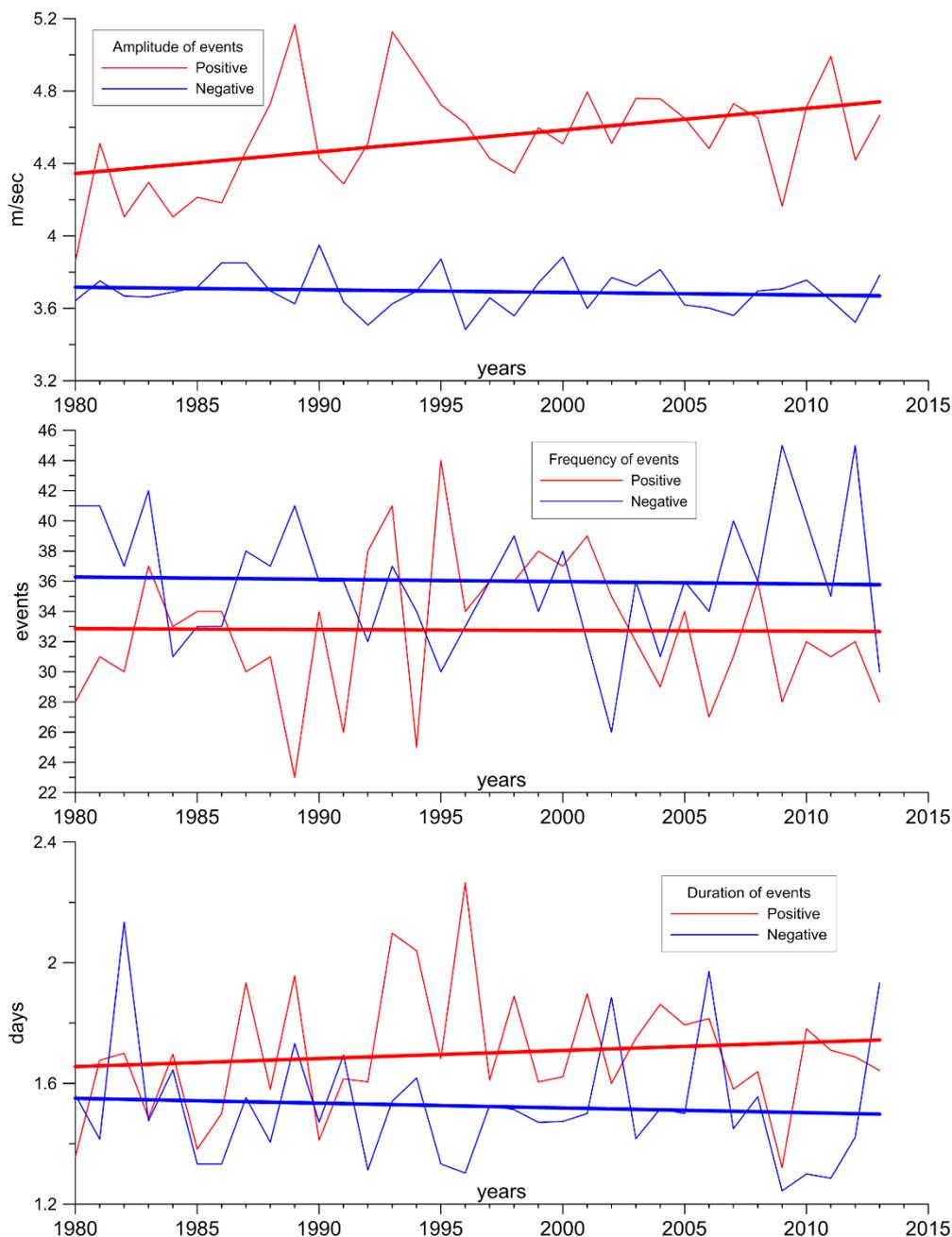
Сравнительный анализ

Сравнительный анализ представленных графиков скорости ветра для Абхазии и побережья Краснодарского края позволяет выявить несколько сходных и отличительных черт. Среднемесячное значение модуля скорости ветра за период с 1980 по 2013 год для обоих регионов примерно одинаковое, однако для Абхазии это значение росло с 2,1 м/сек за исследуемый период со скоростью 0,123 м/сек в 10 лет, а для побережья Краснодарского края оно оставалось одинаковым на уровне примерно 2,3 м/сек.

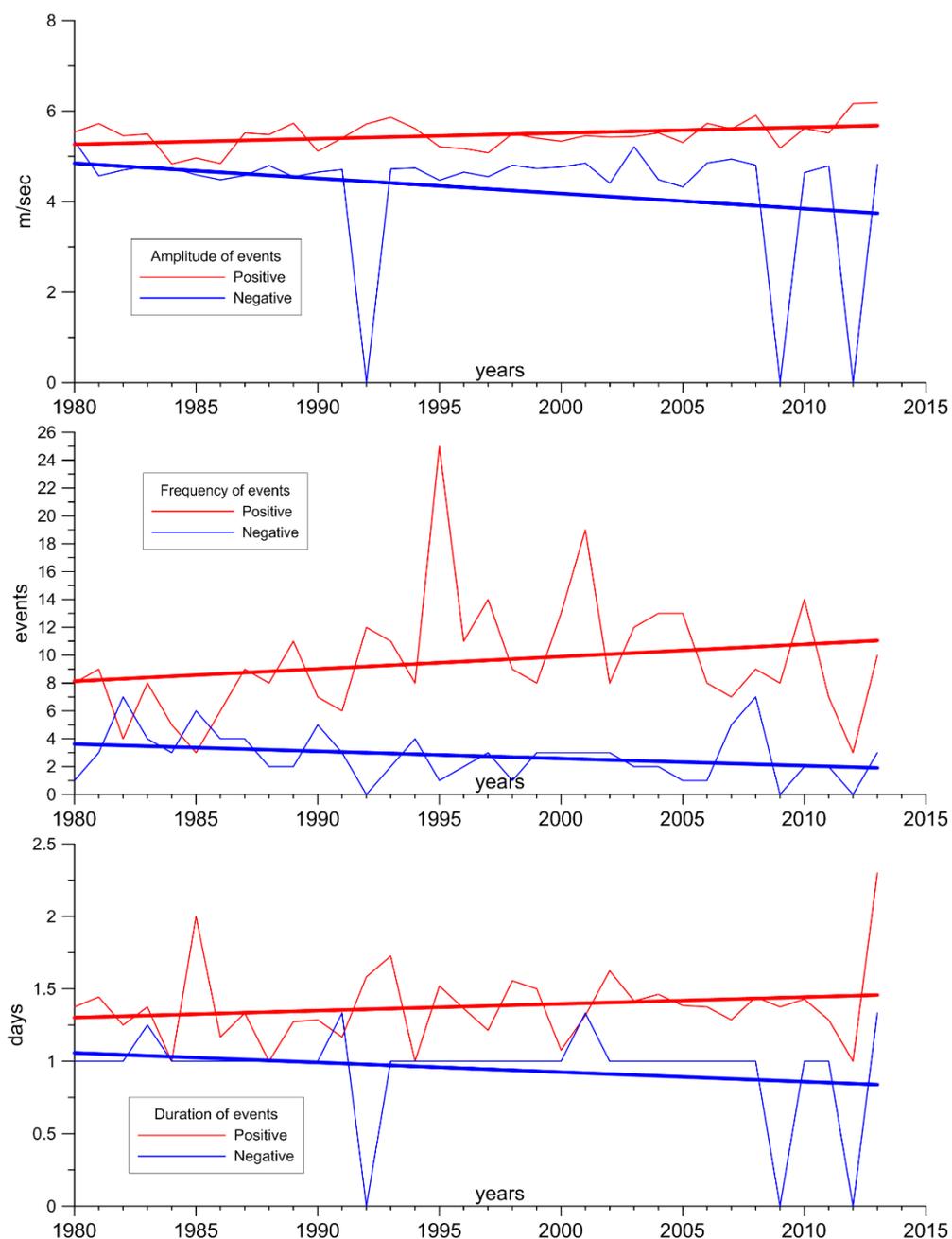
С 1993 года в Абхазии наблюдается увеличение положительных аномалий скорости ветра в холодное полугодие. На побережье Краснодарского края такой тенденции не наблюдается.



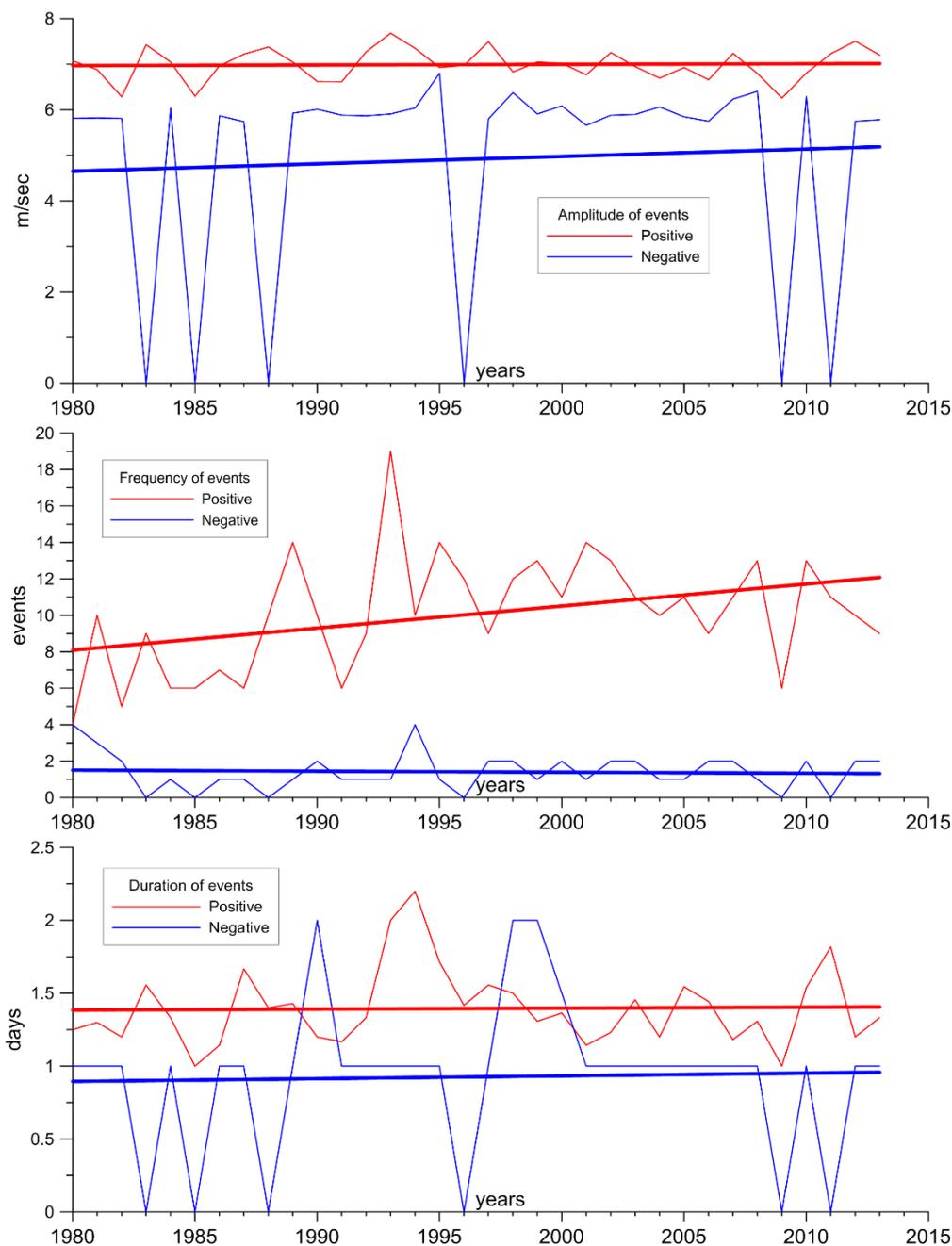
Р и с. 4а. Ежегодные изменения средней амплитуды (верхняя часть), количества (средняя часть) и средней продолжительности (нижняя часть) экстремальных явлений с положительными (красные линии) и отрицательными (синие линии) аномалиями модуля скорости ветра на высоте 10 метров от поверхности в регионе Абхазии (42° – $43,5^{\circ}$ с.ш.; 40° – 42° в.д.), превосходящими 1 стандартное отклонение, и их линейные тренды.



Р и с. 46. 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 модуля скорости ветра на высоте 10 метров от поверхности в регионе побережья Краснодарского края ($43,5^{\circ}$ – 45° с.ш.; 37° – 40° в.д.), превосходящими 1 стандартное отклонение, и их линейные тренды.



Р и с. 5а. 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 модуля скорости ветра на высоте 10 метров от поверхности в регионе Абхазии (42° – 43.5° с.ш.; 40° – 42° в.д.), превосходящими 2 стандартных отклонения, и их линейные тренды.



Р и с. 5б. 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 модуля скорости ветра на высоте 10 метров от поверхности в регионе побережья Краснодарского края ($43,5^{\circ}$ – 45° с.ш.; 37° – 40° в.д.), превосходящими 2 стандартных отклонения, и их линейные тренды.

Исходя из анализа аномалий, превосходящих 1 стандартное отклонение, средние амплитуды отрицательных аномалий в обоих регионах незначительно уменьшились за исследуемый период, практически оставаясь на одном уровне, хотя в регионе Краснодарского края значения средней амплитуды отрицательных аномалий превосходят аналогичные показатели в Абхазии. Средние амплитуды положительных аномалий в обоих случаях увеличились, однако на побережье Краснодарского края такой рост составил 0,35 м/сек, тогда как в Абхазии – 0,08 м/сек. В Абхазии количество экстремальных явлений с положительными аномалиями модуля скорости ветра, превосходящих одно стандартное отклонение, увеличилось с 28 до 35 событий в год, а превышающих 2 стандартных отклонения - с 8 до 11 событий в год. Интересно отметить, что в то же время на побережье Краснодарского края количество экстремальных явлений с положительными аномалиями, превышающими 1 стандартное отклонение, уменьшилось за рассматриваемый период с 33 до 32 событий в год, а превышающих 2 стандартных отклонения – увеличилось с 8 до 12 событий в год. Таким образом, на побережье Краснодарского края становится больше экстремальных ветров с более высокими аномалиями, однако их средняя продолжительность при этом не увеличивается.

В случае одного стандартного отклонения средняя продолжительность экстремальных явлений с положительными аномалиями в Абхазии увеличилась за рассматриваемый период с 1,6 до 1,9 дней; а на побережье Краснодарского края – с 1,65 до 1,75. В Абхазии продолжительность экстремальных явлений с аномалиями, превышающими 2 стандартных отклонения, увеличилась с 1,29 до 1,46 дней для событий положительного знака. Таким образом, мы наблюдаем, что средняя продолжительность положительных аномалий на побережье Краснодарского края растёт медленнее или вообще не изменяется.

Заключение

Экстремальные ветровые явления могут нанести существенный урон экономике региона и нести большую опасность для здоровья и жизни населения. Так, Новороссийская бора может повлечь за собой катастрофические последствия для инфраструктуры города и морских судов. Особенно опасно обледенение на судах, которое образуется при значительных отрицательных температурах, часто сопровождающих сильную бору. Поднимаемые сильным ветром брызги воды с поверхности Цемесской бухты оседают в виде слоя льда, который может достигать до 3–4 метров. Так, 9 декабря 2002 года в Новороссийске гидрографическое судно «Арктика» легло на грунт на глубине 7 метров, с креном на левый борт в 30°. Большая часть корпуса при этом ушла под воду. БГК-775 полностью затонул [12].

Порывы ветра могут повредить линии электропередач, причём ситуация сильно осложняется в случае с одновременным обледенением линий. Повреждение линий может вызвать прекращение энергоснабжения, что может привести к значительным финансовым убыткам. Проезд по дорогам может быть блокирован из-за упавших деревьев. Особенно необходим мониторинг скорости ветра на мостах, как автомобильных, так и железных дорог, потому что возможна необходимость уменьшения скорости при прохождении мостов [13]. Здоровью и жизни людей при сильных порывах ветра также угрожает опасность из-за падающих деревьев, щитов, сорванных крыш и других предметов.

Кроме этого, изменение скорости, а также направления ветра может оказать существенное влияние на распространение сельскохозяйственных вредителей [14]. Сильный ветер весной может препятствовать опылению деревьев и растений, а в период цветения сильный ветер может срывать цветки, что также может уменьшить объём урожая фруктов [15].

Таким образом, скорость ветра и её изменение являются важными климатическими показателями, которые требуют детального анализа. Существует объективная необходимость мониторинга такого параметра и оперативная реакция соответствующих муниципальных служб для предотвращения ущерба инфраструктуре, коммуникациям, своевременного предупреждения населения об опасной обстановке.

Список литературы

1. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2016 год. М.: Росгидромет, 2017. – 217 с.
2. NOAA, 2018 (<https://www.ncdc.noaa.gov/gosic/gcos-essential-climate-variable-ecv-data-access-matrix>). Дата обращения – 23 июня 2018 г.
3. M. Kanamitsu, W. Ebisuzaki, J. Woollen, S-K Yang, J.J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter. Bulletin of the American Meteorological Society, 2002, November, P. 1631–1643.
4. 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.
5. Серых И.В., Костяной А.Г., Экба Я.А. Сравнение климатических изменений экстремальных температурных явлений в регионе восточного побережья Черного моря по данным различных ре-анализов //Вестник ТвГУ. Серия "География и Геоэкология". 2018. № 3. С. 152–167.
6. Kostianoy A.G., Serykh I.V., Kostianaia E.A., Mitrovic' L., Ivanov M. Regional climate change in the Boka Kotorska Bay. – In: *The Boka Kotorska Bay Environment*. (Eds.) Joksimovich A., Djurovic M., Semenov

- A.V., Zonn I.S., Kostianoy A.G. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland, 2017, P. 473–493.
7. Kostianoy A.G., Serykh I.V., Kostianaia E.A. Climate change in the Lake Skadar region. – In: The Skadar/Shkodra Lake Environment. (Eds.) V. Pesic, G. Karaman, A.G. Kostianoy. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland, 2018. DOI 10.1007/698_2018_350
 8. Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь Т. 1. / Под. ред. А.И. Бедрицкого. СПб. М.: Летний сад, 2008. 336с.
 9. Гавриков А. В., Иванов, А. Ю. Аномально сильная бора на Черном море: наблюдение из космоса и численное моделирование. - Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана, 2015, N51(5). С.615–615.
 10. Ефимов В.В., Комаровская О.И. Крупномасштабные особенности новороссийской боры //Морской гидрофизический журнал, 2017, N 4 (196), С. 26–35.
 11. Мельников В.А., Москаленко Л.В., Кузеванова Н.И. Ветровые циклы и климатические тренды Чёрного моря //Труды Государственного океанографического института. Исследования океанов и морей, 2018, вып. 219. С. 101–123.
 12. Суханов С.И., Дружевский С.А. Анализ синоптических условий новороссийской боры, которые привели к аварийным происшествиям с судами гс «Арктика» и БГК-775 в декабре 2002 г.// Навигация и гидрография, 2005, 88.
 13. Groenemeijer P., Becker N., Djidara M., Gavin K., Hellenberg T., Holzer A.M., Juga I., Jokinen P., Jylhä K., Lehtonen I., Mäkelä H., Napoles O.M., Nissen K., Paprotny D., Prak P., Púčik T., Tijssen L., Vajda A. Past cases of Extreme Weather Impact on Critical Infrastructure in Europe. 2017. 130 pp.
 14. Collier R., Fellows J.R., Adams S.R., Semenov M., Thomas B. Vulnerability of horticultural crop production to extreme weather events. - Aspects of Applied Biology, 2008, N 88: 3–14.
 15. Kostianaia E. Impact of extreme weather events on resilience of the fruit supply chain in the UK: a case study of the UK apple supply chain. Dissertation for MSc degree in Environmental Policy and Management, University of Bristol, UK, 2015, 54 pp.

CLIMATE CHANGES OF THE WIND SPEED MODULE IN THE REGION OF THE EASTERN COAST OF THE BLACK SEA

**E.A. Kostianaia¹, I.V. Serykh¹, A.G. Kostianoy^{1,2}, S.A. Lebedev³,
A.K. Akhsalba⁴**

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

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

³ Geophysical Center, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴ Institute of Ecology, Academy of Sciences of Abkhazia, Sukhum, Republic of Abkhazia

The analysis of seasonal and interannual variability of wind speed in the eastern part of the Black Sea for the period from 1980 to 2013 is presented. In addition, a detailed analysis of extreme wind phenomena for the coastal regions of the Krasnodar Territory and Abkhazia was carried out. The interannual variability of the amplitude, frequency, and duration of extreme meteorological phenomena due to wind was studied based on the daily reanalysis data of NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2).

Keywords: Black Sea, reanalysis, wind speed, regional climate change, extreme wind phenomena, Krasnodar Territory, Abkhazia.

Об авторах:

КОСТЯНАЯ Евгения Андреевна – научный сотрудник Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Специалист в области политики и управления окружающей средой, регионального изменения климата. Занимается исследованием Целей устойчивого развития N14 применительно к южным морям России. E-mail: evgeniia.kostianaia@gmail.com.

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: Kostianoy@gmail.com.

ЛЕБЕДЕВ Сергей Анатольевич - доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Геофизического центра РАН, старший научный сотрудник Института вычислительной математики

РАН, ведущий научный сотрудник Лаборатории геоэкологии, геоинформатики и рационального природопользования Майкопского государственного университета, почетный профессор Тверского государственного университета. E-mail: lebedev@wccb.ru.

АХСАЛБА Асида Константиновна – кандидат физ.-мат. наук, доцент, преподаватель кафедры прикладной экологии Абхазского государственного университета, начальник Отдела гидрометеорологического и экологического мониторинга Института экологии Академии наук Абхазии. E-mail: asida_cen@mail.ru.