

ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 556.535.6

Л.В. Куksина¹, В.Н. Голосов², Е.В. Промахова³

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ГЕОГРАФИЯ ВНЕЗАПНЫХ ЛИВНЕВЫХ ПАВОДКОВ

Собрана и обобщена информация об экстремальных эрозионных событиях (ЭЭС) в мире. Оценены основные закономерности пространственно-временной изменчивости факторов их формирования, развития, а также последствия при различном сочетании природных и антропогенных факторов. Рассматриваются основные природные факторы (интенсивность и слой осадков, характеристики рельефа, почвенно-растительного покрова, особенности гидрологического режима рек и др.) формирования и пространственно-временной изменчивости ЭЭС, а также антропогенное воздействие (строительство дорог, спрямление русел рек, развитие горнодобывающей промышленности, изменение характера землепользования и др.), способствующее их формированию. Установлено, что доминирующей причиной возникновения ЭЭС являются ливневые осадки высокой интенсивности, рост повторяемости и увеличение слоя которых наблюдаются в последние десятилетия в результате глобальных изменений климата. Антропогенная деятельность в речных бассейнах, как правило, способствует усилению ЭЭС, но сравнительно редко является причиной их возникновения. Наиболее экстремальные события приурочены к небольшим по площади (не более 1000 км²) речным бассейнам, расположенным в горных и предгорных районах.

Ключевые слова: экстремальное эрозионное событие (ЭЭС), внезапный ливневый паводок (ВЛП), климат, осадки, рельеф, база данных

Введение. Изменение климатических условий, а именно: рост температуры воздуха, способствующий возрастанию интенсивности таяния льда и снега в горах, увеличение слоя и повторяемости осадков большой интенсивности наблюдается примерно с середины 1970-х годов [Groisman et al., 2005]. Это в свою очередь оказывает влияние на усиление экстремальных эрозионных событий (ЭЭС) (прохождение внезапных ливневых паводков, селей, оползней, прорыв горных озер и т. д.), которые способствуют существенной трансформации рельефа [Mueller, Pfister, 2011; Куksина с соавт., 2017]. Согласно последнему докладу о климатических рисках на территории РФ [Доклад ..., 2017], исследование связи ЭЭС с изменениями климата является ключевым вопросом, поскольку изменения на территории РФ происходят быстрее, чем в целом по земному шару. Одновременно с этим растет и ущерб от проявления ЭЭС. Рост социально-экономической нагрузки на территории (в частности, в связи с интенсивным развитием туризма и сопутствующей инфраструктуры; увеличением сельскохозяйственной нагрузки за счет выпаса скота, расширением площадей земель под садами и виноградниками, селитебными территориями) на фоне возрастающей повторяемости осадков высокой интенсивности

[Groisman et al., 2005] и потепления климата приводит к усилению мощности и частоты возникновения ЭЭС, последствием проявления которых является значительный социально-экономический ущерб. ЭЭС в настоящее время занимают первое место среди главных глобальных рисков [Доклад ..., 2017]. Кроме того, в определенных ситуациях (прорыв прудов-отстойников горно-обогатительных и перерабатывающих предприятий) перемещение наносов в период прохождения ЭЭС может способствовать перераспределению загрязняющих веществ, ассоциированных с ними, что приводит к катастрофическим последствиям.

Одной из наиболее трудно предсказуемых и одновременно наиболее опасных разновидностей ЭЭС являются внезапные ливневые паводки (ВЛП) (flash floods), характеризующиеся, в отличие от селей, пропорциональным увеличением расхода и крупности наносов согласно росту расхода воды. Наиболее часто ВЛП происходят в Северном полушарии в зоне субтропических, тропических и субэкваториальных широт, однако в настоящее время их повторяемость и интенсивность возрастает и в регионах, для которых подобные явления ранее были не характерны. При этом систематические наблюдения за формированием ВЛП по существу не проводятся

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева, канд. геогр. н., мл. науч. с.; e-mail: ludmilakuksina@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева, Институт географии РАН, лаборатория геоморфологии, докт. геогр. н., вед. науч. с.; e-mail: gollossov@gmail.com

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева, канд. геогр. н., мл. науч. с.; e-mail: promakhova@gmail.com

ввиду труднодоступности горных речных бассейнов (являющихся основными районами зарождения ВЛП), сложности проведения натурных гидрологических измерений в период прохождения ВЛП и частой приуроченности зон их зарождения к малым водосборам (площадью менее 100 км²). Известные на данный момент обобщения, касающиеся оценки условий возникновения и повторяемости ВЛП, обычно приурочены к отдельным регионам (зачастую равнинным) Европы и США [Costa, Jarrett, 2008; Gaume et al., 2009; Marchi et al., 2010]. В настоящее время отсутствует единая база данных, позволяющая выполнить пространственно-временной анализ ВЛП в целом для поверхности суши. Такая база данных послужит для целей выявления и систематизации основных факторов формирования и особенностей развития ВЛП при различном сочетании природных и антропогенных факторов.

В связи с этим основной целью данной статьи является исследование пространственно-временных закономерностей формирования, развития, а также последствий ВЛП при различном сочетании природных и антропогенных факторов. Основой для выполнения данного анализа послужили как отдельные имеющиеся базы данных, собранные для некоторых стран Европы (Австрии, Франции, Греции, Италии, Испании, Румынии, Словакии) [Marchi et al. 2010], мира [<http://floodobservatory.colorado.edu>], так и информация, собранная авторами из различных публикаций, а также результаты собственных наблюдений.

В статье анализируется распространение внезапных ливневых паводков на суше, рассматриваются основные факторы их формирования и последствия.

Состояние изученности ЭЭС. Изучению эрозионных событий различного генезиса, интенсивности и территориальной принадлежности посвящено значительное число публикаций, подготовленных по результатам исследований, проведенных в различных регионах мира. Так, особенности денудации и выноса наносов в горных районах Кавказа рассматриваются в работах [Виноградова с соавт., 2007; Джаошвили, 2000; Хмаладзе, 1978; Ермолаев с соавт., 2015]. Результаты длительных стационарных наблюдений на малых речках Черноморского побережья Кавказа позволили оценить влияние режима осадков на формирование стока наносов рек горных районов [Виноградова с соавт., 2007], выявить особенности процессов оврагообразования и русловых процессов [Хмелева с соавт., 1990]. В работах Н.В. Хмелевой с коллегами освещен важный вопрос возможности применения временных стационаров для оценки параметров ЭЭС [Хмелева с соавт., 1996]. Исследованиям современных экзогенных процессов в горных районах умеренного пояса посвящены труды сотрудников Казанского университета [Ермолаев с соавт., 2015]. Целый ряд работ посвящен исследованию процессов денудации и опасных экзогенных процессов на территории Крыма [Клюкин, 2005], в горах Алтая [Рудой, 2005]. К настоя-

щему времени доступно несколько баз данных, в которых систематизированы наблюдения за опасными явлениями погоды, способствующими формированию наводнений и собственно самим наводнениям на региональном и мировом уровне [Истомина, Добровольский, 2015; Магрицкий с соавт., 2013; Магрицкий, 2015; <http://meteo.ru/data/310-neblagopriyatnye-usloviya-pogody-nanjosshie-ekonomicheskie-poteri#>]. Отдельную группу составляют работы, посвященные опасным природным явлениям, в том числе опасным эрозионным событиям, происходящим в разных звеньях эрозионно-русловых систем [Беркович с соавт., 2005; Магрицкий, 2016], а также исследования по изучению изменения климата ряда регионов РФ [Атаев, Братков, 2014; Доклад ..., 2017; Нестеренко, 2016], особенностей гидрологического режима рек [Аванесян, 2013; Максимова с соавт., 2017].

Проведенный анализ зарубежных публикаций позволяет выделить ряд направлений в исследованиях ВЛП. Одно из них связано со статистической обработкой информации о произошедших событиях, с последующей систематизацией и обобщением собранных сведений. Такая работа выполнена для ряда стран Европы [Gaume et al., 2009], где собраны сведения о 550 событиях. Обобщение этой информации позволило установить, что наиболее часто они происходят в Средиземноморских районах, преимущественно осенью, и в речных бассейнах площадью менее 100 км² [Marchi et al., 2010]. Похожее обобщение, но с упором на социально-экономический аспект, выполнено для территории США на основе анализа 21 549 событий [Şpitalar et al., 2014]. В результате было установлено, что наиболее мощные ВЛП приходятся на теплое время года (с мая по сентябрь) и наблюдаются в бассейнах с очень малой площадью, но при этом подвергается опасности наибольшее количество людей и хозяйственных объектов. Другое, пожалуй, самое обширное направление в изучении ВЛП различной интенсивности и повторяемости посвящено исследованию причин возникновения рассматриваемых явлений. Эти работы освещают метеорологические [Groisman et al., 2005], гидрологические [Marchi et al., 2010] и геоморфологические [Costa, 1987] факторы формирования ВЛП. Исследования различных факторов формирования эрозионных событий показывают, что наибольшая трансформация рельефа происходит при сочетании разных факторов редкой повторяемости, к примеру, при сочетании сильных ливневых дождей осадков и града [Corpus, Imeson, 2002]; прошедшем землетрясении и последующих сильных дождях [Tang et al., 2011]. Еще одно направление включает в себя попытки прогнозирования на основе анализа метеорологической и гидрологической обстановки [Bouilloud et al., 2009; Carpenter et al., 2007; Creutin, Borga, 2003; Costa, Jarrett, 2008; Gaume, Borga, 2008]. Ряд работ направлен на изучение последствий рассматриваемых явлений [Borga et al., 2007], в том числе формирование стока наносов [Cohen et al., 2010]. Одной из ветвей исследований является попытка разграничить различные эрозион-

ные события (например, сели и внезапные ливневые паводки), используя разные косвенные признаки (характеристики стока наносов, формирующихся конусов выноса и т. д.) [Borga et al., 2014; Costa, 1988; Iverson, 2005]. Достаточно обширный блок работ включает в себя исследование воздействия антропогенной деятельности на формирование, развитие и последствия эрозионных событий. Помимо обобщающих работ, существуют также общедоступные ресурсы, где собрана информация о прошедших наводнениях в мире [http://floodobservatory.colorado.edu], ВЛП на территории Европы [http://www.hydrate.tesaf.unipd.it], оползням [https://maps.nccs.nasa.gov].

Несмотря на большое количество публикаций, стоит отметить, что при этом отсутствуют исследования, в которых количественно оценен долевого вклад различных природных и антропогенных факторов, а также выявлены повторяемость и интенсивность ВЛП в различных высотных поясах горных стран. Большинство обобщающих исследований выполнено для зарубежных территорий. Имеющиеся отечественные публикации в большей степени носят региональный, а чаще локальный характер, и не в полной мере учитывают влияние современных климатических изменений. Отсутствует глобальное обобщение накопленных данных по факторам формирования и проявления ЭЭС.

Материалы и методы. Основой для проведения анализа основных факторов формирования, развития и последствий ЭЭС и, в частности, ВЛП слу-

жит база данных уже прошедших событий в мире, составление которой основано на анализе обширного массива публикаций, в основном зарубежных. В частности, для ее наполнения использовались ресурсы и базы данных, перечисленные ранее, а также накопленные и проанализированные нами данные, в том числе в работе [Куксина с соавт., 2017]. С целью выявления и систематизации основных факторов, способствующих формированию ВЛП, динамике их изменений и последствиям проявления ВЛП выполнен анализ обширного массива картографических материалов, а также данных дистанционного зондирования Земли. Для достижения задачи идентификации проявления ВЛП широко использованы различные методы гидрологических исследований, что позволяет определить, приводит ли совокупный набор факторов формирования ВЛП к их реальному проявлению: 1) исследование взаимосвязи изменчивости гидрологических характеристик с метеорологическими параметрами (осадками, температурой воздуха) во внутрисуточном, суточном, внутригодовом, многолетнем масштабе; 2) выявление вклада источника питания реки в формирование ЭЭС (интенсивное таяние льда или снега, дождевые паводки) [Чинова с соавт., 2016]; 3) исследование взаимосвязи расхода и мутности воды [Куксина, 2018].

Основные характеристики ЭЭС, использовавшиеся для анализа, приведены в табл. 1.

Результаты исследований и их обсуждение.
Анализ распространения, причин возникновения

Таблица 1

Основные характеристики ВЛП

Описание события	Гидрометеорологическая информация	Морфометрические данные	Литолого-геоморфологические данные	Антропогенное воздействие
Река	Климатическая зона	Площадь бассейна, км ²	Тип рельефа	Тип землепользования
Источник информации	Годовое количество осадков, мм	Длина реки, км	Подстилающие породы	Наличие гидротехнических сооружений
Дата ВЛП	Осадки, предшествующие ВЛП	Уклон реки	Мощность и гранулометрический состав рыхлообломочного чехла	—
Местоположение (бассейн реки, регион)	Максимальная интенсивность осадков во время ВЛП, мм/ч	Уклон водосбора	Тип почв	—
Координаты	Температура воздуха, °С (средняя, минимальная, максимальная)	Средняя высота водосбора	Темпы эрозии	—
—	Продолжительность ВЛП, ч	—	Степень трансформации рельефа в результате ВЛП	—
—	Годовой сток воды, км ³	—	Описание ВЛП, включая иллюстрации степени преобразований рельефа	—
—	Средний и максимальный расход воды во время ВЛП, м ³ /с	—	—	—
—	Годовой сток наносов, т	—	—	—
—	Сток наносов за период прохождения ВЛП, т	—	—	—

и повторяемости зафиксированных ВЛП. Анализ прошедших ВЛП на территории Европы [<http://www.hydrate.tesaf.unipd.it>] и в мире ([<http://floodobservatory.colorado.edu>]) и данных, собранных из опубликованных работ, показал, что основная часть ВЛП в Северном полушарии приходится на зоны субэкваториального, тропического и субтропического поясов (рис. 1), и более часто наблюдается в горах и предгорьях с относительно более высокой антропогенной нагрузкой. Следует учитывать, что происходящие в настоящее время климатические изменения постепенно приводят к расширению границ распространения ВЛП в умеренный климатический пояс. В частности, это особенно заметно в пределах Центральной и Западной Европы.

Статистический анализ данных по наводнениям в мире за период 1985–2018 гг., исключая ВЛП, сопровождавшимся значительными переформированиями рельефа, показал, что наиболее частой причиной (~95%) их возникновения являются интенсивные дожди малой продолжительности. Основной причиной возникновения ВЛП также являются дожди (табл. 2). Эти выводы согласуются с результатами аналогичных оценок, выполненных для водосборов на территории Европы [Marchi et al., 2010].

Результаты обработки архивной информации, собранной за период 1985–2018 гг. по отдельным странам (рис. 2) и регионам (табл. 2) мира, показали, что наиболее подверженными возникновению ВЛП являются страны Юго-Восточной Азии, Австралия и США (см. рис. 2). Можно предположить, что такое отображение на карте мира может быть связано

не столько с реальной частотой возникновения ЭЭС, сколько со степенью развитости мониторинга и проявлением последствий в густонаселенных регионах.

Анализ зафиксированных ВЛП (см. рис. 1) наглядно демонстрирует обширные «белые пятна». К примеру, на территории РФ такие события известны (в Крымске, на реках Черноморского побережья Кавказа), однако они не нашли своего отражения в общемировой БД (хотя информация о наводнениях на крупных реках России в ней содержится). Еще одной причиной недоучета многих ВЛП, по-видимому, является вопрос терминологии – до сих пор часто не существует единой точки зрения среди специалистов, какое событие стоит относить к селям, какое к ВЛП и т. п.

Наибольшее количество жидких осадков в Северном полушарии выпадает в летне-осенний период, поэтому и число катастрофических ВЛП существенно возрастает в это время. Максимальное число случаев (20%) приходится на август. Всего за летне-осенний период (с июня по ноябрь) проходит порядка 80% ВЛП.

Временной анализ изменчивости частоты возникновения наводнений показал, что их максимум пришелся на 2002–2003 гг. (рис. 3), причем флуктуации относительно синхронны для общего числа наводнений и ВЛП, но максимум повторяемости последних отмечен в 2007 г. (см. рис. 3)

Анализ характеристик крупнейших (площадь воздействия более 100 км², см. рис. 2) за рассматриваемый период событий (ВЛП) позволяет выявить некоторые их особенности. Так, несмотря на относительно небольшую площадь, затрагиваемую воз-

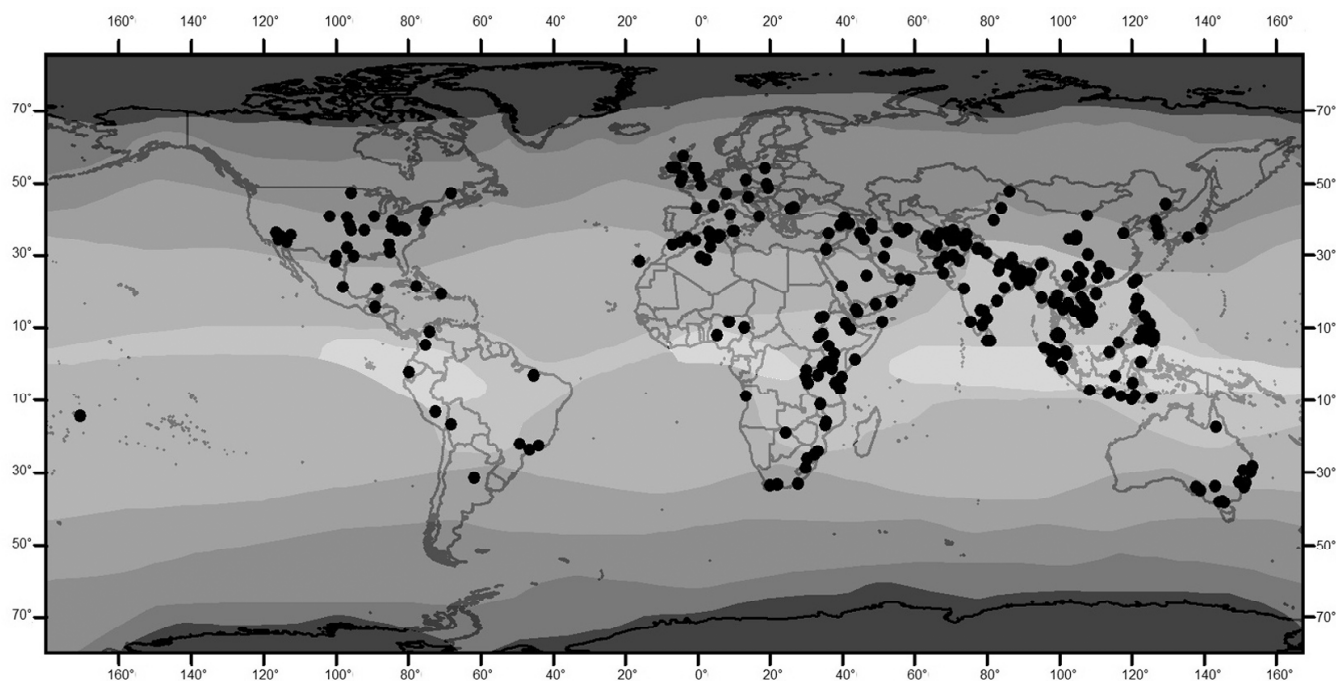


Рис. 1. Распространенность ВЛП в 1985–2018 гг. в мире в различных климатических поясах

Fig. 1. Occurrence of flash floods in various climatic zones of the world in 1985–2018

Таблица 2

ВЛП и их причины в регионах мира

Регион	Причина ВЛП					
	Дожди	%	Разрушение плотин	%	Дожди и снеготаяние	%
Австралия и Океания	18	100	—	—	—	—
Азия	202	96	4	2	5	2
Африка	54	98	1	2	0	0
Европа	22	96	1	4	0	4
Северная Америка	32	97	0	0	1	3
Центральная Америка	5	100	0	0	0	0
Южная Америка	10	100	0	0	0	0

действием ВЛП (крупнейшее из описанных событий занимает по этому признаку 4467 место из 4707 наводнений), по числу пострадавших событие находится уже на 1003 месте, а по числу погибших – на 59. Ущерб для некоторых ВЛП может достигать колоссальных величин (к примеру, 5 млрд \$ для ВЛП в Иране 12.05.01, площадь воздействия – 500 км², погибло 6 человек).

Основные факторы формирования ВЛП. Величины расходов воды и наносов, и соответственно, степень преобразования рельефа вследствие прохождения ВЛП определяются комплексом факторов – продолжительностью и интенсивностью осадков, предшествующим состоянием почвы в бассейне, характеристиками рельефа и литологии грунтов и собственно интенсивности проявления различ-

ных экзогенных процессов на водосборе. Так, крупнейший ВЛП на территории Алжира в ноябре 2001 г., унесший жизни 711 человек, произошел в результате выпадения дождей после крайне длительной засухи в регионе. На рассмотренные выше природные факторы часто накладывается антропогенное воздействие, во многих случаях способствующее росту поверхностного стока и смыва частиц почвы с площади водосбора, а также провоцирующее рост социально-экономического ущерба.

Анализ прошедших ВЛП позволяет схематизировать основные факторы, приводящие к формированию наиболее мощных ВЛП (рис. 4). Собранными нами информация по ВЛП на территории Евразии позволяет очертить диапазон изменения различных характеристик, их описывающих (табл. 3).

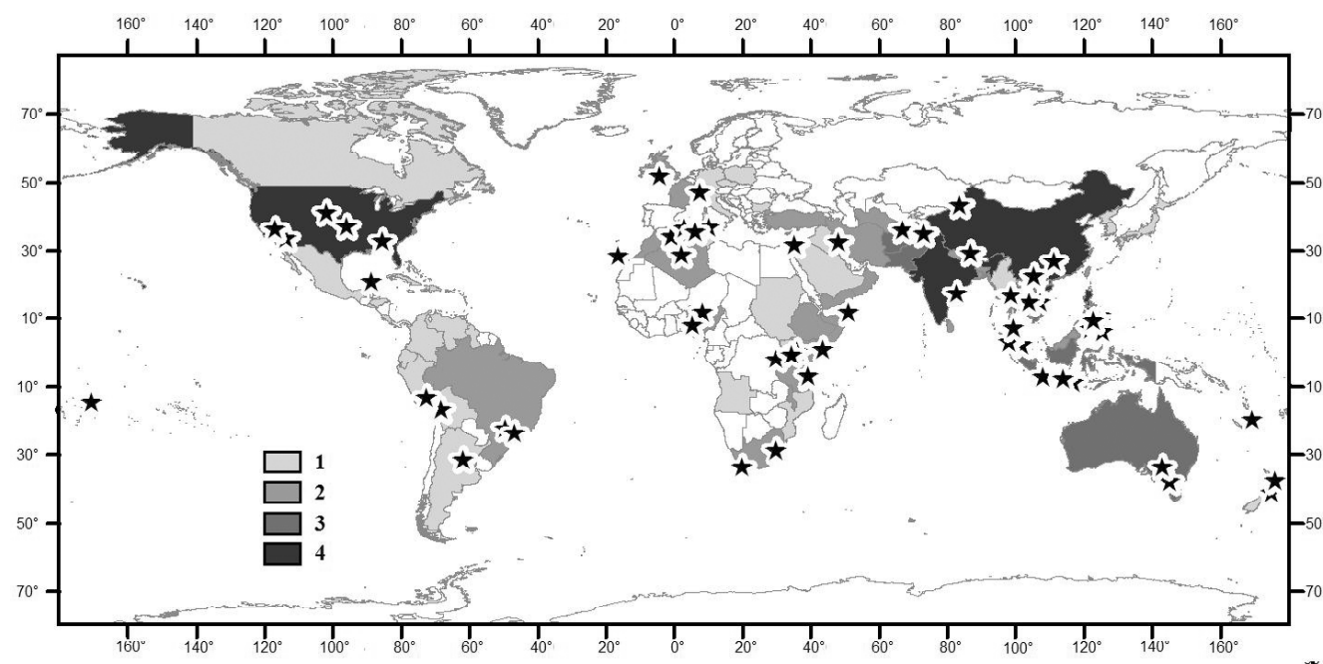


Рис. 2. Частота возникновения и наиболее крупные ВЛП в различных странах мира за период 1985–2018 гг. 1 – ≤2, 2 – 3–10, 3 – 11–20, 4 – ≥21. Звездочками показаны наиболее крупные ВЛП

Fig. 2. Frequency and the largest flash floods in various in 1985–2018 countries 1 – ≤2, 2 – 3–10, 3 – 11–20, 4 – ≥21. Stars mark the largest flash floods

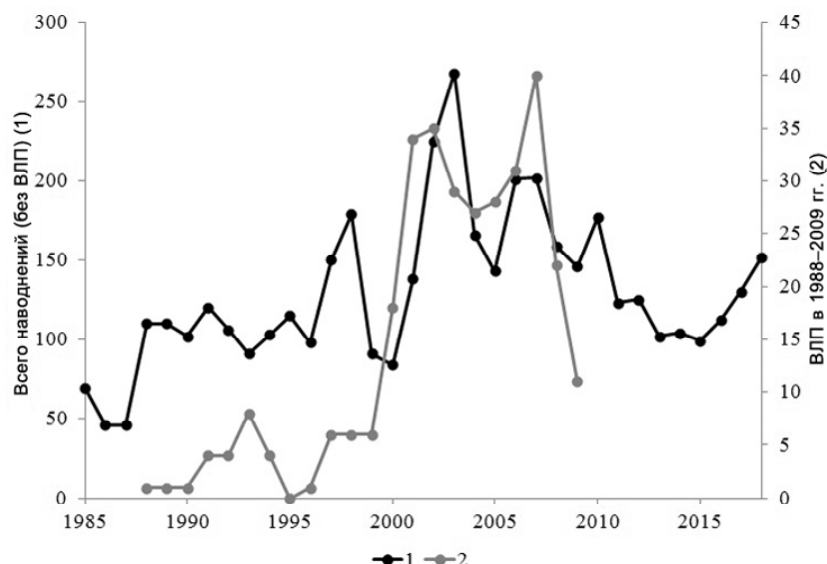


Рис. 3. Изменения повторяемости наводнений в мире за период 1985–2018.

1 – наводнения; 2 – внезапные ливневые паводки

Fig. 3. Variability of flood frequency in the world in 1985–2018. 1 – floods; 2 – flash floods

Характер подстилающей поверхности и климатические особенности наряду со степенью хозяйственной нагрузки на территорию играют основную роль в формировании ВЛП в современных условиях. Оценка и анализ динамичных (климатических, в т. ч. характеристик осадков, температуры воздуха, и антропогенных) и относительно консервативных (литологии горных пород, характеристики почвенно-растительного покрова) факторов и их комбинаций представляют собой актуальную задачу исследований.

Наиболее изученной группой факторов, способствующей возникновению ВЛП, являются гидрометеорологические, хотя проведенные исследования до сих пор не дают ответа, какая именно совокупность состояний на водосборе служит точкой начала развития ВЛП и возникновения наиболее катастрофических последствий. Полученные закономерности носят региональный характер и нуждаются в более тщательном изучении. Важную роль при этом играют характеристики почвенного покрова (мощность почвы и механический состав), определяющие их влагоемкость и, в конечном счете, скорости формирования поверхностного стока.

Ко второй группе относятся морфометрические параметры речных бассейнов, в которых возникают ВЛП, что позволит лучше прогнозировать вероятность возникновения ВЛП на тех или иных территориях. Как показал проведенный анализ собранной базы данных, как правило, ВЛП приурочены к бассейнам малых рек (значительно реже – средних), что связано с особенностями быстрой концентрации стока. Поскольку области зарождения ВЛП зачастую приурочены к горным районам, очень важной задачей является предварительное выявление потенциально опасных бассейнов и организация дистанционного наблюдения в них (ввиду труднодоступности). Одновременно

следует проводить превентивные защитные меры именно в верховьях, в зонах зарождения (к примеру, установка селезадерживающих сеток, решеток, способствующих значительному снижению энергии потока на стадии зарождения).

Перспективы исследований ЭЭС. В последние годы все больше возрастает актуальность исследования ЭЭС и прогноз их возникновения и возможных последствий, что связано с ростом численности населения, заселением предгорных областей, наиболее подверженных воздействию последствий ЭЭС, увеличением площадей городских территорий, характеризующихся повышенными коэффициентами стока. Увеличение рекреационной нагрузки на многие горные и предгорные территории приводит к тому, что все большее число людей оказывается в зоне риска.

Выполненный анализ собранной информации об ЭЭС на территории Евразии позволяет определить круг вопросов, требующих более детального изучения. В первую очередь, это изучение факторов формирования ЭЭС и их взаимодействия между собой, приводящих только в конкретных случаях к возникновению ЭЭС со значительными последствиями. К примеру, ливневые осадки максимальной интенсивности не всегда вызывают разрушительный ливневый паводок. Непосредственной причиной («движущим» фактором) крупных оползней, селей могут служить незначительные осадки [Archer, Fowler, 2015]. Данный пример показывает, что в каждом случае следует оценивать не влияние отдельных факторов, а их сочетание, которое способствовало формированию ЭЭС. Именно поэтому, на данный момент отсутствуют достаточно надежные прогнозные модели формирования ЭЭС. Даже такой, казалось бы, надежный параметр как слой выпавших осадков не может являться однозначно верным для такого рода прогноза. Например, согласно данным

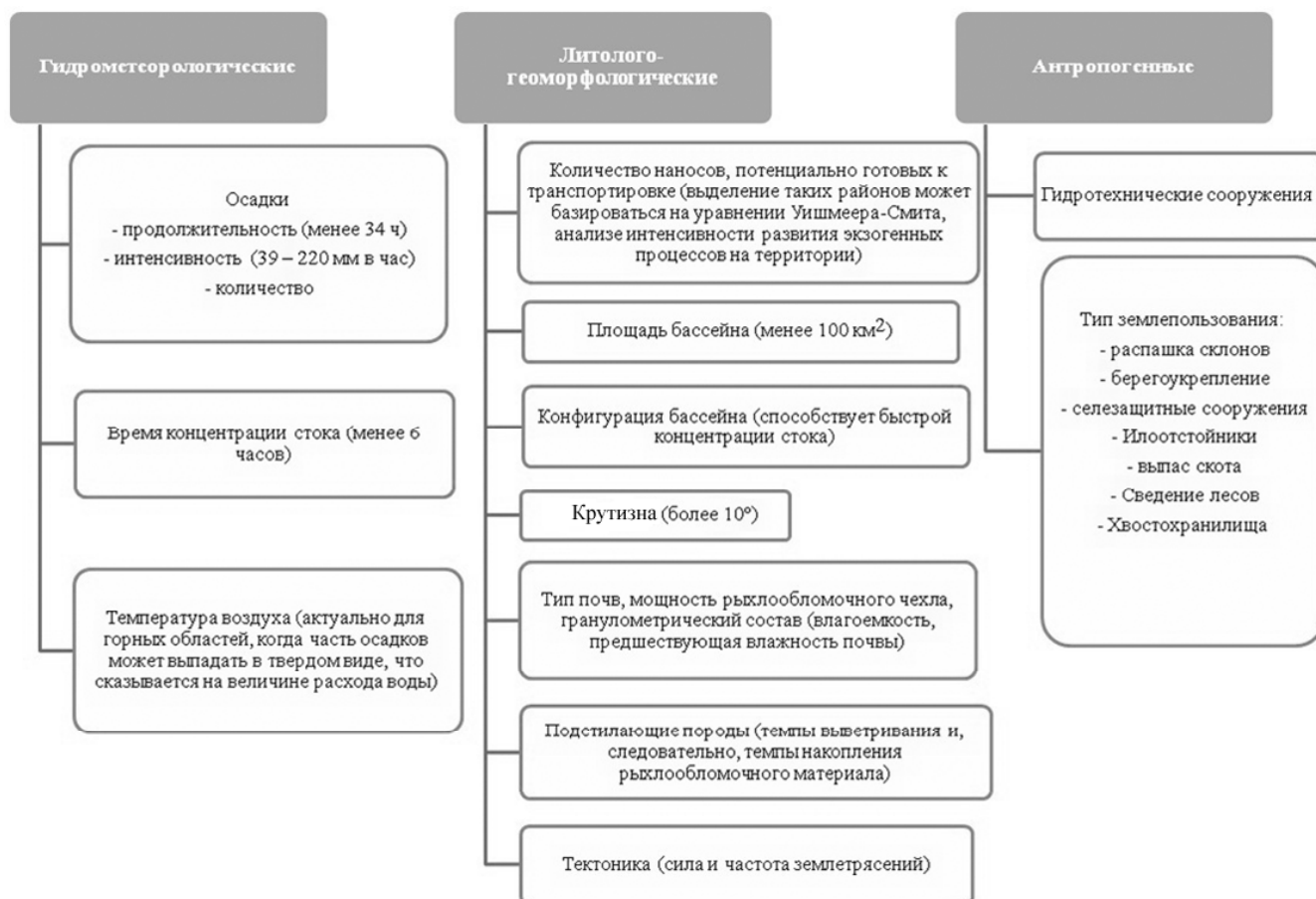


Рис. 4. Основные факторы формирования наиболее мощных ЭЭС

Fig. 4. Main factors of the largest EEEs formation

наблюдений на р. Цанык (приток р. Мацесты) на Черноморском побережье Кавказа максимальный подъем уровня воды за период 2014–2018 гг. был вызван дождями со слоем 50–70 мм, при том, что в этот же период выпало несколько ливней слоем более 100 мм. Объяснение подобной ситуации связано с двумя другими параметрами, которые при существующей сети наблюдений чаще всего недоступны, а именно, пространственный охват площади конкретного водосбора дождем с зафиксированным в единичной точке слоем и фактическая интенсивность дождя с ее изменениями по площади. Поэтому в отношении климатических характеристик правильнее оперировать пороговыми величинами, оценивая их на основе достаточно представительных рядов наблюдений.

При изучении ЭЭС большое значение имеют исследование трансформаций рельефа после прохождения ЭЭС [Hooke, 2016], наблюдение за метеорологическими показателями, применение различных моделей формирования стока, селей [Bouilloud et al., 2009; Carpenter et al., 2007; Costa, Jarrett, 2008; Creutin, Borga, 2003; Gaume, Borga, 2008].

Поскольку, как правило, именно осадки являются причиной возникновения ЭЭС, их прогнозирование, наряду с описанием текущего состояния потен-

циально опасного бассейна, является одной из ключевых задач прогнозирования ЭЭС. К сожалению, текущий прогноз осадков крайне осложнен их значительной пространственно-временной изменчивостью, особенно в горных областях. Решение данной проблемы может быть связано с применением радарных установок, обеспечивающих необходимое пространственное разрешение данных в режиме реального времени [Borga et al., 2014].

Для применения ландшафтных обобщений, позволяющих выявить территории, в наибольшей степени подверженные ЭЭС, ключевое значение имеет распределение физико-географических факторов, влияющих на формирование ЭЭС через сезонность выпадения осадков и испарения, влияющих на предшествующее состояние почвенного покрова в бассейне. Воздействие физико-географических условий проявляется в тесном взаимодействии с характеристиками рельефа, способствующими формированию осадков и концентрации стока на конкретной территории, где основную роль играют уклоны и длина склонов, а также их зависимость от площади бассейна.

Для определения времени между началом ЭЭС и его проявлением в расположенных ниже зоны зарождения областях ключевым моментом является оценка двух параметров – расстояния геометричес-

Таблица 3

Основные характеристики ЭЭС на территории Евразии

Характеристика	Диапазон
Модуль стока воды, M_Q	866 to 73 000 л/(сек·км ²) (ЭЭС, сформированные осадками) или >40 000·10 ⁴ л/(сек·км ²) (прорыв ледникового озера)
Площадь бассейна, F_Q	0,3–3700 км ² (?)
Максимальная интенсивность осадков, $I_{x\ max}$	39–220 мм/час
Модуль стока взвешенных наносов, M_R	2040–100 000 т/(сут·км ²)
Продолжительность ЭЭС, τ	>1 ч (прорыв ледникового озера) – 2,5 ч (ВЛП) – 109 ч (тайфун)
Высота, H_S	300 м (Израиль) – >6500 м (Непал)
Процессы, дополнительно стимулирующие ЭЭС	Индивидуальны для каждого события

кого центра формирования стока до замыкающего створа бассейна и скорости потока, зависящей от гидравлических условий, определяемых уклоном русла, морфометрией и шероховатостью.

Еще меньше изучен сток наносов в случае прохождения ЭЭС [Cohen et al., 2010]. Основная часть проведенных исследований показала, что сток наносов существенно возрастает при прохождении внезапных ливневых паводков (наблюдается максимальная за период наблюдений мутность), но каких-то более масштабных оценок выноса материала нет, при этом происходят значительные переформирования речных русел.

Совершенно иная картина наблюдается при формировании оползней и селей, когда происходит практически одномоментный вынос больших объемов материала, который приводит к образованию обширных конусов выноса или плотин природного происхождения (например, оползень на р. Бурее, перегородивший одноименное водохранилище в декабре 2018 г.). Одной из наиболее актуальных задач исследования ЭЭС является изучение не только факторов их формирования, но, в первую очередь, совокупности факторов и предшествующего состояния водосбора в области зарождения ЭЭС, способствующей возникновению наиболее разрушительных и экстремальных последствий их проявления. По-прежнему актуальным является разработка четкого определения ВЛП и разграничения этого явления с другими ЭЭС (например, с селями). Анализ подготовленных ранее баз данных [<http://www.hydrate.tesaf.unipd.it>, <http://floodobservatory.colorado.edu>], а также ряда опубликованных работ [Hooke, Mant, 2000; Llasat et al., 2010] выявил, что многие события не попадают в обобщающие базы данных (например, внезапные паводки в Испании 30.09.1997, 2.08.2005 и др.), не идентифицируются как наводнения и ВЛП (в [<http://floodobservatory.colorado.edu>]

полностью отсутствуют сведения о ВЛП в Румынии (124 события за период 1985–2007 гг.), Словении (52 события в 1995–2004 гг.), Испании. Некоторые события отмечены как наводнения, однако не характеризуются как ВЛП, хотя по характеру проявления относятся к ним. В связи с этим существует необходимость определения четкого набора факторов и их количественных характеристик, соответствующих каждому типу экстремальных эрозионных событий.

Наконец, принципиальное значение имеет оценка пороговой величины антропогенной нагрузки, выше которой вероятность формирования ЭЭС и особенно ВЛП возрастает достаточно резко. Следует отметить, что и сейчас большая часть зафиксированных ВЛП произошла в регионах с высокой степенью освоенности водосборных бассейнов. Именно с этим связан и большой экономический урон, который они наносят.

Выводы:

– рост слоя и повторяемости осадков высокой интенсивности, наблюдающийся примерно с середины 1970-х годов, ведет к росту повторяемости ЭЭС с наиболее неблагоприятными социально-экономическими последствиями, расширяется также зона их проявления в те области, где ранее подобные явления были крайне редкими;

– выполненный анализ прошедших внезапных ливневых паводков (ВЛП), являющихся одними из наиболее катастрофических и массовых проявлений ЭЭС, позволил выделить основные группы факторов, влияющих на их формирование: гидролого-метеорологические, морфометрические, литолого-геоморфологические и антропогенные. Установлено, что «движущим» фактором для начала ВЛП, как правило, выступают осадки высокой интенсивности. Однако зачастую возникновение ВЛП и, главное, наиболее катастрофические последствия, возникают при сово-

купном сочетании различных факторов, характеризующих предшествующее состояние бассейна, достигшего некой «критической» точки и характеризующегося достаточным количеством накопленного на склонах материала, способного вовлекаться в движение. В таком случае спровоцировать начало ВЛП могут и осадки, не достигающие максимальных значений (слой и интенсивность) для данной территории. Антропогенные факторы редко выступают причиной, инициирующей возникновение ЭЭС, но часто способствуют усилению их мощности, тем самым способствуя увеличению негатив-

ных последствий ЭЭС и значительному социально-экономическому ущербу;

– ключевой задачей в исследовании ЭЭС является изучение совокупности факторов, характерных для данной территории, которые в наибольшей степени провоцируют формирование события и способствуют наиболее катастрофическим последствиям их проявления. Реализация данной задачи возможна при организации стационарного мониторинга на репрезентативных малых речных бассейнах в различных орографических и климатических зонах.

Благодарности. Исследование выполнено за счет средств гранта РФФИ № 16-05-00815.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аванесян Р.А. Пространственно-временные особенности формирования стока горных рек Алтая в условиях изменения природной среды // Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. геогр. наук. М.: Изд-во МГУ, 2013. 22 с.
- Атаев З.В., Братков В.В. Реакция ландшафтов Северного Кавказа на современные климатические изменения // Юг России: экология, развитие. 2014. Т. 30. № 1(30). С. 141–157.
- Беркович К.М., Голосов В.Н., Зорина Е.Ф., Коротаев В.Н., Литвин Л.Ф., Чалов В.Н. Эрозионно-руслотные системы: структура и эволюция в условиях естественных и антропогенных изменений // Вестн. Моск. ун-та. Серия 5. География. 2005. № 2. С. 61–67.
- Виноградова Н.Н., Крыленко И.В., Сурков В.В. Некоторые закономерности руслоформирующей деятельности горной реки в ее верховьях (на примере р. Баксан) // Геоморфология. 2007. № 2. С. 49–57.
- Джаошвили Ш. Реки Черного моря. Европейское агентство по охране окружающей среды. 2000. 58 с.
- Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. Санкт-Петербург, 2017. 106 с.
- Ермолаев О.П., Шарифуллин А.Г., Голосов В.Н., Сафаров Х.Н. Современные экзогенные процессы в горных ландшафтах умеренного пояса Северной Евразии и оценка их долевого вклада в сток наносов рек по материалам космических съемок // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2015. Т. 157. Кн. 2. С. 81–94.
- Истомина М.Н., Добровольский С.Г. База данных по наводнениям мира (с детализацией по России) // ИВП РАН, Федеральная служба по интеллектуальной собственности, 2015. Свидетельство о государственной регистрации № 2015620292.
- Клюкин А.А. Экстремальные проявления неблагоприятных и опасных экзогенных процессов в XX веке в Крыму // Геополитика и экодинамика регионов. 2005. С. 27–38.
- Кукулина Л.В. Сезонная изменчивость расхода и мутности воды на реках Камчатского края // Вестн. Моск. ун-та. Серия 5: География. 2018. № 4. С. 57–67.
- Кукулина 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.
- Магрицкий Д.В. База данных по «Опасным гидрологическим явлениям на морских побережьях Европейской России» // МГУ, Федеральная служба по интеллектуальной собственности, 2015. Свидетельство о государственной регистрации № 2015620918.
- Магрицкий Д.В. Опасные гидрологические явления и процессы в устьях рек: вопросы терминологии и классификации // Наука. Техника. Технология (политехнический вестник). 2016. № 2. С. 35–61.
- Магрицкий Д.В., Юмина Н.М., Ретеюм К.Ф. База данных «Наводнения на Северном Кавказе» // МГУ, Федеральная служба по интеллектуальной собственности, 2013. Свидетельство о государственной регистрации № 2013621138.
- Максимова Н.Б., Гончаров С.П., Морковкин Г.Г., Семикина С.С. Исследование гидрологического режима рек Алтайского края в условиях меняющегося климата // Вестник АГАУ. 2017. №6(152). С. 73–80.
- Нестеренко В.П. Закономерности формирования климатических изменений и их прогноз на территории Крыма // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. 2016. № 18(239). С. 115–122.
- Рудой А.Н. Гигантская рябь течения (история исследований, диагностика, палеогеографическое значение). Томск: Изд-во Томск. пед. ун-та, 2005. 224 с.
- Хмаладзе Г.Н. Выносы наносов реками Черноморского побережья Кавказа. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 168 с.
- Хмелева Н.В., Виноградова Н.Н., Самойлова А.А., Шевченко Б.Ф. Возможности использования метода временных стационаров в целях получения параметров неблагоприятных опасных явлений // Параметризация неблагоприятных опасных явлений. 1996. С. 27–34.
- Хмелева Н.В., Виноградова Н.Н., Самойлова А.А., Шевченко Б.Ф. Условия формирования стока наносов горных рек и динамика их русловых форм (итоги стационарных исследований) // Земельные и водные ресурсы: противоэрозионная защита и регулирование русел. 1990. С. 40–47.
- Чижова Ю.Н., Рец Е.П., Васильчук Ю.К., Токарев И.В., Буданцева Н.А., Киреева М.Б. Два подхода к расчету расчленения гидрографа стока ледниковой реки с помощью изотопных методов // Лед и снег. 2016. № 2. С. 161–168.
- Archer D., Fowler H. Characterising flash flood response to intense rainfall and impacts using historical information and gauged data in Britain // Journal of Flood Risk Management. DOI: 2015. 10.1111/jfr3.12187.
- Borga M., Boscolo P., Zanoni F., Sangati M. Hydrometeorological analysis of the August 29, 2003 flash flood in the eastern Italian Alps // Journal of Hydrometeorology. 2007. № 8(5). P. 1049–1067.
- Borga M., Stoffel M., Marchi L., Marra F., Jakob M. Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: flash floods and debris flows // Journal of Hydrology. 2014. № 518B. P. 194–205.
- Bouilloud L., Delrieu G., Boudevillain B., Kirstetter P.E. Radar rainfall estimation in the context of post-event analysis of flash floods // Journal of Hydrology. 2009. № 394(1–2). P. 17–27.
- Carpenter T.M., Taylor S.V., Georgakakos K.P., Wang J., Shamir E., Sperflage J.A. Surveying flash flood response in

mountain streams. *Eos Trans. AGU*, 2007. № 88(6). doi: 10.1029/2007EO060001.

Cohen H., Laronne J.B., Reid I. Simplicity and complexity of bed load response during flash floods in a gravel bed ephemeral river: A 10 year field study // *Water Resources Research*. 2010. № 46. W11542. doi:10.1029/2010WR009160.

Coppus R., Imeson A. Extreme Events Controlling Erosion and Sediment Transport in a Semi-Arid Sub-Andean Valley // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2002. № 27. P. 1365–1375.

Costa J.E. Hydraulics and basin morphometry of the largest flash floods in the conterminous United States // *Journal of Hydrology*. 1987. № 93. P. 313–338.

Costa J.E. Rheologic, geomorphic and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows and debris flows. // *Flood Geomorphology*, 7 / Baker V.R., Kochel R.C., Patton P.C. (Eds.). John Wiley & Sons, Chichester, England, 1988. P. 113–122.

Costa J.E., Jarrett R.D. An evaluation of selected extraordinary floods in the United States reported by the US geological survey and implications for future Advancement of Flood Science. US Geological Survey, Scientific Investigations Report, 2008. № 5164. 52 p.

Creutin J.D., Borga M. Radar hydrology modifies the monitoring of flash flood hazard // *Hydrological Processes*. 2003. № 17(7). P. 1453–1456.

Gaume E., Bain V., Bernardara P., Newinger O., Barbuc M., Bateman A., Blaškovičová L., Blochl G., Borga M., Dumitrescu A., Daliakopoulos I., Garcia J., Irimescu A., Kohnova S., Koutroulis A., Marchi L., Matreata S., Medina V., Preciso E., Sempere-Torres D., Stancalie G., Szolgay J., Tsanis I., Velasco D., Viglione A. A compilation of data on European flash floods // *Journal of Hydrology*. 2009. № 367(1–2). P. 70–78.

Gaume E., Borga M. Post-flood field investigations in upland catchments after major flash floods: proposal of a methodology and illustrations // *Journal of Flood Risk Management*. 2008. № 1(4). P. 175–189.

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 // *Journ. of Climate*. 2005. № 18(9). P. 1326–1350.

Hooke J. Geomorphological impacts of an extreme flood in SE Spain // *Geomorphology*. 2016. № 263. 10.1016/j.geomorph.2016.03.021.

Hooke J.M., Mant J.M. Geomorphological impacts of a flood event on ephemeral channels in SE Spain // *Geomorphology*. 2000. № 34(3–4). P. 163–180.

Iverson R.M. Debris-flow mechanics // In *Debris Flow Hazards and Related Phenomena*. Springer-Praxis, Heidelberg, 2005. P. 105–134.

Llasat M. C., Llasat-Botija M., Prat M. A., Porcu F., Price C., Mugnai A., Lagouvardos K., Kotroni V., Katsanos D., Michaelides S., Yair Y., Savvidou K., Nicolaides K. High-impact floods and flash floods in Mediterranean countries: the FLASH preliminary database // *Advances in Geosciences*. 2010. DOI: 10.5194/adgeo-23-47-2010.

Marchi L., Borga M., Preciso E., Gaume E. Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management // *Journal of Hydrology*. 2010. № 394(1–2). P. 118–133.

Mueller E.N., Pfister A. Increasing occurrence of high-intensity rainstorm events relevant for the generation of soil erosion in a temperate lowland region in Central Europe // *Journal of Hydrology*. 2011. № 411(3–4). P. 266–277.

Špitalar M., Gourley J., Lutoff C., Kirstetter P., Brilly M., Carr N. Analysis of flash flood parameters and human impacts in the US from 2006 to 2012 // *Journal of Hydrology*. 2014. № 519. P. 863–870.

Tang C., Zhu J., Qi X. Landslide Hazard Assessment of the 2008 Wenchuan Earthquake: a case study in Beichuan Area // *Canadian Geotech. J.* 2011. № 48. P. 128–145.

Электронные ресурсы:

Сведения о неблагоприятных условиях погоды и опасных гидрометеорологических явлениях, нанесших социальные и экономические потери на территории России [Электронный ресурс] URL: <http://meteo.ru/data/310-neblagopriyatnye-usloviya-pogody-nanjosshe-ekonomicheskie-poteri#> (дата обращения 01.03.2019)

Hydrate project [Электронный ресурс] URL: <http://www.hydrate.tesaf.unipd.it> (дата обращения 02.03.2019)

NASA landslide viewer [Электронный ресурс] URL: <https://maps.nccs.nasa.gov> (дата обращения 02.03.2019)

The Flood observatory [Электронный ресурс] URL: <http://floodobservatory.colorado.edu> (дата обращения 02.03.2019)

Поступила в редакцию 04.03.2019

После доработки 16.04.2019

Принята к публикации 12.09.2019

L.V. Kuksina¹, V.N. Golosov²,

E.V. Promakhova³

THE ORIGIN AND GEOGRAPHY OF FLASH FLOODS

Information about extreme erosion events (EEEs) in the World is collected and integrated. The main regularities of spatial and temporal variability of factors of their formation and development are evaluated, as well as their consequences under various combinations of natural and anthropogenic factors. The main natural factors of flash floods formation and spatio-temporal variability, such as intensity and amount of precipitation, relief and soil-vegetation cover characteristics, hydrological regime of rivers etc., are studied. The anthropogenic impacts promoting the EEEs formation, i.e. road construction, artificial channel processes,

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Makkaveev Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes, Junior Scientific Researcher, PhD in Geography; e-mail: ludmilakuksina@gmail.com

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Makkaveev Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes; Institute of Geography RAS, Laboratory of Geomorphology, Dr. Sc. in Geography, Leading Scientific Researcher; e-mail: golosov@gmail.com

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Makkaveev Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes, Junior Scientific Researcher, PhD in Geography; e-mail: promakhova@gmail.com

mine works etc., are examined. It was found that the dominant cause of EEEs is rains of high intensity, which increase in frequency and amount during recent decades due to climate change. Anthropogenic activities in river basins usually promote the intensification of EEEs but are rarely the factor of their origin. The most severe extreme events usually occur in small river basins (with the area below 1000 km²), located in mountains and foothills.

Key words: extreme erosion event (EEE), flash flood, climate, precipitation, relief, database

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project № 16-05-00815).

REFERENCES

- Archer D., Fowler H. Characterising flash flood response to intense rainfall and impacts using historical information and gauged data in Britain // *Journal of Flood Risk Management*. 2015. DOI: 10.1111/jfr3.12187.
- Atayev Z.V., Bratkov V.V. Reaktsiya landshaftov Severnogo Kavkaza na sovremennyye klimaticheskiye izmeneniya [The reaction of the landscapes of the North Caucasus to recent climate changes] // *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye*. 2014. T. 30. № 1(30). P. 141–157. (In Russian)
- Avanesyan R.A. Prostranstvenno-vremennyye osobennosti formirovaniya stoka gornyykh rek Altaya v usloviyakh izmeneniya prirodnoy sredy [Spatio-temporal features of the formation of the Altai mountain rivers runoff under the changing environment] // *Avtoref. dis. na soiskaniye uchenoy stepeni kand. geogr. nauk. M.: Izd-vo MGU*, 2013. 22 p.
- Berkovich K.M., Golosov V.N., Zorina Ye.F., Korotayev V.N., Litvin L.F., Chalov V.N. Eroziionno-ruslovyye sistemy: struktura i evolyutsiya v usloviyakh yestestvennykh i antropogennykh izmeneniy [Erosion-channel systems: structure and evolution under natural and anthropogenic changes] // *Vest. Mosk. Un-ta. Ser. 5. Geografiya*. 2005. № 2. P. 61–67. (In Russian)
- Borga M., Boscolo P., Zanon F., Sangati M. Hydrometeorological analysis of the August 29, 2003 flash flood in the eastern Italian Alps // *Journal of Hydrometeorology*. 2007. № 8(5). P. 1049–1067.
- Borga M., Stoffel M., Marchi L., Marra F., Jakob M. Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: flash floods and debris flows // *Journal of Hydrology*. 2014. № 518B. P. 194–205.
- Bouilloud L., Delrieu G., Boudevillain B., Kirstetter P.E. Radar rainfall estimation in the context of post-event analysis of flash floods // *Journal of Hydrology*. 2009. № 394(1–2). P. 17–27.
- Carpenter T.M., Taylor S.V., Georgakakos K.P., Wang J., Shamir E., Sperflage J.A. Surveying flash flood response in mountain streams. *Eos Trans. AGU*, 2007. № 88(6). DOI: 10.1029/2007EO060001.
- Chizhova YU.N., Rets Ye.P., Vasil'chuk YU.K., Tokarev I.V., Budantseva N.A., Kireyeva M.B. Dva podkhoda k raschetu raschleneniya gidrografa stoka lednikovoy reki s pomoshch'yu izotopnykh metodov [Two approaches to the calculation of the separation of runoff hydrograph for a glacial river using the isotope methods] // *Led i sneg*. 2016. № 2. P. 161–168. (In Russian)
- Cohen H., Laronne J.B., Reid I. Simplicity and complexity of bed load response during flash floods in a gravel bed ephemeral river: A 10 year field study // *Water Resources Research*, 2010. № 46, W11542. DOI:10.1029/2010WR009160.
- Coppus R., Imeson A. Extreme Events Controlling Erosion and Sediment Transport in a Semi-Arid Sub-Andean Valley // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2002. № 27. P. 1365–1375.
- Costa J.E. Hydraulics and basin morphometry of the largest flash floods in the conterminous United States // *Journal of Hydrology*. 1987. № 93. P. 313–338.
- Costa J.E. Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows, and debris flows. In: Baker V.R., Kochel R.C., Patton P.C. (Eds.) *Flood Geomorphology*, 7. John Wiley & Sons, Chichester, England, 1988. P. 113–122.
- Costa J.E., Jarrett R.D. An evaluation of selected extraordinary floods in the United States reported by the US geological survey and implications for future Advancement of Flood Science. US Geological Survey. Scientific Investigations Report. 2008. № 5164. 52 p.
- Creutin J.D., Borga M. Radar hydrology modifies the monitoring of flash flood hazard // *Hydrological Processes*, 2003. № 17(7). P. 1453–1456.
- Doklad o klimaticheskikh riskakh na territorii Rossiyskoy Federatsii [Report on climate risks within the territory of the Russian Federation]. Sankt-Peterburg, 2017. 106 p. (In Russian)
- Dzhaoshvili S.H. Reki Chernogo morya [Rivers of the Black Sea basin]. Yevropeyskoye agentstvo po okhrane okruzhayushchey sredy, 2000. 58 p. (In Russian)
- Gaume E., Bain V., Bernardara P., Newinger O., Barbuc M., Bateman A., Blaškovičova L., Blöschl G., Borga M., Dumitrescu A., Daliakopoulos I., Garcia J., Irimescu A., Kohnova S., Koutroulis A., Marchi L., Matreata S., Medina V., Preciso E., Sempere-Torres D., Stancalie G., Szolgay J., Tsanis I., Velasco D., Viglione A. A compilation of data on European flash floods // *Journal of Hydrology*. 2009. № 367(1–2). P. 70–78.
- Gaume E., Borga M. Post-flood field investigations in upland catchments after major flash floods: proposal of a methodology and illustrations // *Journal of Flood Risk Management*. 2008. № 1(4). P. 175–189.
- 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 // *Journ. of Climate*. 2005. № 18(9). P. 1326–1350.
- Hooke J. Geomorphological impacts of an extreme flood in SE Spain // *Geomorphology*. 2016. № 263. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.03.021.
- Hooke J.M., Mant J.M. Geomorphological impacts of a flood event on ephemeral channels in SE Spain // *Geomorphology*. 2000. № 34(3–4). P. 163–180.
- Istomina M.N., Dobrovol'skiy S.G. Baza dannykh po navodneniyam mira (s detalizatsiej po Rossii) [Database on floods in the world (with more details about Russia)] // IVP RAN, Federal'naja sluzhba po intellektual'noj sobstvennosti, 2015. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii № 2015620292. (In Russian)
- Iverson R.M. Debris-flow mechanics // In *Debris Flow Hazards and Related Phenomena*. Springer-Praxis, Heidelberg, 2005. P. 105–134.
- Khmaladze G.N. Vynosy nanosov rekami Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza [Removal of sediments by rivers of the Black Sea coast of the Caucasus]. L.: Gidrometeoizdat, 1978. 168 p. (In Russian)
- Khmeleva N.V., Vinogradova N.N., Samoylova A.A., Shevchenko B.F. Vozmozhnosti ispol'zovaniya metoda vremennykh statsionarov v tselyakh polucheniya parametrov neblagopriyatnykh opasnykh yavleniy [Possible application of the method of

provisional stationary observations for obtaining the parameters of adverse hazardous phenomena] // Parametrizatsiya neblagopriyatnykh opasnykh yavleniy. 1996. P. 27–34. (In Russian)

Khmeleva N.V., Vinogradova N.N., Samoylova A.A., Shevchenko B.F. Usloviya formirovaniya stoka nanosov gornyykh rek i dinamika ikh ruslovykh form (itogi statsionarnyykh issledovaniy) [The formation of sediment runoff of mountain rivers and the dynamics of their channel forms (the results of stationary studies)] // Zemel'nyye i vodnyye resursy: protivooerozionnaya zashchita i regulirovaniye rusel. 1990. P. 40–47. (In Russian)

Klyukin A.A. Ekstremal'nyye proyavleniya neblagopriyatnykh i opasnykh ekzogennykh protsessov v XX veke v Krymu [Extreme manifestations of adverse and dangerous exogenous processes in the 20th century in the Crimea] // Geopolitika i ekogeodinamika regionov. 2005. P. 27–38. (In Russian)

Kuksina L.V. Sezonnaya izmenchivost' raskhoda i mutnosti vody na rekakh Kamchatskogo kraya [Seasonal variability of water discharge and turbidity for the rivers of the Kamchatka Territory] // Vest. Mosk. Un-ta. Ser. 5. Geografiya. 2018. № 4. P. 57–67. (In Russian)

Kuksina L.V., Golosov V.N., Kuznetsova YU.S. Livnevyye pavodki v gorakh: izuchennost', rasprostraneniye, faktory formirovaniya [Storm floods in the mountains: state of knowledge, occurrence, factors of formation] // Geografiya i prirodnyye resursy. 2017. № 1. P. 25–35. (In Russian)

Llasat M. C., Llasat-Botija M., Prat M. A., Porcu F., Price C., Mugnai A., Lagouvardos K., Kotroni V., Katsanos D., Michaelides S., Yair Y., Savvidou K., Nicolaidis K. High-impact floods and flash floods in Mediterranean countries: the FLASH preliminary database // Advances in Geosciences. 2010. DOI: 10.5194/adgeo-23-47-2010.

Magrickij D.V. Baza dannykh po «Opasnym gidrologicheskim yavleniyam na morskikh poberezh'yah Evropejskoj Rossii» [Database on dangerous hydrological events on the sea coasts of the European Russia] // MGU, Federal'naya sluzhba po intellektual'noj sobstvennosti, 2015. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii № 2015620918. (In Russian)

Magrickij D.V., Jumina N.M., Retejum K.F. Baza dannykh «Navodneniya na Severnom Kavkaze» [Database on Floods in the North Caucasus] // MGU, Federal'naya sluzhba po intellektual'noj sobstvennosti, 2013. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii № 2013621138. (In Russian)

Magritskiy D.V. Opasnyye gidrologicheskiye yavleniya i protsessy v ust'yakh rek: voprosy terminologii i klassifikatsii [Hazardous hydrological phenomena and processes in river mouths: issues of terminology and classification] // Nauka. Tekhnika. Tekhnologiya (politekhnikeskiiy vestnik). 2016. № 2. P. 35–61. (In Russian)

Maksimova N.B., Goncharov S.P., Morkovkin G.G., Semikina S.S. Issledovaniye gidrologicheskogo rezhima rek Altayskogo kraya v usloviyakh menyayushchegosya klimata [Investigation of the hydrological regime of rivers of the Altai Territory under the changing climate] // Vestnik AGAU. 2017. № 6(152). P. 73–80. (In Russian)

Marchi L., Borga M., Preciso E., Gaume E. Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management // Journal of Hydrology. 2010. № 394(1–2). P. 118–133.

Mueller E.N., Pfister A. Increasing occurrence of high-intensity rainstorm events relevant for the generation of soil erosion in a temperate lowland region in Central Europe // Journ. of Hydrology. 2011. № 411(3–4). P. 266–277.

Nesterenko V.P. Zakonomernosti formirovaniya klimaticheskikh izmeneniy i ikh prognoz na territorii Kryma [Patterns of climate change formation and their forecast for the territory of the Crimea] // Nauchnyye vedomosti BelGU. Seriya: Yestestvennyye nauki. 2016. № 18(239). P. 115–122. (In Russian)

Rudoy A.N. Gigantskaya ryab' techeniya (istoriya issledovaniy, diagnostika, paleogeograficheskoye znachenie) [Gigantic ripples of the flow (history of investigation, diagnostics, paleogeographic significance)]. Tomsk: Izd-vo Tomsk. ped. un-ta, 2005. 224 p. (In Russian)

Špitalar M., Gourley J., Lutoff C., Kirstetter P., Brilly M., Carr N. Analysis of flash flood parameters and human impacts in the US from 2006 to 2012 // Journal of Hydrology. 2014. № 519. P. 863–870.

Tang C., Zhu J., Qi X. Landslide Hazard Assessment of the 2008 Wenchuan Earthquake: a case study in Beichuan Area // Canadian Geotech. J. 2011. № 48. P. 128–145.

Vinogradova N.N., Krylenko I.V., Surkov V.V. Nekotoryye zakonomernosti rusloformiruyushchey deyatel'nosti gornoy reki v yeye verkhov'yakh (na primere r. Baksan) [Some regularities of the channel-forming activity of a mountain river in its upper reaches (case study of the Baksan River)] // Geomorfologiya. 2007. № 2. P. 49–57. (In Russian)

Yermolayev O.P., Sharifullin A.G., Golosov V.N., Safarov H.N. Sovremennyye ekzogennyye protsessy v gornyykh landshaftakh umerennogo poyasa Severnoy Yevrazii i otsenka ikh dolevogo vклада v stok nanosov rek po materialam kosmicheskikh s'yemok [Recent exogenous processes in the mountainous landscapes of the temperate zone of northern Eurasia and the estimation of their contribution to the river sediment flow basing on space survey materials] // Uchen. zap. Kazan. un-ta. Ser. Yestestv. nauki. 2015. T. 157. Kn. 2. P. 81–94. (In Russian)

Web sources:

Hydrate project [Elektronnyy resurs] URL: <http://www.hydrate.tesaf.unipd.it> (access date 03/02/2019)

NASA landslide viewer [Elektronnyy resurs] URL: <https://maps.nccs.nasa.gov> (access date 03/02/2019)

Svedeniya o neblagopriyatnykh usloviyakh pogody i opasnykh gidrometeorologicheskikh yavleniyakh, nanesshih social'nye i jekonomicheskie poteri na territorii Rossii [Elektronnyy resurs] [Information about adverse weather conditions and dangerous hydrometeorological events with social and economic losses in the Russian Federation] URL: <http://meteo.ru/data/310-neblagopriyatnye-usloviya-pogody-nanjosshe-ekonomicheskie-poteri#> (access date 03/02/2019) (in Russian)

The Flood observatory [Elektronnyy resurs] URL: <http://floodobservatory.colorado.edu> (access date 03/02/2019)

Received 04.03.2019

Revised 16.04.2019

Accepted 12.09.2019