

ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЭРОЗИОННЫХ СОБЫТИЙ В ГОРНОМ КРЫМУ

Л.В. Куksина¹, В.Н. Голосов², Е.Ю. Жданова³, А.С. Цыпленков⁴

^{1,2,4} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева*

² *Институт географии РАН, лаборатория геоморфологии*

³ *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, метеорологическая лаборатория*

¹ *Мл. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: ludmilakuksina@gmail.com*

² *Вед. науч. с., док. геогр. н.; e-mail: gollossov@gmail.com*

³ *Науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: ekaterinazhdanova214@gmail.com*

⁴ *Мл. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: atsyplenkov@gmail.com*

Собраны и проанализированы сведения об основных климатических (температура воздуха, осадки) и гидрологических (сток воды, взвешенных наносов) факторах формирования и развития экстремальных эрозионных событий (ЭЭС) на территории горного Крыма. Установлено, что на территории Крыма наблюдается значимый рост температуры воздуха; изменение количества осадков и параметров их экстремальности имеет незначимый тренд. По данным станции Ай-Петри, отмечается тенденция к сокращению количества последовательных дней с осадками в течение года, а также к увеличению продолжительности периода без осадков в теплый период года, что способствует некоторому увеличению объемов накопления рыхлообломочного материала, потенциально готового к транспортировке при формировании поверхностного стока на склонах и паводков при интенсивных осадках. По данным станции Феодосия, в юго-восточной части полуострова наблюдается рост интенсивности экстремальных осадков. Для большинства рассматриваемых станций значения 0,95 квантиля суточных сумм осадков больше в холодный период года, а значения 0,99 квантиля суточных сумм осадков больше в теплый период года, что свидетельствует о том, что экстремальные осадки на территории Крымского полуострова выпадали преимущественно в виде дождей. Анализ пространственного распределения эрозионного потенциала осадков (ЭПО) по территории Крымского полуострова показывает, что он не достигает своих максимальных значений (более 600) на территории горного Крыма, где его величина колеблется в пределах 400–500, достигая наибольших значений в яйлах, однако развитие карста нивелирует эти достаточно большие величины за счет снижения коэффициентов поверхностного стока. Выявлена тенденция к увеличению среднесуточных и максимальных расходов воды, что может привести к росту стока взвешенных наносов на реках юго-западных районов. Сопоставление внутригодового распределения стока на реках в периоды с конца 1970-х – начала 1980-х гг. и после показало, что произошло незначительное перераспределение стока в сторону его увеличения в летний период. Установлено, что изменения температуры воздуха и осадков на территории Крыма аналогичны колебаниям характеристик на территории других стран Черноморского побережья.

Ключевые слова: ливневые осадки, сток взвешенных наносов, изменения климата, расход воды, индекс экстремальности осадков

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдающиеся в последние десятилетия глобальные изменения климата, проявляющиеся в росте температуры воздуха, изменении количества и интенсивности осадков, характерны также и для регионального климата на территории Крыма [Нестеренко, 2016]. Климатические изменения способствуют увеличению количества и мощности экстремальных эрозионных событий (ЭЭС), в том числе внезапных ливневых паводков (ВЛП), селей и оползней [Ергина, Жук, 2018; Иванов и др., 2011; Клюкин, 2005]. Подобные явления широко распространены на территории горного и предгорного Крыма [Багрова и др., 2013; Клюкин, 2005], одновременно характеризующегося существенным

хозяйственным освоением [Прокопов, 1999]. Значительные уклоны территории, легко эродируемые почвогрунты и деградация растительного покрова способствуют развитию ЭЭС наряду с климатическими факторами [Багрова и др., 2013].

Оценка изменчивости осадков на территории Крымского полуострова за период с 1951 по 2009 г. показала, что наблюдается увеличение количества дней с наиболее интенсивными осадками, а также увеличение количества осадков (мм/день) в горном Крыму в зимнее время. В летний период рост количества дней с экстремальными осадками отмечается только в юго-восточной части Крыма [Voskresenskaya, Vyshkvarkova, 2016]. При этом именно сильные ливневые осадки – самое опасное природное явление

на территории горного Крыма [Ергина, Жук, 2017, 2018] – приводят к формированию экстремальных паводков в регионе [Иванов и др., 2011].

Согласно классификации рек по водному режиму Б.Д. Зайкова, реки Крыма имеют паводочный режим и характеризуются зимними паводками и длительным летним или летне-осенним периодом крайне низкого стока [Михайлов, Добролюбов, 2017]. С 1986 г. наблюдается рост максимальных расходов воды на некоторых реках горного Крыма.

Темпы многих из денудационных процессов, проявляющихся на территории горного Крыма, достигли экстремальных значений в конце XX в., когда наблюдалось превышение столетних максимумов температуры воздуха и осадков, выпадали осадки высокой интенсивности [Клюкин, 2005]. Климатические изменения, происходящие в регионе, наряду с антропогенным воздействием способствуют также росту стока наносов, в частности, за счет интенсификации процессов поверхностного смыва. В горном Крыму максимальных значений на всем полуострове достигают среднегодовые потери почвы – более 46 т/га, а доля эродированных почв на территории ЮБК варьирует в пределах 50–100% [Региональная программа..., 1995; Сташкина, 2012]. Тем не менее исследования климатических изменений в их взаимосвязи с гидрологическими характеристиками ЭЭС для территории горного и предгорного Крыма до настоящего времени не выполнялись.

Целью данного исследования является анализ временной изменчивости гидролого-климатических факторов формирования ЭЭС, основанный на обзоре и систематизации опубликованных данных и анализе результатов режимных гидрометеорологических наблюдений.

Физико-географические факторы ЭЭС на территории горного Крыма. Рельеф. Крымские горы занимают меньшую часть полуострова и состоят из трех асимметричных гряд – Главной горной гряды и двух предгорных гряд – Внешней и Внутренней (рис. 1А).

Для южного склона Главной гряды характерно развитие эрозионно-оползневого и эрозионного типов рельефа с интенсивным накоплением обломочного материала, потенциально готового к транспортировке водными потоками, для северного склона Главной гряды – развитие эрозионно-денудационного рельефа [Ресурсы..., 1966].

Наиболее возвышенная часть Главной гряды состоит из яйл – ряда столовых массивов, характеризующихся широким развитием карстовых процессов и соответствующих им форм рельефа [Вахрушев, 2009].

Ключевую роль в формировании и развитии ЭЭС играют такие факторы, как длина и крутизна скло-

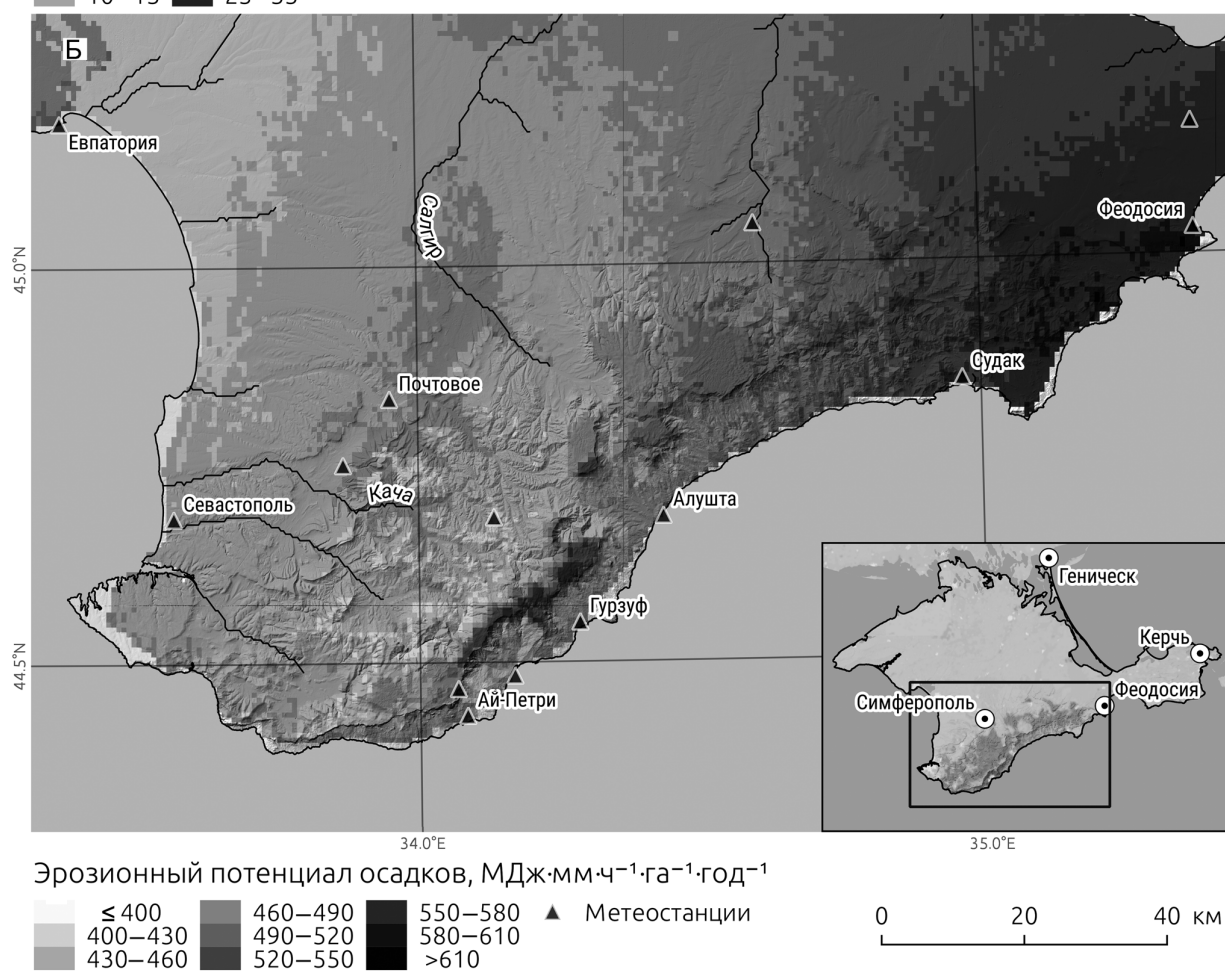
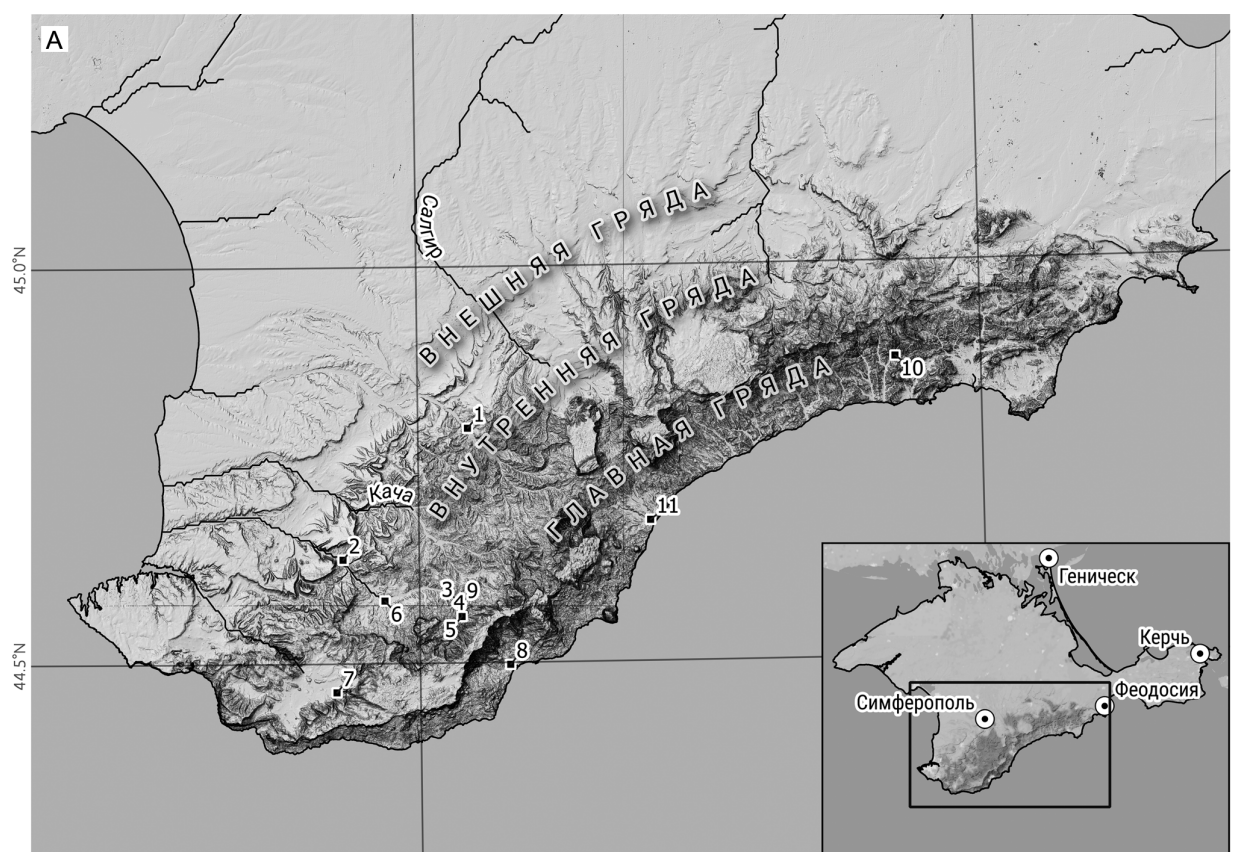
нов, способствующие быстрой концентрации стока в руслах. На территории Крымского полуострова уклоны достигают своих максимальных значений в горных и предгорных областях (см. рис. 1А) и могут превышать значения 35° .

Осадки. Горный Крым является самой увлажненной областью на территории полуострова, где годовое количество осадков варьирует от величин порядка 400 мм (Севастополь, Евпатория), 600 мм (Ялта) до более 1000 мм (Ай-Петри). Горные и предгорные районы Крыма характеризуются большой вариативностью максимального суточного количества осадков, вызывающих значительные паводки. Максимальное количество осадков характеризует наиболее возвышенные участки Крымских гор, приуроченные к яйлам, и может превышать 200 мм в сутки. В предгорных областях оно снижается до 100–120 мм в сутки (рис. 2А). В годовом ходе максимум осадков для станций, расположенных на побережье, приходится на холодный период года, для станций, расположенных в центре полуострова (например, Симферополь), – на лето (см. рис. 2Б).

Относительно воздействия на темпы смыва важнейшей характеристикой является эрозионный потенциал осадков (ЭПО, МДж·мм/(ч·га·год)), зависящий от интенсивности осадков и силы ударного воздействия капель [Wischmeier, Smith, 1978]. Анализ пространственного распределения ЭПО по территории Крымского полуострова показывает, что он не достигает своих максимальных значений (более 600) на территории горного Крыма, где его величина колеблется в пределах 400–500, достигая наибольших значений в яйлах (см. рис. 1Б). Однако развитие карста нивелирует эти достаточно большие величины за счет снижения коэффициентов поверхностного стока.

Особенности гидрологического режима рек горного Крыма. Для территории горного Крыма характерна хорошо развитая речная сеть, однако изменение густоты речной сети в пределах района происходит в очень широких пределах: от 0 на плоских вершинах Крымских гор вследствие развития карста до $1,0 \text{ км/км}^2$ в верхних частях бассейнов рек Альмы, Качи, Бельбека, Черной, Салгира и в бассейнах малых рек Южного берега Крыма (ЮБК) [Ресурсы..., 1966].

Небольшие длины рек и малые площади их бассейнов в горном Крыму способствуют крайне быстрой концентрации стока в руслах. Уклоны русел рек весьма значительны, в результате чего потоки обладают большой размывающей способностью и в период прохождения паводков могут транспортировать наносы большой крупности. Максимальные величины уклонов характеризуют реки западной части южного склона Главной гряды. Руслу рек



неустойчивы, что является причиной существенно-го размыва в период прохождения паводков и последующего намыва [Павлов, 1994].

Основными природными факторами, оказывающими наиболее существенное влияние на формирование водного режима водотоков исследуемой территории, является наличие трещиноватых известняков [Вахрушев, 2009], регулирующих поверхностный и подземный стоки [Олиферов, Тимченко, 2005]. Подземный сток превышает поверхностный приблизительно в 1,5 раза [Ресурсы..., 1966]. Другой особенностью, влияющей на режим рек Крымского полуострова, является наличие легкоразмываемых пород, слагающих русла водотоков, что приводит к резкой деформации русел, особенно рек ЮБК [Павлов, 1994].

Хозяйственная деятельность. Наибольшие масштабы воздействия с точки зрения ЭЭС имеют сведение лесов, уничтожение растительного покрова (включая пожары), выпас скота, неправильная распашка склонов, гидротехническое строительство, водозабор и урбанизация. Прямое воздействие на гидрологический режим водотоков оказывают гидротехническое строительство и водозабор на различные нужды. Нередко возникают случаи, когда происходит экстренный сброс воды из водохранилищ во избежание их перелива в результате сильных ливней и резкого повышения уровня воды. Это приводит к образованию катастрофических паводков ниже по течению. Подобная ситуация наблюдалась на р. Демерджи в 1997 г. [Клюкин, 2005], а также 19 августа 2017 г., когда затоплению подверглись многие районы г. Алушты. Количество выпавших осадков в Алуште 18–19 августа 2017 г. составило две месячные нормы (80 мм). В верховьях рек Таракташ и Отуз в результате выпадения сильных ливней сформировались значительные паводки, искусственно усиленные прорывом прудов. Уровни воды в бассейнах этих рек повышались на 172–220 см.

Сведение лесов и уничтожение растительного покрова (в том числе из-за выпаса скота) ведет к снижению влагоудерживающей способности почвы, в результате чего происходит многократное возрастание склонового стока и, как следствие, эрозия почвы [Прокопов, 1999]. Ее росту способствует также орошение земель [Алексеевский, 1998].

На территории горного Крыма доля средне- и сильносмытых почв достигает максимальных значений от общей площади сельскохозяйственных земель [Сташкина, 2012].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки воздействия климатических факторов и их изменения на гидрологические характеристики формирования и развития ЭЭС в горном и предгорном Крыму были собраны и обработаны данные режимных наблюдений на гидрометеорологических постах и станциях.

Анализ температуры воздуха и количества осадков выполнялся на основе данных, имеющихся в открытом доступе [Погода и климат..., 2020; Расписание погоды..., 2020; ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД..., 2020; KNMI Climate Explorer..., 2020; National..., 2020] за 1961–2019 гг. для станций Ай-Петри, Симферополь, Керчь, Феодосия и за 1961–1990 гг. для станций Алушта, Ангарский перевал, Почтовое, Севастополь, Ялта и Евпатория (см. рис. 2А). Анализ временных трендов метеорологических параметров осуществлен с помощью теста Манна–Кенделла. В дополнение использовалась база данных экстремальных индексов температуры воздуха и осадков HadEX3 [Dunn et al., 2020] и рассчитаны индексы осадков, представленные в работе [Li, Hu, 2019]. Анализ индексов экстремальности осадков выполнен для станций Ай-Петри, Симферополь и Феодосия, характеризующихся доступными наиболее продолжительными рядами измерений. Для вычис-

Рис. 1. Пространственное распределение уклонов (А) и эрозионного потенциала осадков (по [Panagos et al., 2017]) (Б) на территории Крымского полуострова.

Гидрологические посты (в скобках указана дата открытия поста, площадь водосбора): 1 – р. Альяма – выше вдхр. Партизанское (01.11.1966, 184 км²); 2 – р. Бельбек – пгт Куйбышево (06.07.1924, 270 км²); 3 – р. Биюк-Узенбаш – с. Счастливое (26.07.1965, 6,55 км²); 4 – р. Кучук-Узенбаш – с. Многогребье (17.09.1964, 10 км²); 5 – протока р. Кучук-Узенбаш – с. Многогребье (17.09.1964); 6 – р. Коккозка – с. Аромат (01.01.1946, 83,6 км²); 7 – р. Черная – с. Родниковое (июль 1916 г., 47 км²); 8 – р. Учан-Су – г. Ялта (26.10.1944, 16,8 км²); 9 – р. Улу-Узень – с. Солнечногорское (19.10.1914, 32,5 км²); 10 – р. Ай-Серез – с. Междуречье (08.08.1957, 12,8 км²); 11 – р. Демерджи – г. Алушта (июль 1914, 53 км²)

Fig. 1. Spatial distribution of slopes (A) and rainfall erosivity (after [Panagos et al., 2017]) (B) within the Crimean Peninsula.

Hydrological gauges (dates of gauge opening and basin areas are in brackets): 1 – the Al'ma River – upstream the Partizanskoe reservoir (01.11.1966, 184 km²); 2 – the Bel'bek River – Kuibyshevo (06.07.1924, 270 km²); 3 – the Biuk-Uzenbash River – Schastlivoe (26.07.1965, 6,55 km²); 4 – the Kuchuk-Uzenbash River – Mnogorech'e (17.09.1964, 10 km²); 5 – tributary of the Kuchuk-Uzenbash River – Mnogorech'e (17.09.1964); 6 – the Kokkozka River – Aromat (01.01.1946, 83,6 km²); 7 – the Chernaya River – Rodnikovoe (July, 1916, 47 km²); 8 – the Uchan-Su River – Yalta (26.10.1944, 16,8 km²); 9 – the Ulu-Uzen' River – Solnechnogorskoe (19.10.1914, 32,5 km²); 10 – the Ai-Serez River – Mezhdurech'e (08.08.1957, 12,8 km²); 11 – the Demerdzhi River – Alushta (July, 1914, 53 km²)

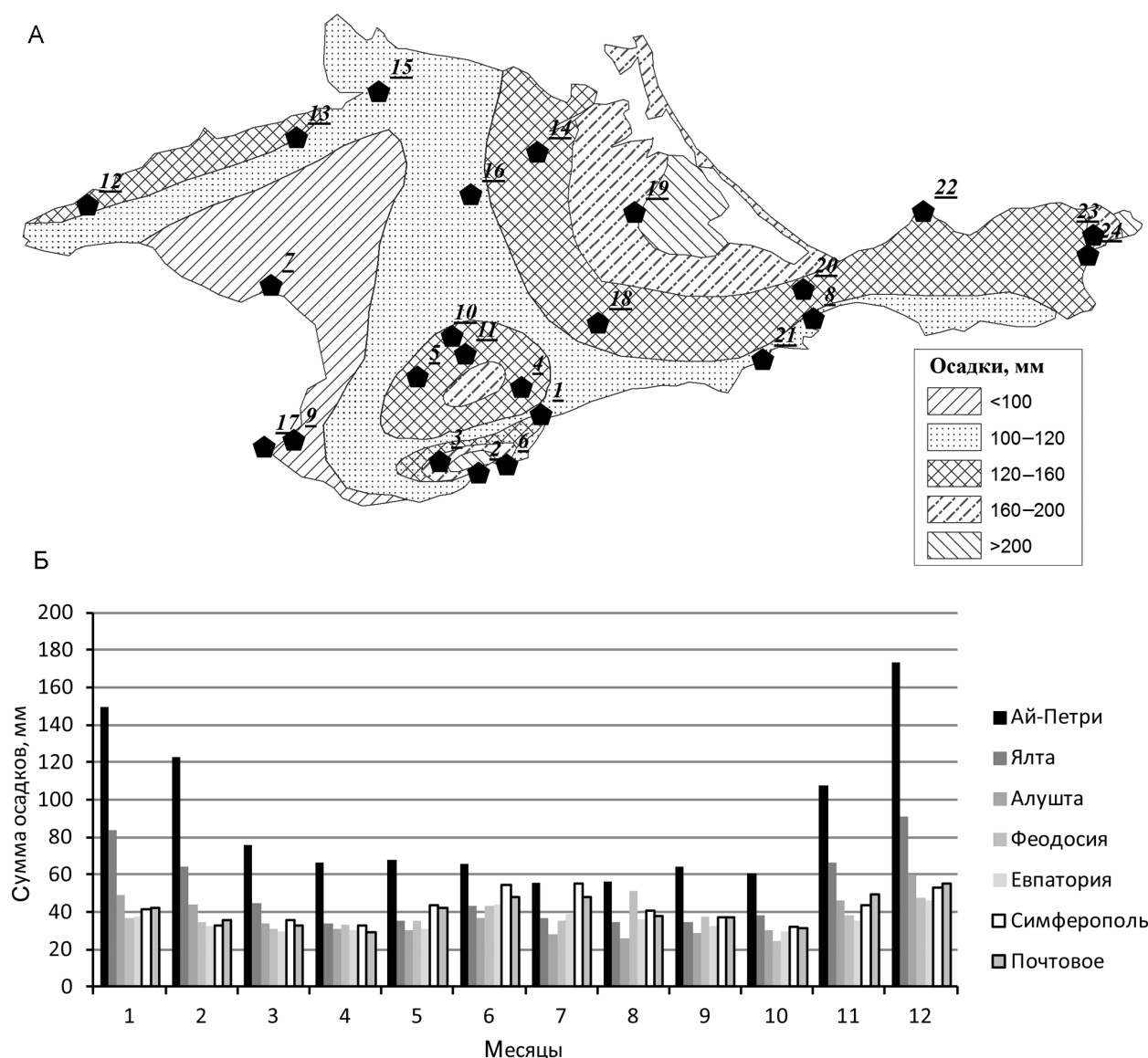


Рис. 2. Изменчивость осадков на территории Крымского полуострова:

А – максимальное суточное количество осадков, вызывающее значительные паводки (по [Атлас..., 2020]). Метеостанции (для использованных в работе станций в скобках приводится высота станции над уровнем моря и количество полных лет наблюдений за 1961–2019 гг., доступных в открытых источниках): 1 – МГ Алушта (3 м, 29); 2 – МГ Ялта (41 м, 33); 3 – М Ай-Петри (1180 м, 58); 4 – М Ангарский перевал (982 м, 24); 5 – М Почтовое (172 м, 31); 6 – А Никитский сад; 7 – МГ Евпатория (2 м, 30); 8 – МГ Феодосия (22 м, 59); 9 – МГ Севастополь (23 м, 29); 10 – АМЦ Симферополь; 11 – М Симферополь (181 м, 59); 12 – МГ Черноморское; 13 – М Раздольное; 14 – М Джанкой; 15 – М Ишунь; 16 – А Клепинино; 17 – МГ Херсонесский маяк; 18 – Крымская селестоковая станция; 19 – М Нижегородский; 20 – М Владиславовка; 21 – КНИГО Карадаг; 22 – МГ Мысовое; 23 – ГМБ Керчь (49 м, 59); 24 – МГ Опасное (М – метеорологическая станция, МГ – морская гидрометеорологическая станция, А – агрометеорологическая станция, АМЦ – авиационный метеорологический центр, КНИГО – Карадагская научно-исследовательская геофизическая обсерватория, ГМБ – гидрометеорологическое бюро); Б – годовой ход осадков на метеостанциях в период с 1961 по 1990 г.

Fig. 2. Variability of precipitation in Crimea peninsula.

А – Maximum daily precipitation causing significant floods (by [Atlas..., 2020]). Meteorological stations (there are station altitude and amount of full observation years during 1961–2019 for used stations with data in open sources in brackets): 1 – МН Alushta (3 m, 29); 2 – МН Yalta (41 m, 33); 3 – М Ai-Petri (1180 m, 58); 4 – М Angarsky pereval (982 m, 24); 5 – М Pochtovoe (172 m, 31); 6 – А Nikitsky sad; 7 – МН Yavpatoria (2 m, 30); 8 – МН Feodosia (22 m, 59); 9 – МН Sevastopol' (23 m, 29); 10 – АМC Simferopol'; 11 – М Simferopol' (181 m, 59); 12 – МН Chernomorskoe; 13 – М Razdol'noe; 14 – М Dzhankoy; 15 – М Ishun'; 16 – А Klepinino; 17 – МН Khersonessky Mayak; 18 – Krymskaya selestokovaya stantsia; 19 – М Nizhnegorsky; 20 – М Vladislavovka; 21 – KRGO Karadag; 22 – МН Mysovoe; 23 – НМО Kerch' (49 m, 59); 24 – МН Opasnoe (М – meteorological station, МН – marine hydrometeorological station, А – agricultural meteorological station, АМC – aviation meteorological center, KRGO – Karadag research geophysical observatory, НМО – hydrometeorological office); Б – Annual precipitation on meteorological stations in 1961–1990

ления пороговых значений использовались квантили (0,95, 0,97, 0,99), а также суточная сумма осадков 30 мм.

Анализ гидрологической информации осуществлялся с использованием данных, представленных в гидрологических ежегодниках и обобщающих справочниках [Ресурсы..., 1966], в открытых источниках [Федеральное..., 2020], а также с использованием ранее подготовленных баз данных [Богущая и др., 2020].

Анализ гидрологических данных проводился для 11 действующих постов на реках региона (см. рис. 1А).

Исследование многолетней изменчивости температуры воздуха, характеристик осадков и речного стока производилось на основе разностно-интегральных кривых стока (РИК) [Евстигнеев, 1990]. Анализовалась также изменчивость внутригодового распределения осадков и расходов воды.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменчивость температуры воздуха и осадков на территории горного Крыма. Ключевыми динамическими факторами формирования и развития ЭЭС на территории горного и предгорного Крыма являются изменчивость температуры воздуха и осадков. Рост температуры воздуха, особенно в зимний период, способствует более частому возникновению оттепелей и, как следствие, формированию паводков в холодный период года, увеличению стока наносов за счет интенсификации процессов выветривания и склонового стока. Амплитуда суточного хода температуры воздуха, а также частота внутрисуточных переходов температуры воздуха через 0°C ведут к росту темпов физического выветривания и разрушения горных пород, т. е. формированию больших запасов рыхлообломочного материала на склонах, способного вовлекаться в движение водными потоками, формирующимися на склонах [Голосов, Панин, 1988].

Анализ длинного ряда наблюдений за температурой воздуха (метеостанция Симферополь) показал, что наблюдается ее рост: если за период с 1898 по 1951 г. средняя многолетняя температура воздуха составляла 9,0°C, то за период с 1952 по 2018 г. – 10,8°C (согласно анализу РИК средне-многолетних температур воздуха рост характеристики отмечается с 1952 г.). Рост температуры воздуха наблюдается также в горах (метеостанция Ай-Петри). Увеличение среднегодовой температуры воздуха происходит за счет ее повышения в зимний период [Позаченюк и др., 2014].

Усиление интенсивности осадков и рост повторяемости ливневых осадков на земном шаре, наблюдающиеся примерно с середины 1970-х гг. [Groisman et al., 2005], могут служить предпосыл-

кой к более частому формированию наиболее мощных ЭЭС, включая ВЛП, селей и оползней. Интенсивность осадков в период прохождения наиболее катастрофических ЭЭС в Крыму составляет порядка 1 мм/мин, достигая интенсивности 2,5–8 мм/мин [Клюкин, 2005]. Как правило, образованию селей и ВЛП обычно предшествует период без дождей, что способствует накоплению рыхлообломочного материала, в дальнейшем при выпадении интенсивных ливней подвергающегося транспортировке.

Согласно районированию территории Крыма по степени проявления опасных и стихийных гидрометеорологических явлений, наибольшая опасность отмечается в горном и предгорном Крыму, причем максимальная доля принадлежит ливневым осадкам высокой интенсивности [Ергина, Жук, 2016, 2017] со слоем не менее 30 мм за 12 ч.

Наибольшие значения квантилей суточных сумм осадков среди ряда станций Крымского полуострова для теплого и холодного периодов закономерно относятся к горной станции Ай-Петри (табл.). Для большинства рассматриваемых станций значения 0,95 квантиля больше в холодный период года, а значения 0,99 квантиля больше в теплый период года, что свидетельствует о том, что экстремальные осадки на территории Крымского полуострова выпадают преимущественно в виде дождей.

Анализ значимости трендов (тест Манна–Кенделла, уровень значимости 0,05) показал, что изменения всех индексов экстремальности осадков для станции Ай-Петри за 1961–2019 гг. являются незначимыми за исключением количества последовательных дней с осадками больше 1 мм – индекс CWD. Этот индекс отражает значимый отрицательный тренд (рис. 3А) за счет высоких значений в начале рассматриваемого периода. В теплый период года на станции Ай-Петри увеличивается продолжительность засухливых периодов – рост индекса CDD (см. рис. 3Б). Индекс имеет при этом значительную межгодовую изменчивость, что указывает на возможность длительного накопления материала, потенциально готового к транспортировке в случае выпадения интенсивного ливня. Для станции Симферополь линейных значимых трендов индексов экстремальности осадков не выявлено. Для станции Феодосия выявлено значимое увеличение среднегодовой интенсивности экстремальных осадков (свыше квантиля 0,97 (10,6 мм)) – индекс EPI (см. рис. 3В). Полученный вывод для станции Феодосия согласуется с результатами работы [Voskresenskaya, Vyshkvarkova, 2016], в которой отмечается, что тенденция увеличения экстремальности осадков характерна для юго-восточной части Крымского полуострова (Феодосия, Керчь).

Таблица

Квантили суточных сумм осадков за 1961–2019 гг. (мм)

Квантиль	1961–1990					1961–2019				
	Алушта	Ангарский перевал	Почтовое	Севастополь	Ялта	Евпатория	Симферополь	Керчь	Феодосия	Ай-Петри
<i>Теплый период (апрель–октябрь)</i>										
0,9	0,5	3,1	1,5	1,3	1,5	1,4	3,6	2,9	2,6	5,7
0,95	2,7	8,7	5,3	4,3	5,2	4,7	8,4	7,4	7,0	12,2
0,97	5,5	14,3	9,1	8,0	8,5	7,9	13,0	11,2	10,9	17,5
0,99	13,1	28,0	20,0	15,8	19,3	19,2	24,1	20,0	24,0	31,4
<i>Холодный период (ноябрь–март)</i>										
0,9	1,0	4,3	2,1	2,1	2,3	1,9	4,0	3,3	3,1	7,2
0,95	3,7	10,1	6,0	5,6	6,5	5,1	8,1	7,3	7,3	14,0
0,97	6,7	14,9	9,5	8,8	11,5	8,0	12,1	10,8	10,7	20,3
0,99	14,1	27,3	18,3	15,8	22,3	17,2	21,7	18,2	21,3	37,0
<i>Год</i>										
0,9	1,3	4,7	2,4	2,4	2,9	2,2	4,0	3,4	3,3	8,1
0,95	4,3	10,5	6,0	5,8	7,3	5,2	8,0	7,1	7,3	15,0
0,97	7,1	15,6	9,3	8,6	12,0	7,9	11,5	10,5	10,6	21,3
0,99	15,1	26,3	17,4	15,1	23,0	15,7	20,4	17,1	20,1	39,0

Таким образом, в Крыму на фоне значимого роста температуры воздуха отмечаются тенденции к сокращению количества последовательных дней с осадками (индекс CWD), а также к удлинению периода без осадков в теплый период года, что может способствовать накоплению продуктов выветривания, которые будут транспортироваться в случае ЭЭС, например, таких, как сель в районе Алушты в августе 2017 г. В юго-восточной части

Крымского полуострова (Феодосия) отмечено увеличение интенсивности экстремальных осадков.

Выявленные тренды изменения климатических характеристик были сопоставлены с изменениями, зафиксированными в других регионах и странах Черноморского побережья, включая Турцию, Болгарию, Румынию, РФ и Грузию. Устойчивый рост температуры воздуха наблюдается во всех названных регионах [Ivanova, 2016; Marin et al., 2014; Tayanc et al., 2009]. Изменение количества осадков происходит неоднозначно. На территории Румынии отмечается тенденция к их увеличению на северо-западе страны, включая горные области, и к снижению – в дельте Дуная [Marin et al., 2014]. В Турции, на западе страны, фиксируется снижение количества осадков, в то время как на ряде станций севера – значительное их увеличение [Tayanc et al., 2009]. Кроме того, в связи с климатическими изменениями на территории страны происходит больше наводнений [Bagdatli, Belliturk, 2016] и прогнозируется существенный рост эрозии почвы [Bergeroglu et al., 2020]. Рост количества ливневых осадков в горных районах, усиление экстремальных гидрометеорологических явлений фиксируются также и на территории Грузии [Climate change..., 2020]. Анализ изменения количества осадков на юге России, включая горные, предгорные и равнинные области, не выявил значимых трендов, за исключением осадков в осенний период в степных областях [Tashilova et al., 2019].

В работе [Croitoru et al., 2013] подтверждается большая пространственная изменчивость трендов индексов экстремальных осадков на западном побережье Черного моря. Анализ одиннадцати индексов экстремальных осадков, характеризующих как условия с осадками, так и условия в засушливые периоды, не показывал четкой картины региональных изменений, а отражал изменчивость трендов экстремальных осадков в локальном масштабе. На более чем половине станций на западном побережье Черного моря выявлены тенденции роста индекса CDD (количество последовательных дней с осадками меньше 1 мм) при одновременном тренде снижения индекса CWD (количество последовательных дней с осадками больше 1 мм). Аналогичные тенденции отмечаются в горном Крыму согласно данным наблюдений на станции Ай-Петри.

Изменчивость гидрологических условий. В теплый период года (май–ноябрь) наблюдается низкая межень (вплоть до полного пересыхания) при периодическом формировании непродолжительных паводков, обусловленных выпадением ливней высокой интенсивности. Как правило, длительного стояния высоких уровней воды не наблюдается. Это связано с особенностями строения русловой сети,

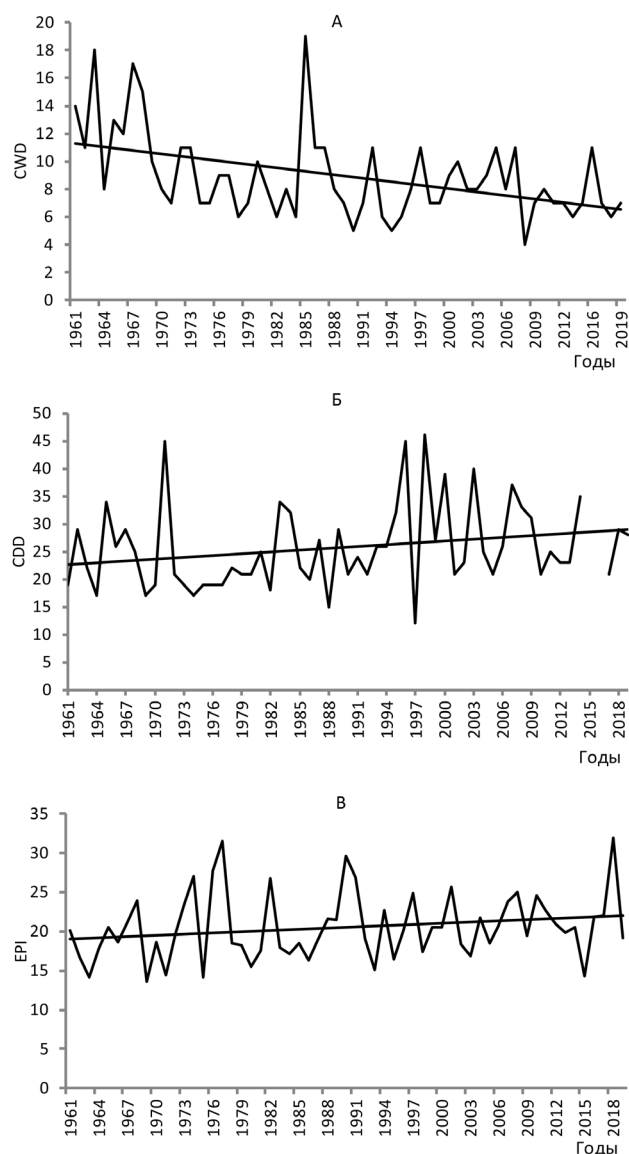


Рис. 3. Изменение индексов осадков на метеостанциях за 1961–2019 гг.:

А – количество последовательных дней с осадками более 1 мм (индекс CWD); Б – продолжительность засушливых периодов (индекс CDD) на метеостанции Ай-Петри; В – среднегодовая интенсивность экстремальных осадков (индекс EPI) на метеостанции Феодосия

Fig. 3. Variability of precipitation indexes in 1961–2019: А – Amount of consecutive days with precipitation more than 1 mm (CWD); Б – duration of dry periods (CDD) in Ai-Petri; В – mean annual intensity of extreme precipitation (EPI) in Feodosia

характеризующейся малыми длинами водотоков и одновременно значительными уклонами русел рек, а также большой трещиноватостью подстилающих пород [Вахрушев, 2009]. Максимальные расходы воды при прохождении летних дождевых паводков могут превышать среднегодовые значения в 200–400 раз [Овчарук и др., 2015]. Как правило, в этот же период наблюдается максимальный сток наносов. Так, в результате одного из крупнейших паводков на р. Демерджи 11 августа 1997 г. было вынесено порядка 8000 т наносов [Клюкин, 2005] (крупные зафиксированные паводки, принесшие значительный материальный ущерб, наблюдались на реках Демерджи (1898, 1987, 1997, 2008, 2017) и Ворон (1980, 1983, 1987, 1988, 1998) [Багрова и др., 2013]. Суммарный средний многолетний сток наносов рек Крыма в Черное море составляет порядка 132 тыс. т в год, что составляет 0,14% от суммарного стока наносов, поступающего в Черное море [Джаошвили, 2002].

Наибольшие значения мутности воды характеризуют реки горного Крыма (500–1000 г/м³) и ЮБК (250–500 г/м³), за исключением рек с повышенным карстовым питанием, где величина средней многолетней мутности воды не превышает 50 г/м³ [Bobrovitskaya, 1996].

Период максимальной концентрации наносов в реках, как правило, приурочен к прохождению селей, отличающихся от ВЛП твердой составляющей, условиями формирования и прохождения, а также интенсивностью [Кукулина и др., 2017, 2020]. Территория горного Крыма является областью с наибольшим развитием селей на территории полуострова.

Для рек территории характерно уменьшение максимальных расходов воды при выходе из гор, что объясняется не только естественной трансформацией волны паводка на бесприточных участках [Михайлов, Добролюбов, 2017], но и потерями воды в результате сильного развития карста на территории [Вахрушев, 2009] и вследствие наполнения регулирующих водоемов. Заборы воды на орошение и наполнение искусственных водоемов являются важнейшей чертой водного режима рек Крыма. Согласно районированию, приведенному в [Овчарук и др., 2015], максимальный подъем уровней воды во время паводков наблюдается на водотоках горного Крыма и достигает 10 м.

Анализ имеющихся данных об изменчивости среднегодовых и максимальных значений расхода воды показал, что его рост наблюдается на большинстве рек юго-западных областей Крыма (Альма (рис. 4А), Бельбек, Черная (см. рис. 4Б), Коккозка), за исключением р. Учан-Су. Реки ЮБК также характеризуются возрастанием среднегодовых и максимальных расходов воды (Улу-Узень (см. рис. 4В),

Ай-Сереж). Колебания водности происходят относительно синхронно с изменением количества осадков (см. рис. 4Г).

Относительная синхронность изменения мутности и расходов воды (рис. 5) позволяет сделать предположение, что рост среднегодовых и максимальных значений расхода воды на реках горного Крыма способствует соответствующему увеличению стока наносов, что также является признаком усиления мощности и разрушительной силы ЭЭС на исследуемой территории. Однако зачастую изменения стока наносов определяются не только характеристиками поверхностного стока ввиду зарегулированности водотоков прудами и водохранилищами, а также забором воды на орошение.

Сопоставление внутригодового распределения стока на реках в периоды с конца 1970-х – начала 1980-х гг. и после показало, что произошло незначительное перераспределение стока в сторону его увеличения в летний период. Если в период до 1978 г. на р. Демерджи в среднем в зимний период (декабрь–апрель) проходило более 60% годового стока, то начиная с 1980 г. его доля уменьшилась до 50% (рис. 6).

ВЫВОДЫ

Анализ физико-географических условий формирования ЭЭС на территории горного Крыма показывает, что основными факторами их возникновения являются ливневые осадки высокой интенсивности, способствующие быстрому формированию экстремальных расходов воды. Значительные уклоны рельефа и небольшая площадь водосборных бассейнов рек исследуемой территории способствуют быстрой концентрации стока в русле, что приводит к формированию ВЛП – одних из наиболее опасных и трудно прогнозируемых видов ЭЭС.

На территории Крыма наблюдается значимый рост температуры воздуха, а изменение количества осадков и параметров их экстремальности имеет незначительный тренд. Отмечаются тенденции к сокращению длительности выпадения осадков в течение года, а также к увеличению продолжительности периода без осадков в теплый период года по данным станции Ай-Петри, что способствует некоторому увеличению объемов накопления рыхлообломочного материала, потенциально готового к транспортировке при формировании поверхностного стока на склонах и паводков при интенсивных осадках. В юго-восточной части полуострова наблюдается рост интенсивности экстремальных осадков по данным станции Феодосия.

Анализ изменчивости среднесезонных и максимальных расходов воды показал, что наблюдается их рост на ряде рек юго-западных районов полу-

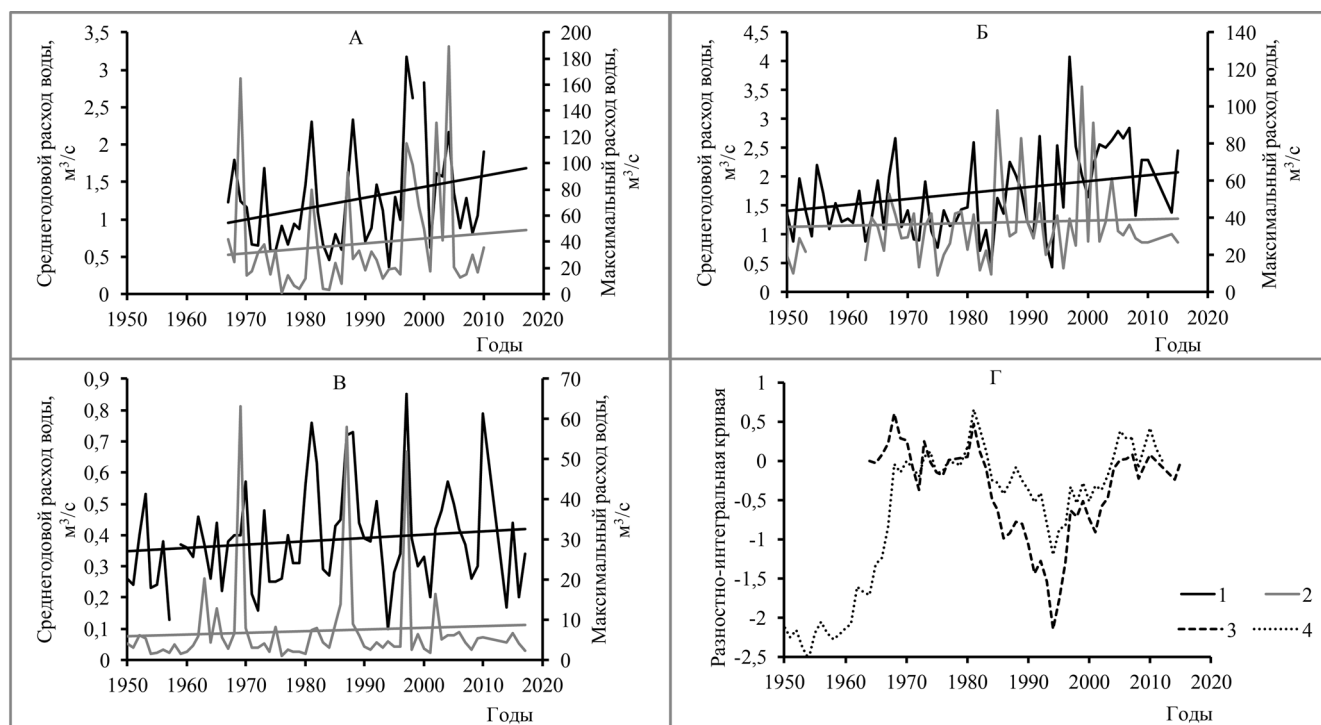


Рис. 4. Изменение расходов воды на реках горного Крыма:

А – р. Альма – выше вдхр. Партизанское; Б – р. Черная – с. Родниковое; В – р. Улу-Узень – с. Солнечногорское; Г – разностно-интегральные кривые в пр. Кучук-Узенбаш – с. Многооречье; расход воды (m^3/s): 1 – среднегодовой; 2 – максимальный; разностно-интегральные кривые: 3 – среднегодовых расходов воды; 4 – осадков

Fig. 4. Variability of water discharges for the rivers of the Crimea Mountains:

А – the Al'ma River – upstream the Partizanskoe reservoir; Б – the Chernaya River – Rodnikovoe; В – the Ulu-Uzen' River – Solnechnogorskoe; Г – residual mass curves in the Kuchuck-Uzenbash River – Mnogorech'e; water discharge (m^3/sec): 1 – mean annual; 2 – maximum; residual mass curves: 3 – of mean annual water discharges; 4 – of precipitation

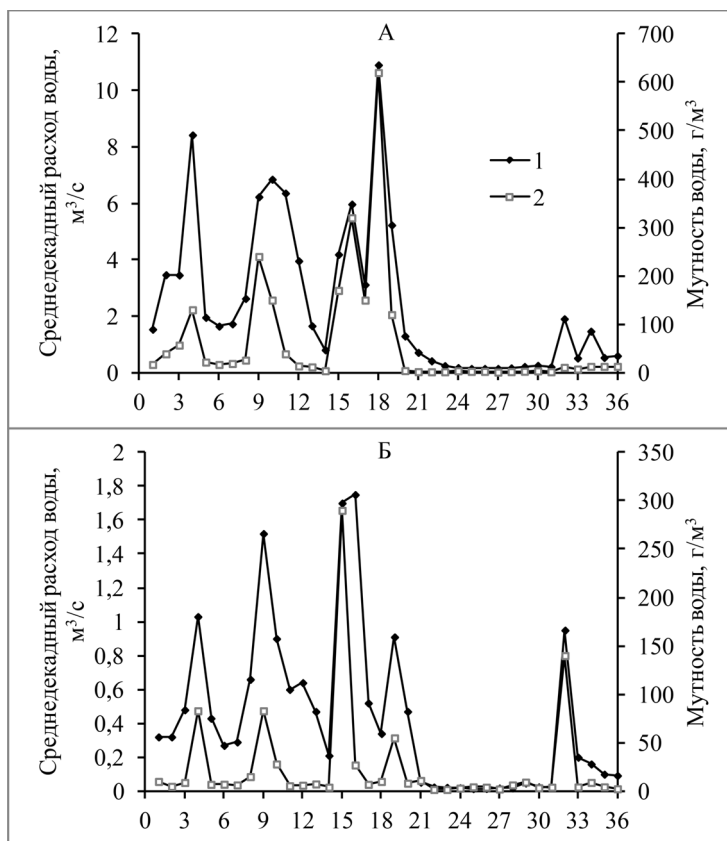


Рис. 5. Графики декадных изменений мутности и расхода воды в 2015 г.:

А – р. Бельбек – пгт Куйбышево; Б – р. Улу-Узень – с. Солнечногорское; 1 – расход воды (m^3/s); 2 – мутность ($\text{г}/\text{м}^3$)

Fig. 5. Decadal variability of SSC and water discharge in 2015:

А – the Bel'bek River – Kuibyshevo; Б – the Ulu-Uzen' River – Solnechnogorskoe; 1 – water discharge (m^3/sec); 2 – SSC (g/m^3)

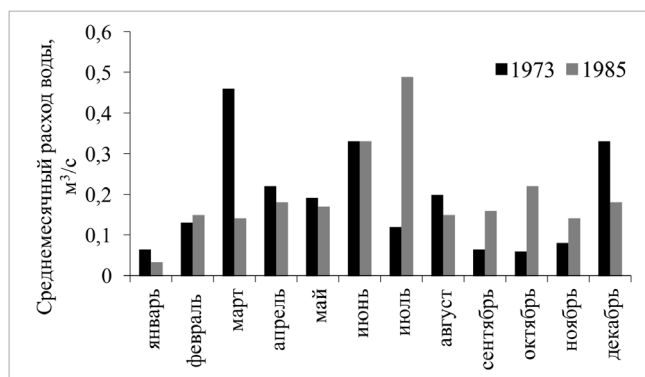


Рис. 6. Изменение внутригодового распределения стока воды р. Демерджи – г. Алушта

Fig. 6. Variability of seasonal water runoff distribution for the Demerdzhi River – Alushta

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-70035. Проведение анализа гидрометеорологических данных частично поддержано госбюджетными темами 121051400081-7 «Погодные и климатические процессы различных пространственно-временных масштабов в условиях антропогенного воздействия» и 121051100166-4 «Гидрология, морфодинамика и геоэкология эрозионно-русловых систем». Коллектив авторов выражает огромную благодарность сотруднику кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ А.Г. Косицкому за помощь в подготовке информационной базы исследования водного стока рек Крыма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. М.: Геогр. ф-т МГУ, 1998. 202 с.
- Багрова Л.А., Смирнов В.О., Гунькина И.Ю., Змерзлая К.С. Опасные природные явления в Крыму // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2013. Т. 9. № 2-1. С. 115–126.
- Богуцкая Е.М., Косицкий А.Г., Айбулатов Д.Н., Гречушникова М.Г. Средний многолетний сток рек юго-западной части Крымского полуострова // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2020. № 2. С. 37–51.
- Вахрушев Б.А. Районирование карста Крымского полуострова // Спелеология и карстология. 2009. № 3. С. 39–46.
- Голосов В.Н., Панин А.В. Осыпные процессы на склонах оврагов в низкогорной зоне Западного Тянь-Шаня // Геоморфология. 1988. № 3. С. 46–50.
- Джаошвили Ш. Реки Черного моря. Технический отчет № 71. Европейское агентство по охране окружающей среды. 2002. 58 с.
- Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 304 с.
- Ергина Е.И., Жук В.О. Анализ проявления опасных и стихийных гидрометеорологических явлений в Крыму // Окружающая среда и человек. 2016. С. 85–88.
- Ергина Е.И., Жук В.О. Влияние современных тенденций климата на состояние эрозионно-опасных агроландшафтов и оценка почвообразующего потенциала природных факторов Крыма // Известия Оренбургского гос. аграрного ун-та. 2017. № 3(65). С. 175–178.
- Ергина Е.И., Жук В.О. О росте опасных и стихийных гидрометеорологических явлений на Крымском полуострове // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2018. № 1(197). С. 68–74.
- Иванов В.А., Свищева И.А., Прусов А.В., Шокуров М.В. Прогнозирование катастрофических паводков на основе региональной модели атмосферной циркуляции Южного Крыма // Экологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу: 36. наук. пр. 2011. Т. 2(25). С. 396–418.
- Клюкин А.А. Экстремальные проявления неблагоприятных и опасных экзогенных процессов в XX веке в Крыму // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2005. С. 27–38.
- Кукукина Л.В., Голосов В.Н., Кузнецова Ю.С. Ливневые паводки в горах: изученность, распространение, факторы формирования // География и природные ресурсы. 2017. № 1. С. 25–35.
- Кукукина Л.В., Голосов В.Н., Промахова Е.В. Причины возникновения и география внезапных ливневых паводков // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 1. С. 11–22.
- Михайлов В.Н., Добролюбов С.А. Гидрология. Москва; Берлин: Директ-медиа, 2017. 753 с.
- Нестеренко В.П. Закономерности формирования климатических изменений и их прогноз на территории Крыма // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. 2016. С. 115–122.
- Овчарук В.А., Прокофьев О.М., Тодорова Е.И. Особенности формирования паводков теплого периода на реках

- горного Крыма // Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Серія: Геологія. Географія. Екологія. 2015. № 42. С. 99–106.
- Олиферов А.Н., Тимченко З.В. Реки и озера Крыма. Симферополь: Доля, 2005. 216 с.
- Павлов И.Н. Реки Крыма: русловые процессы и их экологическая оценка // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1994. № 3. С. 76–82.
- Позаченюк Е.А., Ергина Е.И., Олиферов А.Н., Михайлов В.А., Власова А.Н., Кудрянь Е.А., Пенно М.В., Калинин И.В. Анализ факторов формирования водных ресурсов р. Салгир в условиях изменяющегося климата // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. География. Геология. 2014. № 2. Вып. 27(66). С. 118–138.
- Прокопов Г.А. Экосистемы рек Южного берега Крыма. Их оптимизация и охрана // Культура народов Причерноморья. 1999. № 7. С. 9–13.
- Региональная программа защиты почв Республики Крым от водной ветровой эрозии и других видов деградации / Академия аграрных наук. Институт землеустройства. Крымский филиал. Симферополь, 1995. 230 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6: Украина и Молдавия. Вып. 4: Крым. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 344 с.
- Сташкина А.Ф. Почвы восточного региона Крымских гор и их пригодность к ведению аграрного и садово-паркового производства // Вісник ХНАУ. Серія: Рослинництво, селекція і насінництво, плодощовівництво. 2012. № 2. С. 116–127.
- Bagdatli C., Bellitürk K. Negative effects of climate change in Turkey, *Adv. Plants Agri Res.*, 2016, no. 3(2), p. 44–46.
- Bergeroglu S., Cilek A., Kirkby M. et al. Spatial and temporal evaluation of soil erosion in Turkey under climate change scenarios using Pan-European Soil Erosion Risk Assessment (PESERA) model, *Environmental monitoring and assessment*, 2020, no. 192, Article ID 149, DOI: 10.1007/s10661-020-08429-5.
- Bobrovitskaya N.N. Long-term variations in mean erosion and sediment yield from the rivers of the former Soviet Union, *IAHS Publ.*, 1996, vol. 236, p. 32–39.
- Croitoru A.-E., Chitoroiu B.-C., Ivanova-Todorova V., Torică V. Changes in precipitation extremes on the Black Sea Western Coast, *Global and Planetary Change*, 2013, no. 102(10–19), DOI: 10.1016/j.gloplacha.2013.01.004.
- Dunn R.J.H., Flexander L.V., Donat M.G. et al. Development of an Updated Global Land In Situ-Based Data Set of Temperature and Precipitation Extremes: HadEX3, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2020, vol. 125, iss. 16, e2019JD032263, DOI: 10.1029/2019JD032263.
- Groisman P.Y., Knight R.W., Easterling D.R., Karl T.R., Hegerl G.C., Razuvaev V.N. Trends in intense precipitation in the climate record, *Journal of Climate*, 2005, no. 18(9), p. 1326–1350.
- Ivanova V. Extreme temperatures trends in Eastern Bulgaria during the period 1959–2009, *Aerul și Apa: Componente ale Mediului*, 2016, DOI: 10.17378/AWC2016_15.
- Li X., Hu Q. Spatiotemporal Changes in Extreme Precipitation and Its Dependence on Topography over the Poyang Lake Basin, China, *Advances in Meteorology*, 2019, Article ID 1253932, 15 p., DOI: 10.1155/2019/1253932.
- Marin L., Birsan M.-V., Bojariu R., Dumitrescu A., Micu D.M., Mane A. An overview of annual climatic changes in Romania: trends in air temperature, precipitation, sunshine hours, cloud cover, relative humidity and wind speed during the 1961–2013 period, *Carpatian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 2014, no. 9(4), p. 253–258.
- Panagos P., Borelli P., Meusburger K., Yu B. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records, *Scientific Reports*, 2017, no. 7(1), p. 4175, DOI: 10.1038/s41598-017-04282-8.
- Tashilova A., Ashabokov B., Kesheva L., Teunova N.V. Analysis of climate change in the Caucasus region: and of the 20th – beginning of the 21st century, *Climate*, 2019, no. 7(11), DOI: cli7010011.
- Tayanc M., Im U., Dogruel M., Karaca M. Climate change in Turkey for the last half century, *Climatic change*, 2009, no. 94, p. 483–502.
- Voskresenskaya E., Vyshkvarkova E. Extreme precipitation over the Crimean peninsula, *Quaternary International*, 2016, vol. 409, pt. A, p. 75–80, DOI: 10.1016/j.quaint.2015.09.097.
- Wischmeier W.H., Smith D.D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*, USDA Agricultural handbook, no. 282, Washington, D.C., 1978, 67 p.
- Электронные ресурсы**
- Атлас Республики Крым. URL: <https://педпрактика.рф/6-klass/geografiya-6-klass/atlas-respubliki-krum> (дата обращения 18.06.2020).
- Погода и климат. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения 29.08.2020).
- Расписание погоды. URL: <https://rp5.ru> (дата обращения 26.06.2020).
- ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД. URL: <https://meteo.ru> (дата обращения 01.10.2020).
- Федеральное агентство водных ресурсов АИС ГМВО. URL: <https://gmvo.skniivh.ru> (дата обращения 18.07.2020).
- Climate change in the South Caucasus, URL: <https://zoinet.org/wp-content/uploads/2018/02/Climate-change-South-Caucasus.pdf> (access date 13.10.2020).
- KNMI Climate Explorer, URL: <http://climexp.knmi.nl/start.cgi> (access date 31.03.2020).
- National centers for environmental information, National oceanic and atmospheric administration, URL: <https://www.ncei.noaa.gov> (access date 31.03.2020).

Поступила в редакцию 28.10.2020

После доработки 18.12.2020

Принята к публикации 18.03.2021

HYDROLOGICAL AND CLIMATOLOGICAL FACTORS OF EXTREME EROSION EVENTS IN THE CRIMEAN MOUNTAINS

L.V. Kuksina¹, V.N. Golosov², E.Yu. Zhdanova³, A.S. Tsyplenkov⁴

^{1, 2, 4} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Makkaveev Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes

² Institute of Geography RAS, Laboratory of Geomorphology

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Meteorology and Climatology, Laboratory of Climate

¹ Junior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: ludmilakuksina@gmail.com

² Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: golosov@gmail.com

³ Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: ekaterinazhdanova214@gmail.com

⁴ Junior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: atsyplenkov@gmail.com

Data on the main climatic (air temperature, precipitation) and hydrologic (water runoff, suspended sediment yield) factors of extreme erosion events (EEEs) formation and development are collected and analyzed for the Crimean Mountain territory. Significant increase of air temperature is observed over the territory of Crimea. The change in the amount of precipitation and the parameters of their extremeness have an insignificant trend. According to the observations at the Ai-Petri station there are tendencies to decreasing number of consecutive days with precipitation during the year (CWD index), as well as increasing duration of the period without precipitation (CDD index) in warm period of the year. This contributes to a slight increase in the accumulation of friable material potentially ready for transportation during slope runoff and floods under the intense precipitation. According to the data of the Feodosiya station an increase in the intensity of extreme precipitation is observed in the southeastern part of the peninsula. For the most stations the 0.95 quantile of daily precipitation is higher in cold period of the year, while the 0.99 quantile is higher in warm period, thus indicating that the extreme precipitation is mainly in the form of rains within the Crimean Peninsula. Distribution of rainfall erosivity shows that it is below its maximum (more than 600) in the Crimean Mountains, where it varies from 400 to 500. The highest values are typical for yajlas (forest-free top plateaus of the Crimean Mountains), while the karst processes levels them by decreasing the surface runoff coefficients. The increasing suspended sediment yield is assumed in rivers in the south-west of the peninsula due to the increase of annual and maximum water discharges. The comparison of the seasonal distribution of river flow before and after the end of 1970-s – the beginning of 1980-s shows its slight increase in summer period. Changes in air temperature and precipitation within the territory of Crimea are found to be in line with the changes within other Black Sea coast countries.

Keywords: heavy rainfall, suspended sediment yield, climate change, water discharge, extreme precipitation index

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 20-35-70035). The hydrometeorological data were partly analyzed under the state budget tasks “Hydrology, morphodynamics and geoecology of erosion and channel systems” and “Weather and climate processes of various spatial and temporal scales under the anthropogenic impact”. The authors are particularly grateful to A.G. Kositsky, Associate Professor of the Department of Land Hydrology, the MSU Faculty of Geography, for his assistance in preparing the information base for studying water runoff of the Crimean rivers.

REFERENCES

- Alekseyevskiy N.I. *Formirovaniye i dvizheniye rechnykh nanosov* [Formation and movement of river sediments], Moscow, Geogr. f-t MGU Publ., 1998, 202 p. (In Russian)
- Bagdatli C., Belliturk K. Negative effects of climate change in Turkey, *Adv. Plants Agri Res.*, 2016, no. 3(2), p. 44–46.
- Bagrova L.A., Smirnov V.O., Gun'kina I.Yu., Zmerzlaya K.S. Opasnyye prirodnyye yavleniya v Krymu [Hazardous natural phenomena in Crimea], *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*, 2013, vol. 9, no. 2-1, p. 115–126. (In Russian)
- Bergeroglu S., Cilek A., Kirkby M. et al. Spatial and temporal evaluation of soil erosion in Turkey under climate change scenarios using Pan-European Soil Erosion Risk Assessment (PESERA) model, *Environmental monitoring and assessment*, 2020, no. 192, Article ID 149. DOI: 10.1007/s10661-020-08429-5.
- Bobrovitskaya N.N. Long-term variations in mean erosion and sediment yield from the rivers of the former Soviet Union, *IAHS Publ.*, 1996, no. 236, p. 32–39.
- Bogutskaya Ye.M., Kositskiy A.G., Aybulatov D.N., Grechushnikova M.G. Sredniy mnogoletniy stok rek yugozapadnoy chasti Krymskogo poluoostrova [Mean annual river runoff in the south-western part of the Crimean Peninsula], *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye*, 2020, no. 2, p. 37–51. (In Russian)
- Croitoru A.-E., Chiotoroiu B.-C., Ivanova-Todorova V., Torică V. Changes in precipitation extremes on the Black Sea Western Coast, *Global and Planetary Change*, 2013, no. 102(10–19), DOI: 10.1016/j.gloplacha.2013.01.004.
- Dunn R.J.H., Flexander L.V., Donat M.G. et al. Development of an Updated Global Land In Situ-Based Data Set of Temperature and Precipitation Extremes, HadEX3, *Journal*

- of *Geophysical Research: Atmospheres*, 2020, vol. 125, iss. 16, e2019JD032263, DOI: 10.1029/2019JD032263.
- Dzhaoshvili S.H. *Reki Chernogo moray* [Rivers of the Black Sea basin], Tekhnicheskii otchet no. 71, Yevropeyskoye agentyvo po okhrane okruzhayushchey sredy, 2002, 58 p. (In Russian)
- Golosov V.N., Panin A.V. Osypnyye protsessy na sklonakh ovragov v nizkogornoy zone Zapadnogo Tyan'-Shanya [Rockslide processes on the slopes of ravines in the low-mountain zone of the Western Tien Shan], *Geomorfologiya*, 1988, no. 3, p. 46–50. (In Russian)
- Groisman P.Y., Knight R.W., Easterling D.R., Karl T.R., Hegerl G.C., Razuvaev V.N. Trends in intense precipitation in the climate record, *Journal of Climate*, 2005, no. 18(9), p. 1326–1350.
- Ivanov V.A., Svishcheva I.A., Prusov A.V., Shokurov M.V. Prognozirovaniye katastroficheskikh pavodkov na osnove regional'noy modeli atmosfernoj tsirkulyatsii Yuzhnogo Kryma [Prediction of catastrophic floods on the basis of a regional model of atmospheric circulation within the Southern Crimea], *Ekologichna bezpeka pryberezhnoi ta shel'fovoi zon ta kompleksne vykorystannia resursiv shel'fu*: Zb. nauk. pr., 2011, vol. 2(25), p. 396–418. (In Russian)
- Ivanova V. Extreme temperature trends in Eastern Bulgaria during the period 1959 – 2009, *Aerul si Apa: Componente ale Mediului*, 2016, DOI: 10.17378/AWC2016_15.
- Klyukin A.A. Ekstremal'nyye proyavleniya neblagopriyatnykh i opasnykh ekzogennykh protsessov v XX veke v Krymu [Extreme manifestations of unfavorable and hazardous exogenous processes in the 20th century in Crimea] *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*, 2005, p. 27–38. (In Russian)
- Kuksina L.V., Golosov V.N., Kuznetsova Yu.S. Cloudburst floods in mountains: state of knowledge, occurrence, factors of formation, *Geography and Natural Resources*, 2017, no. 1, p. 20–29.
- Kuksina L.V., Golosov V.N., Promakhova Ye.V. Prichiny vznikaeniya i geografiya vnezapnykh livnevnykh pavodkov [The origin and geography of flash floods], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2020, no. 1, p. 11–22. (In Russian)
- Li X., Hu Q. Spatiotemporal Changes in Extreme Precipitation and Its Dependence on Topography over the Poyang Lake Basin, China, *Advances in Meteorology*, 2019, Article ID 1253932, 15 p., DOI: 10.1155/2019/1253932.
- Marin L., Birsan M.-V., Bojariu R., Dumitrescu A., Micu D.M., Mane A. An overview of annual climatic changes in Romania: trends in air temperature, precipitation, sunshine hours, cloud cover, relative humidity and wind speed during the 1961–2013 period, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 2014, no. 9(4), p. 253–258.
- Mikhaylov V.N., Dobrolyubov S.A. *Gidrologiya* [Hydrology], Moscow, Berlin, Direkt-media Publ., 2017, 753 p. (In Russian)
- Mikhaylov V.N., Dobrovol'skiy A.D., Dobrolyubov S.A. *Gidrologiya: Ucheb. dlya vuzov* [Hydrology: textbook for universities], Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2007, 463 p. (In Russian)
- Nesterenko V.P. Zakonomernosti formirovaniya klimaticheskikh izmeneniy i ikh prognoz na territorii Kryma [Regularities of the formation of climatic changes and their forecast for the territory of Crimea], *Nauchnyye vedomosti BelGU, Seriya: Yestestvennyye nauki*, 2016, p. 115–122. (In Russian)
- Oliferov A.N., Timchenko Z.V. *Reki i ozera Kryma* [Rivers and lakes of Crimea], Simferopol', Dolya Publ., 2005, 216 p. (In Russian)
- Ovcharuk V.A., Prokof'yev O.M., Todorova E.I. Osobennosti formirovaniya pavodkov teplogo perioda na rekakh Gornogo Kryma [Specific features of the formation of warm period floods on rivers of the Crimean Mountains], *Visn. Kharkivs'kogo natsional'nogo universitetu imeni V.N. Karazina. Seriya: Geologiya. Geografiya. Yekologiya*, 2015, no. 42, p. 99–106. (In Russian)
- Panagos P., Borelli P., Meusburger K., Yu B. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records, *Scientific Reports*, 2017, no. 7(1), p. 4175, DOI: 10.1038/s41598-017-04282-8.
- Pavlov I.N. Reki Kryma: ruslovyeye protsessy i ikh ekologicheskaya otsenka [Crimean rivers: channel processes and their ecological assessment], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 1994, no. 3, p. 76–82. (In Russian)
- Pozachenyuk Ye.A., Yergina Ye.I., Oliferov A.N., Mikhaylov V.A., Vlasova A.N., Kudryan' Ye.A., Penno M.V., Kalinchuk I.V. Analiz faktorov formirovaniya vodnykh resursov r. Salgir v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata [Analysis of the factors of formation of water resources of the Salgir River under changing climate], *Uchenyye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo, Geografiya, Geologiya*, 2014, no. 2, vol. 27(66), p. 118–138. (In Russian)
- Prokopov G.A. Ekosistemy rek Yuzhnogo berega Kryma. Ikh optimizatsiya i okhrana [Ecosystems of the rivers of the Southern coast of Crimea. Their optimization and protection], *Kul'tura narodov Prichernomor'ya*, 1999, no. 7, p. 9–13. (In Russian)
- Regional'naya programma zashchity pochv Respubliki Krym ot vodnoy vetrovoy erozii i drugikh vidov degradatsii* [Regional program of protecting soils of the Republic of Crimea from water wind erosion and other types of degradation], Akademiya Agrarnykh nauk, Institut zemleustroystva, Krymskiy filial, Simferopol', 1995, 230 p. (In Russian)
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR, vol. 6: Ukraina i Moldaviya, iss. 4: Krym* [Resources of surface waters of the USSR, vol. 6: Ukraine and Moldova, iss. 4: Crimea], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1966, 344 p. (In Russian)
- Stashkina A.F. Pochvy vostochnogo regiona Krymskikh gor i ikh prigodnost' k vedeniyu agrarnogo i sadovo-parkovogo proizvodstva [Soils of the eastern region of the Crimean Mountains and their suitability for agricultural and gardening production], *Visn. KHNAU, Seriya: Roslinnitstvo, selektsiya i nasinnitstvo, plodoovochivnitstvo*, 2012, no. 2, p. 116–127. (In Russian)
- Tashilova A., Ashabokov B., Kesheva L., Teunova N.V. Analysis of climate change in the Caucasus region: end of the 20th – beginning of the 21st century, *Climate*, 2019, no. 7(11), DOI: cli7010011.
- Tayanc M., Im U., Dogruel M., Karaca M. Climate change in Turkey for the last half century, *Climatic change*, 2009, no. 94, p. 483–502.
- Vakhrushev B.A. Rayonirovaniye karsta Krymskogo poluostrova [Karst regionalization in the Crimean Peninsula], *Speleologiya i karstologiya*, 2009, no. 3, p. 39–46. (In Russian)
- Voskresenskaya E., Vyshkvarkova E. Extreme precipitation over the Crimean peninsula, *Quaternary International*, 2016, vol. 409, part A, p. 75–80, DOI: 10.1016/j.quaint.2015.09.097.

- Wischmeier W.H., Smith D.D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*, USDA Agricultural handbook, no. 282, Washington, D.C., 1978, 67 p.
- Yergina Ye.I., Zhuk V.O. Analiz proyavleniya opasnykh i stikhiynykh gidrometeorologicheskikh yavleniy v Krymu [Analysis of dangerous and hazardous hydrometeorological phenomena in Crimea], *Okruzhayushchaya sreda i chelovek*, 2016, p. 85–88. (In Russian)
- Yergina Ye.I., Zhuk V.O. O roste opasnykh i stikhiynykh gidrometeorologicheskikh yavleniy na Krymskom poluostrove [To the growth of dangerous and hazardous hydrometeorological phenomena within the Crimean Peninsula], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region, Yestestvennyye nauki*, 2018, no. 1(197), p. 68–74. (In Russian)
- Yergina Ye.I., Zhuk V.O. Vliyaniye sovremennykh tendentsiy klimata na sostoyaniye erozionno-opasnykh agrolandshtov i otsenka pochvoobrazuyushchego potentsiala prirodnykh faktorov Kryma [Influence of the current climate trends on the state of erosion-hazardous agricultural landscapes and assessment of the soil-forming potential of natural factors in Crimea], *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, no. 3(65), p. 175–178. (In Russian)
- Yevstigneyev V.M. *Rechnoy stok i gidrologicheskiye raschety* [River runoff and hidrological calculations], Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta Publ., 1990, 304 p. (In Russian)
- Web sources*
- Atlas respubliki Krym [Atlas of the Republic of Crimea], URL: <https://педпрактика.рф/6-klass/geografiya-6-klass/atlas-respubliki-krym> (access date 18.06.2020). (In Russian)
- Climate change in the South Caucasus, URL: <https://zoinet.org/wp-content/uploads/2018/02/Climate-change-South-Caucasus.pdf> (access date 13.10.2020). (In Russian)
- Federal'noye agentstvo vodnykh resursov AIS GMVO [Federal Agency for Water Resources AIS GMVO], URL: <https://gmvo.skniivh.ru> (access date 18.07.2020). (In Russian)
- FGBU VNIIGMI-MCD, URL: <https://meteo.ru> (access date 01.10.2020).
- KNMI Climate Explorer, URL: <http://climexp.knmi.nl/start.cgi> (access date 31.03.2020).
- National centers for environmental information. National oceanic and atmospheric administration, URL: <https://www.ncei.noaa.gov> (access date 31.03.2020). (In Russian)
- Pogoda i klimat [Weather and climate], URL: <http://www.pogodaiklimat.ru> (access date 29.08.2020). (In Russian)
- Raspisaniye pogody [Weather schedule], URL: <https://rp5.ru> (access date 26.06.2020). (In Russian)

Received 28.10.2020

Revised 18.12.2020

Accepted 18.03.2021