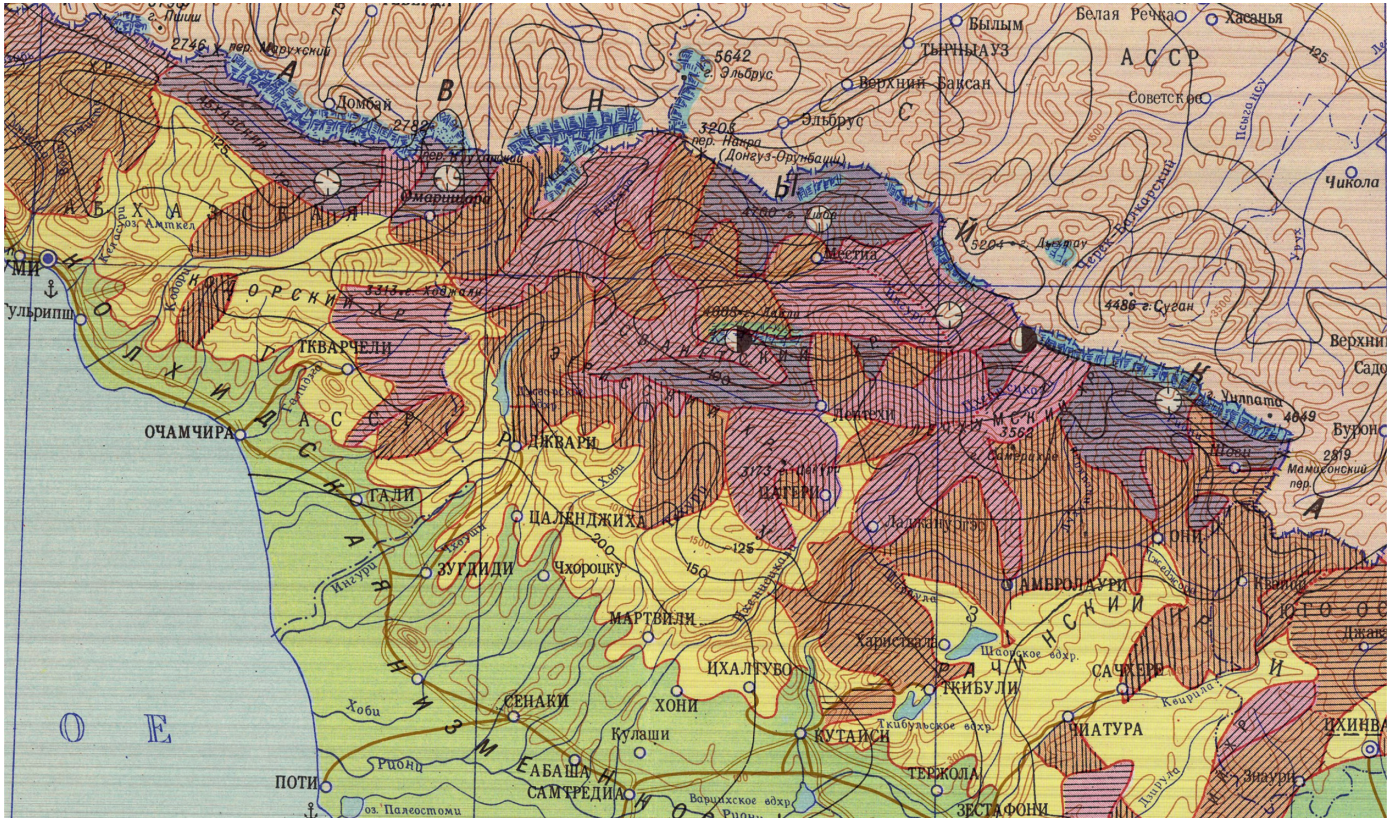


ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИВНЕВЫХ ОСАДКОВ И СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ НА КАВКАЗЕ

УДК 551.311.8



ТАЛАНОВ Е.А.*

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан, teage@mail.ru

Адрес: пр. аль-Фараби, д. 71, г. Алматы, 050040, Казахстан

ХЕРХЕУЛИДЗЕ Г.И.

Грузинский технический университет, г. Тбилиси, Грузия, georgex@rambler.ru

Адрес: ул. Мераба Костава, д. 77, г. Тбилиси, 0179, Грузия

Аннотация: изменение регионального климата и оценка степени его влияния на статистическую структуру полей суточных сумм жидких осадков вызывает научно-прикладной интерес, особенно для условий горного рельефа. Статистический анализ суточных осадков выполнен на материалах наблюдений более 900 осадкомерных пунктов, расположенных на территории Азербайджана, Армении, Грузии, Российской Федерации (Северный Кавказ). Статистические параметры функционально-нормального распределения суточных сумм жидких осадков определены по методике Ю.Б. Виноградова и приведены к репрезентативному периоду 1951–1975 гг. Ограниченное число осадкомерных пунктов (перерывы в наблюдениях) в высокогорном поясе Кавказа создает трудности при интерполяции параметров осадков с высотой местности по бассейнам рек. Эти трудности были преодолены с помощью разработанной в Казахском научно-исследовательском гидрометеорологическом институте методики: региональная эмпирическая зависимость квантиля суточных осадков ($H_p = 1\%$, мм/сут) от высоты местности была аппроксимирована функцией гамма-распределения. Аналогичный подход был применен к анализу редукции параметра ($H_p = 1\%$, мм/сут) в зависимости от удаления от береговой линии Черного моря вглубь территории. Результаты интерпретации полей осадков на Кавказе представлены в данной статье. Особое внимание уделено интерпретации распределения суточных осадков ($H_p = 1\%$, мм/сут) на склонах южной и северной экспозиций Большого (Западный, Центральный, Восточный) и Малого Кавказа. Дана оценка вероятности выпадения экстремальных величин жидких осадков ($H_p = 1\%$, мм/сут) в определенных интервалах абсолютных высот (до 4 000 м). Выявленные пространственно-временные закономерности распределения суточных сумм жидких осадков позволили объективно оценить степень селевой опасности Закавказья и Дагестана (Масштаб 1:1 000 000). Проверка на стационарность статистических параметров суточных осадков позволит оценить и при необходимости скорректировать модельные расчеты максимальных расходов паводков и селевых потоков редкой повторяемости.

Ключевые слова: статистические параметры; суточные осадки; функционально-нормальное распределение; репрезентативность; закономерности; редукция; дождь; сель

Ссылка для цитирования: Таланов Е.А., Херхеулидзе Г.И., 2018. Пространственно-временные закономерности характеристик ливневых осадков и селевых потоков на Кавказе. Геориск, Том XII, № 4, с. 96–110.

SPACE-TIME REGULARITIES OF STORM RAINFALL AND DEBRIS FLOW CHARACTERISTICS IN THE CAUCASUS

YEVGENIY TALANOV*

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, teage@mail.ru
Address: Bld. 71, al-Farabi Ave, 050040, Almaty, Kazakhstan

GEORGE I. KHERKHEULIDZE

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, georgex@rambler.ru
Address: Bld. 77, Merab Kostava St., 0179, Tbilisi, Georgia

Abstract: regional climate change and the assessment of the degree of its influence on statistical structure of liquid precipitation daily amounts represent scientific and applied interest, especially for mountain territories. Statistical analysis of daily precipitation was made based on observations of more than 900 rain gauge stations located in the territory of Azerbaijan, Armenia, Georgia, Russian Federation (Northern Caucasus). Statistical parameters of functionally normal distribution of liquid precipitation daily amounts are determined by the Vinogradov's method and given for representative period of 1951–1975. A limited number of rain gauge stations (interruptions in observations) in high-mountain belt of the Caucasus complicate the interpolating of precipitation parameters according to the terrain elevation across river basins. These difficulties were overcome by using the methodology developed in Kazakh Scientific-Research Hydrometeorological Institute: regional empirical dependence of daily precipitation quantile ($H_p = 1\%$, mm/day) versus terrain height was approximated by gamma distribution function. A similar approach was applied to the parameter reduction ($H_p = 1\%$, mm/day) analysis depending on the distance from coastline of the Black Sea. Results of precipitation field interpretation in the Caucasus are presented in this article. Particular attention is paid to the interpretation of daily precipitation distribution ($H_p = 1\%$, mm/day) on the slopes of southern and northern exposures of the Greater (Western, Central, Eastern) and Lesser Caucasus. The probability estimation of liquid precipitation extremes ($H_p = 1\%$, mm/day) in certain intervals of absolute altitudes (up to 4 000 m) was given. Identified space-time regularities of liquid precipitation daily amount distribution allowed to objectively assess the debris flow hazard degree in the Transcaucasia and Dagestan (Scale 1: 1 000 000). Check on the stationarity of daily precipitation statistical parameters will make it possible to estimate and, if necessary, correct model calculations of maximum flood and debris flow runoffs of rare frequency.

Key words: statistical parameters; daily precipitation; functionally normal distribution; representativeness; regularities; reduction; rain; debris flow

For citation: Talanov E.A., Kherkheulidze G.I., 2018. Space-time regularities of storm rainfall and debris flow characteristics in the Caucasus. Georisk, Vol. XII, No. 4, pp. 96–110.

Введение

Ранее выполненные исследования (в рамках НИР «Разработать научно-технические основы прогноза селей и защиты от них» (1980–1985 гг.)) позволили обобщить характеристики дождей за период 1951–1975 гг., включая данные 119 станций в РФ (Северный Кавказ), 335 в Грузии, 259 в Азербайджане (включая подконтрольную территорию Дагестана), 190 в Армении [20]. Были получены следующие результаты [18]:

- 1) Выявлено влияние высоты местности на количество жидких осадков различной обеспеченности ($H_{p\%}$, мм/сут) и среднего числа дней с дождем при слое осадков 1 мм и более.
- 2) На единой методической основе (обоснован переход от эмпирической функции показательного вида профиля жидких осадков по высоте местности к параметрам кривой распределения Пирсона III типа) рассчитаны параметры 23 кривых вертикального распределения $H_p = 1\%$ для типичных участков склонов Большого и Малого Кавказа.

- 3) Установлено господствующее направление влагонесущих потоков воздуха, при котором выпадает наибольшее суточное количество осадков 1% обеспеченности: при юго-западном переносе выпадают осадки $H_p = 1\% = 240$ мм на склонах Большого Кавказа, а при юго-восточном — $H_p = 1\% = 300$ мм на склонах Малого Кавказа. На южном склоне Большого Кавказа выпадает осадков ($H_p = 1\%$) в 2,0–2,5 раза больше, чем на северном.
- 4) Выявлено, что в приморских районах наиболее четко прослеживается закономерность уменьшения величины суточных сумм жидких осадков ($H_p = 1\%$, мм/сут) при увеличении расстояния до моря.
- 5) Тщательное изучение влияния рельефа местности на количество осадков позволило построить на географической основе (Масштаб 1:1 000 000) систему изолиний ($H_p = 1\%$, мм/сут) для Кавказского региона [20, 21].

В качестве основных факторов колебания климата рассматривают: среднеширотный тип атмосферной циркуляции, полюс атмосферной циркуляции и

солнечной активности. В условиях изменений климата приводятся аргументы и факты в пользу причин антропогенной природы. Средние многолетние климатические характеристики удовлетворяют далеко не всех потребителей. Необходимо знать масштабы и последовательность колебаний климата как в прошлом, так и на перспективу. На фоне описания трендовых составляющих в изменении климата важно установить, как они влияют на статистическую структуру полей ливневых осадков в горных районах. Экстремальный дождевой сток (паводок) может привести к возникновению катастрофического селя.

Ставится задача обеспечить возможность генерации суточных значений метеорологических величин в заданных точках территории. К этим величинам относятся: суточные суммы осадков, продолжительность их выпадения, средние суточные температуры и дефицит влажности воздуха. Весь комплект воспроизводимой метеорологической информации в вероятностном отношении должен быть адекватным природному. При решении задачи выявления пространственно-временной структуры системы случайных метеоро-

рологических полей необходимо оставаться в рамках нормального закона распределения (закон Гаусса) и марковского процесса¹. Дополнительные возможности дает использование гипотезы стационарности случайных процессов, однородности и изотропности случайных полей [1, 2]. От понимания гидрометеорологических процессов во многом будет зависеть разработка новых детерминированно-стохастических методов оценок и прогнозирования селей дождевого, а также гляциального происхождения.

Методологические аспекты оценки климатических показателей и их стационарность

При статистическом подходе к изучению полей суточных сумм жидких осадков на горной территории авторы исходили из следующих предпосылок:

- а) горы вызывают деформацию погодных систем синоптического масштаба, особенно фронтов, с помощью механизма динамических и термических факторов;
- б) в определенном физико-географическом районе образование осадков в теплый период года и их распределение по интенсивности связано с некоторыми наиболее типичными формами циркуляции атмосферы;
- в) топография оказывает неоднородное воздействие на пространственное распределение количества осадков;
- г) количество осадков (при суточной температуре воздуха $\theta \geq 2^\circ\text{C}$ осадки относят к жидким, а при $\theta < 2^\circ\text{C}$ — к твердым) существенно изменяется в пределах теплого периода (апрель — октябрь) как по территории (с юга на север), так и по высоте местности (от предгорья до высокогорья);
- д) суточные суммы осадков включают всю совокупность дождей без учета их классификации: моросящие, обложные и ливневые. За день с осадками принимается таковой, когда их измеренное количество $H \geq 1$ мм. Точка усечения эмпирических функций рас-

пределения $H = 1$ мм, а степень усечения принимается одинаковой и равной 0,55 [1, 2].

Сгруппированные вариационные ряды после преобразования суточных осадков $x = (H + 1)^{n(x)} \cdot \lg H$ аппроксимированы функционально-нормальным распределением. Одновременно были рассчитаны его параметры — математическое ожидание $M(x)$, среднее квадратическое отклонение $S(x)$, параметр асимметричности распределения суточных осадков $n(x)$, квантили $H_{p\%}$, мм/сут (табл. 1).

На рис. 1 показаны нормально распределенные величины $u(p)$, функционально связанные с суточными суммами жидких осадков для некоторых метеостанций (МС), расположенных в различных климатических условиях Кавказа. Четыре из них находятся выше 2 500 м: «Бермамыт» (№ 2), «Казбеги, высокогорная» (№ 5), «Мамисонский перевал» (№ 8), «Арагац, высокогорная» (№ 17). Параметр асимметричности распределения суточных осадков $n(x)$ характеризуется значениями в интервале 0,30–0,40 (высокогорный пояс) и 0,23–0,36 (среднегорье).

На МС «Местиа» и «Казбеги» в мае — июне количество осадков превышает 200 мм/мес. (рис. 2, а, б), на МС «Арагац» (рис. 2, в) весной наибольшее количество осадков достигает 45–50 мм/мес. (летом — всего 5–10 мм). Среднее количество дней с осадками за май — сентябрь 1985–2015 гг. составляет 110,7 и 109,8 (МС «Местиа» и «Казбеги», соответственно), что на 30% выше по сравнению с данными за 1951–1975 гг. На высотах более 2 500 м количество дождливых дней увеличилось примерно на 10%.

Существует мнение, что наиболее достоверно определить интенсификацию осадков за счет орографического эффекта можно только по их сумме не менее чем за месяц. Однако известны и подтверждены научными разработками факты влияния гор на суточные суммы осадков [1, 14]. Суточное количество осадков повторяемостью 1 раз в 100 лет сопоставимо по величине со среднемесячными осадками или даже несколько их превышает (см. табл. 1, рис. 2).

На типы циркуляции (9а, 13л, 12а) ЭЦМ², обуславливающие летние цикло-

нические экстремумы и опасные природные процессы, приходится 42% (от общего числа случаев) с ливнями и 54% с грозами на Кавказе [5, 7]. Суточные максимумы осадков наиболее значительны в те годы, когда месячные и годовые суммы осадков намного превышают норму. Результаты оценки степени изменения климата Грузии показали [22]: увеличение атмосферных осадков отмечается в некоторых районах Западной Грузии (Лечхумский и Эгрисский хребты), центральной части Колхидской низменности, восточной части Аджарии, а также в центральной части Иорского плоскогорья в Восточной Грузии, где годовые суммы осадков возросли на 1–3% за 10 лет. Уменьшение годовых сумм осадков отмечается в Квемо Картли, южнее Тбилиси, и составляет 5% за 10 лет (период с 1936 по 2008 гг.). Стихийное бедствие 2015 г. в Тбилиси было вызвано интенсивными осадками (12–14 июня 2015 г. в бассейне реки Вере, когда во время дождя (продолжительностью 3–3,5 ч) выпало около 100 мм осадков (ЭЦМ 9а и в течение месяца 13л), что является примерно двухмесячной нормой (сообщение Кавказской сети неправительственных организаций по охране окружающей среды — CENN) [7, 24]. В весенне-летний период 2017 г. были зафиксированы мощные градовые и ливневые явления (3 апреля; 16, 21, 27, 28, 31 мая; 1, 10, 12, 13, 15, 20, 30 июня и 7, 16, 25 сентября) на территории Азербайджана. В отдельных местах юго-восточного склона Большого Кавказа (Гобустанский район) выпало более 80 мм осадков (1 июня 2017 г. в интервале времени с 16 по 20 ч.), что на 45 мм больше месячной нормы для данной местности [12].

Многие исследования указывают на то, что селевые паводки ливневого происхождения, как правило, наблюдались при высоком положении снеговой линии, что характеризует высотное положение нулевой изотермы над горным районом.

Закономерность распределения суточных сумм жидких осадков по высотным зонам

Распределение суточных сумм жидких осадков по высоте местности хорошо аппроксимируется выражением [14]:

¹ Вариационные ряды аппроксимируются нормальной функцией распределения с одновременной оценкой ее параметров (математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение). Марковский процесс — дискретный или непрерывный случайный процесс без вероятностного последствия, статистические свойства которого в последующие моменты времени зависят только от значений в данный момент и не зависят от его предыстории.

² Элементарные циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария по классификации Б.Л. Дзердзеевского.

Таблица 1

Table 1

Параметры функционально-нормального распределения суточных сумм осадков для осадкомерных пунктов Кавказа
Functionally-normal distribution parameters of daily total precipitation for rain gauge stations in the Caucasus

№ п/п	Название пункта (№ по справочнику)	Высота, м	Период наблюдений, гг.	\bar{m}_1 , дни	№ ³	$n(x)$	Слой осадков, мм/сут: квантиль H_p и наблюдаемый H_{max}				Параметры нормализации	
							$P = 10\%$	$P = 0,1\%$	$P = 1\%$	H_{max}	$M(x)$	$S(x)$
Россия (без Дагестана)												
1	Клухорский перевал (497)	2 037	1950–1975	84,6	—	0,28	18,1	103,0	170,8	135	-7,40	4,78
2	Бермамыт (492)	2 586	1935–1975	58,8	—	0,40	12,1	46,7	65,1	59	-7,46	4,95
3	Терскол, обсерватория	2 146	1960–1975	71,0	4	0,27	11,0	57,0	89,5	85,9	-5,63	3,52
4	Усенги (561)	1 870	1929–1975	58,1	—	0,28	10,5	51,0	76,8	70	-5,53	3,46
Грузия												
5	Казбеги, высокогорная (28)	3 653	1934–1975	26,2	—	0,27	11,4	59,9	82,0	129	-0,26	1,83
6	Крестовый перевал (57)	2 395	1950–1975	69,1	—	0,23	13,6	84,7	140,0	90	-5,83	3,62
7	Гудаури (63)	2 194	1887–1919, 1926–1975	81,1	—	0,33	15,2	70,3	109,0	100	-7,42	4,84
8	Мамисонс-кий перевал (25)	2 854	1933–1975	44,2	—	0,37	9,8	38,5	52,3	45	-6,16	3,99
9	Шови (24)	1 507	1928–1975	83,2	—	0,36	12,3	51,2	77,0	89	-6,96	4,55
10	Геби (17)	1 380	1928–1975	77,7	—	0,28	13,8	72,5	118,0	129	-6,40	4,08
11	Уцера (34)	981	1958–1975	80,0	9	0,36	13,8	58,9	89,0	85	-7,48	4,92
12	Они (42)	788	1930–1975	85,9	—	0,33	12,0	53,5	82,4	79	-6,50	4,20
13	Амбролаури, ГМС (55)	544	1935–1975	85,3	—	0,42	13,5	49,9	72,2	77	-8,25	5,53
14	Алпана (48)	366	1962–1975	86,6	10	0,34	15,2	70,0	107,6	83	-7,64	5,01
15	Цхакая, агро (109)	40	1926–1933, 1936–1975	119,6	—	0,34	20,5	100,0	163,0	223	-9,08	6,05
16	Самтредиа (123)	28	1923–1975	110,7	—	0,31	16,9	85,3	135,9	111	-7,58	4,94
Армения												
17	Арагац, высокогорная (75)	3 229	1929–1975	30,2	—	0,30	9,5	43,2	58,7	54	-5,42	3,40
18	Арагац (76)	1 960	1951–1975	59,3	17	0,32	10,2	45,2	65,9	56	-5,83	3,71
19	Апаран (60)	1 891	1935–1975	68,3	—	0,28	10,1	49,6	76,4	78	-5,46	3,41
20	Артик (57)	1 750	1934–1975	67,4	—	0,28	9,0	41,4	62,9	51	-5,07	3,14
21	Арагац, ж.д. (94)	1 254	1932–1975	50,5	—	0,22	7,2	36,8	56,1	64	-4,25	2,50
Дагестан												
22	Тлярата (64)	1 415	1934–1964, 1971–1975	55,6	—	0,29	13,0	65,7	97,2	98	-0,26	2,07
23	Рутул (79)	1 500	1944–1975	51,5	—	0,27	9,1	43,4	63,8	62	-0,17	1,53
24	Хунзах (41)	1 685	1948–1975	65,5	—	0,28	11,8	59,1	91,2	78	-0,21	1,87
Азербайджан												
25	Шеки (Нуха) (108)	639	1936–1975	69,8	—	0,23	11,8	70,3	115,4	112	-0,20	1,66
26	Куткашен (128)	781	1955–1975	81,5	—	0,27	15,1	83,7	138,1	128	-0,25	2,14
27	Куба (101)	550	1894–1904, 1931–1975	60,8	—	0,17	8,3	54,7	94,6	84	-0,14	1,16
28	Истису (206)	2294	1950–1975	67,2	—	0,27	8,3	39,4	60,6	58	-0,20	1,47
29	Лерик (250)	1115	1939–1958, 1961–1975	62,6	—	0,16	9,1	64,2	114,0	113	-0,13	1,18
30	Ленкорань, зональная (254)	37	1934–1975	85,9	—	0,19	17,7	142,3	269,0	246	-0,20	1,85
31	Астара (261)	-23	1926–1975	89,4	—	0,19	16,9	135,5	255,6	228	-0,21	1,82

Примечание: функция преобразования суточных осадков $x = (H + 1)^{n(x)} \cdot \lg H$.

³ Номер пункта-аналога для приведения статистических параметров коротких рядов к репрезентативному периоду [1].

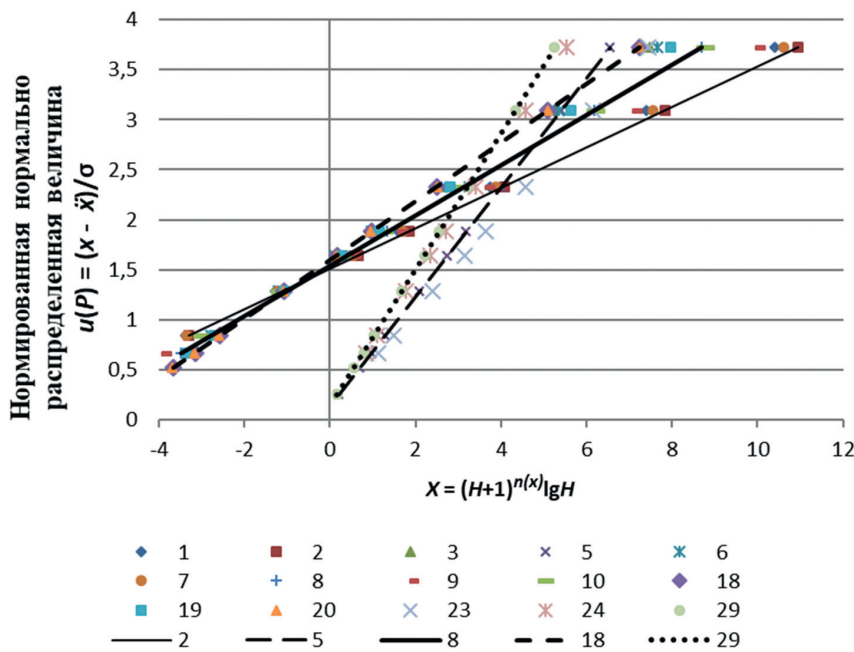


Рис. 1. Координаты функционально-нормального распределения преобразованных суточных сумм жидких осадков $x = f(H)$ для МС № 1–3, 5–10, 18–20, 23–24, 29 (номера МС приведены в табл. 1) на Кавказе. Линиями 2, 5, 8, 18, 29 показаны аппроксимирующие прямые нормального распределения по соответствующим координатам (для остальных МС аналогичные линии не проведены, чтобы исключить их наложение друг на друга)

Fig. 1. Coordinates of functionally-normal distribution of transformed daily amounts of liquid precipitation $x = f(H)$ for weather stations No. 1–3, 5–10, 18–20, 23–24, 29 (numbers of weather stations see in the table 1) in the Caucasus. Lines 2, 5, 8, 18, 29 shows the approximating straight lines of normal distribution along the corresponding coordinates (for the remaining weather stations similar lines have not been drawn to exclude the overlapping)

$$H_z = Ah^n e^{-ch}, \quad (1)$$

где H_z — количество осадков (мм) на высоте метеостанции; $h = Z/Z_0$ — отношение абсолютной высоты местности (Z) к масштабному параметру (Z_0); A, n, c — эмпирические коэффициенты.

Дано обоснование перевода уравнения (1) в функцию Пирсона III типа ($C_s = 2C_v, b = 1$):

$$\varphi(z) = \varphi(h) \frac{dh}{dz} = \frac{\alpha^\vartheta}{\Gamma(\vartheta)} z^{\vartheta-1} \exp[-\alpha z], z > 0, \quad (2)$$

где $h = \alpha Z^b$ ($b = 1$), параметры α и ν — любые положительные числа, $\Gamma(\nu)$ — гамма-функция.

Центр гамма-распределения можно определить по формуле:

$$\bar{z} = \frac{\vartheta}{\alpha}, \quad (3)$$

Гамма-распределение имеет один максимум в точке (при $\nu > 1$):

$$z^m = \frac{\vartheta-1}{\alpha}, \quad (4)$$

и при $\nu < 1$ функция убывает в интервале $0-\infty$.

Среднее квадратическое отклонение переменного значения Z определяется по формуле:

$$\delta(z) = \sqrt{\frac{\vartheta}{\alpha^2}}, \quad (5)$$

а коэффициент вариации —

$$C_v(z) = \frac{\delta(z)}{\bar{z}} = \sqrt{\frac{1}{\vartheta}}. \quad (6)$$

Величина параметра дождливости на определенной высоте (Z) склона хребта может быть рассчитана по выражению [14]:

$$H_z = H_0 \varphi(z) = H_0 \frac{\alpha^\vartheta}{\Gamma(\vartheta)} Z^{\vartheta-1} \exp(-\alpha z), \quad (7)$$

где H_0 — максимально возможное значение параметра дождливости, которое обеспечивает условие однородности поля осадков в пределах всего склона.

В этом случае предполагается неравномерное распределение значений высотных отметок местности по величине параметра дождливости, а поэтому плотность распределения их вероятностей непостоянная в заданном интервале высот. Параметры ν, α, H_0 можно

определить по данным наблюдений за осадками, используя следующие соотношения:

$$n = \vartheta - 1; \alpha = \frac{c}{Z_0}; A \left(\frac{1}{Z_0}\right)^\nu = H_0 \frac{\alpha^\vartheta}{\Gamma(\vartheta)}, \quad (8)$$

По данным осадкомерных пунктов, расположенных в бассейне р. Риони [19], определено уравнение криволинейной связи между величиной суточных сумм осадков 1% обеспеченности ($H_{1\%}$, мм/сут) и высотой местности (Z , м):

$$H_{1\%} = 1238 \cdot h^{1,23} \cdot \exp(-3,29h), \quad \text{при } Z_0 = 3\,100 \text{ м.} \quad (9)$$

На Кавказе среднее положение климатической снеговой линии не одинаково по высоте [9]: на Западном Кавказе она находится на высоте 2 900 м, в Центральной его части — 3 500 м и в Восточной — 3 800 м. Для Большого Кавказа была принята постоянная величина $c = 3,29$. Рассчитаны величины параметра α (табл. 2): 1,13 — для Западного Кавказа; 0,94 — для Центрального и 1,26 — для Восточного.

По данным осадкомерных пунктов в районе горы Арагац определены коэффициенты уравнения кривой связи между величинами $H_{1\%}$ (мм/сут) и относительной высотой местности, т.е.

$$H_{1\%} = 2\,970 \cdot h^{2,27} \cdot \exp(-4,26h), \quad \text{при } Z_0 = 4\,250 \text{ м.} \quad (10)$$

В результате обобщения величин $H_{1\%}$ было установлено, что модальные их значения приходятся на интервалы высот: 1 100–1 500 м (южный склон Большого Кавказа) и 1 300–1 800 м для склонов северной экспозиции (рис. 3).

Анализ показал, что максимум суточных сумм жидких осадков приходится на высоту 1 100 м на внешних склонах хребтов Малого Кавказа, а во внутренних его районах $Z^m = 2\,000$ м (см. табл. 2). При высоких положениях нулевой изотермы в высокогорной зоне создаются благоприятные условия для выпадения интенсивных и продолжительных осадков вследствие распространения конвекции на более мощную зону по вертикали.

Результаты оценки параметров кривых распределения высот местности по величине суточных сумм жидких осадков ($H_{1\%}$, мм/сут) представлены в табл. 2. Распределение вероятностей (%) выпадения значения $H_{1\%}$ (мм/сут) в преде-

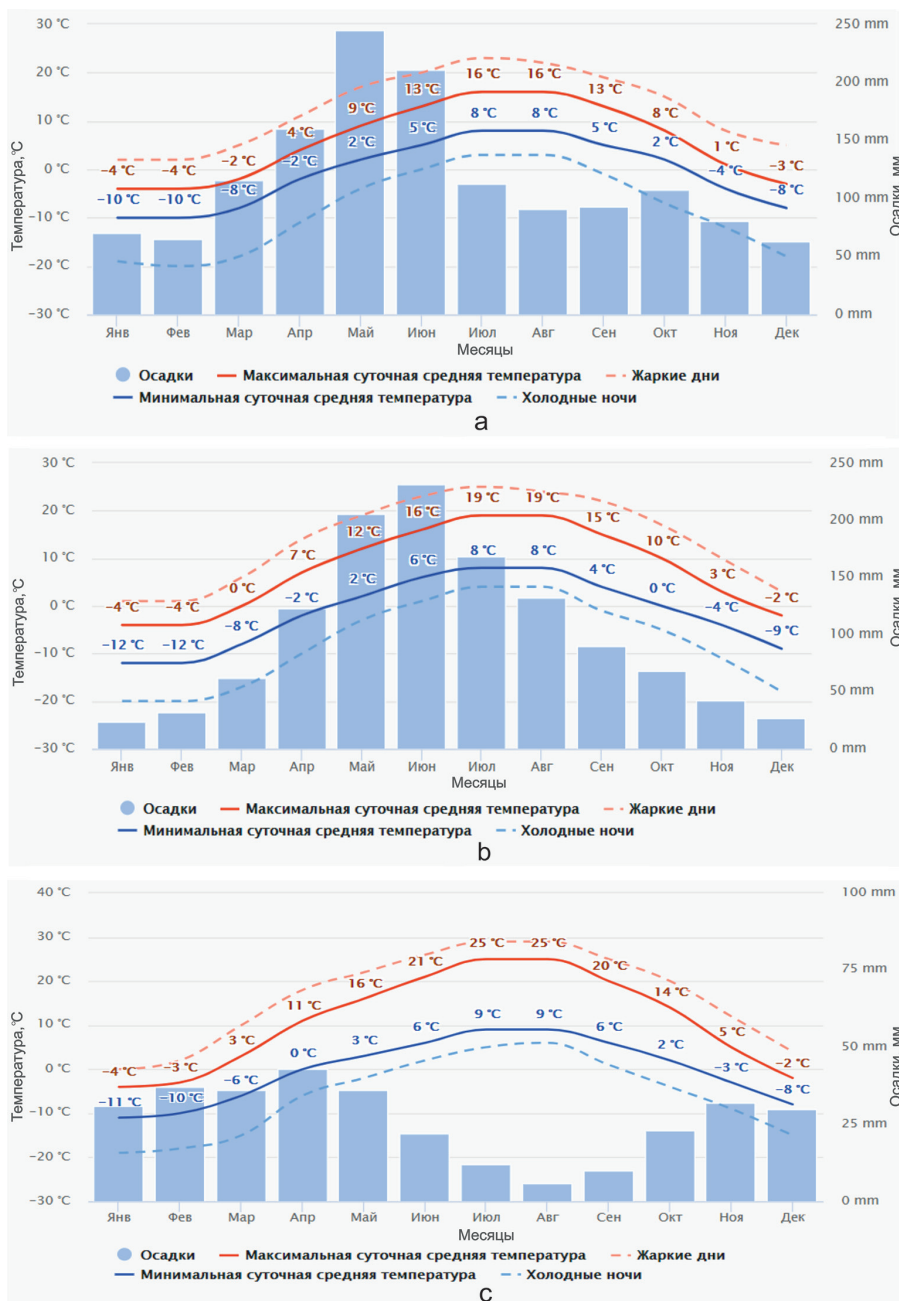


Рис. 2. Внутригодовое распределение: средней суточной максимальной температуры воздуха и ее абсолютный максимум (сплошная и пунктирная линии красного цвета, соответственно), средней суточной минимальной температуры воздуха и ее абсолютный минимум (сплошная и пунктирная линии синего цвета, соответственно) и среднемесячных осадков (голубые столбцы) за 30 лет для МС «Местия» (а), «Казбеги» (б), «Арагац» (в). <https://www.meteoblue.com/ru/погода/прогноз/modelclimate/>

Fig. 2. Intra-annual distribution of the average daily maximum air temperature and its absolute maximum (solid and dotted red lines, correspondently), average daily minimum air temperature and its absolute minimum (solid and dotted blue lines, correspondently) and monthly average precipitation (blue columns) for 30 years for weather stations “Mestia” (a), “Kazbegi” (b), “Aragats” (c). <https://www.meteoblue.com/ru/pogoda/prognoz/modelclimate/>

лы определенных высотных зон при различной высоте нулевой изотермы приведены на рис. 4 для склонов южной (а) и северной (б) экспозиции. В интервале высот 1 100–1 900 м горные склоны орошаются дождями с вероятностью 26,4–27,3% (Западный Кавказ); 21,4–23,5% (Центральный); 27,2–28,3% (Восточ-

ный). В интервале высот 1 900–2 700 м горные склоны орошаются дождями с вероятностью 18,6–20,1%; 20,0%; 18,4–21,9%, соответственно. В высокогорье (2 700–3 500 м) отмечается повсеместное уменьшение вероятности (до 10–15%) выпадения обильных осадков в жидком виде. По результатам исследо-

вания [13] формирование селей «возможно только при вторжении влагонесущей воздушной массы с нулевой изотермой выше 3 500 м (что соответствует 9°C по данным МС «Терскол»), когда осадки выпадают в жидкой фазе («теплый» ливень)».

В районе горы Арагац распределение вероятностей (%) попадания значения $H_{1\%}$ в пределы определенных высотных зон при высоте нулевой изотермы 4 250 м (см. рис. 4) достигает 20% (1 900–2 700 м) и 16% (2 700–3 500 м). Изменчивость значений $H_{1\%}$ находится в интервале 51–78 мм/сут (см. табл. 1).

На большей части горной территории Кавказа коэффициент изменчивости $C_1(z)$ находится в интервале 0,58–0,69 (см. табл. 2).

Особенности полей осадков в условиях сложного рельефа

Исследования по систематизации циркуляционных явлений, возникающих при обтекании потоком воздуха горных систем, позволили установить некоторые аспекты воздействия горных сооружений на атмосферные процессы. Во-первых, горы модифицируют синоптические системы и тем самым влияют на крупномасштабную циркуляцию атмосферы [7, 11, 17]. Во-вторых, горный рельеф стимулирует возникновение региональных и локальных условий погоды [10, 12]. В-третьих, в них формируется мозаика микроклиматических типов. Атмосферу над горами условно разбивают на три слоя по вертикали: горная свободная атмосфера, горный слой трения и слой местных циркуляций [11]. Климатология склонов различна в зависимости от ориентации склона к преобладающим ветрам [18].

Господствующим направлением влагонесущих потоков является юго-западное на Большом Кавказе и юго-восточное на Малом (рис. 5). Южные и юго-западные склоны Западного Кавказа, особенно прибрежные районы и предгорья, сильно увлажнены. Так, в верхней части бассейна р. Мзымты количество осадков $H_{1\%}$ составляет 200–250 мм/сут [20]. Столь же высокие значения $H_{1\%}$ наблюдаются на юго-западных склонах Восточного Кавказа, но на более ограниченной территории. На южных склонах Центрального Кавказа величина $H_{1\%}$ не превышает 150–170 мм/сут. На внешних склонах хребтов Малого Кавказа наибольшее значе-

Таблица 2
Table 2

Значения параметров функции (7) распределения величин суточных сумм жидких осадков, вероятностью превышения $P(H_{1\%}, \text{мм/сут})$, с учетом высоты местности ($Z, \text{км}$) на Кавказе [18] Function (7) parameters values of the daily total precipitation distribution with the probability of exceeding $P(H_{1\%}, \text{mm/day})$, taking into account the altitude (Z, km) in the Caucasus [18]								
Район, (хребет, склон)	$(H_{1\%})_0$, мм/км	ν	α	$(H_{1\%})^m$, мм/сут	Z^m , км	\bar{Z} , км	$\sigma(z)$, км	$C_r(z)$
ГЛАВНЫЙ КАВКАЗСКИЙ ХРЕБЕТ								
Западный Кавказ								
Бассейны рек:								
Белая и Лаба	413	2,47	1,13	145,4	1,30	2,18	1,23	0,64
Кубань	267	2,47	1,13	94,0	1,30	2,18	1,23	0,64
Мзымта	713	2,47	1,13	251,0	1,30	2,18	1,23	0,64
Кодори (верховье)	374	2,25	1,13	141,2	1,10	1,99	1,17	0,66
Хребты:								
Гагрский, Бзыбский, Абхазский, Кодорский	525	2,25	1,13	198,3	1,10	1,99	1,17	0,66
Центральный Кавказ								
Бассейны рек:								
Черк, Ардон, Терек, Сунджа	250	2,69	0,94	68,7	1,80	2,86	1,96	0,61
Хребты:								
Сванетский, Эгрисский, Лечхумский, Миулетский, Гудамахский	306	2,41	0,94	91,2	1,50	2,56	1,75	0,64
Крестовый перевал	594	2,41	0,94	177,0	1,50	2,56	1,75	0,64
Восточный Кавказ								
Бассейны рек:								
Андийский, Аварский, Казикумухский Койсу	262	2,89	1,26	91,7	1,50	2,29	1,07	0,59
Самур	220	2,89	1,26	77,0	1,50	2,29	1,07	0,59
Алазани (левые притоки)	596	2,39	1,26	240,0	1,10	1,89	0,97	0,65
Агричай, Геокчай, Пирсагата, Сумгаита	276	2,39	1,26	111,0	1,10	1,89	0,97	0,65
МАЛЫЙ КАВКАЗ								
Хребет Месхетский:								
северо-западный склон	404	2,10	1,00	142,8	1,10	2,10	1,45	0,69
южный склон	307	2,10	1,00	108,5	1,10	2,10	1,45	0,69
Бассейны рек:								
Аджарисцкали	307	2,10	1,00	108,5	1,10	2,10	1,45	0,69
Кваблиани, Храми, Дебед, Кура (верховье)	238	2,10	1,00	84,1	1,10	2,10	1,45	0,69
Гора Арагац	285	3,00	1,00	72,1	2,00	3,00	1,73	0,58
Хребты:								
Базумский, Памбакский, Гегамский, Варденисский	232	3,00	1,00	62,7	2,00	3,00	1,73	0,58
Муrowдаг, Карабахский	255	2,10	1,00	90,1	1,10	2,10	1,45	0,69
Баргушатский, Мегринский, Зангезурский (СВ склон)	376	2,10	1,00	132,9	1,10	2,10	1,45	0,69
Зангезурский (ЮЗ склон)	136	2,10	1,00	48,1	1,10	2,10	1,45	0,69
Талышские горы (ЮВ)	910	2,10	1,00	321,6	1,10	2,10	1,45	0,69
Бассейн р. Виляшчая	295	2,10	1,00	102,8	1,10	2,10	1,45	0,69

ние суточных сумм жидких осадков $H_{1\%}$ составляет 100 мм/сут. Лишь в западной части Малого Кавказа (бассейн р. Аджарисцкали) величина $H_{1\%}$ повышается до 150 мм/сут, а в Талышских горах — до 200 мм/сут (на юго-востоке достигает 300 мм/сут) [20]. Во внутрен-

них районах (бассейн р. Аракс) и в высокогорье величина $H_{1\%}$ близка к 40–50 мм/сут.

На территории Западной Грузии авторами установлено, что кривая редукиции суточных сумм жидких осадков ($H_{P\%}$) в зависимости от расстояния (L , км) до бе-

реговой линии Черного моря может быть аппроксимирована выражением вида:

$$H_L = H_0 \frac{\alpha^\theta}{\Gamma(\theta)} L^{\theta-1} \exp(-\alpha L), \text{ при } L > 0, \quad (11)$$

где обозначение параметров аналогично формуле (7).

В качестве однородной информации приняты статистические параметры распределения суточных сумм жидких осадков ($H_{1\%}$, мм/сут) для осадкомерных пунктов, расположенных в Колхидской низменности. При этом учитывалось их местоположение, указывающее на преобладающее влияние одного из факторов — высоты местности или удаленности от моря — на величину осадков. Максимальные значения статистических параметров наблюдаются, как правило, на побережье Черного моря. Определено уравнение криволинейной связи между величиной $H_{1\%}$ и расстоянием до моря (L , км) в направлении с запада на восток:

$$H_{1\%} = 269,0L^{-0,081} \cdot \exp(-0,0061L). \quad (12)$$

На удаленном от моря на 160 км участке восстановленный расчетным путем горизонтальный профиль величины $H_{1\%}$ удовлетворительно согласуется с данными метеостанций (рис. 6).

Построенная система изолиний величины $H_{1\%}$ на территории Кавказа [20] не противоречит фактическим данным количества осадков и основным закономерностям пространственного их распределения под влиянием рельефа местности.

Региональные особенности морфоструктуры рельефа и оценка селевой опасности

Привязка ландшафтов к особенностям рельефа (высотной поясности, барьерной и экспозиционной циркуляционной зональности гор) указывает на актуальность разработки метода интерпретации количественных данных о морфоструктуре местности с гидрометеорологическими явлениями для оценки количества осадков и склонового стока, формирующих экстремальные величины паводков, селевых потоков, оползней, овражной эрозии и других экзогенных процессов.

На геоморфологической карте Кавказа (Масштаб 1:2 500 000) выделены активные морфоструктуры с тектоническим горным рельефом (23–33), с эрозионно-денудационным рельефом (34–40), вулканические нагорья, массивы, плато (41–46) [3]. Локальные морфоструктуры показаны по ареалам развития оврагов, оползней, конусов выноса. Также на карте отображены денудационные и структурные уступы, по-

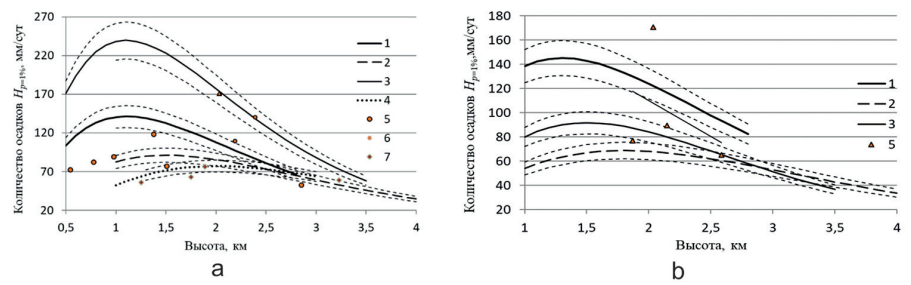


Рис. 3. Аппроксимирующие функции распределения высот местности по величине суточных сумм жидких осадков для склонов (а — южной экспозиции, б — северной) хребтов Большого Кавказа (1 — Западный; 2 — Центральный; 3 — Восточный) и Малого Кавказа (4). Обозначения: тонкий пунктир — границы доверительного интервала $\pm 10\%$; квантили ($H_{p=1\%}$, мм/сут) для МС № 5–7 — см. табл. 1 [18]

Fig. 3. Approximating functions of terrain heights distribution by the magnitude of daily amounts of liquid precipitation for the slopes (a — southern exposure, b — northern exposure) of the Greater Caucasus (1 — Western; 2 — Central; 3 — Eastern) and the Lesser Caucasus (4). Designations: thin dotted lines — borders of the confidence interval of $\pm 10\%$; quantiles ($H_{p=1\%}$, mm/day) for weather stations No. 5–7 — see table 1 [18]

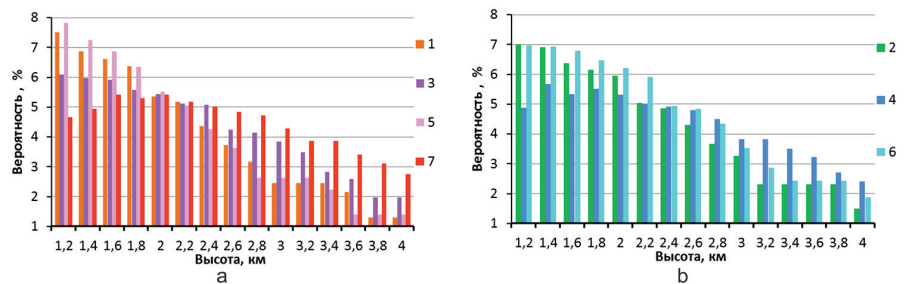


Рис. 4. Распределение вероятностей (%) попадания значения $H_{1\%}$ (мм/сут) в пределы определенных высотных зон при высоте нулевой изотермы 2 900 м (Западный Кавказ: 1 — южный склон (а), 2 — северный (б)); 3 500 м (Центральный Кавказ: 3 — южный (а), 4 — северный (б)); 3 800 м (Восточный Кавказ: 5 — южный (а), 6 — северный (б)); 4 250 м (Малый Кавказ — 7)

Fig. 4. Probability distribution (%) of $H_{1\%}$ (mm/day) value falling within certain height zones with a zero isotherm height of 2 900 m (Western Caucasus: 1 — southern slope (a), 2 — northern (b)); 3 500 m (Central Caucasus: 3 — southern (a), 4 — northern (b)); 3 800 m (Eastern Caucasus: 5 — southern (a); 6 — northern (b)), 4 250 m (Lesser Caucasus — 7)

верхности выравнивания и их возраст, современные ледники, трюги, кары, конечные морены, бедленды, вулканы, разломы (рис. 7).

В обзорах по изучению и оценке территорий, пострадавших от стихийных бедствий, отмечено, что геологические и геоморфологические процессы в Грузии привели к гибели более 139 человек (1995–2015 гг.). Последствия катастроф ощутимы для общества: общий экономический ущерб достигает десятков миллионов долларов, а в случае чрезвычайного развития — сотни миллионов [24]. В регионе Самцхе-Джавахети (площадь 6 412,9 км²) проживает более 200 тыс. человек (по состоянию на 2002 г.) в 270 населенных пунктах, из которых 103 (38%) находится в зоне риска [23].

На реках северо-восточного и южного склонов Большого Кавказа модули стока наносов изменяются от 532 (р. Карачай — с. Рюк) до 2 025 т/км² (р. Хыналыкчай — с. Хыналык), а на реках южного склона Главного Кавказского хребта — от 222 (р. Огузчай — г. Огуз) до 3 486 т/км² (р. Дамарчин — устье), что свидетельствует о более высокой интенсивности эрозионных и денудационных процессов [8]. Данные об интенсивности смыва грунтов, в т.ч. почв, в отдельных районах Большого и Малого Кавказа показывают, что эта величина достигает соответственно 1,8 и 0,02 мм/год. Отношение интенсивности смыва реголита к скорости поднятия рельефа составляет 0,9–1,1 для зоны Большого Кавказа и всего лишь 0,03–0,02 для Малого Кавказа и Талышского хребта.

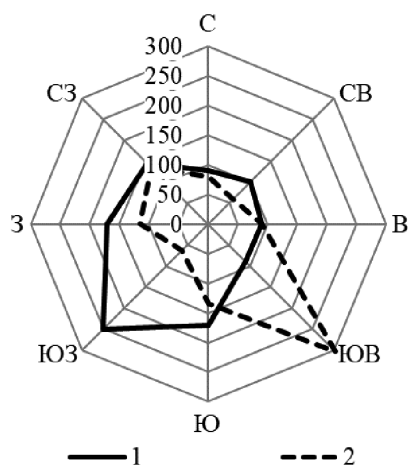


Рис. 5. Распределение количества осадков повторяемостью 1% ($H_{1\%}$, мм/сут) по сторонам света при взаимодействии воздушных потоков с прибрежными горными хребтами: 1 — Колхидская низменность и западная часть Закавказья, 2 — восточная часть Малого Кавказа

Fig. 5. Distribution of precipitation with a frequency of 1% ($H_{1\%}$, mm/day) in the cardinal directions in the interaction of air flow with the coastal mountain ranges: 1 — Colchis Lowland and western part of the Transcaucasia, 2 — eastern part of the Lesser Caucasus

Карта обеспеченности селеопасных районов Грузии гидрометеорологической информацией (рис. 8) предназначалась для первичной оценки степени селеопасности территории с учетом зональных факторов водной составляющей селевых потоков (дождевой, снеготаяние с выпадением дождя, гляциальный) и очагов зарождения (врезы, рытвины, участки рассредоточенного селеобразования) селевых потоков разного типа (грязекаменные, наносоводные, равной возможности их совместного проявления). На карте [19] представлено распределение селевых потоков по месяцам (%) для Западной (наибольшее число случаев от общего количества — 41,7% в августе и 19,1% в июле по состоянию на 1 января 1988 г.) и Восточной Грузии (аналогично — 28,2% и 13,0%).

На единой методологической основе по сбору и обобщению информации о селевых явлениях с привлечением материалов дешифрирования аэрофотоснимков, данных рекогносцировочных, в т.ч. аэровизуальных, наблюдений и специализированных обследований составлены каталоги селевых бассейнов и очагов на территории деятельности Азербгидромета, Армгидромета, Грузгидромета, Северо-Кавказского управления по гидрометеорологии [21]. Спе-

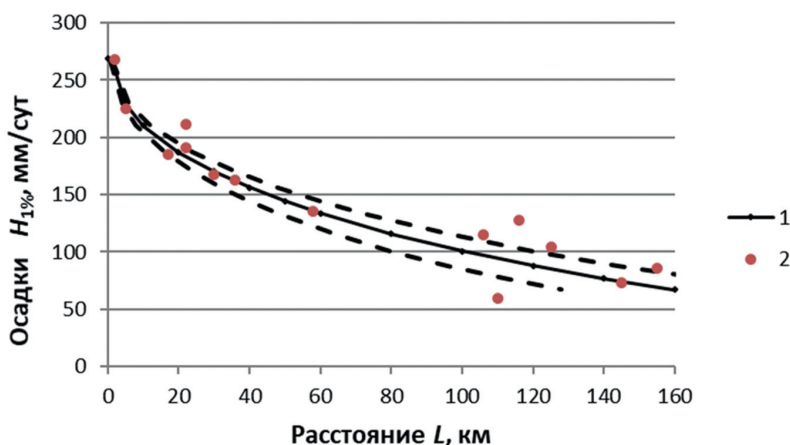


Рис. 6. Редукция (1) величин суточных сумм жидких осадков повторяемостью 1% ($H_{1\%}$) в зависимости от удаленности от Черного моря (пунктир — доверительный интервал $\pm 20\%$ для уравнения (12)). Приведены значения $H_{1\%}$ для МС, расположенных в Колхидской низменности (2)

Fig. 6. Reduction (1) of daily amounts of liquid precipitation with a frequency of 1% ($H_{1\%}$) depending on the distance from the Black Sea (dotted line is the confidence interval of $\pm 20\%$ for equation (12)). There are $H_{1\%}$ values for weather stations located in the Colchis Lowland (2)

циальное содержание карты разработано на основе легенды, согласованной специалистами заинтересованных организаций, в которой описаны кадастровые характеристики четырех категорий селевой опасности (рис. 9).

К первой категории (I) отнесены территории с преимущественным развитием крупных очагов с длиной по логу более 3-х км, площадью водосбора очагов более 5 км², со значительной потенциальной возможностью прорыва моренных озер и других водоемов, с расходами селевых потоков, превышающими 1 000 м³/с и объемами выноса более 1 млн м³, площадями селевых бассейнов более 10 км² [20]. Ко второй категории (II) отнесены территории с преимущественным развитием селевых очагов длиной в пределах 2–3 км, площадью водосбора очагов 3–4 км², со слабой потенциальной возможностью развития гляциальных селей и прорыва водоемов, с расходами селевых потоков, более 100 м³/с, объемами выноса 0,2–1,0 млн м³, площадями селевых бассейнов 2–10 км². К третьей категории селеопасности (III) отнесены территории с развитием мелких селевых очагов с длиной по логу до 1 км, с площадью водосбора очагов менее 2 км², расходами селевых потоков до 200 м³/с, объемом выноса до 0,2 млн м³ и площадью селевых бассейнов менее 2 км². К потенциально опасным (категория IV) отнесены горные территории, где селепроявление по имеющимся данным не отмечалось, но судя по степени пораженности бассейна эрозийными процессами и интенсивности их развития

принципиально возможно в ближайшей перспективе. На карте каждая категория селеопасности обозначена цветом (зеленый цвет соответствует территориям, где селепроявления отсутствуют), преобладающий тип селевых потоков показан штриховкой, генезис селеформирования — изолиниями суточных сумм жидких осадков повторяемостью 1% ($H_{1\%}$, мм/сут) для преобладающих дождевых селей, также имеются специальные немасштабные знаки для снеготаяния и гляциальных селепроявлений (см. рис. 9).

Следует отметить, что из-за несогласованности действий подразделений Северо-Кавказского УГМС и Высокотехнологического геофизического института по изучению селевых явлений на Северном Кавказе (в рамках Постановления СМ СССР от 7.03.1978 г.) имеющиеся данные кадастра селей не были своевременно систематизированы и включены в процесс реализации единого проекта составления «Карты селевой опасности Кавказа».

В пределах северного склона Большого Кавказа насчитывается более 1 700 селевых бассейнов общей площадью около 7 000 км² [6]. Средняя площадь селевых бассейнов составляет 4,0 км² при минимальной — 0,20 км² и максимальной — 173,8 км². Общая протяженность речных русел, в которых непосредственно формируются селевые потоки, составляет более 3 000 км.

В регионе повсеместно преобладают дождевые сели (84%), а на гляциально-дождевые приходится 10% (широко развиты в центральном районе). Кри-



Рис. 7. Геоморфологическая карта Кавказа [3]

Fig. 7. Geomorphological map of the Caucasus [3]

тическая норма селеформирующих жидких осадков изменяется с запада на восток: в западном районе она составляет 75–100 мм, центральном — 50–75 мм и в восточном — 25–50 мм [6]. Эта норма также изменяется с севера на юг: на передовых хребтах она больше, а на Главном и Боковом хребтах — меньше, причем различие составляет около двух раз.

В регионе преобладают грязекаменные потоки (62%), в два раза реже отмечаются наносоводные (34%) и совсем редко — грязевые (4%). Первые из них доминируют в высокогорье, наносоводные — в среднегорье, а грязевые — в основном в восточном районе.

В районе Главного, Бокового и Передового хребтов отмечаются наиболее значительные селевые потоки с макси-

мальным объемом 2–4 млн м³ при среднем объеме 100–500 тыс. м³ [6].

Причиной усиления селевой активности (зарегистрировано более 800 селевых потоков) в период 1983–2005 гг. является изменение климатических условий. В отдельные годы количество селей достигало 40–60, а в 2002 г. составило 183. Объем отдельных селей превышал 1,0 млн м³ [6]. На территории Северного Кавказа четко

прослеживаются районы по четырем категориям селеопасности: I — высокая, II — средняя, III — низкая, IV — очень низкая или потенциальная. Однако разные авторы дают свою трактовку и количественные показатели категорий селевой опасности для бассейнов рек, что затрудняет или даже делает невозможным региональную генерализацию⁴ селепроявлений. Значения градиентов факторов селеопасности могут отличаться в 2–5 раз, например, по объему селей для I и II категорий [4, 6], по их повторяемости, по расходам селей разного типа. Это связано не столько со слабой точностью измерений и расчетов, сколько с неопределенностью самих понятий. Процедура определения генезиса селеформирования не является корректной по многим причинам, поэтому разделение дождевого и снегового стока принципиально невозможно. Вышеуказанные проблемы обостряются особенно при переходе от макромасштаба (1:1 000 000) к мезомасштабу (1:100 000) — здесь кратность достигает десятков сотен (следовательно, требуется больше информации). В горах, даже в бассейнах площадью 100 или 1 000 км², множество элементарных водосборов разбросано по высотным и ландшафтным зонам, что приводит к различиям в сроках и продолжительности снеготаяния и фенологических влияний [2]. Скользящее пространственное осреднение здесь уже во многом сглаживает и рельеф, и ландшафтную неоднородность, и увлажненность, но еще во многом отражает местные особенности формирования стока и селевой опасности.

Установленные пространственно-временные закономерности распределения суточных осадков позволяют, используя известные статистические параметры дождливости [1, 2, 15, 18, 20], моделировать условные поля осадков для конкретных синоптических ситуа-


ций [14, 17] и учитывать полученные результаты при оценке степени селеопасности [20], при прогнозировании селевых явлений [13], включая социально-экономические риски [16].

Выводы

1. Закономерности распределения суточных сумм жидких осадков по высотным зонам, полученные при статистическом анализе полей осадков независимо от формы циркуляции, сохраняются и при синоптической ситуации осадкообразования. При этом факт нарушения закономерности в пределах всего склона будет отмечаться тем реже, чем интенсивней процесс осадкообразования за счет орографического эффекта. С помощью выражения (7) возможно не только интерполировать, но и уверенно экстраполировать величину слоя осадков в высокогорные зоны, где практически отсутствуют пункты наблюдений. Возможности определения значений вероятности попадания максимальных суточных сумм осадков ($H_{p\%}$) в пределы конкретных высотных зон (где находятся водосборы селевых очагов) без учета и с учетом высотного положения нулевой изотермы могут быть использованы при разработке новых методов прогноза максимальных расходов дождевых паводков и критериев селеопасности.
2. Влияние рельефа количественно можно учесть в зависимости от высоты склонов, их ориентации и открытости по отношению к влагонесущему потоку, горизонтальных масштабов возвышенности,

общих условий увлажнения района, особенностей атмосферной циркуляции.

Выявлена редукция величин суточных сумм жидких осадков повторяемостью 1% ($H_{1\%}$, мм/сут) в зависимости от удаленности от Черного моря, которая характеризует степень влияния рельефа на процесс осадкообразования. Доля вклада орографической составляющей осадков ($\eta = (H^m - H^n)/H^n \cdot 100\%$), где количество осадков в зоне максимума H^m и на равнине при условии отсутствия или слабого влияния орографических факторов H^n достигает 300% (Западная Грузия), тогда как на южных склонах Большого Кавказа эта величина — 130–220%. Северные склоны Большого Кавказа получают всего лишь на 80–100% больше осадков за счет их орографической составляющей. Для Малого Кавказа величина η не превышает 115% (гора Арагац). В Талышских горах, на склоне, обращенном к Каспийскому морю, наблюдается увеличение суточных осадков в 3 раза, но зона распространения наибольшего их количества ($H_{1\%}$) очень мала.

3. Составлена карта селевой опасности Закавказья и Дагестана, на которой специальная нагрузка в большой мере связана с закономерностями природной зональности. Карта протестирована временно на достоверность и стационарность информации, не утратила назначение и ценность, поэтому рекомендована к использованию при научных исследованиях и решении прикладных задач (разработка СП, мониторинг). 

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов Ю.Б., 1967. Вопросы гидрологии дождевых паводков на малых водосборах Средней Азии и Южного Казахстана. Гидрометеиздат, Москва.
2. Виноградов Ю.Б., 1988. Математическое моделирование процессов формирования стока: Опыт критического анализа. Гидрометеиздат, Ленинград.
3. Думитрашко Н.В., Ширинов Н.Ш. (ред.), 1979. Геоморфологическая карта Кавказа (Масштаб 1:2 500 000). ГУГК СССР, Москва.
4. Кондратьева Н.В., Аджиев А.Х., Беккиев М.Ю., Гяургиева М.М., Перов В.Ф., Разумов В.В., Сейнова И.Б., Хучунаева Л.В., 2015. Кадастр селевой опасности юга европейской части России. Печатный двор, Москва-Нальчик, Феодосия.
5. Кононова Н.К., Мальнева И.В., 2012. Циркуляция атмосферы Северного полушария и наводнения, сели, оползни на Черноморском побережье Кавказа и прилегающих горных территориях. Устойчивое развитие горных территорий, № 1–2 (11–12), с. 27–37.

⁴ Генерализация — процедура фильтрации информации с целью освобождения ее от второстепенных деталей, перестающих иметь какое-либо значение на данном уровне рассмотрения вследствие своей пространственной малости.

6. Лурье П.М., 2008. Состояние и перспективы изучения селевой деятельности на Северном Кавказе. Труды Всероссийской конференции по селям, Нальчик, 2005, с. 130–137.
7. Мальнева И.В., Кононова Н.К., 2018. Современные проблемы прогнозирования селей в Грузии и на сопредельных территориях. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита, Материалы V Международной конференции, Тбилиси, 2018, с. 471–475.
8. Марданов И.И., 2016. Особенности индикации поверхностного смыва при развитии экзодинамических процессов в высокогорьях Азербайджанской части Большого Кавказа. Устойчивое развитие горных территорий, Том 8, № 2, с. 142–149.
9. Панов В.Д. 1993. Эволюция современного оледенения Кавказа. Гидрометеоздат, Санкт-Петербург.
10. Полякова С.Е., Таланов Е.А., 2016. Рекомендации по моделированию характеристик полей ливневых осадков для горных районов. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита, Материалы IV Международной конференции, г. Иркутск — пос. Аршан (Республика Бурятия), 2016, с. 211–215.
11. Русин И.Н., 2003. Синоптическая интерпретация данных при расчете ливневых осадков в горах. РГГМУ, Санкт-Петербург.
12. Сафаров С.Г., Байрамова Й.Т., Сафаров Э.С., 2018. Сильное градовое явление и селевой поток, наблюдавшийся на территории Гобустанского района Азербайджанской Республики 1 мая 2017 г. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита, Материалы V Международной конференции, Тбилиси, 2018, с. 559–563.
13. Сейнова И.Б., Золотарев Е.А., 2001. Ледники и сели Приэльбрусья. Эволюция оледенения и селевой активности. Научный мир, Москва.
14. Таланов Е.А., 1984. Методика интерполяции и экстраполяции статистических параметров суточных сумм жидких осадков по высоте местности (на примере северного склона Заилийского Алатау). Селевые потоки, № 8, с. 60–73.
15. Таланов Е.А., 2004. Анализ репрезентативности вариационных рядов суточных сумм жидких осадков в различных физико-географических условиях. Теоретические и прикладные проблемы географии на рубеже столетий, Материалы международной научно-практической конференции, Часть 2, Алматы, 2004, с. 131–135.
16. Таланов Е.А., 2008. Селевой риск: теоретические основы и практическая значимость. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита, Труды Международной конференции, Пятигорск, 2008, с. 74–77.
17. Таланов Е.А., 2016. Технология краткосрочного вероятностного прогнозирования паводков и селевых потоков на основе прогноза количества осадков на 3 и 6 часов. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита, Материалы IV Международной конференции, г. Иркутск — пос. Аршан (Республика Бурятия), 2016, с. 229–234.
18. Таланов Е.А., 2018. Климатология селеформирующих дождей на Кавказе: гипотезы и факты. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита, Материалы V Международной конференции, Тбилиси, 2018, с. 595–605.
19. Херхеулидзе Г.И., Татошвили С.Г., 1989. Карта обеспеченности селеопасных районов Грузинской ССР гидрометеорологической информацией (Масштаб 1:1 000 000). ГУГК СССР, Москва.
20. Херхеулидзе Г.И. (ред.), 1989. Карта селевой опасности Закавказья и Дагестана (Масштаб 1:1 000 000). ГУГК СССР, Москва.
21. Херхеулидзе Г.И., 2018. Традиции селеведения в институте гидрометеорологии Грузинского технического университета: оценки и перспективы. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита, Материалы V Международной конференции, Тбилиси, 2018, с. 15–21.
22. Элизбарашвили Э.Ш., Тагишвили М.Р., Элизбарашвили М.Э., Месхия Р.Ш., Элизбарашвили Ш.Э., 2013. Современные тенденции изменения климата Грузии. Труды Института гидрометеорологии Грузинского технического университета, Том 119, с. 29–32.
23. Gaprindashvili G., Gerkeuli T., Tsereteli E., Gaprindashvili M., 2016. Geological hazards in Samtskhe-Javakheti region (Georgia). International Journal of Geosciences, No. 7, pp. 311–324, <https://doi.org/10.4236/ijg.2016.73024>.
24. UNDP, 2015. Tbilisi Disaster Needs Assessment 2015. URL: http://www.ge.undp.org/content/dam/georgia/docs/publications/UNDP_GE_EE_Tbilisi_DNA_2015_ENG_part_1.pdf (дата обращения: 20.04.2018).

REFERENCES

1. Vinogradov Yu.B., 1967. Issues of hydrology of rain floods in small catchments of Central Asia and South Kazakhstan. Gidrometeoizdat, Moscow. (in Russian)
2. Vinogradov Yu.B., 1988. Mathematical modeling of flow formation processes: Experience of critical analysis. Gidrometeoizdat, Leningrad. (in Russian)
3. Dumitrashko N.V., Shirinov N.Sh. (ed.), 1979. Geomorphological map of the Caucasus (Scale 1: 2 500 000). Department of Geodesy and Cartography of USSR, Moscow. (in Russian)
4. Kondratieva N.V., Adzhiev A.Kh., Bekkiev M.Yu., Gyaurgieva M.M., Perov V.F., Razumov V.V., Seinova I.B., Khuchunaeva L.V., 2015. Debris flow hazard cadastre of the south of the European part of Russia. Printing House, Moscow-Nalchik, Theodosia. (in Russian)
5. Kononova N.K., Malneva I.V., 2012. The atmospheric circulation of the Northern Hemisphere and floods, debris flows, landslides on the Black Sea coast of the Caucasus and the adjacent mountain areas. Sustainable development of mountain territories, No. 1–2 (11–12), pp. 27–37. (in Russian)

6. Lurie P.M., 2008. The state and prospects of studying debris flow activity in the North Caucasus. Proceedings of the All-Russian Conference on debris flows, Nalchik, 2005, pp. 130–137. (in Russian)
7. Malneva I.V., Kononova N.K., 2018. Modern problems of forecasting mudslides in Georgia and in adjacent territories. Debris flows: disasters, risk, forecast, protection, Materials of V International conference, Tbilisi, 2018, pp. 471–475. (in Russian)
8. Mardanov I.I., 2016. Features of indication of superficial washout at development of exodynamic processes in highlands of the Azerbaijani part of Greater Caucasus. Sustainable development of mountain territories, Vol. 8, No. 2, pp. 142–149. (in Russian)
9. Panov V.D., 1993. The evolution of the Caucasus modern glaciation. Gidrometeoizdat, St. Petersburg. (in Russian)
10. Polyakova S.E., Talanov E.A., 2016. Recommendations for characteristics fields of heavy rains modelling in the mountainous areas. Debris flows: risks, forecast, protection, Materials of IV International conference, Irkutsk — Arashan settlement (Republic of Buryatiya), 2016, pp. 211–215. (in Russian)
11. Rusin I.N., 2003. Synoptic interpretation of data for calculating rainfall in the mountains. Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg. (in Russian)
12. Safarov S.G., Bayramova Y.T., Safarov E.S., 2018. The strong hail and mudflow events occurred in the territory of Gobustan district of Azerbaijan Republic on June 1, 2017. Debris flows: disasters, risk, forecast, protection, Materials of V International conference, Tbilisi, 2018, pp. 559–563. (in Russian)
13. Seinova I.B., Zolotarev E.A., 2001. Glaciers and debris flows of the Elbrus region. Evolution of glaciation and debris flow activity. Nauchny mir, Moscow. (in Russian)
14. Talanov E.A., 1984. The method of interpolation and extrapolation of the statistical parameters of the daily amounts of liquid precipitation over the height of the terrain (using the example of the northern slope of the Ile Alatau). Debris flows, No. 8, pp. 60–73. (in Russian)
15. Talanov E.A., 2004. Analysis of the representativeness of variational series of daily amounts of liquid precipitation in various physiographic conditions. Theoretical and applied problems of geography at the turn of the century, Materials of the International scientific-practical conference, Part 2, Almaty, 2004, pp. 131–135. (in Russian)
16. Talanov E.A., 2008. Debris flow risk: theoretical basis and practical significance. Debris flows: disasters, risk, forecast, protection, Materials of the International Conference, Pyatigorsk, 2008, pp. 74–77. (in Russian)
17. Talanov E.A., 2016. Technology of short-term probabilistic forecasting of floods and debris flows based on the forecast rainfall during 3 and 6 hours. Debris flows: risks, forecast, protection, Materials of IV International conference, Irkutsk — Arashan settlement (Republic of Buryatiya), 2016, pp. 229–234. (in Russian)
18. Talanov E.A., 2018. Climatology of debris-flow forming precipitation in Caucasus: hypotheses and facts. Debris flows: disasters, risk, forecast, protection, Materials of V International conference, Tbilisi, 2018, pp. 595–605. (in Russian)
19. Kherkheulidze G.I., Tatoshvili S.G., 1989. Map of the provision of Georgian SSR debris flow hazard areas with hydrometeorological information (Scale 1:1 000 000). Department of Geodesy and Cartography of USSR, Moscow. (in Russian)
20. Kherkheulidze G.I. (ed.), 1989. Map of the debris flow hazard of Transcaucasia and Dagestan (Scale 1:1 000 000). Department of Geodesy and Cartography of USSR, Moscow. (in Russian)
21. Kherkheulidze G.I., 2018. Traditions of mudflow studies in the Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University: evaluations, prospects. Debris flows: disasters, risk, forecast, protection, Materials of V International conference, Tbilisi, 2018, pp. 15–21. (in Russian)
22. Elizbarashvili E.Sh., Tatishvili M.R., Elizbarashvili M.E., Meskhia R.Sh., Elizbarashvili Sh.E., 2013. Current trends in Georgia's climate change. Proceedings of the Institute of Hydrometeorology of the Georgian Technical University, Vol. 119, pp. 29–32. (in Russian)
23. Gaprindashvili G., Gerkeuli T., Tsereteli E., Gaprindashvili M., 2016. Geological hazards in Samtskhe-Javakheti region (Georgia). International Journal of Geosciences, No. 7, pp. 311–324, <https://doi.org/10.4236/ijg.2016.73024>.
24. UNDP, 2015. Tbilisi Disaster Needs Assessment 2015. URL: http://www.ge.undp.org/content/dam/georgia/docs/publications/UNDP_GE_EE_Tbilisi_DNA_2015_ENG_part_1.pdf (accessed: 20 April 2018).

Информация об авторах

ТАЛАНОВ ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

Профессор кафедры метеорологии и гидрологии факультета географии и природопользования Казахского национального университета им. аль-Фараби, д.г.н., г. Алматы, Казахстан

ХЕРХЕУЛИДЗЕ ГЕОРГИЙ ИРАКЛИЕВИЧ

Старший научный сотрудник отдела водных ресурсов и гидрологических прогнозов Института гидрометеорологии Грузинского технического университета, к.т.н., г. Тбилиси, Грузия

Information about the authors

YEVGENIY TALANOV

Professor of the Department of Meteorology and Hydrology, Faculty of Geography and Nature Management, Al-Farabi Kazakh National University, DSc (Doctor of Science in Geography), Almaty, Kazakhstan

GEORGE I. KHERKHEULIDZE

Senior research scientist of the Department of Water Resources and Hydrological Forecasts, Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University, PhD (Candidate of Science in Technics), Tbilisi, Georgia