

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОД СУШИ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

УДК 556.046, 556.121.3:8, 556.166.2

### ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЛИВНЕЙ ПРИ УЧЕТЕ НЕСКОЛЬКИХ СОБЫТИЙ В ГОДУ

© 2019 г. Д. Е. Клименко<sup>1,\*</sup>, Е. С. Черепанова<sup>1</sup>, А. Ю. Кузьминых<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет

Россия 614990 Пермь

\*e-mail: listopad19531@mail.ru

Поступила в редакцию 12.02.2017 г.

После доработки 10.09.2018 г.

Принята к публикации 18.10.2018 г.

Рассмотрены прикладные вопросы анализа рядов данных по паводкоформирующим ливневым осадкам (интенсивностям дождя за короткие временные интервалы), содержащих несколько событий в году. Показано, что использование данных, содержащих несколько событий в году, оправдано для надежного определения статистических характеристик временных рядов при малом периоде наблюдений. Установлено, что статистики временных рядов, содержащих одно и несколько событий в году, хорошо связаны с частотой наблюдаемого явления в пределах Урала. Разработаны рекомендации по пересчету статистик рядов, содержащих несколько событий в году, к статистикам для одного события в году; дан краткий сравнительный анализ используемых в России методов по данной тематике.

*Ключевые слова:* дождевые паводки, ливневые осадки, одно и несколько событий в году, мульти-экстремальные ряды.

DOI: 10.31857/S0321-0596464438-446

#### ВВЕДЕНИЕ

Настоящее исследование посвящено прикладным задачам вероятностных оценок паводкоформирующих ливневых осадков, имеющих очень пеструю временную и пространственную природу. Центральным вопросом исследования является оценка статистических параметров временных рядов, содержащих несколько значений внутри календарного года, и приведение этих рядов к предельному виду, т.е. к такому распределению, при котором за каждый временной интервал имеется только один максимум (“максимум максиморум” в терминологии Н.А. Картвелишвили [4]). Учитывая ряд факторов (редкая сеть плювиографов, короткие временные ряды наблюдений, недостаточное покрытие территории сетью радиолокаторов, ограниченные возможности дистанционных методов, слабая скоррелированность рядов между ближайшими плювиографами), для количественной оценки интенсивности осадков за короткие временные интервалы логичнее использовать все наблюдаемые максимумы выше определенной величины [9, 14, 18, 19]. Использование же методов группового анализа временных рядов ведет

к примитивизации пространственной структуры полей параметров ливня, что в горных районах делает невозможным выявление географических закономерностей.

Вероятностная природа гидрометеорологических процессов в течение XX в., начиная с практических проработок Хайзена [4], не подвергалась сомнению. Потребности практики привели к повсеместному внедрению аппарата математической статистики, доведенного к середине XX в. до уровня инженерных справочников и нормативов. Строительное проектирование на сегодня в части определения экстремального паводочного стока малых рек базируется на формуле предельной интенсивности [12] — простейшей реализации генетической теории формирования стока. Характеристики осадков за короткие временные интервалы остаются сегодня наименее изученными.

Методически авторы настоящего исследования исходят из гипотезы о том, что гидрометеорологические временные ряды не являются распределенными по какому-либо известному статистическому закону, а аппроксимируются

определенным статистическим распределением [2, 4]. Степень соответствия теоретического распределения эмпирическому с известной долей условности может быть оценена с использованием критериев согласия. Авторами установлено, что ряды интенсивностей ливня за короткие временные интервалы аппроксимируются двухпараметрическим логнормальным распределением (Кейптена).

Расчет статистических характеристик на основе анализа всех максимумов, наблюдавшихся в году, проводится с целью удлинения рядов данных по ливневым осадкам (ряды, содержащие одно значение в году, часто оказываются недостаточными для корректных оценок) с последующей оценкой статистик распределения и пересчетом их в статистики рядов, содержащих один “максимум максимумом”.

### ИЗУЧЕННОСТЬ ВОПРОСА

Использование в расчетах паводочного стока максимума максимумума суммы ( $h_i$ ) или интенсивности ( $i_i$ ) ливневых осадков за календарный год на сегодняшний день закреплено в нормативной литературе. Согласно [4], для временных рядов, содержащих несколько максимумов в году (выборки типа  $W$ ), определение вероятности превышения события на основе приведения рядов  $W$  к виду  $V$  (выборки типа  $V$  содержат одно событие в году) изначально было связано только с традицией технического выполнения статистических расчетов в области гидрометеорологии. Однако ранее в работах Б.В. Гнеденко [3] установлена связь между свойствами исходного распределения  $W(x)$  и типом предельного распределения  $V(x)$ : при больших (малых)  $x$  выполняется условие  $\lim_{x \rightarrow \infty} [W(x)] = V(x)$ .

Вопрос корректности выбора одного максимума максимумума из числа нескольких экстремальных событий за расчетный период  $T$  поднимается в литературе с 1970-х гг. [3, 4, 6]. Задача перехода от статистических параметров распределения явлений, наблюдающихся несколько раз в году (выборки типа  $W$ ), к статистикам явлений, наблюдающихся один раз в году (выборки типа  $V$ ), в мировой литературе решается с начала XX в. [2, 4, 26, 27].

Среди отечественных исследований временных рядов ливневых осадков, содержащих несколько экстремумов в году, следует отметить работы Г.А. Алексева [1], С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля (1981) [6, 11].

В современной мировой практике анализа экстремальных значений часто используют три типа распределений Гумбеля (Гумбеля обобщенных экстремальных значений и Вейбулла), семейства распределений Пирсона III типа и Халфена, обобщенные логистическое и Паретто распределения. При анализе рядов, содержащих несколько событий в году, также применяют непараметрическое, двухкомпонентное распределение и распределение Уэйкби [9]. Вопросы оценки рядов, содержащих несколько событий в году, в последнее время освещаются в [19, 21–25].

В [11, 19] при анализе рядов, содержащих несколько событий, обосновывается принцип расчета максимума, наблюдающегося ежегодно с пуассоновской частотой, в усеченных рядах, распределенных по экспоненциальному закону.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве исходных данных использовались материалы наблюдений по 192 метеостанциям на территории Уральского УГМС, оборудованным плювиографами, за период с 1936 по 2015 г. В качестве анализируемых характеристик использованы интенсивности ливня за короткие временные интервалы (<300 мин) и суммы осадков (>10 мм) за все анализируемые события.

Проверка принадлежности резко отклоняющихся точек к единой генеральной совокупности (критерии Диксона и Смирнова–Граббса) дала положительные результаты в отношении “экстремальных” ливней по всем метеостанциям. Наличие резко отклоняющихся значений связано с малой продолжительностью рядов и с погрешностями первичной обработки данных плювиографа.

Ряды являются независимыми, отдельные ливни не имеют генетической связи между собой. Оценка всех эмпирических рядов на принадлежность к статистическим законам распределения выполнена с использованием критериев согласия: Колмогорова–Смирнова, Шапиро–Уилка, Пирсона  $\chi^2$  (хи-квадрат).

Ряды интенсивностей за интервалы малой продолжительности ( $t < 300$  мин) в 80% случаев описываются логнормальным распределением (с уровнем значимости 5–45%) и в 20% случаев — экспоненциальным распределением (с уровнем значимости 5–11%). Для территории Уральского УГМС принят логнормальный закон распределения для описания временных рядов интенсивности ливня.

Структура исходных данных по ливневым осадкам такова, что за каждый год имеется несколько часто равнозначных по сумме осадков и интенсивности ливней. Использование данных по всем событиям продиктовано необходимостью удлинения рядов фактических данных при том, что к анализу информации по ливневым осадкам методы регрессионного анализа и аналогии неприменимы.

Как отмечено выше, аппарат обработки данных по нескольким событиям в году и перехода к статистикам рядов, содержащих один максимум в году (т.е. к статистикам предельных распределений), разработан Э. Гумбелем, Б.В. Гнеденко [2, 3, 9]. Применительно к предмету настоящих исследований под интенсивностью следует понимать вероятность превышения экстремальных интенсивностей ливня внутри года из числа всех экстремальных ливней в году, под частотой — количество ливней в году.

Функция обеспеченности распределения, содержащего 1 событие в году (для выборки  $V$ ),  $P(v)$  определяется функцией обеспеченности распределения с  $n$  событиями в году (для выборки  $W$ )  $P(w)$  и выражается соотношением, вошедшим в [7] в виде:

$$P(v) = 1 - \exp(-P(w)n_w / n_v), \quad (1)$$

где  $n_v$  и  $n_w$  — количество членов в выборках  $V$  и  $W$  соответственно.

Данное соотношение, согласно [11], справедливо для статистически однородных рядов,

ежегодное количество событий в которых аппроксимируется распределением Пуассона. Как показали результаты статистической проверки рядов ежегодного количества интенсивных ливней (использован критерий согласия Пирсона  $\chi^2$  при уровне значимости 0.05), ряды в 80% случаев аппроксимируются нормальным распределением и в 20% — распределением Пуассона (в 80% наблюденная статистика Пирсона превышает критическую в 2–4 раза). Проверка рядов на однородность выборочных средних и дисперсий (критерии Стьюдента и Фишера) дала положительные результаты для рядов, аппроксимируемых нормальным распределением, и для 60% нормализованных рядов, аппроксимируемых распределением Пуассона. Указанные обстоятельства позволяют применять формулу (1) к оценке вероятности событий, повторяющихся несколько раз в году, с большой степенью условности.

Как отмечено в [4], использование подобных упрощенных соотношений приводит к занижению расчетных характеристик редкой обеспеченности и, соответственно, к завышению обеспеченности в случае использования только данных по максимумам при наличии нескольких максимумов в году. Напротив, использование данных по всем событиям в году без пересчета статистических параметров к предельному распределению (одно событие в году) ведет к еще большему “проседанию” кривой обеспеченности (рис. 1). Иными словами, максимальные и предельные значения параметров распределения (нормы и среднего квадратического откло-

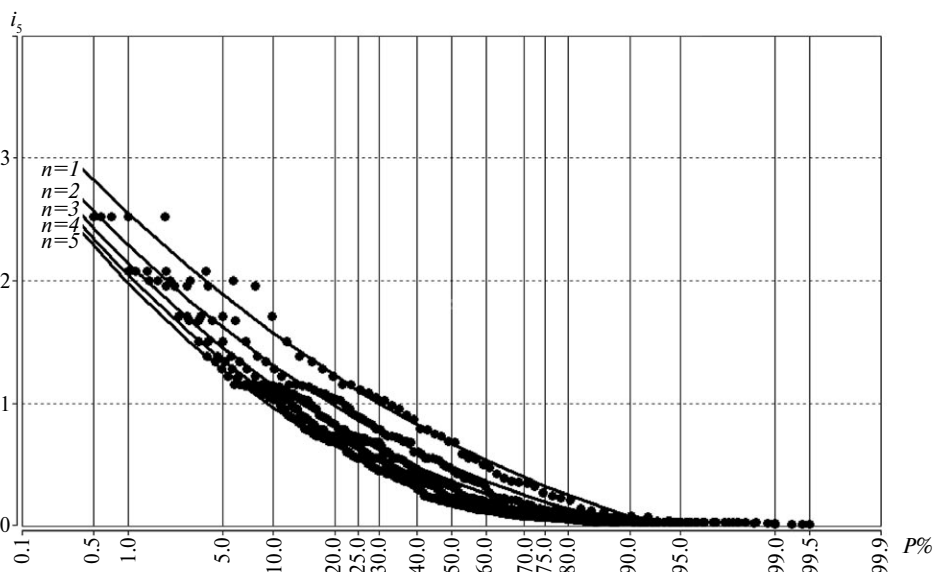


Рис. 1. Эмпирические кривые обеспеченностей рядов максимальной интенсивности ливня за 5 мин  $i_5$  (мм/мин), содержащих разное количество максимумов в году  $n$  (от 1 до 5) по метеостанции Верхнее Дуброво за период 1936–2015 гг.

нения) достигаются только в пределе, т.е. при одном событии в году.

Анализ взаимосвязи статистических параметров распределения: нормы и стандартного отклонения для нормального (двухпараметрического) распределения величин  $i_{5i}$  — временных рядов, содержащих одно событие в году, с параметрами рядов, содержащих  $n$  событий в году, проводился в следующей последовательности. Предварительно независимые члены временных рядов логарифмированы (это сделано ввиду того, что аппарат расчета статистик логнормального распределения довольно громоздок по сравнению с методом моментов, используемым в нормальном распределении). Из 192 анализируемых пунктов наблюдений были отобраны данные плувиографов, на которых в течение  $\geq 20$  лет за каждый расчетный год наблюдалось  $\geq 5$  ливней предельной интенсивностью  $> 0.2$  мм/мин за 5-минутный интервал времени (по материалам наблюдений установлено, что на рассматриваемой территории в течение года может наблюдаться  $\leq 8$  ливней с интенсивностью, превышающей указанную величину).

Предварительно выполнено ранжирование экстремальных дождей внутри каждого расчетного года по величине наибольшей наблюдаемой интенсивности за 5-минутный интервал в порядке убывания (иными словами, проведена компоновка ливней по их порядковому номеру внутри календарного года). Подобное ранжирование оказывается возможным в связи с тем, что временные ряды характеристик экстремальных ливней независимы, внутрирядная связь отсутствует, что предопределено генезисом формирования экстремальных осадков (фронтальным или внутримассовым). Сформированы ряды, содержащие одновременно  $n = 1, 2, 3, 4$  и 5 событий в году. Формирование временных рядов, содержащих  $n$  (от 1 до 5) событий в году, осуществлялось путем последовательного объединения рядов экстремальных интенсивностей ливня первого порядка с рядами экстремумов второго порядка и т.д. При этом хронологическая последовательность событий внутри каждого расчетного года нарушалась.

Поскольку при обработке выборок, содержащих несколько событий в году, велика вероятность получения неоднородной совокупности, необходима предварительная оценка однородности указанных выборок. При применении процедуры усечения к рядам, содержащим разное количество событий в году, точка усечения  $\xi$  окажется непостоянной как для рядов, содержа-

щих разное количество событий по одному пункту наблюдений, так и для разных метеостанций. По этой причине описываемая методика разрабатывается для статистически однородных выборок (либо для выборок, приведенных к однородности путем усечения). Анализируемые ряды по своей природе являются независимыми, поскольку отдельные ливни не имеют генетической связи между собой. Проверка на однородность выборочных средних и дисперсий дала положительные результаты для 95% анализируемых хронологических выборок, содержащих от 1 до 5 событий в году.

Методом моментов определены статистические параметры рядов и установлены зависимости:

1) математических ожиданий временных рядов, содержащих одно ( $\bar{i}_1$ ) и несколько ( $\bar{i}_n$ ) событий в году ( $n$  меняется от 2 до 5 событий), от логарифма числа событий в году:

$$\frac{\bar{i}_n}{\bar{i}_1} = f(\ln[n]), \quad (2)$$

2) средних квадратических отклонений (СКО) рядов, содержащих одно ( $\sigma_1$ ) и несколько ( $\sigma_n$ ) событий в году, от логарифма числа событий в году:

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_1} = f(\ln[n]). \quad (3)$$

Данные зависимости представлены номограммами (рис. 2). Для отношения (2) получена единая зависимость вида:

$$\frac{\bar{i}_n}{\bar{i}_1} = 1 - 0.33 \ln[n]. \quad (4)$$

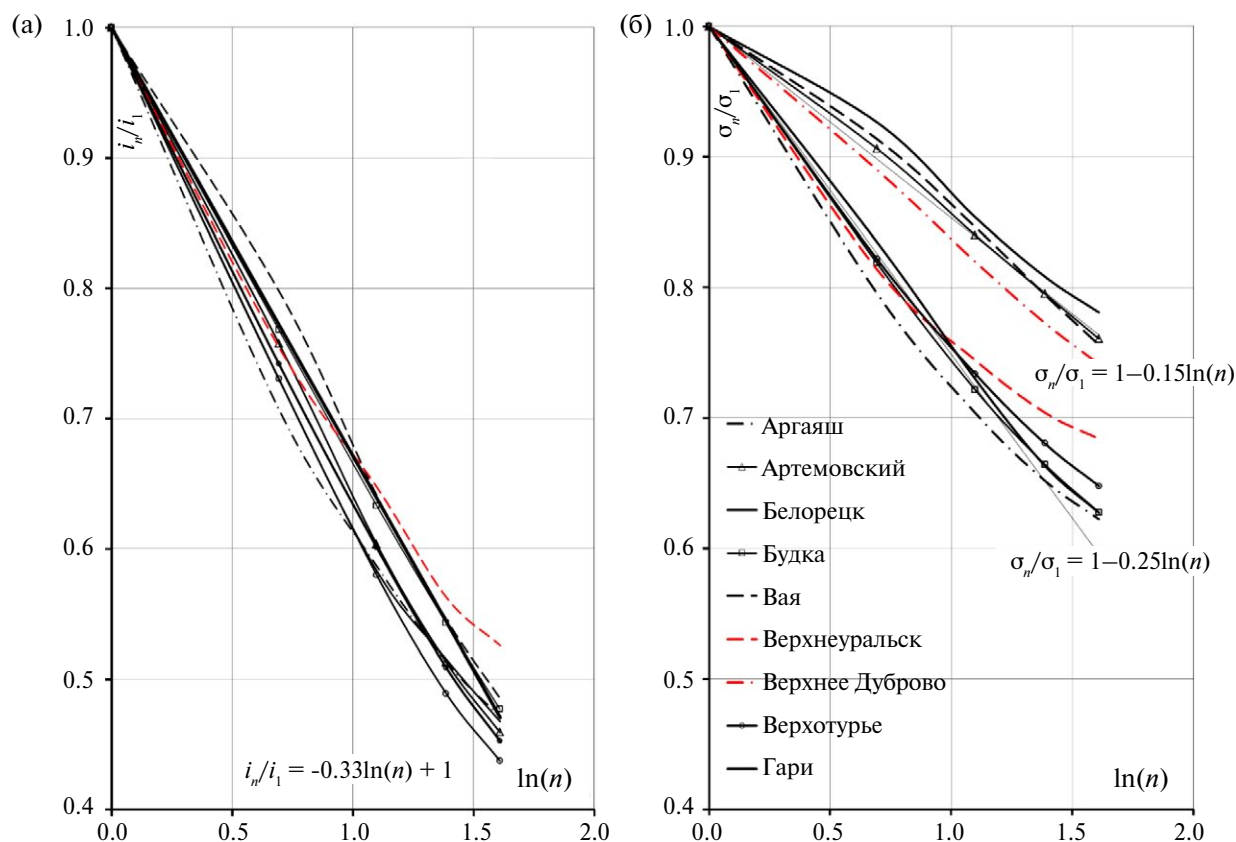
Для отношения (3) получена номограмма, описываемая уравнением вида:

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_1} = 1 - a \ln[n], \quad (5)$$

где  $a$  — эмпирический параметр, принимаемый равным 0.15 для рядов, характеризующихся коэффициентом вариации  $C_{v1} > 1$ , и 0.25 — для остальных рядов.

Величина  $\sigma_1$ , таким образом, зависит как от количества событий в году, так и от величины  $C_{v1}$ , что выражено в уравнении (5).

На основе рассчитанных зависимостей и номограмм появляется возможность перехода от статистических параметров рядов, содержащих



**Рис. 2.** Расчетные номограммы: (а) — отношения математических ожиданий временных рядов, содержащих одно ( $\bar{i}_1$ ) и несколько событий ( $\bar{i}_n$ ) в году ( $n$  изменяется от 2 до 5 событий), от логарифма числа событий в году  $\bar{i}_n / \bar{i}_1 = f(\ln[n])$ ; (б) — отношения СКО рядов, содержащих одно ( $\sigma_1$ ) и несколько ( $\sigma_n$ ) событий в году, от логарифма числа событий в году  $\frac{\sigma_n}{\sigma_1} = f(\ln[n])$ .

любое количество событий в году, к параметрам рядов, содержащих одно событие в году. Погрешности подобных переходов, оцененные по данным наблюдений,  $\leq 1.5\%$  для нормы и  $5\%$  для СКО ряда.

Разброс линий связи на полученных зависимостях объясняется особенностями внутригодового распределения статистических параметров ливней и ограниченностью рядов наблюдений. Количественные закономерности распределения статистических параметров ливней внутри года в настоящее время не изучены и не описаны в литературе. Иными словами, после выполнения компоновки на сегодняшний день нельзя однозначно установить зависимость статистических параметров рядов, содержащих 1 значение для каждого ливня  $n$ , от порядкового номера ливня в году.

Для использования полученных номограмм в практических целях имеет смысл определить среднее количество ливней в году на рассматриваемой территории по материалам многолетних

наблюдений. Эти расчеты проведены авторами на основе материалов наблюдений pluviографов продолжительностью  $\geq 40$  лет за период с 1936 по 2015 г. Величины среднего количества ливней картографированы (рис. 3): прослеживается закономерное увеличение средней частоты ливней в горном районе Урала, а также на некоторых участках восточных предгорий.

Правомерность осреднения количества ливней в году по группе метеостанций-аналогов (при малой продолжительности наблюдений) подтверждается наличием зависимостей

$$i_n = f(\ln[n]) \text{ и } \sigma_n = f(\ln[n])$$

по всем анализируемым метеостанциям без ранжирования событий внутри каждого года, а с учетом всех событий в году — по каждой из метеостанций (одна точка — одна метеостанция). Следует считать зависимости с ранжированием данных по ливням внутри года более надежными. Как отмечалось выше, ряды количества единичных ливней за год для анализируемых метеостанций аппрок-

симируются нормальным распределением. В связи с этим характеристика среднего количества ливней в году является достаточно хорошим показателем центра распределения указанных рядов. Алгоритм расчета предполагает формирование выборок по всем наблюдавшимся в году ливням с количеством осадков  $>10$  мм за 1 ч (при любом количестве явления в каждый расчетный год) без выборки какого-то определенного количества явлений за каждый год. Использование среднего количества ливней в году позволяет определить предельные значения нормы и СКО на основе сформированных рядов максимальных интенсивностей осадков.

Полученные зависимости и картограммы могут быть использованы для определения статистических параметров предельных распределений на основе данных по ливням с любым количеством событий в году. В представленном виде зависимости и картограмма использованы для приведения статистических параметров распределения интенсивности ливневых осадков по метеостанциям от случая нескольких событий в году к случаю одного события в году.

В практических целях при обработке рядов малой продолжительности ( $<10$  лет) рекомендуется использовать следующий алгоритм:

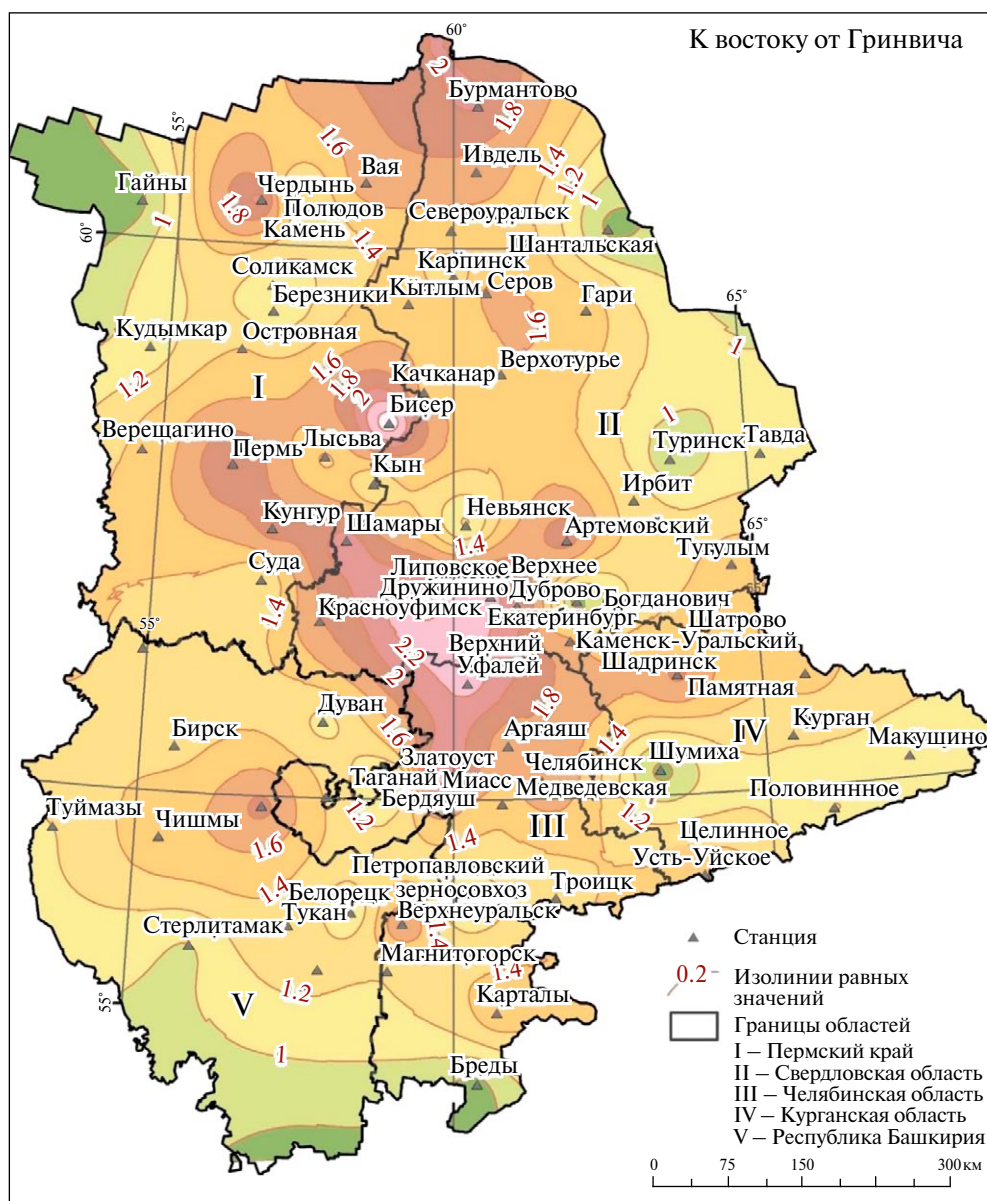


Рис. 3. Расчетная карта среднего числа ливней с количеством осадков  $>10$  мм/ч в году на территории Уральского УГМС и Башкирии.

1. По данным плювиографических наблюдений формируется выборка всех единичных ливней с суммой осадков  $>10$  мм/ч.

2. Рассчитываются максимальные интенсивности ливня за 5-минутные интервалы (переход к интенсивностям за интервалы другой продолжительности или к суммам осадков за ливень можно осуществить по редуцированным кривым, представленным в [5]).

3. После проверки на однородность определяются статистические параметры рядов, содержащих несколько максимумов в году.

4. На основе разработанных зависимостей (рис. 2) выполняется пересчет статистических параметров рядов, содержащих несколько событий, к рядам, содержащим одно событие в году, что и требуется в инженерной практике. При исходной длине ряда, содержащего 1 событие в году, от 10 до 15 лет увеличение длины ряда в 2–4 раза за счет использования всех событий в году позволяет минимизировать среднюю квадратическую ошибку определения среднего с 35 до 23–16%, а ошибку определения СКО — с 90 до 55–30%. Учитывая, что погрешности переходов от статистик мультиэкстремальных рядов к рядам, содержащим 1 событие в году, не превышают 1.5% для нормы и 5% для СКО ряда, использование всех явлений представляется эффективным способом получения надежных оценок статистических параметров рядов.

## ОБСУЖДЕНИЕ

В практике гидрологических расчетов характеристик ливневых осадков редкой повторяемости, содержащих несколько событий в году, в настоящее время сложилось три подхода:

1) анализ выбросов (метод максимизации — в зарубежной литературе) и связанных с ними моментов распределений [19];

2) использование распределений экстремумов (предельные распределения) [2];

3) использование односторонне усеченных распределений (при котором анализу подвергаются “хвосты” интегральных распределений, а не их околomodальную часть, как принято в математической статистике) [8].

Данные подходы в подавляющем большинстве исследований позиционируются как независимые методы статистического анализа, однако в используемом на практике виде являются

частными случаями реализации предельного распределения Гумбеля.

Второй подход получил развитие в [1] применительно к анализу данных по дождевым осадкам и экстремальным расходам воды дождевых паводков и в последние десятилетия слабо освещен в исследованиях. Сложившийся в настоящее время переход к детерминированным моделям речного стока указывает на необходимость использования данных по всем экстремальным характеристикам ливней в году при расчете стока дождевых паводков.

В работе [8] функция обеспеченности усеченного распределения представлена в виде:

$$P(w) = P(v)P(\xi), \quad (6)$$

где  $P(w)$  и  $P(v)$  — функции распределения полной и усеченной совокупности соответственно (в принятой системе обозначений  $W$  — полная совокупность,  $V$  — усеченная совокупность),  $P(\xi)$  — обеспеченность в точке усечения  $\xi$  (очевидно, что  $P(\xi) \approx n_v/n_w$ , если привязываться к объему выборки). Иными словами, в принятой авторами статьи системе обработки данных по нескольким событиям в году в качестве  $n_v$  выступали бы только максимумы, а в качестве  $n_w$  — все остальные максимумы, соответствующие 2-му, 3-му и т.д. событию в каждом году. Полную идентификацию техники усеченных и предельных распределений осложняет тот факт, что множества максимумов, относящихся, например, к 1-му и 2-му по порядку событиям в году, чаще всего являются пересекающимися за многолетний период наблюдений. В то же время объединение техники использования усеченных и предельных распределений, по мнению авторов статьи, является перспективной задачей в исследованиях статистик явлений, содержащих несколько событий в году. В [19] подобное объединение привело к развитию двухкомпонентного распределения, которое можно рассматривать как максимум двух экстремумов разных порядков (1-й 2-й в году) в усеченных рядах, каждый — с пуассоновской частотой появления и экспоненциально распределенными значениями максимумов.

## ВЫВОДЫ

В настоящем исследовании авторами предложен адаптированный для инженерной практики подход к определению статистических параметров распределений с любым количеством событий в году. Материалом для исследования



послужили интенсивности ливня за короткие интервалы времени. Предложена схема компоновки ливней внутри года. Частота ливней картографирована для территории Урала, что дает возможность определения и районирования переходных коэффициентов пересчета статистик распределений с любым количеством событий в году к статистикам предельных распределений на основе полученных номограмм.

Все расчеты выполнены для логнормального распределения, которое наилучшим образом аппроксимирует ряды интенсивностей ливня.

Ранее авторами устанавливались групповые для всех анализируемых метеостанций соотношения статистик явлений для одного и нескольких событий в году по данным среднего количества ливней в году средней интенсивности за 5 мин и коэффициента вариации интенсивности ливня. В отношении средних получено соотношение, повторяющее соотношение (4) (ошибка вычисления  $\bar{i}_1$  на основе  $\bar{i}_n$  не превышала 2.3%; по методике, приводимой в настоящей работе, ошибка уменьшилась до 1.5%). В отношении СКО зависимость вида (5) позволяет минимизировать ошибку определения  $\sigma_1$  до 4.8% (против 20%, получавшейся ранее). Зависимости, полученные путем компоновки ливней по каждой метеостанции, существенно повышают точность расчетов.

Перспективы развития разработанной авторами методики расчета параметров предельных распределений интенсивности ливня на основе частоты ливней за год связаны с исследованиями количества ливневых осадков внутри года и частоты их появления по месяцам теплого периода.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев Г.А.* Определение вероятности гидрологических и климатологических явлений, повторяющихся несколько раз в году // Тр. ГГИ, 1954. Вып. 43 (97). С. 106–112.
2. *Гумбель Э.* Статистика экстремальных значений. М.: Мир, 1965. 450 с.
3. *Джонсон Н.Л., Коц С., Балакришнан Н.* Одномерные непрерывные распределения. Изд. 2. Ч. 2. Теория вероятностных распределений / Пер. с англ. М.: БИНОМ, 2010. 656 с.
4. *Картвелишвили Н.А.* Стохастическая гидрология. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 162 с.
5. *Клименко Д.Е., Епончинцева Д.Н., Корепанов Е.П., Черепанова Е.С.* Исследование кривых редукции паводкоформирующих ливневых осадков Зауралья // Метеорология и гидрология. 2018. № 2. С. 76–89.
6. *Крицкий С.Н., Менкель М.Ф.* Гидрологические основы управления речным стоком. М.: Наука, 1981. 257 с.
7. Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 248 с.
8. *Раткович Д.Я., Болгов М.В.* Стохастические модели колебаний составляющих водного баланса речного бассейна. М.: ИВП РАН, 1997. 262 с.
9. Руководство по гидрологической практике. Сбор и обработка данных, анализ, прогнозирование и другие применения // Всемирная метеорологическая организация. ВМО-168. 1994, 1997. 843 с.
10. *Хальд А.* Математическая статистика с техническими приложениями. М.: Изд-во иностр. лит., 1956. 664 с.
11. *Христофоров А.В., Круглова Г.В., Самборский Т.В.* Стохастическая модель колебаний речного стока в паводочный период. М.: МГУ, 1998. 146 с.
12. *Чеботарев А.И., Серпик Б.И.* Выбор и обоснование формул для расчета максимальных расходов дождевых паводков // Сб. работ по гидрологии. Л.: Гидрометеоздат, 1973. № 11. С. 3–47.
13. Comprehensive Risk Assessment for Natural Hazards // World Meteorological Organization. WMO/TD-No. 955. 1999. 92 p.
14. Estimation of Maximum Floods. World Meteorological Organization. WMO-No. 233. TP 126. Techn. Note No. 98. Geneva, 1969. 288 p.
15. *Hershfield D.M.* Method for estimating probable maximum rainfall // J. American Waterworks Association. V. 57. 1965. August. P. 965–972.
16. *Hershfield D.M.*, Rainfall frequency atlas of the United States for durations from 30 minutes to 24-hours and return periods from 2 to 100 years // Techn. Paper 40. Washington: US Weather Bureau, 1961. P. 400–440.
17. Intercomparison of models of snowmelt runoff. Operational Hydrology Report № 23. WMO Publ. № 646. Geneva: World Meteorological Office, 1986. 440 p.
18. Manual for Depth-area-duration Analysis of Storm Precipitation // World Meteorological Organization. WMO-No. 237. Geneva, 1969. 114 p.
19. Manual for Estimation of Probable Maximum precipitation // World Meteorological Organization. Operational Hydrology Re. No.1. WMO-No. 332. Geneva, 1986. 269 p.
20. *Miller J.F.* Physiographically Adjusted Precipitation-frequency Maps: Distribution of Precipitation in Mountainous Areas // WMO-No326 (11). 1972. P. 264–277.
21. *Pilgrim D.M., Cordery I.* Flood Runoff // Handbook of Hydrology. New York, USA: McGraw-Hill, Inc., 1993.
22. *Pilgrim D.M., Cordery I.*, Rainfall temporal patterns for design floods // ASCE J. Hydraulic Engineering. 101 (HY1). 1975. P. 81–95.



23. *Pilgrim D.H., Doran D.G.* Practical Criteria for the Choice of Method for Estimating Extreme Design Floods // IAHS. Publ. No.213. Wallingford, UK: Inst. Hydrology, 1993.
24. *Pilgrim D.H.* Australian Rainfall and Runoff // A Guide to Flood Estimation. Canberra: Inst. Engineers Australia, 1998. V. I, II.
25. *Sevruk B., Geiger H.* Selection of Distribution Types for Extremes of Precipitation // World Meteorological Organization. Operational Hydrology Rep. No. 15. WMO-No. 560. Geneva, 1981. 64 p.
26. *Todorovic P., Woolhiser D.A.* Stochastic structure of the local pattern of precipitation // Stoch. Approach to Wat. Res. 1976. V. 2. P. 217–222.
27. *Todorovic P., Yevjevich V.* Stochastic processes of precipitations // Colorado State Univ. Hydro. Paper. 1969. V. 35. P. 1–61.

## ASSESSMENT OF PARAMETERS AND DISTRIBUTION OF EXTREMELY HEAVY-RAINFALL EVENTS THAT OCCUR SEVERAL TIMES PER YEAR

© 2019 D. E. Klimenko<sup>1,\*</sup>, E. S. Cherepanova<sup>1</sup>, A. Yu. Kuzminykh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Perm State University  
Russia 614990 Perm

\*e-mail: listopad19531@mail.ru

Received: 12.02.2017

Revised version received: 10.09.2018

Accepted: 18.10.2018

Applied analyses of a number of datasets containing several highwater-forming storm rainfall events (intense rain for short time periods) per year are examined. The use of data containing several events per year is demonstrated as justified for reliable determination of statistical properties of time series derived from short observation periods. The statistics of time series containing one to several events per year in the Ural Mountains are shown to be well correlated with the frequency of the observed events. Recommendations for recalculation of the time-series statistics containing several events per year versus statistics for one event per year were developed, and a brief comparative analysis of the methods used in Russia is provided.

**Keywords:** rainfall flood, storm rainfall, one or several events per year, multi-extreme series.

**DOI:** 10.31857/S0321-0596464438-446