

Климатические угрозы на Северо-Западе Черноморского побережья Кавказа: современные тренды

А.Ю. Богданович¹⁾, О.Н. Липка¹⁾, М.В. Крыленко²⁾, А.П. Андреева¹⁾,
К.О. Добролюбова³⁾*

¹⁾Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля,
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б

²⁾Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук,
Россия, 353467, г. Геленджик, ул. Просторная, д. 1г

³⁾Геологический институт Российской академии наук,
Россия, 119017, г. Москва, пер. Пыжевский, д. 7, стр. 1

*адрес для переписки: *bogda-anton@yandex.ru*

Реферат. В статье приведены результаты анализа опасных гидрометеорологических явлений вдоль Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа. Авторы провели оценку их вклада в динамику природных прибрежных экосистем. Результаты показывают, что вдоль восточного побережья Черного моря отмечается рост среднегодовых и максимальных значений температуры воздуха за последние несколько десятилетий, увеличивается количество волн жары. Температура приземного слоя воздуха с 1987 года по 2020 год повышалась со скоростью от 0.9°C/10 лет. По данным результатов численного моделирования климата, к концу XXI века в Черноморском регионе ожидается дальнейшее существенное потепление в основном за счет летних месяцев. Экстремальные значения сумм осадков могут быть значительными в данном регионе, особенно в мае, июле, августе и сентябре, когда за 24 часа может выпасть больше месячной нормы суммы осадков. Одной из причин выпадения экстремального количества осадков является выход средиземноморских мезоциклонов на побережье Черного моря. Зарождение смерчей над акваторией близ побережья в последние десятилетия отмечается практически ежегодно, периодически фиксируются случаи их выхода на сушу. В холодный период года проявляется новороссийская бора, неоднократно приводившая к значительным разрушениям и подвергающая риску здоровье людей. Ряд необходимых мер по адаптации к изменениям климата и снижению риска от стихийных бедствий уже внедрен, но ежегодные ущербы демонстрируют их недостаточность. Обозначены направления адаптации, применение и усовершенствование которых может оказать быстрый положительный эффект. Вместе с тем, магнитуда отдельных опасных явлений такова, что превышает лимит возможной адаптации.

Ключевые слова. Изменение климата, экстремальность климата, опасные гидрометеорологические явления, Черноморское побережье Кавказа.

Climate threats in the North-West Caucasus Black Sea coast: modern trends

A.Yu. Bogdanovich¹⁾, O.N. Lipka¹⁾, M.V. Krylenko²⁾, A.P. Andreeva¹⁾,
K.O. Dobrolyubova³⁾*

¹⁾ Yu.A. Israel Institute of Global Climate and Ecology,
20B, st. Glebovskaya, 107258, Moscow, Russian Federation

²⁾ Southern Branch of the Institute of Oceanology named after P.P. Shirshov
Russian Academy of Sciences,
1g, Spacious str., 353467, Gelendzhik, Russian Federation

³⁾ Geological Institute of the Russian Academy of Sciences,
7, bldg. 1, Pyzhevsky lane, 119017, Moscow, Russian Federation

Correspondence address: * *bogda-anton@yandex.ru*

Abstract. The article presents results of the dangerous hydrometeorological phenomena analysis along the North-West Caucasus Black Sea coast. The authors assessed their contribution to natural coastal ecosystems' dynamics. The increase in the average annual and maximum values of air temperature over the past few decades has been observed along the eastern coast of the Black Sea, as well as the number of heatwaves is increasing. Surface air temperature increased from 1987 to 2020 at a rate of 0.9°C/10 years. The numerical climate modeling results in further significant warming expecting in the Black Sea region by the end of the XXI century, mainly in the summer months. Extremes of precipitation can be significant in the region, especially in May, July, August, and September, when more than a monthly amount of precipitation can fall in 24 hours. The release of Mediterranean mesocyclones on the Black Sea coast is one of the rationales for extreme precipitation. The generation of windspouts over the sea near the coast has been observed almost every year in recent decades. Cases of their emergence on land are periodically recorded. During the cold period of the year, the Novorossiysk bora appears, which has repeatedly led to significant destruction and endangering human health. A number of necessary measures to adapt to climate change and reduce natural disaster risk have already been implemented, but the annual losses show that they are insufficient. Some measures of climate change adaptation can have a quick positive effect after their implementation and improvement. At the same time, the magnitude of some hazardous phenomena can exceed the limit of possible adaptation.

Keywords. Climate change, climate extremity, dangerous hydrometeorological phenomena, the Black Sea coast of the Caucasus.

Введение

Черноморское побережье Кавказа по своим погодно-климатическим условиям характеризуется высокой привлекательностью для рекреации и возможностью использования в качестве климатических курортов, как предлагал еще

А.И. Воейков (1898). Регион входит в число наиболее густонаселенных в нашей стране с постоянным увеличением числа жителей за счет миграции. В то же время здесь отмечается высокий риск опасных гидрометеорологических явлений, а также их последствий. Экстремальные значения температуры воздуха, скорости ветра или осадков, волны жары, засухи, наводнения, сели, оползни и их сочетания представляют угрозу для жизни и здоровья людей, природных систем и отраслей экономики. Экстремальность климата характерна для региона в целом: на Южный и Северо-Кавказский федеральные округа ежегодно приходится 18-25% всех опасных гидрометеорологических явлений на территории страны (Базелюк, 2012).

В качестве района исследований был выбран участок побережья между городами Анапа и Геленджик, характеризующийся уникальным для территории России субтропическим типом климата (наиболее восточный в Европе район распространения средиземноморского типа климата), а также выраженными климатическими изменениями и регулярностью проявлений опасных гидрометеорологических явлений.

Целью настоящей работы является анализ комплекса климатических угроз выбранного региона, выявление их трендов, связанных с изменением климата (при наличии), а также последствий и возможных мер адаптации.

Для достижения цели решаются следующие задачи:

- описать наблюдаемые изменения климата Черноморского побережья Кавказа на участке Анапа-Геленджик;
- описать экстремальные погодные явления с конца XX века;
- систематизировать их последствия;
- оценить климатообусловленные тренды и риски;
- предложить возможные направления и подходы к адаптации.

Используемые данные и методы исследования

В работе используются архивы значений среднесуточной температуры воздуха, максимальной суточной температуры воздуха, среднесуточной скорости ветра, максимальных суточных порывов скорости ветра и суточных сумм осадков за период 1987-2020 гг. по стационарным данным в городах Анапа, Новороссийск и Геленджик, сформированные во Всероссийском научно-исследовательском институте гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (Булыгина и др.). Для характеристики явлений, произошедших сравнительно недавно и не включенных в основную базу данных, использовались архивы с портала «Расписание погоды» (gr5).

Все три метеостанции расположены вдоль линии побережья Черного моря на сравнительно небольшом расстоянии друг от друга: 24 км между станциями Новороссийск и Геленджик и 70 км между Геленджиком и Анапой. При этом природные условия в местах расположения станций различаются: станция в Анапе расположена на низменной равнине, открытой для свободного доступа воздушных масс; станция в Новороссийске – практически у подножья низкогогорного хребта Маркотх, а станция в Геленджике – на мысу, на рас-

стоянии около 4 км от гор. Две последние станции подвержены воздействию новороссийской боры.

Для обработки данных использовались стандартные методики, принятые гидрометеорологическими службами, применялись «Методы оценки последствий изменения климата...» (2012), а также сравнительные графики, по данным трех станций, для визуализации полученной информации.

Информация об ущербах в результате опасных гидрометеорологических явлений взята из публикаций в открытых источниках.

Результаты и обсуждение

Изменения климата

Для восточного побережья Черного моря на примере данных всех трех метеостанций наблюдается существенный рост среднегодовых значений температуры воздуха (Т): за период 1987-2020 гг. приземная температура воздуха повышалась со скоростью $0.9^{\circ}\text{C}/10$ лет – $1.2^{\circ}\text{C}/10$ лет (рис. 1). Потепление отмечается во все сезоны года (табл. 1), при этом увеличение температуры с наибольшей статистической достоверностью характерно, в основном, для весны и лета, с наименьшей – для осени и зимы (тренд считается значимым при $R^2 > 0.3$ (Lokoshchenko et al., 2017)) на всех трех станциях. Скорость роста температуры значительно превышает среднюю для региона как по данным наблюдений – $0.5\text{-}0.6^{\circ}\text{C}/10$ лет (Доклад об особенностях..., 2021), так и по данным реанализа – $0.24^{\circ}\text{C}/10$ лет (Kostianou et al., 2017), что обусловлено спецификой комплекса природных условий в сочетании с расположением станций на территории населенных пунктов, а также локальностью явления, которое не может быть отражено в масштабах карт Доклада об особенностях климата (2021).



Рисунок 1. Изменение средних годовых значений температуры воздуха, по данным станционных наблюдений за период 1987-2020 гг. (сплошные линии)

Пунктирные линии – линейные тренды, R^2 – показатель достоверности тренда

Figure 1. Mean average annual air temperature change according to station observations for the period 1987-2020 (solid lines)

Linear trends – dotted lines, R^2 – trend reliability indicator

Более значимое потепление в летнее время по сравнению с другими сезонами во всем Черноморском регионе и на Западном Кавказе подтверждается по данным реанализа ERA-Interim за период 1982-2014 гг. Зимой статистически значимое увеличение температуры воздуха наблюдается только на восточном побережье Черного моря. (Алешина и др., 2018).

Таблица 1. Средняя скорость изменения температуры воздуха по сезонам, по данным стационарных наблюдений, в г. Геленджик, г. Новороссийск и г. Анапа за период 1987-2020 гг.

Table 1. Mean average air annual temperature change rate by seasons according to station observations in Gelendzhik, Novorossiysk and Anapa for 1987-2020

Город	Время года	Средняя скорость изменения температуры воздуха (линейный тренд)	Показатель достоверности тренда (R^2)
Анапа	Зима	+ 0.8°C / 10 лет	0.26
	Весна	+ 0.8°C / 10 лет	0.43
	Лето	+ 1.0°C / 10 лет	0.64
	Осень	+ 0.9°C / 10 лет	0.33
Новороссийск	Зима	+ 1.1°C / 10 лет	0.32
	Весна	+ 1.1°C / 10 лет	0.49
	Лето	+ 1.4°C / 10 лет	0.55
	Осень	+ 1.3°C / 10 лет	0.37
Геленджик	Зима	+ 1.2°C / 10 лет	0.39
	Весна	+ 1.1°C / 10 лет	0.48
	Лето	+ 1.3°C / 10 лет	0.53
	Осень	+ 1.3°C / 10 лет	0.40

По данным МГЭИК, прогнозируется повышение среднегодовой температуры воздуха в районе исследований на 2.5-3°C к концу века по сравнению с базовым периодом ВМО 1961-1990 гг. при реализации «среднего» сценария SSP2 4.5 и на 6°C при реализации более жесткого сценария SSP5 8.5 (IPCC, 2021). Потепление ожидается в основном за счет летних месяцев (Ефимов и др., 2015).

В годовом ходе максимум интенсивности осадков на Черноморском побережье приходится на зиму, что связано с активизацией здесь средиземноморской ветви полярного фронта (Алисов, 1956). На примере всех трех метеостанций за период с 1987 года по 2017 год существенное изменение среднегодовой суммы осадков не наблюдается (рис. 2). Полученные результаты подтверждаются данными реанализа ERA-Interim за период 1982-2014 гг. (Алешина и др., 2018).

Примечательно, что в целом для Черноморского побережья Кавказа прослеживается тенденция увеличения количества осадков в направлении с северо-запада на юго-восток, приводящая к смене типа климата с сухого субтропического в районе исследований на влажный субтропический в районе г. Туапсе и далее на юго-восток вдоль побережья (Алисов, 1956). Изменение отражается в характеристике растительного покрова. При этом, по данным наблюдений на метеостанциях, максимальное годовое количество осадков

характерно не для Геленджика, а для Новороссийска. Вероятно, это связано с расположением последнего в непосредственной близости от горного хребта, способствующего образованию локальных орографических осадков.

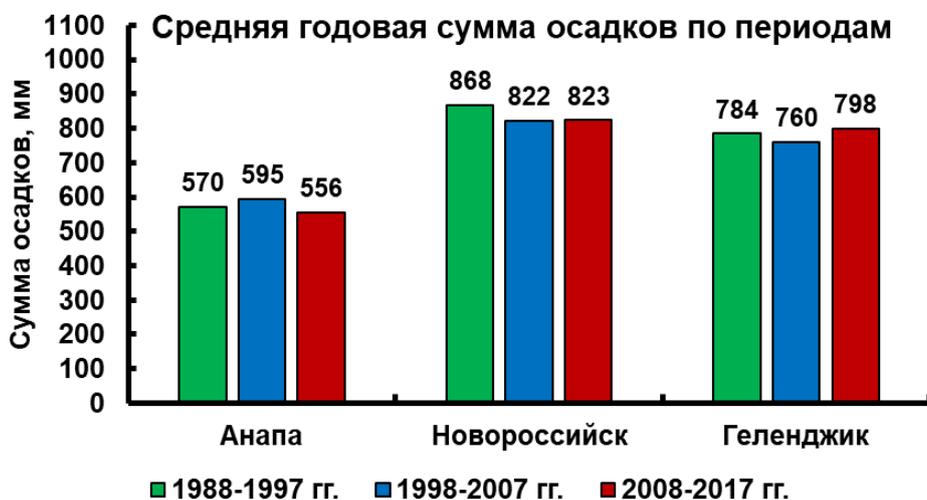


Рисунок 2. Среднегодовая сумма осадков, по данным станционных наблюдений, в гг. Анапа, Новороссийск и Геленджик для трех последовательных десятилетий

Figure 2. Average annual precipitation according to station observations in Anapa, Novorossiysk and Gelendzhik for three consecutive decades

По прогнозам МГЭИК, для данного региона (IPCC, 2021) к концу XXI века ожидается незначительное изменение количества осадков по сравнению с базовым периодом ВМО (1961-1990 гг.), причем данные моделей представляют диапазон различных вариантов развития событий. В том числе, по данным численного моделирования, возможно уменьшение количества осадков (Ефимов и др., 2015).

Существенное повышение температуры вегетационного сезона при неизменном количестве осадков, в совокупности с засушливыми условиями средиземноморского типа климата, могут привести к дальнейшей аридизации и опустыниванию в районе исследования.

Повышение температуры поверхности моря (ТПМ) может быть причиной повышения интенсивности и вероятности экстремальных осадков (Meredith et al., 2015). Тем не менее, в работе (Алешина и др., 2019) по результатам расчета модели общей циркуляции атмосферы ЕНСАМ5 делается вывод о том, что при повышении ТПМ на побережье Черного моря не наблюдается статистически значимых изменений ни средней интенсивности осадков, ни их экстремальных значений. Тогда как над морем интенсивность осадков в среднем увеличивается. По данным численного моделирования, в XXI веке в летнее время года ожидается повышение экстремальности фронтальных осадков на юге России (Матвеева и др., 2015). По результатам расчета характеристик процессов конвекции в атмос-

фере показано, что повышение ТПМ в Черном и Средиземном морях приводит к более благоприятным условиям развития конвективных процессов и, следовательно, к выпадению осадков над морями и прибрежными территориями (Алешина и др., 2019). Также при повышении региональной ТПМ и благоприятных циркуляционных условиях влага с моря может поступать на побережье, как, например, случилось при катастрофическом наводнении в Крымске и Геленджике в 2012 году (Meredith et al., 2015).

В период 1987-2020 гг. скорость ветра в Геленджике уменьшалась со скоростью 0,45 м/с/10 лет (рис. 3). В то же время в Новороссийске, согласно показателю достоверности линейного тренда R^2 , таких изменений скорости ветра не происходило (рис. 3). С 90-х годов прошлого века произошло увеличение площади городской застройки вокруг метеорологической станции в г. Геленджик, что, возможно, оказывает непосредственное влияние на уменьшение скорости ветра, по данным метеостанции.

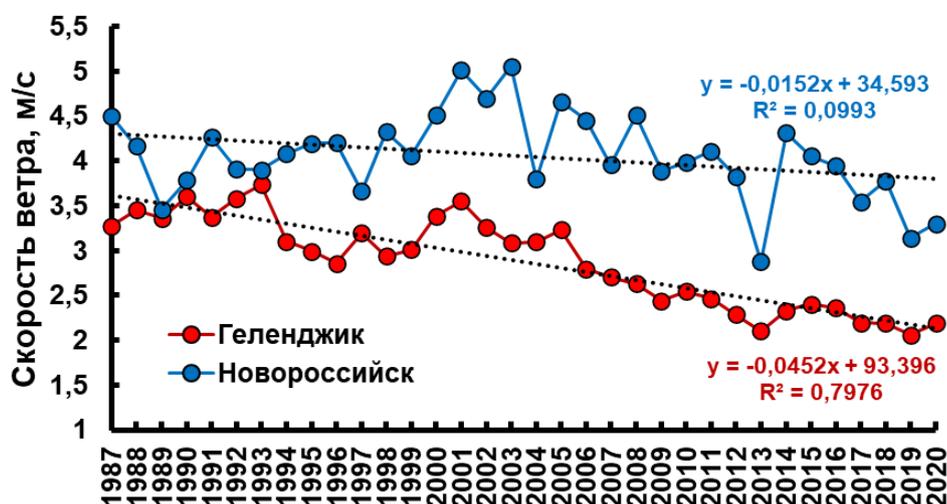


Рисунок 3. Изменение среднегодовой скорости ветра, по стационарным данным, в г. Геленджик и г. Новороссийск за период 1987-2020 гг.
 R^2 – показатель достоверности тренда

Figure 3. Change in the average annual wind speed according to station data in Gelendzhik and Novorossiysk in 1987-2020
 R^2 – trend reliability indicator

Результаты численного моделирования волновой активности, верифицированные с привлечением данных прямых экспериментальных наблюдений, показывают: за последние 25 лет среднегодовая штормовая активность на Черном море выросла на 10-15%, что особенно ярко проявляется в северо-восточной части акватории. Этот рост обеспечивается, в основном, увеличением вклада со стороны умеренных (не экстремальных) штормов восточных направлений. Хотя речь идет об открытой части Черного моря, подобные тенденции с неизбежностью сказываются на энергетике прибрежных участков (Дивинский, Косьян, 2016).

Экстремальные явления и их последствия

Максимальные значения температуры воздуха

Максимальные значения температуры воздуха в течение суток в регионе нередко превышают отметки 35°C. Согласно данным метеорологической станции, в г. Анапа в среднем за период 1987-2020 гг. в течение лета повторяемость таких дней может достигнуть 4% всех суток (рис. 4); в г. Новороссийск – 5% (рис. 5); в г. Геленджик – 4% (рис. 6). Максимальная суточная температура воздуха, превышающая 30°C, наблюдается летом в среднем в 25% всех случаев в г. Анапа, в 34% – в г. Новороссийск и в 25% – в г. Геленджик, а также изредка – поздней весной или ранней осенью.

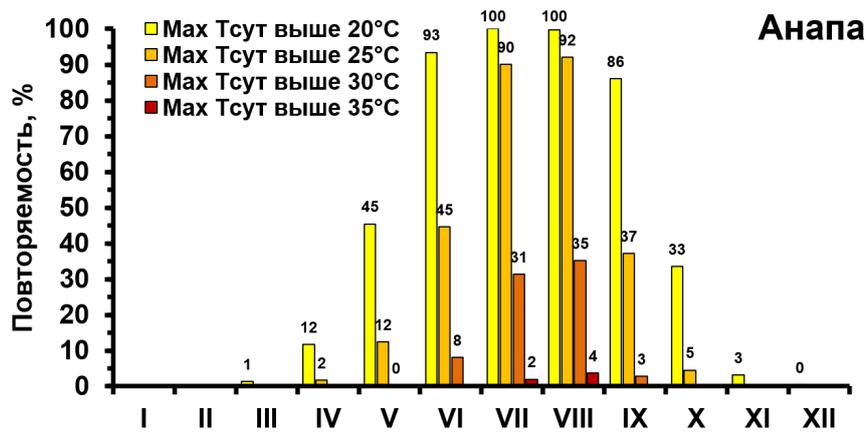


Рисунок 4. Годовой ход повторяемости дней с суточной температурой воздуха выше определенного значения, по данным станционных наблюдений, в г. Анапа за период 1987-2020 гг.

Figure 4. Annual graph of days with daily air temperature above a certain value according to station observations in Anapa (1987-2020)

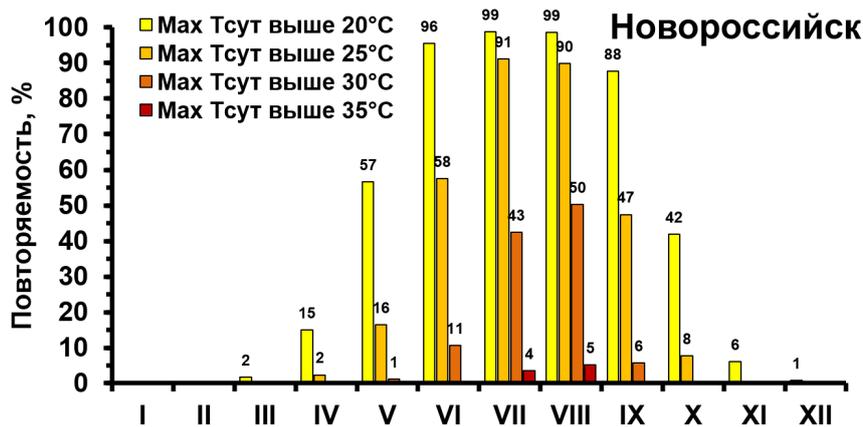


Рисунок 5. Годовой ход повторяемости дней с суточной температурой воздуха выше определенного значения, по данным станционных наблюдений, в г. Новороссийск за период 1987-2020 гг.

Figure 5. Annual graph of days with daily air temperature above a certain value according to station observations in Novorossiysk (1987-2020)

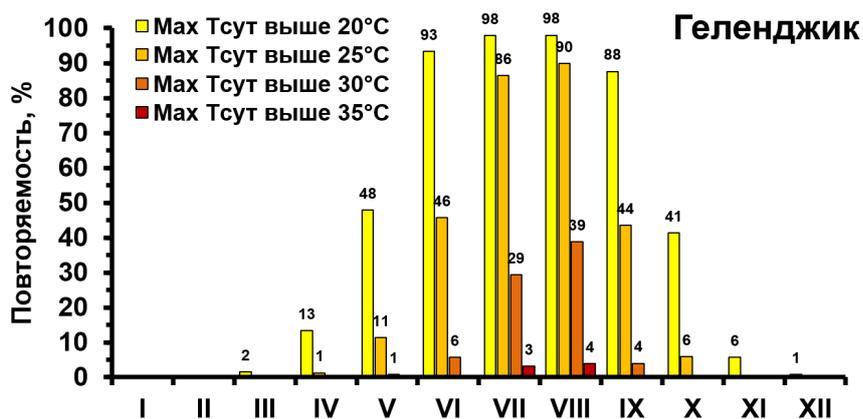


Рисунок 6. Годовой ход повторяемости дней с суточной температурой воздуха выше определенного значения, по данным станционных наблюдений, в г. Геленджик за период 1987-2020 гг.

Figure 6. Annual graph of days with daily air temperature above a certain value according to station observations in Gelendzhik (1987-2020)

Наибольшая повторяемость высоких максимальных температур отмечается не в самом южном Геленджике, а в Новороссийске. Вероятно, закономерность обусловлена расположением метеостанций по отношению к морю и городской застройке.

В последние десятилетия количество экстремально жарких дней растет на всех трех станциях (табл. 2). Если в Анапе разница между двумя периодами незначительна, то в Новороссийске и Геленджике количество экстремально жарких дней в июле увеличилось более чем в 2 раза, а в августе – примерно в 1.5. В данной работе экстремально жаркими считаются дни с температурой, превышающей $\mu + 2\sigma$, где μ – математическое ожидание, а σ – среднее квадратическое отклонение, которые определены для всех дней в июле и августе за период 1991-2000 гг.

Таблица 2. Количество экстремально жарких дней в июле и августе, по данным станционных наблюдений, в г. Анапа, г. Новороссийск и в г. Геленджик за периоды 2001-2010 гг. и 2011-2020 гг.

Table 2. The number of extremely hot days in July and August according to station observations in Anapa, Novorossiysk and Gelendzhik for the periods 2001-2010 and 2011-2020

	Июль		Август	
	2001-2010 гг.	2011-2020 гг.	2001-2010 гг.	2011-2020 гг.
Анапа	23	27	52	58
Новороссийск	15	39	48	80
Геленджик	17	51	58	85

Волны жары рассматривались как периоды со среднесуточной температурой воздуха, превышающие 97 перцентиль, продолжительностью не менее пяти дней. Сопоставление их количества для двух последовательных десятилетий XXI века показывает увеличение в 2-5 раз для всех станций наблюдений (табл.

3). Так, за периоды с 2001-2010 по 2011-2020 гг. в Анапе количество волн жары выросло с 8 до 15, в Новороссийске – с 3 до 15, а в Геленджике – с 4 до 15. Если десять лет назад события проявлялись не каждый год, то в последнее десятилетие они участились практически до ежегодных, а в отдельные годы могли фиксироваться несколько раз. При этом средняя продолжительность волн жары сократилась с 8 до 6 дней в Анапе и с 10 до 8 дней в Новороссийске, тогда как в Геленджике, напротив, выросла с 8 до 10 дней (табл. 3).

Таблица 3. Количество и средняя продолжительность волн жары, по данным станционных наблюдений, в г. Анапа, г. Новороссийск и г. Геленджик за периоды 2001-2010 гг. и 2011-2020 гг.

Table 3. The number and average duration of heatwaves according to station observations in Anapa, Novorossiysk and Gelendzhik for the periods 2001-2010 and 2011-2020

	Количество волн жары		Продолжительность волн жары, дни	
	2001-2010 гг.	2011-2020 гг.	2001-2010 гг.	2011-2020 гг.
Анапа	8	15	8	6
Новороссийск	3	15	10	8
Геленджик	4	15	8	10

Существуют пороговые значения среднесуточной температуры, при которых резко возрастает дополнительная смертность. Явление было хорошо изучено в результате трагических событий в Москве и центральной части Европейской России в 2010 г., когда волна жары длилась почти два месяца (Ревич и др., 2019). Если в Москве пороговым значением является $+23.6^{\circ}\text{C}$, то в более южных районах она повышается, в Средиземноморье составляет $+28^{\circ}\text{C}$. Ожидается дальнейшее повышение региональных пороговых значений температур по мере изменения климатических параметров (Ревич и др., 2019).

Повышение температуры и особенно учащение волн жары в засушливом средиземноморском климате способствуют созданию высокой пожароопасной обстановки. Для района исследований вероятность возникновения чрезвычайной пожароопасности (5-ый класс, $10\ 000^{\circ}\text{C}$ и более по формуле Нестерова) составляет 24-36% (Паспорт гидрометеорологической безопасности..., 2017). Примечательно, что на территории Краснодарского края наибольшая пожароопасность отмечается не на побережье, а характерна для равнинной части региона, расположенной в степном климате, и может превышать 70-75%. Восточнее, в направлении г. Сочи, влажность воздуха на побережье увеличивается и пожароопасность уменьшается (Паспорт гидрометеорологической безопасности..., 2017).

Сочетание пожара с сильным ветром легко может привести к перерастанию низового пожара в верховой, который будет угрожать населенным пунктам. Горный рельеф при этом осложняет ликвидацию пожаров (МЧС, 2020).

Экстремальные осадки

Экстремальные значения сумм осадков в районе исследований также могут быть значительными. Несмотря на то, что средиземноморский тип климата характеризуется зимним максимумом осадков, экстремальные осадки,

превышающие месячную норму, более характерны для теплого времени года на всех трех станциях наблюдения за период 1987-2017 гг. (рис. 7-9).

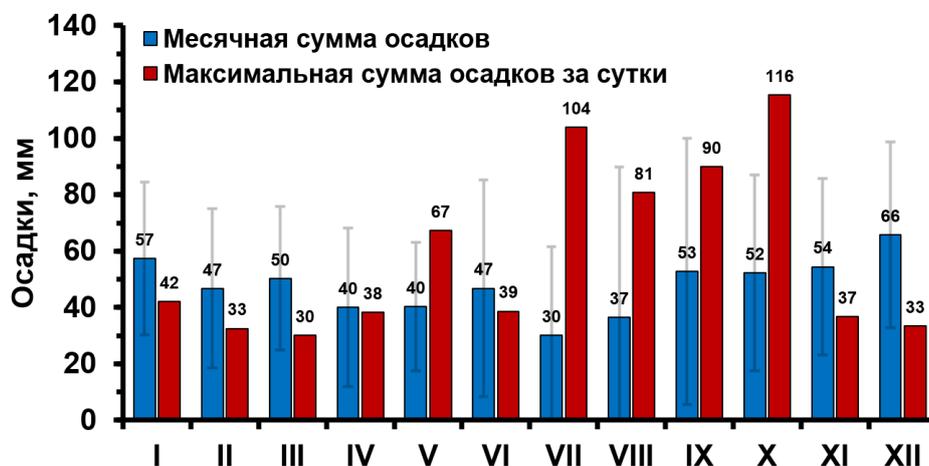


Рисунок 7. Годовой ход месячной суммы осадков (синие столбики) и максимальной суммы осадков в течение 24 ч (красные столбики), по данным стационарных наблюдений, в г. Анапа за период 1987-2017 гг.

Доверительные интервалы соответствуют уровням значимости 5%

Figure 7. Annual variation of monthly precipitation (blue bars) and maximum precipitation for 24 hours (red bars) according to station observations in Anapa for the period 1987-2017
Confidence intervals correspond to 5% significance levels

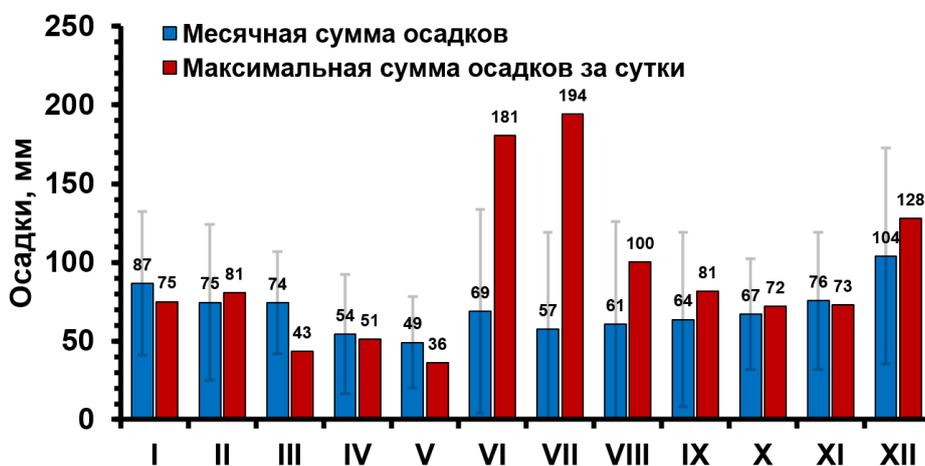


Рисунок 8. Годовой ход месячной суммы осадков (синие столбики) и максимальной суммы осадков в течение 24 ч (красные столбики), по данным стационарных наблюдений, в г. Новороссийск за период 1987-2017 гг.

Доверительные интервалы соответствуют уровням значимости 5%

Figure 8. Annual variation of the monthly total precipitation (blue bars) and the maximum total precipitation for 24 hours (red bars) according to station observations in Novorossiysk for the period 1987-2017
Confidence intervals correspond to 5% significance levels



Рисунок 9. Годовой ход месячной суммы осадков (синие столбики) и максимальной суммы осадков в течение 24 ч (красные столбики), по данным станционных наблюдений, в г. Геленджик за период 1987-2017 гг.

Доверительные интервалы соответствуют уровням значимости 5%

Figure 9. Annual variation of monthly precipitation (blue bars) and maximum precipitation for 24 hours (red bars) according to station observations in Gelendzhik for the period 1987-2017
Confidence intervals correspond to 5% significance levels

На данных графиках представлены значения максимальной суммы осадков за сутки, которые рассчитывались как сумма осадков за 9 и 21 часовые сроки по Гринвичу, т.к. именно в эти сроки на всех метеостанциях проводятся измерения осадков. После перерасчета значений сумм осадков за календарные сутки (т.е. с 0 до 24 ч) было отмечено, что 7 июля 2012 года в Новороссийске был зафиксирован исторический многолетний максимум суммы осадков за одни сутки – 275 мм. Также исторический максимум суточной суммы осадков в этот день был отмечен в районе города Геленджик: согласно данным местной метеостанции, за 24 часа здесь выпало 311 мм (предыдущий максимум составлял 105 мм/сут) (Георгиевский, Ткаченко, 2012). Выпадение менее чем за сутки почти полугодовой нормы осадков вызвало катастрофический подъем вод в реках и мелких водотоках, затопление прилегающих территорий, массовый сход оползней. Повсеместно в горах сформировались селеподобные водно-грязевые потоки, пронесшиеся через населенные пункты. Резко увеличился вынос жидкого и твердого речного стока реками в береговую зону Черного моря, произошло значительное преобразование прибрежного рельефа (Крыленко и др., 2012).

Выпадение катастрофического объема ливневых осадков (порядка 2 мм/мин) за короткий интервал времени (около 20 мин) считается основной причиной формирования разрушительных ливневых селей на Черноморском побережье Кавказа. Несмотря на узость прибрежной полосы (первые километры), в речных долинах успевают сформироваться разрушительные паводки. Потоки превращаются в сели благодаря обильному поступлению в них большого количества рыхлого обломочного материала, залегающего в днищах и на

склонах долин, в том числе приносимого оползнями. Антропогенное преобразование долин дополнительно способствует формированию селей (Баринов, 2010).

Для территории Краснодарского края зафиксировано увеличение общего числа наводнений на 25% в 2000-2015 гг. по сравнению с периодом 1980-2000 гг. По данным районирования Краснодарского края, по числу наводнений стокового, стоково-заторного и локального ливневого генезиса за период с 1980 года по 2015 год. Анапа относится к району с наименьшей повторяемостью наводнений (2-3), Новороссийск – средней (6-7), а Геленджик – высокой (10-15) (Паспорт гидрометеорологической безопасности..., 2017).

Экстремальные значения скорости ветра

Экстремальные значения скорости ветра регулярно фиксируются в районе исследований (рис. 10-12). Так, доля случаев с порывами ветра со скоростью более 15 м/с может составлять более 40% в Анапе, более 30% в Новороссийске и более 20% в Геленджике за период 1987-2020 гг. в холодное время года.

Наиболее часто ветра более 20 м/с отмечаются в Новороссийске (рис. 11). Так, за период 1987-2020 гг. в отдельные месяцы их доля составляет 20% (февраль) или, например, 18% (октябрь, декабрь). Доля же случаев со скоростью ветра более 30 м/с в Новороссийске за период 1987-2020 гг. в отдельные месяцы достигает 4% (ноябрь) или 3% (февраль). В годовом ходе максимум экстремальных значений скорости ветра приходится на холодный период года, что в основном связано с проявлением боры в данной местности.

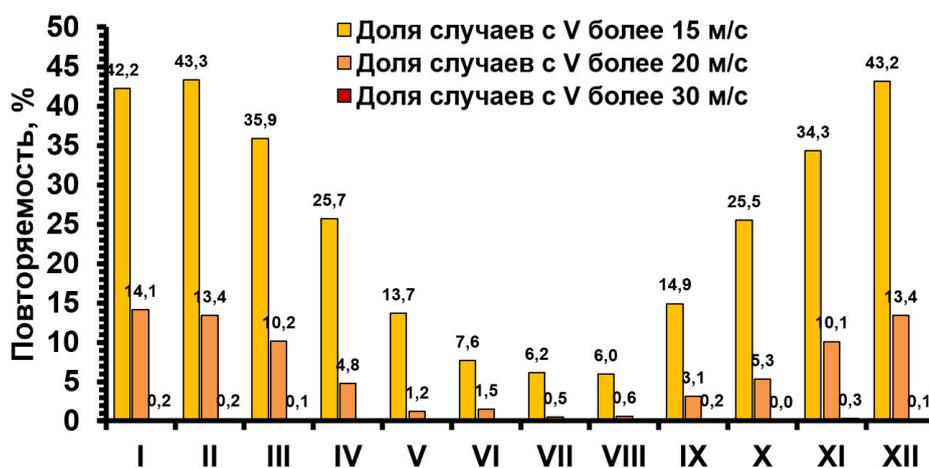


Рисунок 10. Годовой ход повторяемости случаев с максимальной скоростью ветра (в порывах) выше определенного значения, по данным стационарных наблюдений, в г. Анапа за период 1987-2020 гг.

Figure 10. Annual variation of the frequency of occurrence of cases with the maximum wind speed (in gusts) above a certain value according to the station observations in Anapa for the period 1987-2020



Рисунок 11. Годовой ход повторяемости случаев с максимальной скоростью ветра (в порывах) выше определенного значения, по данным станционных наблюдений, в г. Новороссийск за период 1987-2020 гг.

Figure 11. The annual course of the frequency of occurrence of cases with the maximum wind speed (in gusts) above a certain value according to the station observations in Novorossiysk for the period 1987-2020

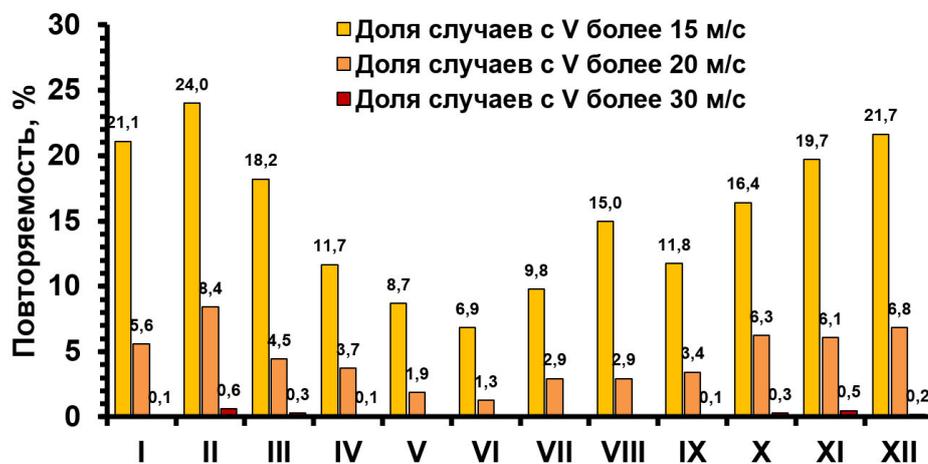


Рисунок 12. Годовой ход повторяемости случаев с максимальной скоростью ветра (в порывах) выше определенного значения, по данным станционных наблюдений, в г. Геленджик за период 1987-2020 гг.

Figure 12. Annual variation of the frequency of occurrence of cases with the maximum wind speed (in gusts) above a certain value according to the station observations in Gelendzhik for the period 1987-2020

По мере удаления от берега перепад давления ослабевает, ветер (бора) ослабевает и затем затухает; здесь скорости ветра меньше 15 м/с. Путем анализа радиолокационных изображений установлено, что обычно горизонталь-

ный масштаб боры изменяется от 50 до 250 км и зависит от синоптической ситуации, интенсивности боры и ряда других факторов (Гавриков, Иванов, 2015).

Новороссийскую бору начали воспринимать как стихийное бедствие с 1848 г., когда ветер ураганной силы вывел из строя эскадру Черноморского флота. Из семи кораблей уцелел один, остальные обледенели и получили другие серьезные повреждения. Последствия боры были признаны равными потерям в большом морском сражении (Шигин, 2006). В 1997 г. норд-ост привел к повреждению ЛЭП и домов, перебоям в теплоснабжении отдельных районов, падению деревьев. 9 декабря 2002 г. в Новороссийске из-за обледенения затонуло два судна (Костяная и др., 2018). В конце января – начале февраля 2012 г. наблюдалась бора со скоростью ветра 30-40 м/с, с отдельными порывами до 40-50 м/с; температура воздуха резко упала с +10° до -19°С. На море наблюдались волны высотой 2-4 м, произошло обледенение судов, портовых сооружений и набережных (Гавриков, Иванов, 2015).

Среднегодовое число суток с борой, по данным наблюдений, в Новороссийске составляет около 30-40 дней (Ефимов и др., 2019; Гавриков, Иванов, 2015; Васильев и др., 2016; Семенов и др., 2013). Подавляющее большинство случаев приходится на холодный сезон года (с октября по март). За период 1979-2015 гг. общую тенденцию изменчивости выделить сложно: отмечаются отдельные периоды с направленным ростом или уменьшением числа случаев, а также отдельные пики количества случаев в конкретные годы. Прогноз повторяемости новороссийской боры в XXI веке по сценарию RCP8.5 показывает, что к 30-ым гг. XXI века ожидается небольшой рост повторяемости явления, однако он статистически незначим. В дальнейшем, к концу XXI века, никаких изменений в повторяемости новороссийской боры не ожидается (Конопляникова, 2017).

Обращает на себя внимание факт, что, по данным метеостанции, в г. Геленджике повторяемость случаев с максимальной скоростью ветра (в порывах) выше 15 и 20 м/с в целом ниже, чем в Анапе, но изредка фиксируется скорость более 30 м/с. При том, что Анапа находится вне зоны влияния новороссийской боры, а Геленджик ей подвержен, факт может быть объяснен спецификой расположения метеостанции в Геленджике. Вероятно, условия местного рельефа или городской застройки влияют на данные наблюдений.

Сочетание сильных ветров с экстремальными осадками относится к комплексам опасных гидрометеорологических явлений. В августе 2021 г. район исследований оказался под влиянием мезоциклона средиземноморского типа. Последствия оказались действительно тяжелыми, хотя и не настолько катастрофическими, как в 2012 г. По данным МЧС: «в результате прохождения циклона на территории Краснодарского края было подтоплено 2 177 домовладений, 3 796 придомовых территорий, подвальные помещения в 27 многоквартирных домах, 14 социально-значимых объектов, 2 участка краевой автомобильной дороги А-290 «Новороссийск – Керчь». В зону действия циклона попали более 13 тыс. человек. В городе Анапа без энергоснабжения остается 10 100 человек» (МЧС, 2021).

По данным портала «Расписание погоды» (rp5), выпадение осадков в районе исследований было неравномерным. Максимальное количество обрушилось на Анапу в ходе первой волны 13-го августа – 153 мм за сутки (94 мм за 12 часов), в то время как в Новороссийске и Геленджике в этот день выпало 54 и 11 мм соответственно. Именно вторая волна привела к подтоплению Новороссийска и Геленджика, когда 16-го августа выпало 100 и 70 мм соответственно, в обоих случаях выпадение произошло за 12 часов (рис. 13).

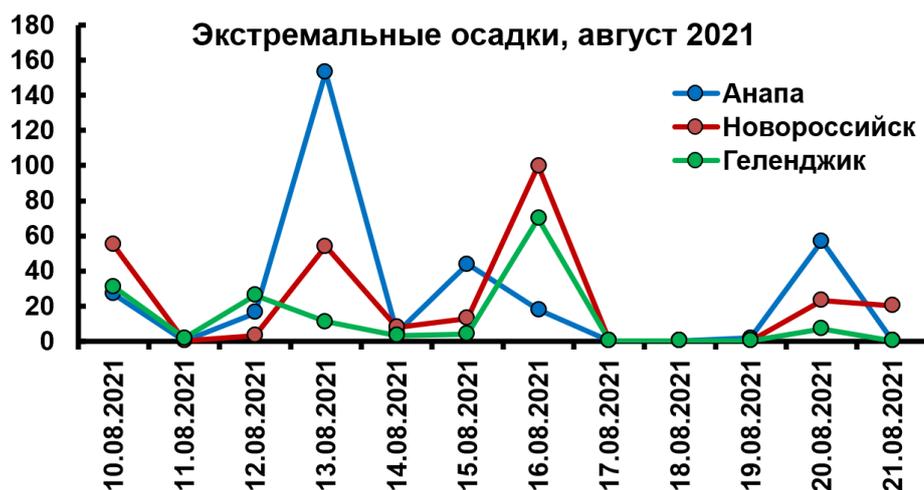


Рисунок 13. Экстремальные осадки в результате выхода средиземноморского мезоциклона к побережью Черного моря в августе 2021 года (по данным сайта rp5)

Figure 13. Extreme precipitation as a result of the release of the Mediterranean mesocyclone to the Black Sea coast in August 2021 (rp5 web portal)

Еще одним опасным гидрометеорологическим явлением в районе исследования являются смерчи. Над акваторией Черного моря и в бухтах они формируются регулярно (рис. 14; Базелюк, 2012), восточная часть Черного моря лидирует также по количеству ежегодно регистрируемых смерчей на единицу площади (Калмыкова, Шершаков, 2018).

Наиболее разрушительные последствия наблюдались при выходе смерча на сушу вблизи Новороссийска в 2002 г. По оценкам экспертов, диаметр водяного столба составлял более 200 м, объем содержащейся воды оценивался в 2,5 млн. м³, который распределился в направлении трех населенных пунктов (Воробьев и др., 2003). Вышедшее в результате прохождения смерча из берегов озеро смыло палаточный лагерь, в котором находилось около 300 человек. Всего в зоне затопления оказались более 7000 жилых домов и административных зданий, повреждено 4968 и разрушено 447 жилых домов, 20 мостов, 5.5 км автомобильных дорог. Было эвакуировано 2000 и спасено 32 человека, 59 человек погибли (Воробьев и др., 2003). Дополнительным фактором, который может значительно усугубить негативные последствия, является наличие в руслах рек гидротехнических сооружений (плотин, водохранилищ), которые

при переполнении и дальнейшем разрушении создают дополнительную паводочную волну, что и произошло (Ткаченко, 2012).

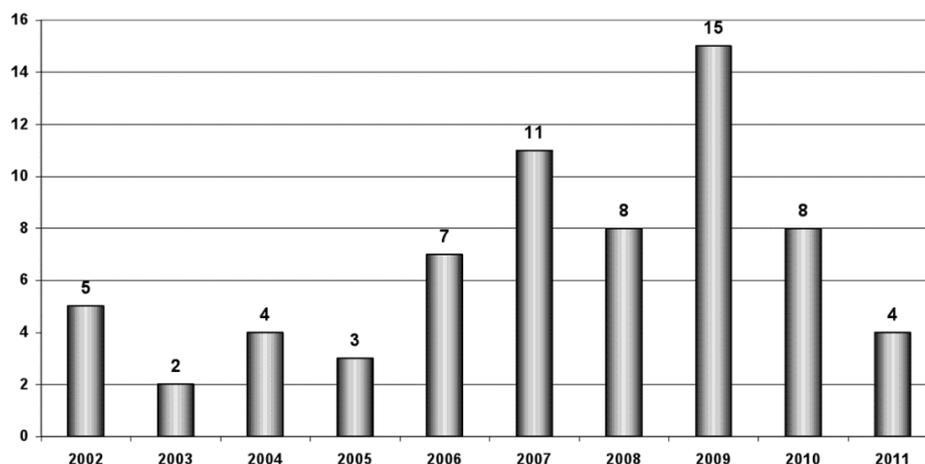


Рисунок 14. Статистика смерчей на Черноморском побережье России за 2002-2011 гг. (Базелюк, 2012)

Figure 14. Statistics of windspouts on the Black Sea coast of Russia in 2002-2011 (Bazelyuk, 2012)

Нередкими в районе исследования являются случаи сильных штормовых волнений. Согласно данным расчета высоты волн за 1948-2010 гг. (Гиппиус и др., 2013), северо-восточная часть моря является одной из самых опасных с точки зрения наибольшего их развития – максимальные высоты волн превышают здесь 6.5 м. Связано это с выходом средиземноморских циклонов на Черное море (Нестеров, 2018). Наиболее часто средиземноморские циклоны формируются в ГENUЭЗСКОМ заливе и акватории около Кипра (Казначеева, Шувалов, 2012) и именно из восточной части Средиземного моря значительная часть таких циклонов выходит на Черное море (Flocas et al., 2010). Одним из относительно недавних примеров сильнейшего шторма в результате выхода средиземноморского циклона в Черном море является крушение нескольких судов в Керченском проливе 11 ноября 2007 года (напр., Нестеров, 2018).

В случае реализации наиболее жесткого сценария изменения климата в XXI веке (RCP8.5), в связи с изменением температуры воздуха, скорости ветра, количества осадков и других метеорологических величин ожидается возрастание повторяемости штормовых ситуаций на Черном море (Кислов и др., 2016).

В результате климатических изменений наблюдается повышение температуры поверхности моря (ТПМ) и уровня моря, что ведет к преобразованию береговой линии. Такие изменения отмечены и у побережья Краснодарского края (Lebedev et al., 2017) – так, уровень моря здесь повышается в среднем на 0.29 ± 0.03 см/год.

Направления адаптации

Экстремальность климата региона известна достаточно давно, поэтому ряд мер по снижению риска бедствий уже внедрен, включая оповещение населения. Тем не менее, значительные ущербы, а также периодически возникающий риск для жизни и здоровья людей указывают на дефицит адаптации к изменениям климата и недостаточную подготовленность к опасным гидрометеорологическим явлениям, что уже отмечалось в других работах (например, Kostianaia, Kostianoy, 2021).

Волны жары в сочетании с ростом максимальных температур потребуют усиления комплекса мер по защите здоровья населения, а также туристов: заблаговременные оповещения о приближающемся опасном явлении, повышенная готовность медицинских служб, кондиционирование максимального количества помещений общего пользования для создания убежищ, использование зеленых насаждений для уменьшения степени разогрева улиц и жилых районов. К сожалению, далеко не все жители могут позволить себе установку системы кондиционирования в домах. Целесообразно разработать специальную социальную программу, ориентированную на наиболее уязвимые категории населения, которые тяжело переносят волны жары: пожилых людей старше 65 лет, с сердечно-сосудистыми заболеваниями, а также многодетные семьи и семьи с детьми до 5 лет включительно.

В качестве адаптационных мер по снижению риска возникновения лесных пожаров и ущерба от них предлагаются меры, типичные для всех лесных районов: постоянный мониторинг состояния лесных массивов; контроль рекреационного использования лесов; повышение осведомленности населения о причинах и опасности лесных пожаров; регулярная очистка леса от сухостоя и валежника (Паспорт гидрометеорологической безопасности..., 2017), а также другие меры лесной противопожарной профилактики, особенно в лесах из сосны пицундской, характеризующихся наибольшим потенциальным риском.

Снижение ущерба от экстремальных ливней уже сейчас требует внимательного изучения городской планировки и возможностей по ее усовершенствованию. Мощность ливневой канализации явно недостаточна в каждом из трех городов. Сокращение площади асфальтированной территории и увеличение за счет нее площади зеленых насаждений будет способствовать большей впитываемости влаги и уменьшению поверхностного стока. Горный рельеф и крутые абразионные берега, сложенные флишами, создают условия для массового схода селей и оползней в случае сильных ливней. Необходимо тщательное картографирование потенциально опасных мест, а также объектов, которые могут оказаться в зоне поражения, для планирования мер по минимизации ущерба. В том числе может потребоваться перенесение некоторых объектов из опасной зоны, а также дополнительные меры по обеспечению бесперебойного автотранспортного сообщения для эвакуации людей.

Сильные ветра, в том числе бора, даже если они не сопровождаются сильными ливнями или экстремально низкими для региона температурами, как минимум приводят к временному нарушению нормального хода всех процес-

сов. Целесообразно проведение планомерной проверки зданий, сооружений, объектов инфраструктуры, а также зеленых насаждений, выявление поврежденных или недостаточно прочных конструкций и их модернизация или ликвидация. При одновременном воздействии низких температур в холодный период важно иметь ресурсы и возможности для обеспечения бесперебойного тепло- и энергоснабжения, включая наличие резервных генераторов. Примером неудачной планировки застройки является микрорайон Северный в Геленджике, в котором скорость ветра всегда выше, чем в других районах города. Использование деревьев в озеленении в значительной степени помогает снизить скорость ветра. В случае боры суда покидают бухты и отходят на достаточное расстояние от берега, на котором скорость ветра снижается до безопасного уровня.

В случае смерчей полностью предотвратить ущерб не представляется возможным. Заблаговременное предупреждение позволяет избежать человеческих жертв и сократить ущербы, но анализ статистики показывает недостаточную их эффективность в настоящее время. Например, с июня по октябрь 2017 г. было выдано 19 предупреждений о смерчах. Из них 2 были действительно заблаговременными, 8 предупреждений были даны спустя какое-то время после наблюдения смерчей, и 9 предупреждений оказались ложными. В настоящее время разрабатываются и тестируются более совершенные методы моделирования прогнозирования (Калмыкова, Шершаков, 2018). Их внедрение будет способствовать снижению последствий смерчевой опасности в наиболее подверженном риску регионе страны.

Заключение

Современные изменения климата Черноморского побережья Кавказа на участке Анапа-Геленджик наиболее ярко проявляются в повышении средней и максимальной температуры, а также волн жары. Для экстремальных значений осадков и других экстремальных явлений тренды менее значимы, включая прогнозы, хотя определенные наработки имеются. Прогнозируется дальнейшее повышение температуры при любых сценариях изменения климата МГЭИК (IPCC, 2021).

Из числа опасных гидрометеорологических явлений в статье рассмотрены волны жары, экстремальные осадки и ветер, региональные различия на сравнительно небольшой территории, по данным наблюдений, а также их тенденции и последствия.

Сочетание риска проявления волн жары, лесных пожаров, экстремальных ливней, наводнений, селей, оползней, ветров ураганной силы, включая комплексы опасных явлений, указывает на высокую степень экстремальности климата. Причем опасные гидрометеорологические явления, наносящие существенный ущерб, отмечаются практически ежегодно.

Выводы о степени экстремальности климата и необходимых мерах адаптации хорошо согласуются с предложенными Росгидрометом ранее для Краснодарского края (Паспорт гидрометеорологической безопасности..., 2017).

Регион является одним из наиболее перспективных для развития туризма в стране, представляет ценность в качестве уникального климатического курорта, что требует более активного внедрения мер по адаптации к изменениям климата и снижению риска бедствий.

В то же время магнитуа отдельных опасных гидрометеорологических явлений превышает лимит возможной адаптации с помощью доступных в настоящее время научных и технических средств (смерч 2002 г., ливень 2012 г. и др.). Подготовленность может предотвратить гибель людей, а также значительно быстрее ликвидировать последствия.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-05- 00716) и темы госзадания № АААА-А20-120070990079-6 ФГБУ «ИГКЭ».

Список литературы

Алешина, М.А., Торопов, П.А., Семенов, В.А. (2018) Изменения температурно-влажностного режима Черноморского побережья Кавказа в период 1982-2014 гг., *Метеорология и гидрология*, № 4, с. 41-53.

Алешина, М.А., Семенов, В.А., Чернокульский, А.В. (2019) Исследование роли глобальных и региональных факторов в изменении экстремальности летних осадков на Черноморском побережье Кавказа по результатам экспериментов с моделью климата, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 3, с. 59-75.

Алисов, Б.П. (1956) *Климат СССР*, М., Издательство МГУ, 547 с.

Базелюк, А.А. (2012) *Опасные гидрометеорологические явления на юге европейской территории России. Природные и социальные риски в береговой зоне Черного и Азовского морей*, М., Триумф, с. 33-41.

Баринов, А.Ю. (2010) Геоморфологический анализ ливневой селеопасности щели Широкая балка (Черноморское побережье Кавказа), *Геоморфология*, № 2, с. 19-26.

Булыгина, О.Н., Веселов, В.М., Разуваев, В.Н., Александрова, Т.М. Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России, *Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620549*, URL: <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters#описание-массива-данных>.

Васильев, А.А., Вильфанд, Р.М., Голубев, А.Д. (2016) Совместное использование численных мезомасштабных и концептуальных моделей при оперативном прогнозе опасных явлений погоды, *Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации*, М., ГНИЦ РФ, 359, с. 48-57.

Воейков, А.И., Пастернацкий, Ф.И., Сергеев, М.В. (1898) *Черноморское побережье*, Санкт-Петербург, тип. П.П. Сойкина, 250 с.

Воробьев, Ю.Л., Акимов, В.А., Соколов, Ю.И. (2003) *Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы*, М., ООО «ДЭКС-ПРЕСС», 352 с.

Гавриков, А.В., Иванов, А.Ю. (2015) Аномально сильная бора на Черном море: наблюдение из космоса и численное моделирование, *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана*, т. 51, № 5, с. 615-615.

Георгиевский, В.Ю., Ткаченко, Ю.Ю. (2012) *Катастрофический паводок в бассейне р. Адагум 6-7 июля 2012 г. и его причины*, ГГИ, 42 с.

Гиппиус, Ф.Н., Архипкин, В.С., Суркова, Г.В. (2013) Оценка современных характеристик и многолетней изменчивости экстремального волнения на Черном море, *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*, № 27, с. 92-96.

Дивинский, Б.В., Косьян, Р.Д. (2016) Климатические тенденции в волновом энергетическом потенциале Черного и Азовского морей по результатам численного моделирования, *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*, № 1, с. 14-21.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год (2021) Москва, 104 с.

Ефимов, В.В., Володин, Е.М., Анисимов, А.Е., Барабанов, В.С. (2015) Региональные проекции изменений климата в Черноморско-Каспийском регионе в конце XXI столетия, *Морской гидрофизический журнал*, 5, с. 185.

Ефимов, В.В., Комаровская, О.И., Баянкина, Т.М. (2019) Временные характеристики и синоптические условия образования экстремальной новороссийской боры, *Морской гидрофизический журнал*, т. 35, № 5, с. 209.

Казначеева, В.Д., Шувалов, С.В. (2012) Климатические характеристики средиземноморских циклонов, *Метеорология и гидрология*, № 5, с. 41-52.

Калмыкова, О.В., Шершаков, В.М. (2018) Технология оценки и прогноза смерчопасности на российской акватории Черного моря и результаты ее тестирования в сезон смерчей 2017 года, *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, № 1, с. 146-167.

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.

Конопляникова, Г.В. (2017) Повторяемость Новороссийской боры в условиях меняющегося климата, *Геополиск-2017: Материалы II Всероссийского конгресса молодых ученых-географов, Тверь, 23-27 октября 2017 года*, Тверь, Тверской государственный университет, с. 394-399.

Костяная, Е.А., Серых, И.В., Костяной, А.Г., Лебедев, С.А., Ахсалба, А.К. (2018) Климатические изменения модуля скорости ветра в регионе восточ-

ного побережья Чёрного моря, *Вестник ТвГУ. Серия "География и Геоэкология"*, № 3, с. 79.

Крыленко, В.В., Липка, О.Н., Алейникова, А.М. (2012) Анализ устойчивости естественных и техногенных ландшафтов Черноморского побережья России к воздействию ливней экстремальной интенсивности (на примере ливня 6-7 июля 2012 г.), *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*, № 4.

Матвеева, Т.А., Гущина, Д.Ю., Золина, О.Г. (2015) Крупномасштабные индикаторы экстремальных осадков в прибрежных природно-экономических зонах европейской территории России, *Метеорология и гидрология*, № 11, с. 20-32.

Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем (2012) М., Росгидромет, 512 с.

МЧС (2020) *Вспоминаем лесной пожар в Геленджике. 9 августа 2020*, URL: <https://23.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/novosti/4226389>.

МЧС (2021) URL: <https://23.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/operativnaya-informaciya/4539200>.

Нестеров, Е.С. (2018) Экстремальные циклоны над морями европейской части России, *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, № 1, с. 97-115.

Паспорт гидрометеорологической безопасности Краснодарского края (2017) Обнинск, Росгидромет, ВНИИГМИ-МЦД, 117 с.

Расписание погоды (Rp5). Архив данных срочных наблюдений за 2006-2021 гг. URL: <https://rp5.ru> – «Расписание Погоды».

Ревич, Б.А., Малеев, В.В., Смирнова, М.Д. (2019) *Изменение климата и здоровье: оценки, индикаторы, прогнозы*, М., ИНП РАН, 196 с.

Семенов, Е.К., Соколихина, Н.Н., Соколихина Е.В. (2013) Синоптические условия формирования и развития новороссийской боры, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 16-28.

Ткаченко, Ю.Ю. (2012) Опасные гидрометеорологические явления на Черноморском побережье, связанные с выпадением сильных осадков, *Природные и социальные риски в береговой зоне Черного и Азовского морей*, М., Триумф, с. 42-45.

Шигин, В.В. (2006) Жертвы новороссийской боры, *Военно-исторический журнал*, № 10, с. 65-67.

Flocas, H.A., Simmonds, I., Kouroutzoglou, J., Keay, K., Hatzaki, M., Bricolas, V., Asimakopoulou, D. (2010). On cyclonic tracks over the Eastern Mediterranean, *J. Climate*, vol. 23, pp. 5243-5257.

IPCC (2021) IPCC Working Group I (WGI): *Sixth Assessment Report. Interactive Atlas*, available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.

Kostianaia, E., Kostianoy, A. (2021) Regional climate change impact on coastal tourism: A case study of the Black Sea coast of Russia, *Hydrology, Special Issue "Socio-Hydrology: The New Paradigm in Resilient Water Management"*, vol. 8, p. 133.

Kostianoy, A.G., Serykh, I.V., Ekba, Ya.A., Kravchenko, P.N. (2017) Climate variability of extreme air temperature events in the Eastern Black Sea, *Ecologica Montenegrina*, vol. 14, pp. 21-29.

Lebedev, S.A., Kostianoy, A.G., Bedanokov, M.K., Akhsalba, A.K., Berzegova, R.B., Kravchenko, P.N. (2017) Climate changes of the temperature of the surface and level of the Black Sea by the data of remote sensing at the coast of the Krasnodar Krai and Republic of Abkhazia, *Ecologica Montenegrina*, vol. 14, pp. 14-20.

Lokoshchenko, M.A., Korneva, I.A., Kochin, A.V., Dubovetsky, A.Z., Novitsky, M.A., Razin, P.Y. (2017) Current changes of the lower troposphere temperature in the Moscow region. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, vol. 53(4), pp. 392-401.

Meredith, E.P., Semenov, V.A., Maraun, D., Park, W., Chernokulsky, A.V. (2015) Crucial role of Black Sea warming in amplifying the 2012 Krymsk precipitation extreme, *Nature Geoscience*, vol. 8(8), pp. 615-619.

References

Aleshina, M.A., Toropov, P.A., Semenov, V.A. (2018) Izmeneniya temperaturno-vlazhnostnogo rezhima Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza v period 1982-2014 gg [Changes in the temperature and humidity regime of the Black Sea coast of the Caucasus in the period 1982-2014], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 4, pp. 41-53.

Aleshina, M.A., Semenov, V.A., Chernokul'skij, A.V. (2019) Issledovanie roli global'nyh i regional'nyh faktorov v izmenenii ekstremal'nosti letnih osadkov na Chernomorskom poberezh'e Kavkaza po rezul'tatam eksperimentov s model'yu klimata [Investigation of the role of global and regional factors in changing the extremeness of summer precipitation on the Black Sea coast of the Caucasus based on the results of experiments with a climate model], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 3, pp. 59-75.

Alisov, B.P. (1956) *Klimat SSSR* [Climate of the USSR], Izdatel'stvo MGU, Moscow, Russia, 547 p.

Bazelyuk, A.A. (2012) *Opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya na yuge evropejskoj territorii Rossii. Prirodnye i social'nye riski v beregovoj zone Chernogo i Azovskogo morej* [Dangerous hydrometeorological phenomena in the south of the European territory of Russia. Natural and social risks in the coastal zone of the Black and Azov seas], Triumf, Moscow, Russia, pp. 33-41.

Barinov, A.Yu. (2010) Geomorfologicheskij analiz livnevoj seleopasnosti shcheli Shirokaya balka (Chernomorskoe poberezh'e Kavkaza) [Geomorphological analysis of the mudflow hazard of the Shirokaya Balka crevice (Black Sea coast of the Caucasus)], *Geomorfologiya*, no. 2, pp. 19-26.

Bulygina, O.N., Veselov, V.M., Razuvaev, V.N., Aleksandrova, T.M. Opisanie massiva srochnyh dannyh ob osnovnyh meteorologicheskikh parametroh na stanciyah Rossii [Description of the array of urgent data on the main meteorological parameters at Russian stations], *Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii bazy dannyh № 2014620549*, available at: <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters#opisanie-massiva-dannyh>.

Vasil'ev, A.A., Vil'fand, R.M., Golubev, A.D. (2016) Sovmestnoe ispol'zovanie chislennyh mezomasshtabnyh i konceptual'nyh modelej pri operativnom prognoze opasnyh yavlenij pogody [Joint use of numerical mesoscale and conceptual models for operational forecasting of dangerous weather phenomena], *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo centra Rossijskoj Federacii*, no. 359, GNIC RF, Moscow, Russia, pp. 48-57.

Voejkov, A.I., Pasternackij, F.I., Sergeev, M.V. (1898) *Chernomorskoe poberezh'e* [Black Sea coast], tip. P.P. Sojkina, Sankt-Peterburg, Russia, 250 p.

Vorob'ev, Yu.L., Akimov, V.A., Sokolov, Yu.I. (2003) *Katastroficheskie navodneniya nachala XXI veka: uroki i vyvody* [Catastrophic floods of the early XXI century: lessons and conclusions], ООО «DEKS-PRESS», Moscow, Russia, 352 p.

Gavrikov, A.V., Ivanov, A.Yu. (2015) Anomal'no sil'naya bora na Chernom more: nablyudenie iz kosmosa i chislennoe modelirovanie [Abnormally strong bora in the Black Sea: observation from space and numerical modeling], *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Fizika atmosfery i okeana*, vol. 51, no. 5, pp. 615-615.

Georgievskij, V.Yu., Tkachenko, Yu.Yu. (2012) *Katastroficheskij pavodok v bassejne r. Adagum 6-7 iyulya 2012 g. i ego prichiny* [Catastrophic flood in the river basin Adagum on July 6-7, 2012 and its reasons], 42.

Gippius, F.N., Arhipkin, V.S., Surkova, G.V. (2013) Ocenka sovremennyh harakteristik i mnogoletnej izmenchivosti ekstremal'nogo volneniya na Chernom more [Assessment of modern characteristics and long-term variability of extreme waves in the Black Sea], *Ekologichna bezpeka priberezhnoj ta shel'fovoj zon ta kompleksne vikoristannya resursiv shel'fu*, no. 27, pp. 92-96.

Divinskij, B.V., Kos'yan, R.D. (2016) Klimaticheskie tendencii v volnovom energeticheskom potenciale Chernogo i Azovskogo morej po rezul'tatam chislennogo modelirovaniya [Climatic trends in the wave energy potential of the Black and Azov seas based on the results of numerical modeling], *Ekologicheskaya bezopasnost' priberezhnoj i shel'fovoj zon morya*, no. 1, pp. 14-21.

Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2020 god [Report on the peculiarities of the climate in the territory of the Russian Federation for 2020] (2021) Moscow, Russia, 104 p.

Efimov, V.V., Volodin, E.M., Anisimov, A.E., Barabanov, V.S. (2015) Regional'nye proekcii izmenenij klimata v Chernomorsko-Kaspijskom regione v konce XXI stoletiya [Regional projections of climate change in the Black Sea-Caspian region at the end of the XXI century], *Morskoj gidrofizicheskij zhurnal*, 5, 185.

Efimov, V.V., Komarovskaya, O.I., Bayankina, T.M. (2019) Vremennyye karakteristiki i sinopticheskie usloviya obrazovaniya ekstremal'noj novorossiyskoj bory [Temporal characteristics and synoptic conditions for the formation of the extreme Novorossiysk bora], *Morskoj gidrofizicheskij zhurnal*, 35, 5, 209.

Kaznacheeva, V.D., Shuvalov, S.V. (2012) Klimaticheskie karakteristiki sredizemnomorskih ciklonov [Climatic characteristics of Mediterranean cyclones], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 5, pp. 41-52.

Kalmykova, O.V., Shershakov, V.M. (2018) Tekhnologiya ocenki i prognoza smercheopasnosti na rossijskoj akvatorii Chernogo morya i rezultaty ee testirovaniya v sezon smerchej 2017 goda [Technology for assessing and forecasting tornado hazard in the Russian Black Sea water area and the results of its testing in the 2017 tornado season], *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy*, vol. 1, pp. 146-167.

Kislov, A.V., Surkova, G.V., Arhipkin, V.S. (2016) Povtoryaemost' shtormovykh situacij v Baltijskom, Chernom i Kaspijskom moryah v izmenyayushchihsya klimaticheskikh usloviyah [Recurrence of storm situations in the Baltic, Black and Caspian seas in changing climatic conditions], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 2, pp. 67-77.

Konoplyanikova, G.V. (2017) Povtoryaemost' Novorossiyskoj bory v usloviyah menyayushchegosya klimata [Frequency of occurrence of Novorossiysk bora in a changing climate], *Geopoisk-2017: Materialy II Vserossiyskogo kongressa molodykh uchennyh-geografov, Tver', 23-27 oktyabrya 2017 goda*, Tverskoj gosudarstvennyj universitet, Tver', Russia, pp. 394-399.

Kostyanaya, E.A., Seryh, I.V., Kostyanov, A.G., Lebedev, S.A., Ahsalba, A.K. (2018) Klimaticheskie izmeneniya modulya skorosti vetra v regione vostochnogo poberezh'ya Chyornogo moray [Climatic changes in the wind speed module in the region of the eastern coast of the Black Sea], *Vestnik TvGU. Seriya "Geografiya i Geoekologiya"*, no. 3, p. 79.

Krylenko, V.V., Lipka, O.N., Alejnikova, A.M. (2012) Analiz ustojchivosti estestvennykh i tekhnogennykh landshaftov Chernomorskogo poberezh'ya Rossii k vozdeystviyu livnej ekstremal'noj intensivnosti (na primere livnya 6-7 iyulya 2012 g.) [Analysis of the stability of natural and man-made landscapes of the Black Sea coast of Russia to the impact of extreme rainfalls (on the example of a downpour on July 6-7, 2012)], *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, no. 4.

Matveeva, T.A., Gushchina, D.Yu., Zolina, O.G. (2015) Krupnomasshtabnye indikatory ekstremal'nykh osadkov v pribrezhnykh prirodno-ekonomicheskikh zonah

evropejskoj territorii Rossii [Large-scale indicators of extreme precipitation in coastal natural and economic zones of the European territory of Russia], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 11, pp. 20-32.

Metody ocenki posledstvij izmeneniya klimata dlya fizicheskikh i biologicheskikh system [Methods for assessing the effects of climate change on physical and biological systems] (2012) Rosgidromet, Moscow, Russia, 512 p.

MChS (2020) *Vspominaem lesnoj pozhar v Gelendzhike. 9 avgusta 2020* [Ministry of Emergency Situations, 2020. Remembering the forest fire in Gelendzhik. August 9, 2020], available at: <https://23.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/novosti/4226389>.

MChS [Ministry of Emergency Situations, 2021] (2021) available at: <https://23.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/operativnaya-informaciya/4539200>.

Nesterov, E.S. (2018) Ekstremal'nye ciklony nad moryami evropejskoj chasti Rossii [Extreme cyclones over the seas of the European part of Russia], *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy*, no. 1, pp. 97-115.

Pasport gidrometeorologicheskoy bezopasnosti Krasnodarskogo kraja [Passport of hydrometeorological safety of the Krasnodar Territory] (2017) Rosgidromet, VNIIGMI-MCD, Obninsk, Russia, 117 p.

Raspisanie pogody (Rp5). Arhiv dannyh srochnyh nablyudenij za 2006-2021 gg [Weather schedule (Rp5). Archive of urgent observation data for 2006-2021], available at: <https://rp5.ru> – «Raspisanie Pogody».

Revich, B.A., Maleev, V.V., Smirnova, M.D. (2019) *Izmenenie klimata i zdorov'e: ocenki, indikatory, prognozy* [Climate change and health: estimates, indicators, forecasts], INP RAN, Moscow, Russia, 196 p.

Semenov, E.K., Sokolihina, N.N., Sokolihina, E.V. (2013) Sinopticheskie usloviya formirovaniya i razvitiya novorossijskoj bory [Synoptic conditions for the formation and development of the Novorossiysk bora], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 10, pp. 16-28.

Tkachenko, Yu.Yu. (2012) Opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya na Chernomorskom poberezh'e, svyazannye s vypadeniem sil'nyh osadkov [Dangerous hydrometeorological phenomena on the Black Sea coast associated with heavy precipitation], *Prirodnye i social'nye riski v beregovoj zone Chernogo i Azovskogo morej*, Triumph, Moscow, Russia, pp. 42-45.

Shigin, V.V. (2006) Zhertvy novorossijskoj bory [Victims of the Novorossiysk bora], *Voенно-istoricheskij zhurnal*, no. 10, pp. 65-67.

Flocas, H.A., Simmonds, I., Kouroutzoglou, J., Keay, K., Hatzaki, M., Bricolas, V., Asimakopoulos, D. (2010). On cyclonic tracks over the Eastern Mediterranean, *J. Climate*, vol. 23, pp. 5243-5257.

IPCC (2021) IPCC Working Group I (WGI): *Sixth Assessment Report. Interactive Atlas*, available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.

Kostianaia, E., Kostianoy, A. (2021) Regional climate change impact on coastal tourism: A case study of the Black Sea coast of Russia, *Hydrology, Special Issue "Socio-Hydrology: The New Paradigm in Resilient Water Management"*, vol. 8, p. 133.

Kostianoy, A.G., Serykh, I.V., Ekba, Ya.A., Kravchenko, P.N. (2017) Climate variability of extreme air temperature events in the Eastern Black Sea, *Ecologica Montenegrina*, vol. 14, pp. 21-29.

Lebedev, S.A., Kostianoy, A.G., Bedanokov, M.K., Akhsalba, A.K., Berzegova, R.B., Kravchenko, P.N. (2017) Climate changes of the temperature of the surface and level of the Black Sea by the data of remote sensing at the coast of the Krasnodar Krai and Republic of Abkhazia, *Ecologica Montenegrina*, vol. 14, pp. 14-20.

Lokoshchenko, M.A., Korneva, I.A., Kochin, A.V., Dubovetsky, A.Z., Novitsky, M.A., Razin, P.Y. (2017) Current changes of the lower troposphere temperature in the Moscow region. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, vol. 53(4), pp. 392-401.

Meredith, E.P., Semenov, V.A., Maraun, D., Park, W., Chernokulsky, A.V. (2015) Crucial role of Black Sea warming in amplifying the 2012 Krymsk precipitation extreme, *Nature Geoscience*, vol. 8(8), pp. 615-619.

Статья поступила в редакцию (Received): 10.09.2021.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 20.09.2021.

Принята к публикации (Accepted): 06.11.2021.

Для цитирования / For citation:

Богданович, А.Ю., Липка, О.Н., Крыленко, М.В., Андреева, А.П., Добролюбова, К.О. (2021) Климатические угрозы на Северо-Западе Черноморского побережья Кавказа: современные тренды, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 7, № 4, с. 44-70, doi:10.21513/2410-8758-2021-4-44-70.

Bogdanovich, A.Yu., Lipka, O.N., Krylenko, M.V., Andreeva, A.P., Dobrolyubova, K.O. (2021) Climate threats in the North-West Caucasus Black Sea coast: modern trends, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 7, no. 4, pp. 44-70, doi:10.21513/2410-8758-2021-4-44-70.