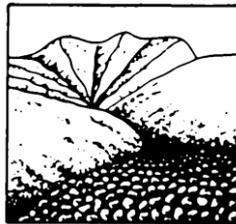


DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 5th International Conference

Tbilisi, Georgia, 1-5 October 2018



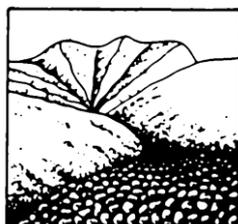
Editors
S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili

Publishing House “Universal”
Tbilisi 2018

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
5-й Международной конференции

Тбилиси, Грузия, 1-5 октября 2018 г.



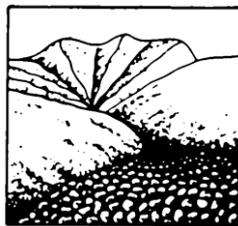
Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили

Издательство Универсал
Тбилиси 2018

ღვარცოფები: კატასტროფები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა

მე-5 საერთაშორისო კონფერენციის
მასალები

თბილისი, საქართველო, 1-5 ოქტომბერი, 2018



რედაქტორები
ს.ს. ჩერნომორეც, გ.ვ. გავარდაშვილი

გამომცემლობა "უნივერსალი"
თბილისი 2018

УДК 551.311.8
ББК 26.823

Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 5-й Международной конференции. Тбилиси, Грузия, 1-5 октября 2018 г. – Отв. ред. С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили. – Тбилиси: Универсал, 2018, 671 с.

Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 5th International Conference. Tbilisi, Georgia, 1-5 October 2018. – Ed. by S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili. – Tbilisi: Publishing House “Universal”, 2018, 671 p.

ღვარცოფები: კატასტროფები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა. მე-5 საერთაშორისო კონფერენციის მასალები. თბილისი, საქართველო, 1–5 ოქტომბერი, 2018. გამომცემლობა "უნივერსალი", თბილისი 2018, 671 გვ. პასუხისმგებელი რედაქტორები ს.ს. ჩერნომორეც, გ.ვ. გავარდაშვილი.

Ответственные редакторы С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили
Edited by S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili

Верстка: С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева, Е.А. Савернюк
Page-proofs: S.S. Chernomorets, K.S. Viskhadzhieva, E.A. Savernyuk

При создании логотипа конференции использован рисунок из книги С.М. Флейшмана «Селевые потоки» (Москва: Географгиз, 1951, с. 51).
Conference logo is based on a figure from S.M. Fleishman’s book on Debris Flows (Moscow: Geografiz, 1951, p. 51).

ISBN 978-9941-26-283-8

© Селевая ассоциация
© Институт водного хозяйства им. Ц. Мирцхулава
Грузинского технического университета

© Debris Flow Association
© Ts. Mirtskhulava Water Management Institute
of Georgian Technical University

© ღვარცოფების ასოციაცია
© საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა
მეურნეობის ინსტიტუტი



Климатология селеформирующих дождей на Кавказе: гипотезы и факты

Е.А. Таланов

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

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 (где формируются селевые потоки при скудной информации гидрометеорологических наблюдений). Выявленные пространственно-временные закономерности распределения суточных сумм жидких осадков позволили объективно оценить степень селевой опасности Закавказья и Дагестана (М 1:1000000). Проверка на стационарность статистических параметров суточных осадков позволит оценить и при необходимости скорректировать модельные расчеты максимальных расходов паводков и селевых потоков редкой повторяемости.

статистические параметры, суточные осадки, закономерности, дождь, сель

Climatology of debris-flow forming precipitation in Caucasus: hypotheses and facts

Ye.A. Talanov

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, teage@mail.ru

The change in regional climate and assessment of the degree of its influence on the statistical structure of daily total liquid precipitation is of great interest for applied science, especially for mountain relief conditions (where debris flows are formed with scant information of hydrometeorological observations). The revealed spatio-temporal patterns in the distribution of daily total liquid precipitation made it possible to objectively assess the degree of debris flows hazard of Transcaucasia and Dagestan (M 1: 1000000). The test for stationarity of daily precipitation statistical parameters will make it possible to estimate and, if necessary, to correct the model calculations of the maximum flow rates of floods and debris flows of rare frequency.

statistical parameters, daily precipitation, regularities, rain, debris flow

Введение

Ранее выполненные исследования «Разработать научно-технические основы прогноза селей и защиты от них» (1980-1985 гг.) [Отчет о НИИР, 1985] позволили обобщить характеристики дождей за период 1951-1975 гг., включая данные 119 станций (Северный Кавказ – Россия), 335 (Грузия), 259 (Азербайджан), 190 (Армения). Были получены следующие результаты:

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 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 потоке выпадают осадки $H_{p=1\%}=240$ мм на склонах Большого Кавказа, а при юго-восточном переносе – $H_{p=1\%}=300$ мм на склонах Малого Кавказа. На южном склоне Большого Кавказа выпадает количество осадков ($H_{p=1\%}$) в 2,0–2,5 раза больше, чем на северном;

4) В приморских районах наиболее четко прослеживается закономерность уменьшения величины суточных сумм жидких осадков ($H_{p=1\%}$, мм/сут) от увеличения расстояния до моря;

5) Тщательное изучение влияния рельефа местности на количество осадков позволило построить на географической основе (масштаб 1:1000000) систему изогет ($H_{p=1\%}$, мм/сут) для Кавказского региона.

В качестве основных факторов колебания климата рассматривают среднеширотный тип атмосферной циркуляции, полюс атмосферной циркуляции и солнечной активности. В условиях изменения климата приводятся аргументы и факты причин в пользу антропогенной природы. Средние многолетние климатические характеристики удовлетворяют далеко не всех потребителей. Необходимо знать масштабы и последовательность колебаний климата, как в прошлом, так на перспективу. На фоне описания трендовых составляющих в изменении климата важно установить, как влияют они 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 сточные 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 метеорологических полей необходимо оставаться в рамках гауссовости и марковости. Дополнительные возможности дает использование гипотезы стационарности случайных полей.

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 мы исходим 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 неоднозначное 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 $\theta < 2^\circ\text{C}$ – твердые осадки) существенно изменяется в пределах теплого



периода (апрель – октябрь) как по территории (с юга на север), так по высоте местности (от предгорья до высокогорья);

д) Суточные суммы осадков включают всю совокупность дождей без учета их классификации: морось, обложные и ливневые. За день с осадками принимается таковая, когда измеренное количество $H \geq 1$ мм. Точка усечения эмпирических функций распределения $H=1$ мм, а степень усечения принимается одинаковой и равной 0,55 [Виноградов, 1967, 1988].

Группированные вариационные ряды, после преобразования осадков $x=(H+1)^{n(x)} \lg H$, аппроксимированы функционально-нормальным распределением. Одновременно были рассчитаны ее параметры – математическое ожидание $M(x)$, среднее квадратическое отклонение $S(x)$, параметр $n(x)$, квантили $H_{p1\%}$, мм/сут (таблица 1).

На рисунке 1 показаны нормально распределенные величины $u(p)$ функционально связанные с суточными суммами жидких осадков для некоторых метеостанций (МС), расположенных в различных климатических условиях Кавказа. Три из них расположены выше 2500 м: Бермамыт (№ 2), Мамисонский перевал (№ 7), Арагац высокогорная (№ 17). Параметр асимметричности распределения суточных осадков $n(x)$ имеет значения в интервале 0,30–0,40 (высокогорный пояс), 0,23–0,36 (среднегорье).

На МС Местиа и Казбеги в мае – июне количество осадков превышает 200 мм/мес (рисунок 2 а, б), на МС Арагац (с) весной наибольшее количество осадков достигает 45–50 мм/мес (летом – всего 5–10 мм). Количество осадков за сутки повторяемостью 1 раз в 100 лет сопоставимы по величине со среднемесячными осадками или даже несколько их превышают.

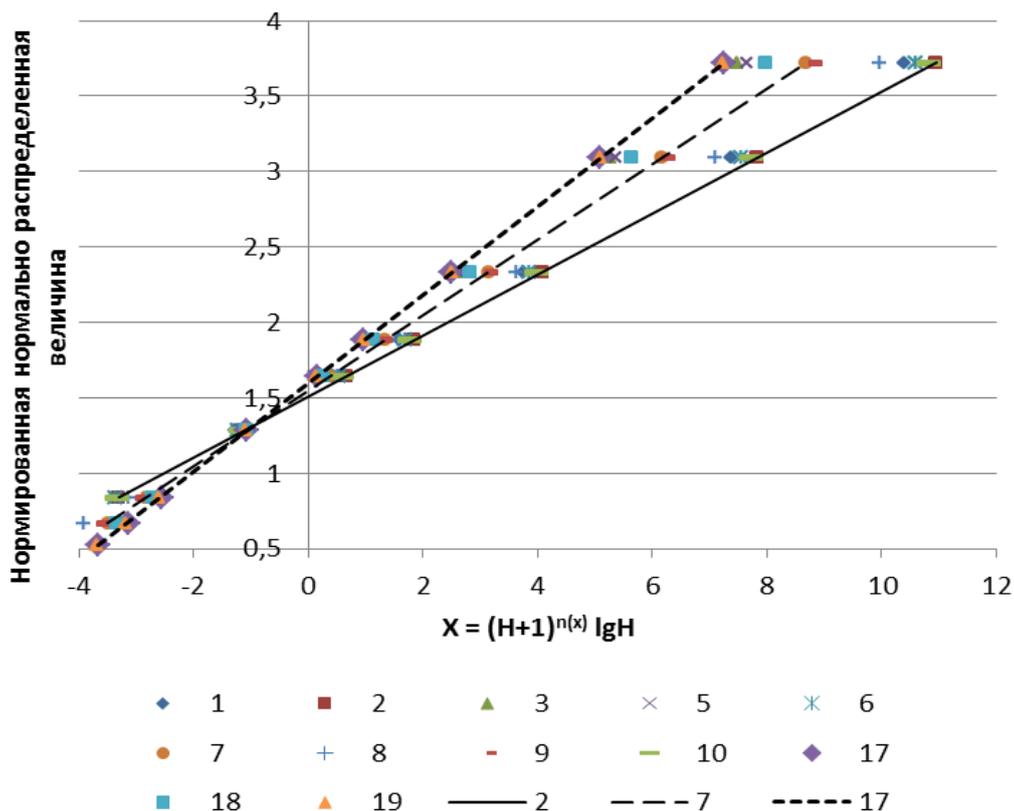


Рис. 1. Координаты функционально-нормального распределения преобразованных суточных сумм жидких осадков (H) для МС (1–3, 5–10, 17–19 таблица 1) на Кавказе.



Таблица 1. Параметры функционально-нормального распределения суточных сумм осадков для дождемерных пунктов Кавказа.

| № п/п | Название пункта (№ по справочнику) | Высота, м | Период наблюдений | \bar{m}_1 дни | n(x) | Слой осадков, мм/сут: Н _p и наблюдаемый Н _{max} | | | | Параметры нормализации | |
|---------|------------------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|------|--|--------|-------|------------------|------------------------|------|
| | | | | | | p=10% | p=0,1% | P=1% | H _{max} | M(x) | S(x) |
| Россия | | | | | | | | | | | |
| 1 | Клухорский Перевал (497) | 2037 | 1950-1975 | 84,6 | 0,28 | 18,1 | 103,0 | 170,8 | 135 | -7,40 | 4,78 |
| 2 | Бермамыт (492) | 2586 | 1935-1975 | 58,8 | 0,40 | 12,1 | 46,7 | 65,1 | 59 | -7,46 | 4,95 |
| 3 | Терскол, обсерватория | 2146 | 1960-1975 | 71,0 | 0,27 | 11,0 | 57,0 | 89,5 | 85,9 | -5,63 | 3,52 |
| 4 | Усенги (561) | 1870 ^x | 1929-1975 | 58,1 | 0,28 | 10,5 | 51,0 | 76,8 | 70 | -5,53 | 3,46 |
| Грузия | | | | | | | | | | | |
| 5 | Крестовый перевал (57) | 2395 | 1950-1975 | 69,1 | 0,23 | 13,6 | 84,7 | 140,0 | 90 | -5,83 | 3,62 |
| 6 | Гудаури (63) | 2194 | 1887-1919, 1926-1975 | 81,1 | 0,33 | 15,2 | 70,3 | 109,0 | 100 | -7,42 | 4,84 |
| 7 | Мамисонский перевал (25) | 2854 | 1933-1975 | 44,2 | 0,37 | 9,8 | 38,5 | 52,3 | 45 | -6,16 | 3,99 |
| 8 | Шови (24) | 1507 | 1928-1975 | 83,2 | 0,36 | 12,3 | 51,2 | 77,0 | 89 | -6,96 | 4,55 |
| 9 | Геби (17) | 1380 | 1928-1975 | 77,7 | 0,28 | 13,8 | 72,5 | 118,0 | 129 | -6,40 | 4,08 |
| 10 | Уцера (34) | 981 | 1958-1975 | 80,0 | 0,36 | 13,8 | 58,9 | 89,0 | 85 | -7,48 | 4,92 |
| 11 | Они (42) | 788 | 1930-1975 | 85,9 | 0,33 | 12,0 | 53,5 | 82,4 | 79 | -6,50 | 4,20 |
| 12 | Амбролаури, ГМС (55) | 544 | 1935-1975 | 85,3 | 0,42 | 13,5 | 49,9 | 72,2 | 77 | -8,25 | 5,53 |
| 13 | Алпана (48) | 366 | 1962-1975 | 86,6 | 0,34 | 15,2 | 70,0 | 107,6 | 83 | -7,64 | 5,01 |
| 14 | Цхакая, агро (109) | 40 | 1926-1933, 1936-1975 | 119,6 | 0,34 | 20,5 | 100,0 | 163,0 | 223 | -9,08 | 6,05 |
| 15 | Самтредиа (123) | 28 | 1923-1975 | 110,7 | 0,31 | 16,9 | 85,3 | 135,9 | 111 | -7,58 | 4,94 |
| 16 | Сакочакидзе (117) | 7 | 1954-1975 | 111,0 | 0,28 | 20,7 | 123,1 | 211,0 | 178 | -7,95 | 5,18 |
| Армения | | | | | | | | | | | |
| 17 | Арагац высокогорная (75) | 3229 | 1929-1975 | 30,2 | 0,30 | 9,5 | 43,2 | 58,7 | 54 | -5,42 | 3,40 |
| 18 | Арагац (76) | 1960 | 1951-1975 | 59,3 | 0,32 | 10,2 | 45,2 | 65,9 | 56 | -5,83 | 3,71 |
| 19 | Апаран (60) | 1891 | 1935-1975 | 68,3 | 0,28 | 10,1 | 49,6 | 76,4 | 78 | -5,46 | 3,41 |
| 20 | Артик (57) | 1750 | 1934-1975 | 67,4 | 0,28 | 9,0 | 41,4 | 62,9 | 51 | -5,07 | 3,14 |
| 21 | Арагац, ж.д. (94) | 1254 | 1932-1975 | 50,5 | 0,22 | 7,2 | 36,8 | 56,1 | 64 | -4,25 | 2,50 |

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

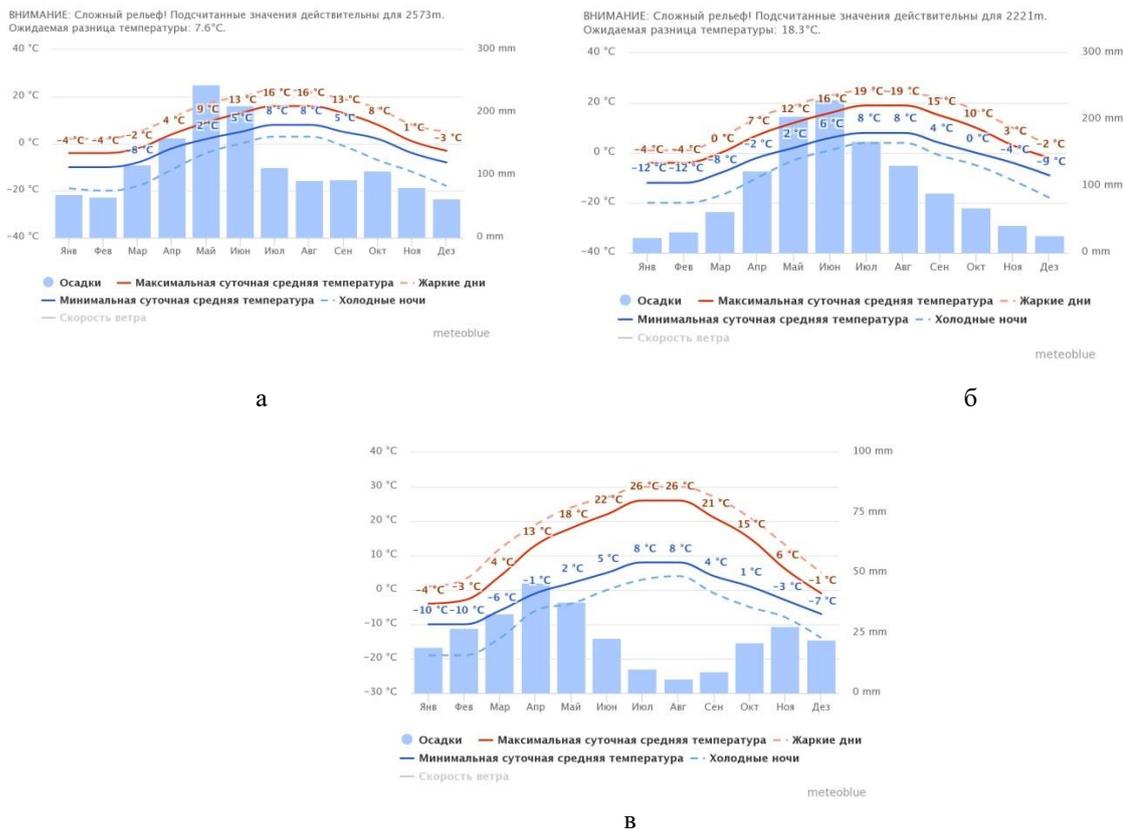


Рис. 2. Климатические характеристики (средняя суточная температура воздуха и осадки) за 30 лет для МС Местиа (а), Казбеги (б), Арагац (в).

<https://www.meteoblue.com/ru/погода/прогноз/modelclimate/>

Среднее количество дней с осадками (за май-сентябрь 1985-2015 гг.) составляет 110,7 и 109,8 (МС Местиа и Казбеги), что на 30% выше по сравнению с данными (1951-1975 гг.). На высотах более 2500 м количество дождливых дней увеличилось, примерно, на 10%. 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 [Таланов, 1984]:

$$H_z = Ah^n e^{-ch}, \tag{1}$$

где H_z – количество осадков на высоте метеостанции, $h=Z/Z_0$ – отношения абсолютной высоты местности (Z) к масштабному параметру (Z_0), A , n , c – эмпирические коэффициенты. Дано обоснование перевода уравнения (1) в функцию Пирсона III типа ($C_8=2C_v$, $b=1$):

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

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 $0 \div \infty$.

Среднее квадратическое отклонение переменного значения Z определяется по формуле:

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

$$\text{а коэффициент вариации} - C_v(z) = \frac{\delta(z)}{\bar{z}} = \sqrt{\frac{1}{\vartheta}}. \quad (6)$$

Величина параметра дождливости на определенной высоте (Z) склона хребта может быть рассчитана по выражению [Таланов, 1984]:

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

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 определяются по данным наблюдений за осадками, используя следующие соотношения:

$$n = \vartheta - 1; \alpha = \frac{c}{z_0}; A \left(\frac{1}{z_0}\right)^n = H_0 \frac{\alpha^\vartheta}{\Gamma(\vartheta)}. \quad (8)$$

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

$$H_{1\%} = 1238 h^{1,23} \exp(-3,29 h) \text{ при } Z_0=3100 \text{ м.}$$

На Кавказе среднее положение климатической снеговой линии не одинаково по высоте: на Западном Кавказе она находится на высоте 2900 м, в Центральной его части – 3500 м и в Восточной – 3800 м. Для Большого Кавказа была принята постоянная величина $c=3,29$. Рассчитаны величины параметра α (таблица 2): 1,13 (для Западного Кавказа), 0,94 (Центрального) и 1,26 (Восточного).

В результате обобщения величин $H_{1\%}$ было установлено, что модальные их значения приходятся на интервалы высот: 1100–1500 м (южный склон Большого Кавказа) и 1300–1800 м для склонов северной экспозиции (рисунок 3).

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.

$$H_{1\%} = 2970 h^{2,27} \exp(-4,26 h) \text{ при } Z_0=4250 \text{ м.}$$



Таблица 2. Значения параметров функции (7) распределения величин суточных сумм жидких осадков, вероятностью превышения P ($H_{1\%}$, мм/сут), с учетом высоты местности (Z , км) на Кавказе [Отчет о НИР, 1985].

| Район, (хребет, склон) | $(H_{1\%})_0$, мм/км | ν | α | $(H_{1\%})^m$, мм/сут | Z^m , км | \bar{Z} , км | $\sigma(z)$, км | $C_v(z)$ |
|--|-----------------------|-------|----------|------------------------|------------|----------------|------------------|----------|
| 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: Черека, Ардона, Терека, Сунджи* | | | | | | | | |
| * | 250 | 2,69 | 0,94 | 68,7 | 1,80 | 2,86 | 1,96 | 0,61 |
| Хребты: Сванетский, Эгрисский, Лечхумский, Миулетский. Гудамаский* | | | | | | | | |
| * | 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: Андийского, Аварского, Казикумухского 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, Дебеды, Куры (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 |
| Муровдаг, 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 |
| Тальшские 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 |

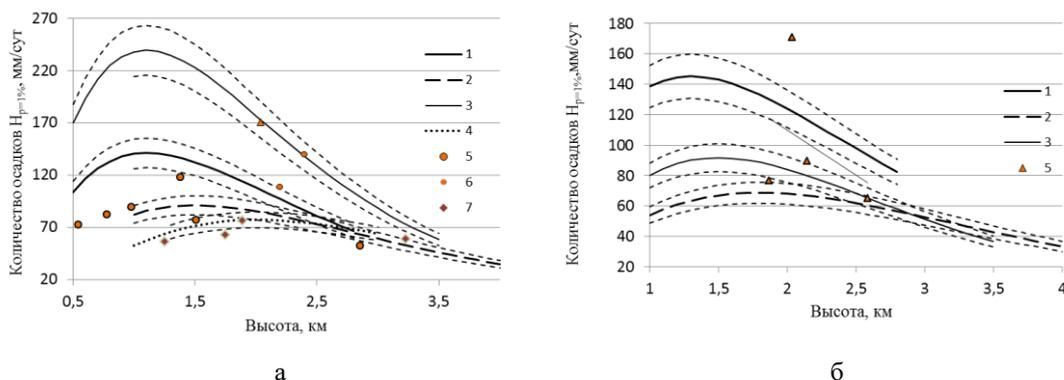


Рис. 3. Аппроксимирующие функции распределения высот местности по величине суточных сумм жидких осадков для склонов (экспозиция: а – южная; б – северная) хребтов Большого Кавказа (1 – западный; 2 – центральный; 3 – восточный) и Малого Кавказа (4). Границы доверительного интервала $\pm 10\%$ (тонкий пунктир). Квантили ($H_{1\%}$, мм/сут) для МС (5–7) (см. таблицу 1).

Анализ показал, что максимум суточных сумм жидких осадков приходится на высоту 1100 м на внешних склонах хребтов Малого Кавказа, а во внутренних его районах $Z^m=2000$ м (таблица 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 таблице 2. Распределение вероятностей (%) попадания значения $H_{1\%}$ (мм/сут) в пределы определенных высотных зон при различной высоте нулевой изотермы приведены на рисунке 4. В интервале высот 1100–1900 м горные склоны орошаются дождями с вероятностью 26,4–27,3% (Западный Кавказ), 21,4–23,5% (Центральный), 27,2–28,3% (Восточный). В интервале высот 1900–2700 м горные склоны орошаются дождями с вероятностью 18,6–20,1%, 20,0%, 18,4–21,9% соответственно. В высокогорье (2700–3500 м) отмечается повсеместное уменьшение вероятности (до 10–15%) выпадения обильных осадков в жидком виде. По результатам исследования [Сейнова, 2001], формирование селей «возможно только при вторжении влагонесущей воздушной массы с нулевой изотермой выше 3500 м (что соответствует 9°C по данным метеостанции 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 4250 м (рисунок 4) достигает 20% (1900–2700 м) и 16% (2700–3500 м). Изменчивость значений $H_{1\%}$ находится в интервале 51–78 мм/сут (таблица 1).

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

Особенности орографических осадков от экспозиции и открытости склонов

Господствующее направление влагонесущих потоков является юго-западное на Большом Кавказе и юго-восточное на Малом Кавказе (рисунок 4, вставка). Южные и юго-западные склоны Западного Кавказа, особенно прибрежные районы и предгорья, сильно увлажнены. Так, в верхней части бассейна р. Мзымта количество осадков $H_{1\%}$ составляет 200–250 мм/сут [Карта, 1989]. 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 значение 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) [Карта, 1989]. Во внутренних районах (бассейн р.Аракс) и в высокогорье величина $H_{1\%}$ близка к 40–50 мм/сут.

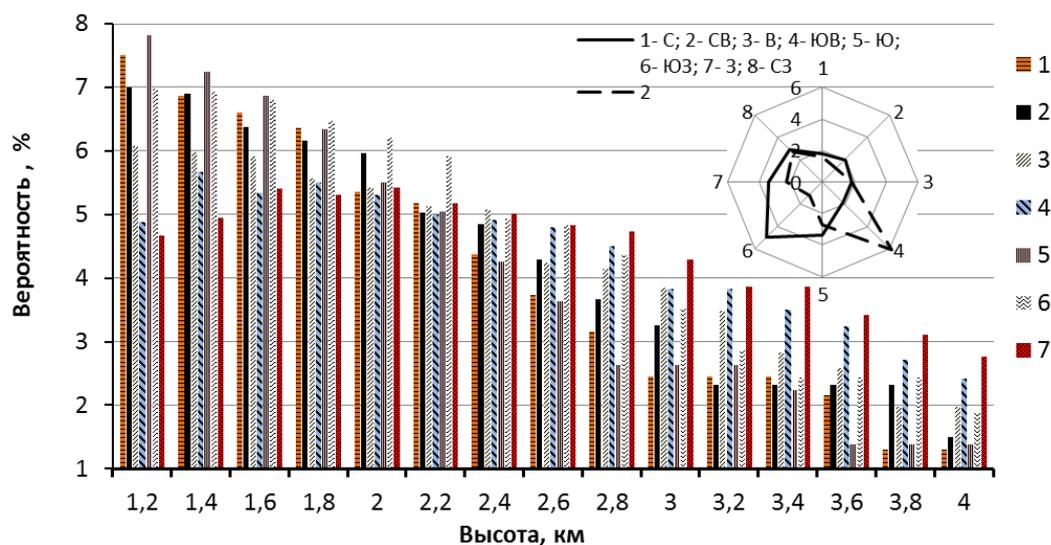


Рис. 4. Распределение вероятностей (%) попадания значения $H_{1\%}$ (мм/сут) в пределы определенных высотных зон при высоте нулевой изотермы 2900 м (Западный Кавказ: 1- южный склон; 2-северный), 3500 м (Центральный: 3-южный; 4-северный), 3800 м (Восточный: 5-южный; 6-северный) и 4250 м (Малый Кавказ – 7). Вставка: Распределение количества осадков $H_{1\%}$ (масштаб: 1 см = 50 мм/сут) по сторонам света (1-С; 2-СВ; 3-В; 4- ЮВ; 5- Ю; 6- ЮЗ; 7- З; 8-СЗ) на Большом (сплошная линия) и Малом (пунктир) Кавказе.

На территории Западной Грузии нами установлено, что кривая редукции суточных сумм жидких осадков ($H_p\%$) в зависимости от расстояния (L , км) до береговой линии Черного моря, может быть аппроксимирована выражением вида:

$$H_L = H_0 \frac{\alpha^\vartheta}{\Gamma(\vartheta)} L^{\vartheta-1} \exp(-\alpha L), \text{ при } L > 0, \quad (9)$$

где обозначение параметров аналогично (7).

В качестве однородной информации приняты статистические параметры распределения суточных сумм жидких осадков для осадкомерных пунктов, расположенных в Колхидской низменности. При этом учитывалось их местоположение, указывающее на преобладающее влияние одного из факторов – высоты местности или удаленности по расстоянию 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 [Отчет о НИИР, 1985]:

$$H_{1\%} = 269,0 L^{-0,081} \exp(-0,0061 L). \quad (10)$$

На 160 километровом участке от моря, восстановленный расчетным путем горизонтальный профиль величины $H_{1\%}$, удовлетворительно согласуется с данными метеостанций (рисунок 5).

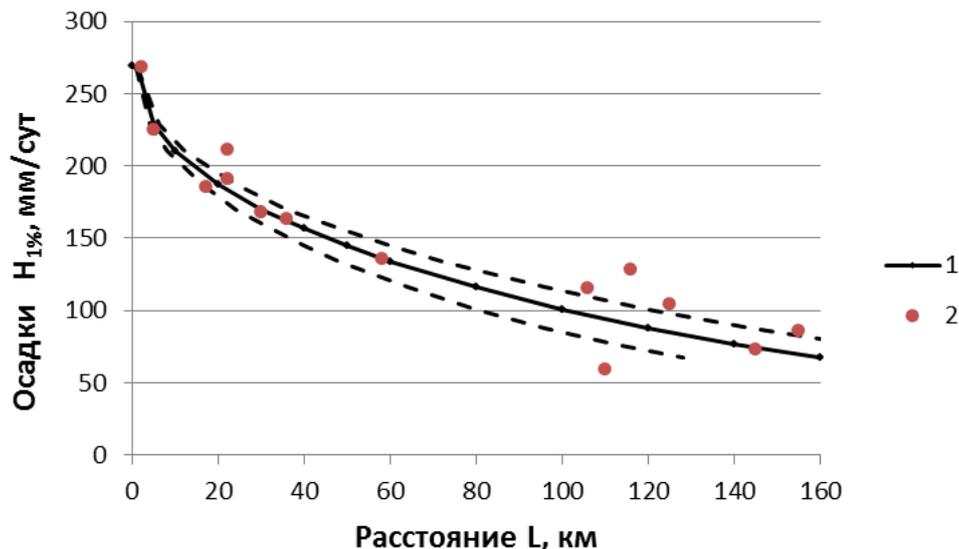


Рисунок 5. Редукция величин суточных сумм жидких осадков повторяемостью 1% ($H_{1\%}$, точки 2) в зависимости удаления от Черного моря (пунктир – доверительный интервал $\pm 20\%$ для уравнения (10)).

Построенная система изолиний величины $H_{1\%}$ на территории Кавказа [Карта, 1989] не противоречит фактическим данным количества осадков и основным закономерностям пространственного их распределения под влиянием рельефа местности.

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 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 склонов 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 удаления от Черного моря, которая характеризует степень влияния рельефа на процесс осадкообразования. Доля вклада орографической составляющей осадков ($\eta = (H^m - H^n) / H^n$ 100%, где количество осадков в зоне максимума H^m и на равнине при условии отсутствия или слабого влияния орографических факторов H^n) составляет 300% (Западная Грузия), тогда как на южных склонах Большого Кавказа эта величина достигает 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. Установленные пространственно-временные закономерности распределения суточных осадков позволяют, используя известные статистические параметры дождливости [Отчет о НИР, 1985; Виноградов, 1967, 1988; Карта, 1989; Таланов, 2004], моделировать условные поля осадков для конкретных синоптических ситуаций [Таланов, 1984, 2016] и учитывать полученные результаты при оценке степени селеопасности [Карта, 1989], при прогнозировании селевых явлений [Сейнова и др., 2001], включая социально-экономические риски [Таланов, 2008].

Список литературы

- Виноградов Ю.Б. (1967). Вопросы гидрологии дождевых паводков на малых водосборах Средней Азии и Южного Казахстана. М., Гидрометеиздат, 262 с.
- Виноградов Ю.Б. (1988). Математическое моделирование процессов формирования стока. Л.: Гидрометеиздат, 312 с.
- Карта селевой опасности Закавказья и Дагестана (М 1:1000000) (1989). Под ред. Г.И. Херхеулидзе. Таланов Е.А. (макет спец. содержания – осадки). ГУГК СССР.
- Отчет о НИР «Разработать научно-технические основы прогноза селей и защиты от них» (1985). 1.12.01(3). Обобщение параметров распределения суточных сумм жидких осадков на горной территории СССР (заключительный). Части I и II (№ 81025347). Алма-Ата, 140 с.
- Сейнова И.Б., Золотарев Е.А. (2001). Ледники и сели Приэльбрусья. (Эволюция оледенения и селевой активности). М., Научный мир, 204 с.
- 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: 60-73.
- Таланов Е.А. (2004). Анализ репрезентативности вариационных рядов суточных сумм жидких осадков в различных физико-географических условиях. В кн.: Теоретические и прикладные проблемы географии на рубеже столетий: Материалы международной научно-практической конференции (Алматы, 8-9 июня 2004 г.). Под ред. Г.М. Джаналеевой. Алматы, Аркас. II: 131-135.
- Таланов Е.А. (2008). Селевой риск: теоретические основы и практическая значимость. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. В кн.: Труды Международной конференции. Пятигорск, Россия, 22-29 сентября 2008 г. Отв. ред. С.С.Черноморец. Пятигорск, Институт «Севкавгипроводхоз», 74–77.
- Таланов Е.А. (2016). Технология краткосрочного вероятностного прогнозирования паводков и селевых потоков на основе прогноза количества осадков на 3 и 6 часов. В кн.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: Материалы IV Международной конференции (Россия, г. Иркутск – пос. Аршан (Республика Бурятия), 6-10 сентября 2016 г.). Иркутск, Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 229-234.