

Galina V. Morozova, Candidate of Geography, Senior Research Fellow, Institute of Natural Science, Reader of Department of Hydrology and Protection of Water Resources, Perm State University; 15 Bukireva, Perm, Russia 614990; eni.kiv@mail.ru

Aleksandr B. Kitaev, Candidate of Geography, Reader of Department of Hydrology and Protection of Water Resources, Perm State University; 15 Bukireva, Perm, Russia 614990; hydrology@psu.ru

Olga A. Berezina, Junior Research Fellow of Laboratory of Complex Study of Water Reservoirs, Institute of Natural Science, Perm State University; 15 Bukireva, Perm, Russia 614990; berezina.olga16@gmail.com

УДК 556.161

Д.Е. Клименко, Е.П. Корепанов

КАРТИРОВАНИЕ СУТОЧНОГО СЛОЯ ОСАДКОВ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬЮ $P=1\%$ НА ТЕРРИТОРИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УРАЛЬСКОГО УГМС ПРИ РАСЧЕТАХ СТОКА ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ ПО ФОРМУЛЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ¹

Максимальный суточный слой ливневых осадков вероятностью превышения $P=1\%$ ($H_{1\%}$) является ключевой характеристикой при расчетах стока дождевых паводков на водосборах площадью менее 200 км^2 при отсутствии материалов наблюдений. Приводится современная карта $H_{1\%}$, разработанная авторами для территории деятельности Уральского УГМС. Рассматриваются разногласия нормативных документов относительно способов определения этой величины и точности расчетов характеристик дождевого стока. Выполнен сравнительный анализ точности существующих карт распределения $H_{1\%}$, используемых в гидрологических расчетах.

Ключевые слова: гидрологические расчеты; дождевые паводки; формула предельной интенсивности; максимальный суточный слой осадков.

Введение

Определение величины максимального суточного слоя ливневых осадков вероятностью превышения $P=1\%$ ($H_{1\%}$) является наиболее ответственной задачей гидрологических расчетов стока дождевых паводков с малых водосборов. Малыми водосборами, для которых возможно применение формулы предельной интенсивности (формула III типа) в соответствии с СП 33-101-2003 [4], являются такие, площадь которых ограничена величиной в 200 км^2 для всех природных зон. В соответствии с предшествующим нормативом СНиП 2.01.14-83 [6] предельная площадь водосбора для лесной и тундровой зоны составляла 50 км^2 , для других природных зон – 100 км^2 .

Действующие на сегодняшний день нормативы по гидрологическим расчетам дают спорные указания по определению величины $H_{1\%}$. Если СНиП 2.01.14-83 содержал расчетные карты для территории СССР и величину суточного максимума осадков можно было определять по ним, то в СП 33-101-2003 карты отсутствуют и значение $H_{1\%}$ рекомендовано принимать по данным ближайшей метеостанции (п. 7.44 СП 33-101-2003). Никакие указания по выбору метеостанций и расчетных периодов в нормативе не приводятся, поэтому в практике гидрологических расчетов при определении величины $H_{1\%}$ продолжают использоваться отмененные карты СНиП 2.01.14-83, а также данные климатических справочников [1; 5]. Последнее ведет к погрешностям расчетов в районах с редкой

© Клименко Д.Е., Корепанов Е.П., 2012

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 12-05-31022-мол_а

Клименко Дмитрий Евгеньевич, кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского государственного национального исследовательского университета; 614990 Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15; klimenkodi@rambler.ru

Корепанов Евгений Петрович, инженер I категории Уральского филиала ОАО «Гипроспецгаз»; 620142 Россия, г. Екатеринбург, ул. Большакова, 61; ekorepanov@rambler.ru

сеть метеостанций, положение которых не совпадает с положением гидрологических постов. В подобных районах картирование является единственным надежным способом определения величин в любой точке местности. Хотя СНиП 23-01-99* [7] указывает на то, что расчетная метеостанция должна располагаться на расстоянии не более 100 км (п. 1.2*) от центра расчетного водосбора, в случае с неравномерно распределенными ливневыми осадками это положение выглядит малообоснованным.

Целью настоящего исследования является составление карты ливневых максимумов $H_{1\%}$ и ее сопоставление с существующими картами, используемыми в гидрологических расчетах.

Изученность ливневых осадков на территории Уральского УГМС

Для составления карты использованы материалы наблюдений по метеостанциям, имеющим длительные ряды наблюдений, охватывающим период с 1893 по 1991 г. (табл. 1). К расчетам привлечены расчетные суточные максимумы $H_{1\%}$, опубликованные в [1; 5]. Удлинение рядов не производилось. При сборе данных по суточным максимумам выполнен сравнительный анализ расчетных величин $H_{1\%}$, опубликованных в справочниках по климату [5] и в «Ресурсах поверхностных вод СССР» [3]. Существенные расхождения в расчетных величинах $H_{1\%}$, опубликованных в разных изданиях, выявлены лишь по единичным метеостанциям. Во всех случаях при построении карты выбиралось значение, опубликованное в последнем по времени издании (Научно-прикладной справочник по климату, 1991 г. [1]).

Режим увлажнения на рассматриваемой территории определяется особенностями циркуляции атмосферы и подстилающей поверхности.

Рельеф территории неоднороден. Его основной чертой является неширокая меридиональная полоса Уральского горного хребта, которая служит естественной преградой господствующему западно-восточному переносу воздушных масс, что играет большую роль в распределении осадков [5]. Возвышенные западные склоны горного Урала постепенно переходят в Восточно-Европейскую равнину, которая в пределах рассматриваемой территории имеет крупнохолмистый характер благодаря наличию ряда возвышенностей (восточные отроги Северных увалов, Верхне-Камская возв., Уфимского плато). Восточные склоны Уральских гор круто обрываются и переходят в Западно-Сибирскую низменность. Территория в пределах Свердловской области имеет равнинную поверхность, пересеченную долинами многочисленных рек; в Челябинской и Курганской областях является бессточной равниной с наличием невысоких (6-8 м) пологих возвышенностей, разделенных впадинами.

Уральский хребет на всем своем протяжении состоит из гор различной высоты (рис. 1), межгорных долин и котловин. Прилегающие к хребту равнины изрезаны речными долинами. Такая расчлененность рельефа приводит к значительным изменениям по территории годовых сумм осадков, особенно суточных максимумов.

Средняя высота главных орографических линий Северного Урала равна 700-800 м (отдельные вершины гор не будем принимать во внимание, так как они не играют существенной роли в образовании осадков). С запада подходит Полюдов кряж со средней высотой 400-500 м, с востока высота орографических линий несколько меньше и составляет 350-400 м. На равнине с западной стороны Северного Урала за год осадков выпадает 600 мм, с восточной – 450 мм. На западных склонах и вершинах гор Северного Урала годовые суммы осадков составляют 1100 мм и более, а в долинах гор – 600-750 мм [5].

Средний Урал представляет собой наиболее пониженную и сглаженную часть гор. В северной возвышенной части Среднего Урала годовые суммы осадков составляют 700-800 мм. В пониженной части Среднего Урала вследствие более пестрого чередования скалистых кряжей, мягких увалов и отдельных сопков распределение годовых сумм особенно неравномерно. Здесь за год выпадает 450-650 мм осадков. Наибольшие суммы осадков получают кряжи, сопки, увалы (свыше 600 мм). Между кряжами в широких долинах осадков выпадает 500-550 мм.

Далее к югу высота гор Урала снова увеличивается. Горная часть здесь достигает наибольшей ширины (до 150 км). Структура рельефа Южного Урала очень сложная, отличается большим количеством параллельных хребтов и гряд. Горные цепи, расположенные к западу от Урала, расчленены поперечными долинами и низинами. Сложный и изрезанный рельеф является причиной

значительных различий в величине годовых сумм осадков от 450 мм (Лесной Кордон) до 1000 мм (Таганай, гора).

Таблица 1

Перечень метеостанций и периодов наблюдений за ливневыми осадками (по данным [1])

Станция	Н, м БС	Годы наблюдений	Станция	Н, м БС	Годы наблюдений
Свердловская область			Кудымкар*	150	1895-1964
Ивдель, АЭС	93	1894-1980	Чермоз*	147	1901-1964
Верхняя Косьва, Растес*	316	1934-1961	Бисер	462	1891-1980
Прокопьевская Салда*	100	1939-1963	Пермь, оп. Ст.	171	1891-1980
Нижняя Тура*	170	1893-1959	Кын	244	1894-1980
Туринск, ж/д ст.*	71	1925-1964	Кунгур, ж/д ст.*	140	1925-1964
Голубковское*	100	1891-1964	Челябинская область		
Нижний Тагил*	220	1925-1935	Уфалей*	380	1891-1964
Алапаевск*	126	1894-1964	Нязепетровск	318	1916-1980
Волково (Ирбит, с/х школа)*	79	1911-1964	Челябинск, город	234	1950-1980
Висим	314	1891-1980	Златоуст	532	1891-1980
Леневское*	250	1893-1964	Кропачево	411	1892-1980
Староуткинский*	252	1895-1964	Миасс*	335	1891-1964
Балаир*	120	1915-1963	Троицк*	180	1891-1964
Бисерть	304	1925-1980	Карталы*	298	1936-1980
Ревда, ж/д ст.	325	1948-1964	Бреды	309	1936-1980
Екатеринбург, город*	280	1891-1980	Верхнеуральск	401	1892-1980
Красноуфимск, ж/д ст., Ачит*	216	1926-1964	Курганская область		
Каменск-Уральский*	168	1891-1980	Далматово*	91	1893-1964
Бурмантово	127	1939-1980	Шадринск*	80	1891-1955
Гари	128	1937-1980	Курган, Вороновка	72	1893-1980
Туринская Слобода	73	1936-1980	Макушино*	140	1925-1964
Шамары	247	1936-1980	Шумиха	176	1901-1980
Пермская область			Куртамыш*	126	1925-1964
Тулпан	202	1937-1980	Звериноголовское	118	1895-1980
Чердынь	208	1891-1980	Примечание: * – Справочник по климату СССР, 1968 г. [5]		
Коса	183	1926-1964			
Кизел	347	1892-1941			

Характеристика режима увлажнения территории

Возвышенности, такие как восточные отроги Северных Увалов, Верхне-Камская возвышенность, Сылвенский кряж, Уфимское плоскогорье, получают осадков на 70-150 мм больше, чем районы, расположенные непосредственно за ними.

В предгорьях Южного Урала горные цепи, расположенные к западу от гор, расчленены поперечными долинами и низинами, большей частью довольно широкими, и распадаются на отдельные гребни и массивы. Такое строение поверхности способствует увеличению турбулентности в воздухе и потере им влаги в предгорных районах, где создается зона повышенных осадков (более 700 мм). К западу от этой зоны с понижением высоты местности суммы осадков убывают. Пониженные количества их отмечены по долинам р. Белой и ее притокам Сюнь, Чермасан, Дема, где осадков в год выпадает от 400 до 500 мм. Восточные склоны Уральских гор получают 500-600 мм осадков в год.

На севере Западно-Сибирской низменности в пределах Свердловской области распределение годовых сумм осадков тесно связано с особенностями рельефа. Так, с понижением рельефа с запада

на восток количество осадков убывает в этом направлении от 500 до 450 мм в год, а в долинах рек Тавда, Тура и Ница годовые суммы осадков составляют 400-450 мм.

На юге Челябинской области, непосредственно за Уральским хребтом, на юге Курганской области, где поверхность представляет собой почти плоскую равнину с небольшим понижением к северо-востоку, наблюдаются наименьшие годовые суммы осадков (менее 350 мм), а на самом юге Курганской области количество осадков не достигает и 300 мм.

Суточные максимумы осадков, наблюдающиеся ежегодно, значительно меньше изменяются по территории, чем суточные максимально редкой повторяемости. Так, в июле в Чердыни (север Пермской области) и Макушино (Курганская область) суточное количество осадков обеспеченностью в 63 % составляет 15 мм, а суточные количества осадков обеспеченностью в 2% по этим же станциям составляют: разницу 52 мм в Чердыни, 76 мм в Макушино.

Абсолютный максимум за сутки в месяцы теплого периода (май-сентябрь) в зависимости от циркуляционных условий изменяется в Предуралье от 25 до 90 мм, в Зауралье – от 25 до 140 мм.

Картирование величины $H_{1\%}$ по данным наблюдений осуществляется на метеостанциях; сравнительный анализ погрешностей определения $H_{1\%}$ – по различным картам

Режим выпадения ливневых осадков на Урале связан с его орографией и преобладающими типами атмосферной циркуляции в летний период. Схема орографического строения Уральских гор представлена на рис. 1. В формировании режима увлажнения Урала преобладающая роль принадлежит западному переносу воздуха в течение всех сезонов года.

Ливневые осадки наблюдаются в неустойчивых воздушных массах, холодных (в тылу циклона) или местных (над сушей летом), при прохождении холодных фронтов (реже – в связи с теплыми фронтами). При пересечении воздушными массами, идущими с запада, хребтов Урала, неустойчивость воздушных масс усиливается. Нарастание неустойчивости происходит пропорционально высоте барьерных хребтов. В связи с этим максимум неустойчивости будет наблюдаться уже при пересечении атмосферными фронтами горной полосы, что объясняет увеличение ливневых максимумов с подветренной стороны хребтов. При этом в местах снижения абсолютной высоты барьерных хребтов Урала формируются своеобразные коридоры, наиболее значительным из которых является Средний Урал, ось которого проходит по линии Екатеринбург-Ачит. По этому коридору неустойчивые массы воздуха свободно проникают на восток, формируя ливневые максимумы на значительном удалении от линии главного водораздела (до 200-250 км).

При составлении карты распределения $H_{1\%}$ использованы расчетные величины по метеостанциям, действующим на территории Свердловской, Челябинской и Курганской областей, Пермского края (табл. 1), а также сопредельных регионов – Тюменской обл., республик Коми и Башкирии.

При картировании величин в горном районе была предпринята попытка установления зависимости величины суточного максимума обеспеченностью 1% от высоты осадкомеров метеостанций, однако выявить связь не удалось.

Картирование осуществлено по данным 49 метеостанций, изолинии проводились методом интерполяции. Характер распределения суточных максимумов осадков обеспеченностью 1%, полученный при картировании (рис. 2), во многом сходен с распределением осадков, отраженных на картах 1973 и 1983 гг. [2; 3] (рис. 3, 4). Увеличение суточных максимумов наблюдается с подветренной стороны Уральских гор, на расстоянии 10-30 км к востоку от линии главного водораздела. Подобное увеличение на всех картах прослеживается и к востоку от Верхне-Камской возвышенности. В районе низкогорного коридора Среднего Урала максимум смещается на 200-300 км к востоку от линии главного водораздела.

Сопоставление трех различных карт показывает, что карта, составленная по данным 1991 г., сходна с более ранними разработками в отношении распределения осадков по территории. Однако современная карта дает значения $H_{1\%}$ на 25-30% ниже в сравнении с картами, изданными ранее.

Анализ погрешностей определения максимального суточного слоя осадков $H_{1\%}$ по картам (табл. 2) показывает, что средние квадратические погрешности определения величин суточного максимума осадков по современным картам (17%) существенно ниже погрешностей, возникающих при использовании ранее изданных карт (27-29%). Также для современной карты существенно ниже средняя и максимальная погрешности определения величин $H_{1\%}$.

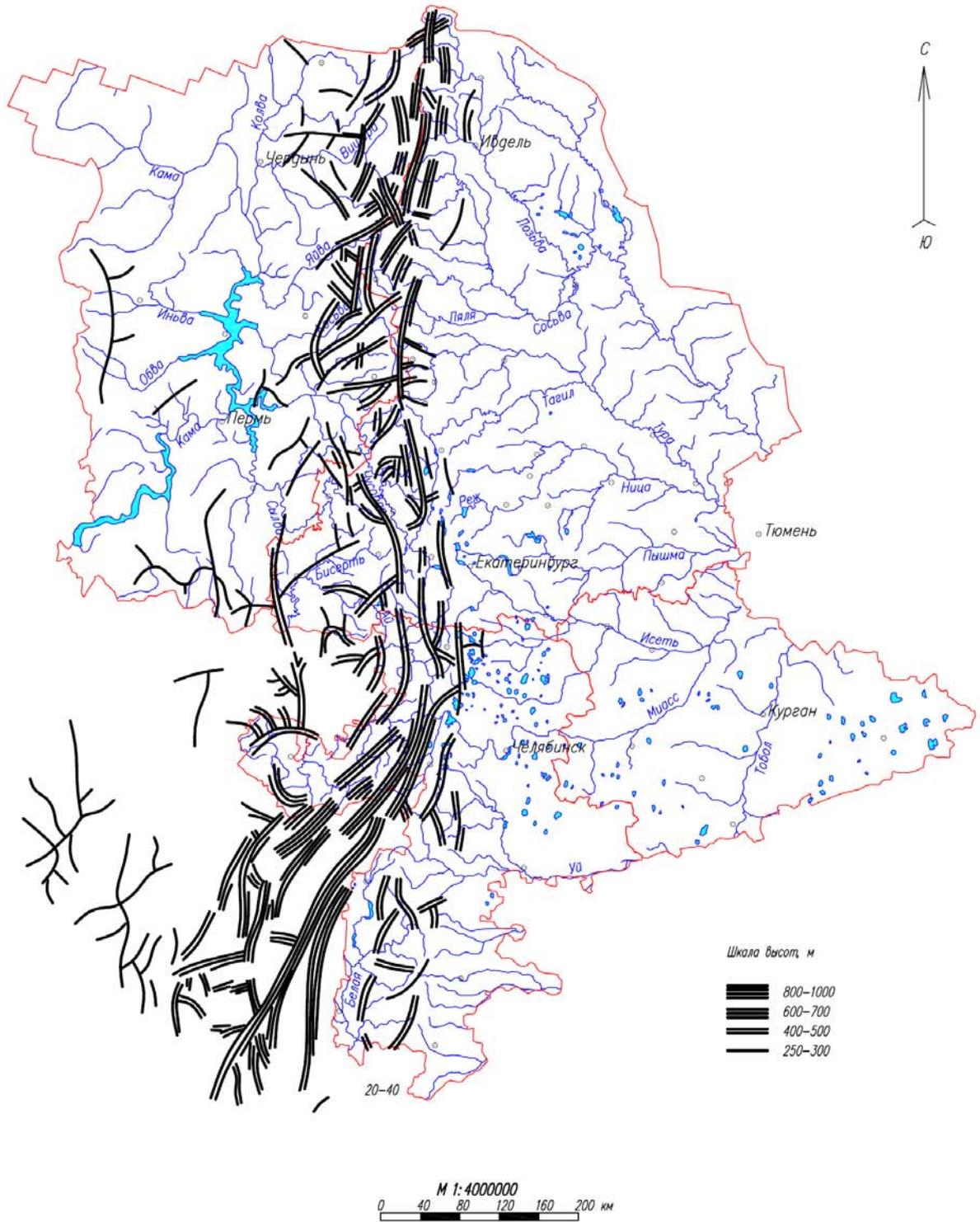


Рис. 1. Схема орографии Урала (по [5])

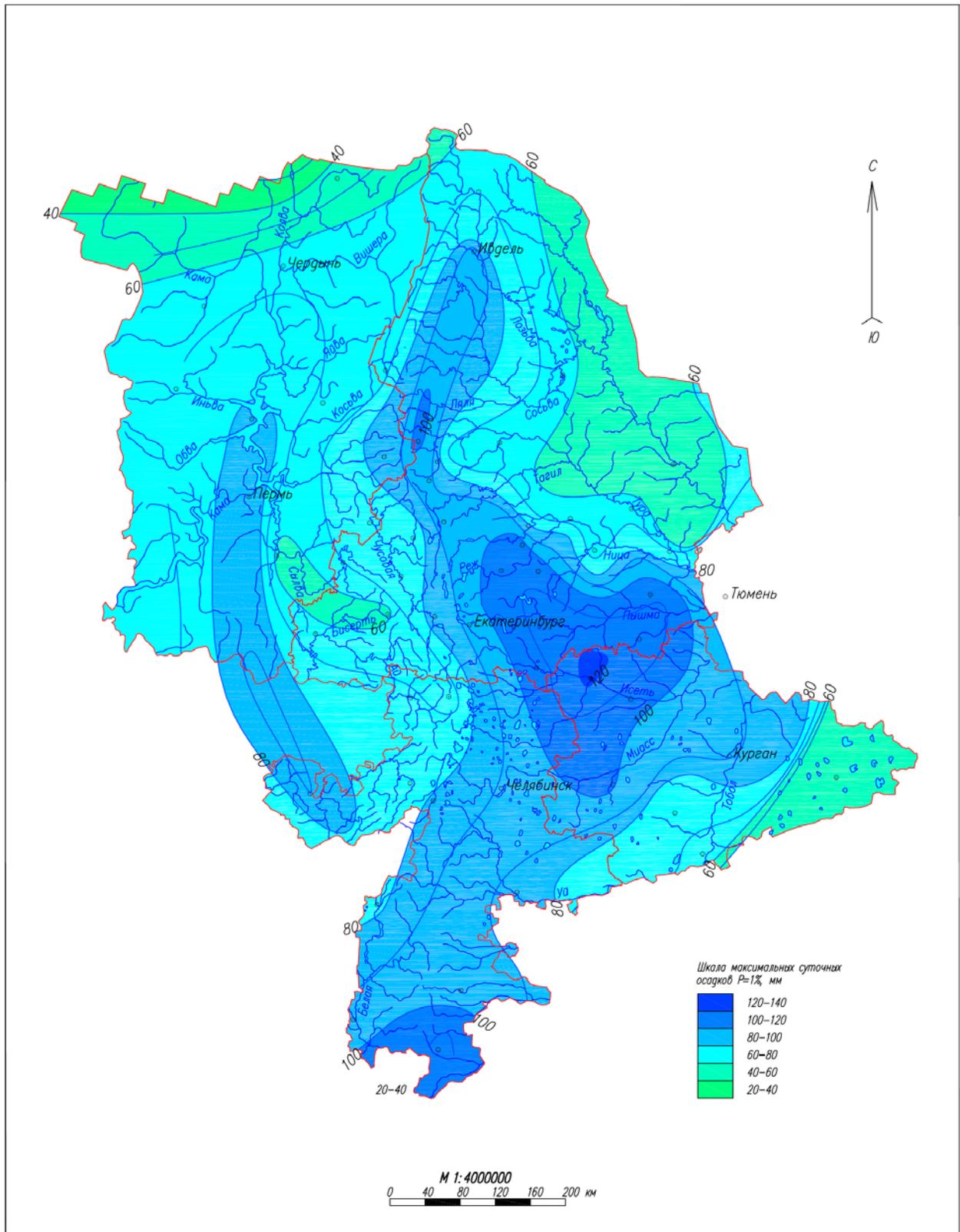


Рис. 2. Карта распределения $H_{1\%}$ (мм) на территории деятельности Уральского УГМС по данным наблюдений за период с начала по 1991 г.

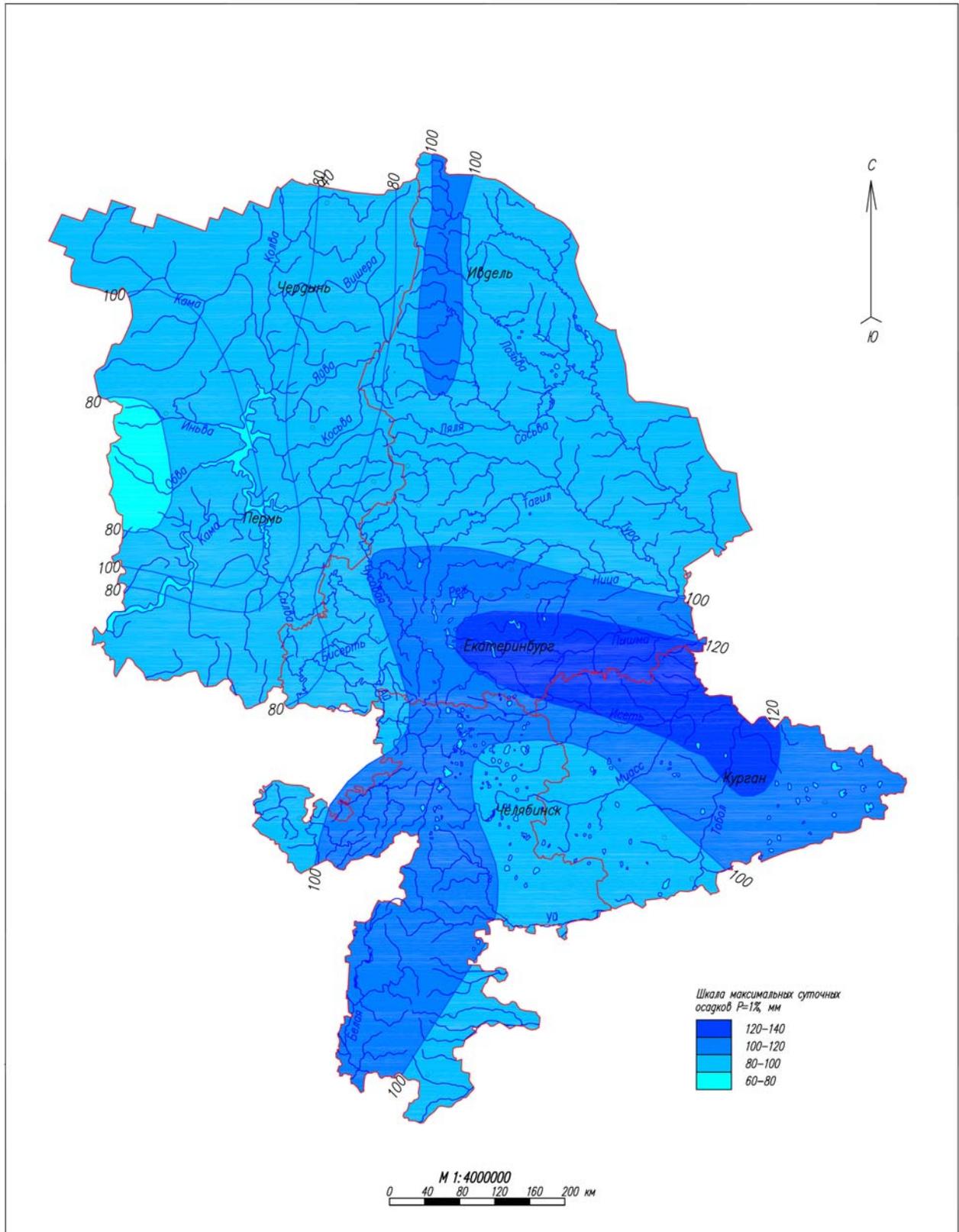


Рис. 3. Карта распределения $H_{1\%}$ (мм) на территории деятельности Уральского УГМС (по данным карты, опубликованной в Ресурсах поверхностных вод СССР, 1973 г. [3])

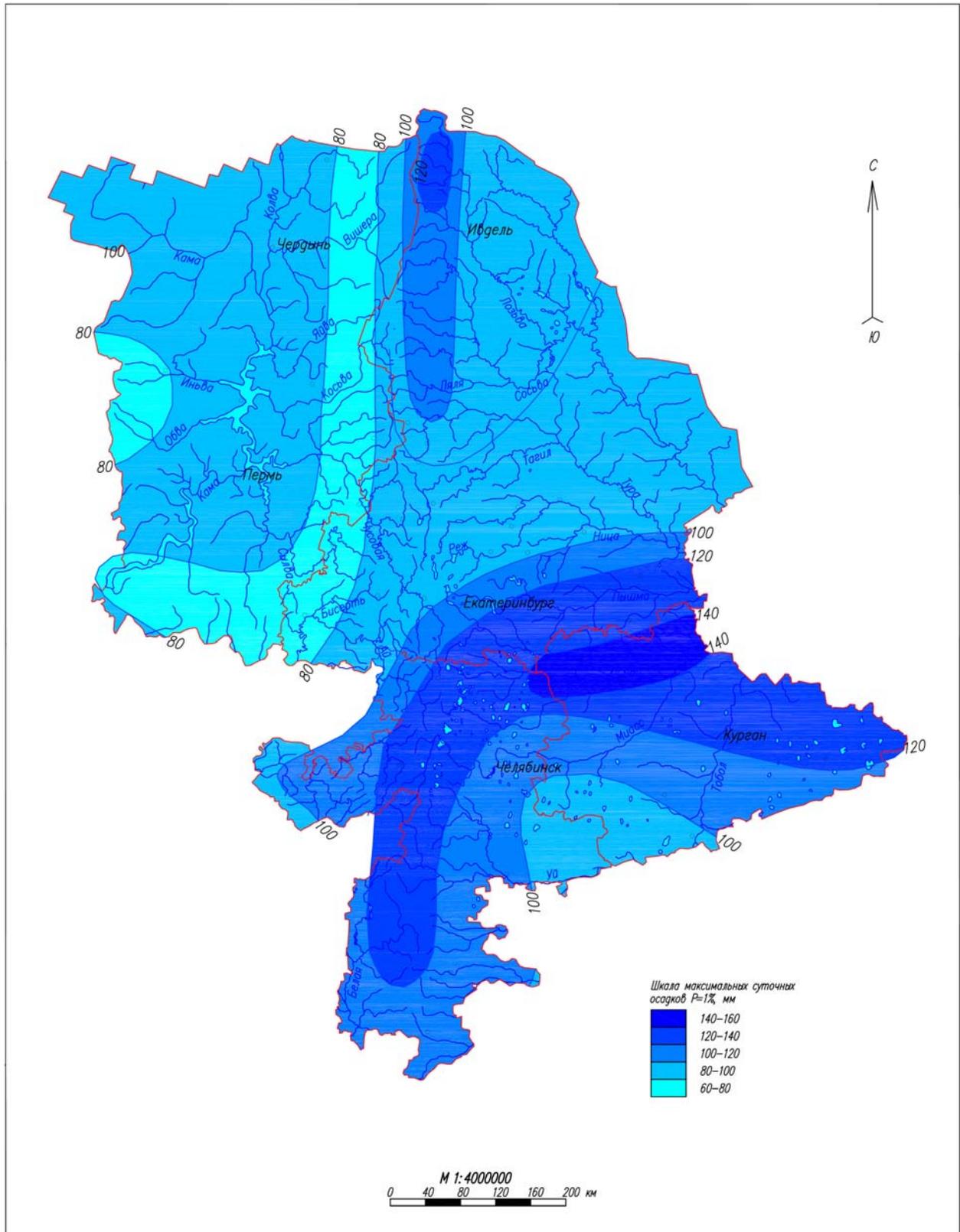


Рис. 4. Карта распределения $N_{1\%}$ (мм) на территории деятельности Уральского УГМС (по данным карты, опубликованной в Пособии к СНиП 2.01-14-83, 1984 г. [2])

Таблица 2

Сравнительный анализ погрешностей определения максимального суточного слоя осадков $H_{1\%}$ (мм) по картам

Характеристика	Вид карты		
	по данным Ресурсов [3], 1973 г.	По данным СНиП 2.01.14- 83 [2], 1983 г.	По данным авторов, 2012 г.
Средняя погрешность, %	-28,9	-28,9	-0,9
Средняя квадратическая погрешность σ , %	26,8	28,7	17,4
Максимальная погрешность (по модулю), %	70,3	72,0	45,2
Количество значений	49	49	49

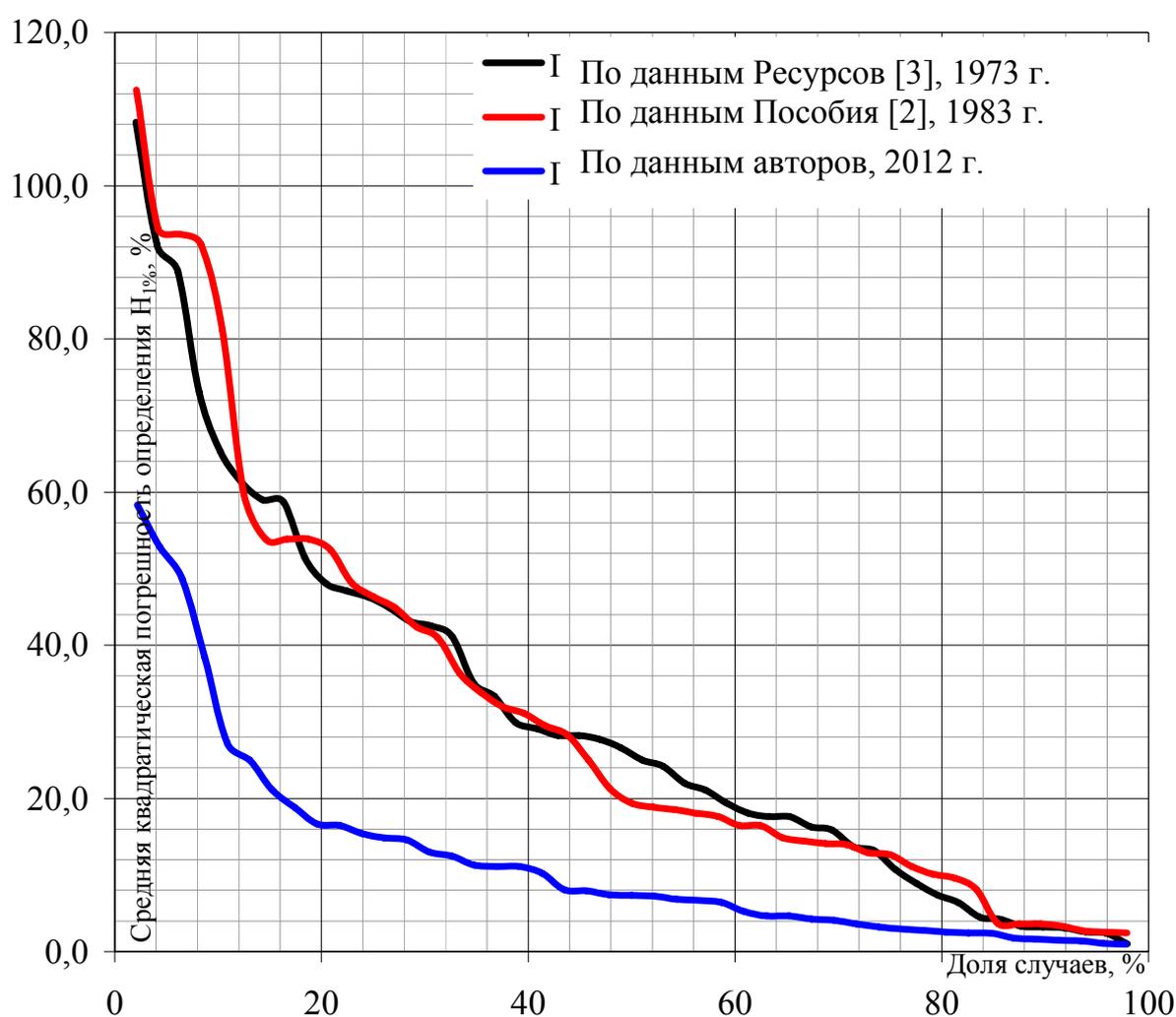


Рис. 5. Кривые распределения средних квадратических погрешностей σ определения $H_{1\%}$ по картам

Анализ кривых распределения погрешностей (рис. 5) показывает, что карты, изданные в 1973 и 1983 гг., в 60% случаев дают погрешности определения $H_{1\%}$ более 20%. Карта, построенная авторами, дает погрешности более 20% лишь в 18% случаев. Таким образом, использование данных современной карты позволяет с меньшими погрешностями определить величины суточных максимумов осадков при расчетах стока дождевых паводков в сравнении с другими картами.

Заключение

На основании материалов наблюдений на метеостанциях Уральского УГМС с начала наблюдений по 1991 г. была построена карта распределения суточных максимумов ливневых осадков обеспеченностью 1%, соответствующая требованиям СП 33-101-2003. Выполнено сопоставление полученной карты с ранее изданными картами, оценены погрешности определения величин $H_{1\%}$. На основании этого сделаны следующие выводы:

1. Распределение ливневых максимумов по территории закономерно. Характер распределения осадков по территории сходен с картами, изданными ранее.

2. Средние квадратические погрешности определения величин $H_{1\%}$ по разработанной карте существенно ниже в сравнении с картами, изданными ранее (17% против 29%).

3. Полученная карта дает величины ливневых максимумов на 25-30% ниже в сравнении с ранее изданными картами. Предположительно в ранее изданных картах заложен некий повышающий коэффициент, использование которого не подкреплено требованиями современных нормативов [4].

4. Разработка и внедрение в практику современной карты потребует пересмотра ранее изданных карт распределения коэффициентов паводочного стока.

Библиографический список

1. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Ч. 1-6. Вып. 9. Пермская, Свердловская, Челябинская, Курганская обл, Башкирская АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 556 с.
2. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 448 с.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 11. Средний Урал и Приуралье. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 878 с.
4. Свод правил по проектированию и строительству. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2004. 74 с.
5. Справочник по климату СССР. Вып. 9. Ч. IV. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 372 с.
6. Строительные нормы и правила. СНиП 2.01.14-83. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 1983. 74 с.
7. Строительные нормы и правила. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология. М.: Госстрой России, 2006. 72 с.

D.E. Klimenko, E.P. Korepanov

MAPPING OF DAILY LAYER PRECIPITATION SECURITY P=1 % FOR TERRITORIES ACTIVITY URALS MANAGEMENT OF HYDROMETEOROLOGY AT CALCULATIONS OF THE DRAIN RAIN HIGH WATERS FOR THE FORMULA OF LIMITING INTENSITY

The maximum daily layer of showers probability of excess $P=1\%$ ($H_{1\%}$) is the key characteristic at calculations of a drain of rain high waters on reservoirs in the area less than 200 sq. km in the absence of materials of supervision. The modern card developed by authors for the territory of activity of the Ural management of hydrometeorology is given. Disagreements of normative documents concerning ways of determination of this size and accuracy calculations characteristics of a rain drain are considered. The comparative analysis of accuracy of existing cards of distribution $H_{1\%}$ used in hydrological calculations is made.

Key words: hydrological calculations; rain high waters; formula of limiting intensity; maximum daily layer of a precipitation.

Dmitriy E. Klimenko, Candidate of geography, Reader of Department of Hydrology and Water Resources Conservation, Perm State University; 15 Bukireva, Perm, Russia 614990; klimenkodi@rambler.ru

Evgeniy P. Korepanov, category I engineer of Ural branch of "Giprospecgaz" Ltd.; 61, Bolshakova st., Ekaterinburg, Russia 620142; ekorepanov@rambler.ru