

М.В. БОЛГОВ, М.Д. ТРУБЕЦКОВА, М.К. ФИЛИМОНОВА, М.А. ХАРЛАМОВ

Институт водных проблем РАН, 119333, Москва, ул. Губкина, 3, Россия,  
bolgovmv@mail.ru, trubets@mail.ru, kharlamov.m.a@gmail.com

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО МАКСИМАЛЬНОГО РАСХОДА ВОДЫ РЕКИ ЗЕИ В СТВОРЕ ЗЕЙСКОЙ ГЭС

*Рассматривается проблема расчета максимально возможных значений притока к Зейскому водохранилищу на основе определения максимально возможных осадков и результатов моделирования формирования паводочного стока. Максимально возможные суточные суммы осадков определены гидрометеорологическим методом на основе данных восьмисрочных стационарных метеорологических наблюдений за температурой точки росы и количеством осадков. Переход от максимальных суточных значений осадков к их величинам за время добегания волны паводка по русловой системе (семь суток для бассейна р. Зеи) сделан с помощью переходного коэффициента, полученного путем статистической обработки сумм осадков различной продолжительности. Для расчета предельно возможного паводка построен график дождя с суточным интервалом дискретности по типу изменения интенсивности осадков во время максимального наблюдаемого паводка 2013 г. Пересчет осадков в сток произведен на основе детерминированной модели, разработанной Центром инженерной гидрологии США, с учетом особенностей формирования сильных паводков в условиях многолетней мерзлоты. Расчетное предельное значение притока уточнено байесовским методом построения кривой обеспеченности с учетом верхнего предела распределения и задаваемой погрешности определения искомой характеристики. Проведено сравнение полученных значений максимального стока р. Зеи с его существующими оценками.*

**Ключевые слова:** дождевые паводки, многолетнемерзлые породы, максимальный расход, максимально возможные осадки, байесовский метод.

M.V. BOLGOV, M.D. TRUBETSKOVA, M.K. FILIMONOVA, M.A. KHARLAMOV

Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, 119333, Moscow, ul. Gubkina, 3, Russia,  
bolgovmv@mail.ru, trubets@mail.ru, kharlamov.m.a@gmail.com

## ASSESSING THE MAXIMUM POSSIBLE WATER DISCHARGE OF THE ZEYA RIVER ON THE ZEYA HPP SITE

*The problem of estimating the probable maximum values of the inflow to the Zeya reservoir on the basis of determining maximum probable precipitation and results from simulating the flood runoff formation is considered. The maximum probable daily precipitation amounts were determined by the hydrometeorological method using the data of eight-term station-based meteorological observations of dew point temperature and precipitation amounts. Maximum daily precipitation values were converted to those for the travel time of the flood wave via the channel system (seven days for the Zeya basin) using the transition coefficient obtained by a statistical processing of precipitation amounts of different durations. To calculate the possible maximum flood, a rain graph with 1-day sampling intervals was constructed according to the type of change in precipitation intensity during the maximum flood observed in 2013. Precipitation was recalculated to the runoff in terms of the deterministic model developed by the Hydrologic Engineering Center (USA) with due regard for the formation characteristic of heavy floods in the settings of permafrost. The calculated limiting value of the inflow was refined using the Bayesian method of constructing a probability curve taking into account the upper limit of the distribution and the specified determination error of the desired characteristic. The values obtained for the maximum flow of the Zeya are compared with its estimates available to date.*

**Keywords:** rainfall floods, permafrost, probable maximum flow, maximum probable precipitation, Bayesian method.

### ВВЕДЕНИЕ

Достоверность определения расчетных характеристик гидрологических событий редкой повторяемости влияет на надежность гидротехнических сооружений, в частности высоконапорных плотин ГЭС, аварии на которых чреваты огромным ущербом экономике. Для гидротехнических сооружений первой группы ответственности в качестве основных гидрологических характеристик используются

расчетные расходы и объемы паводочного стока вероятностью один раз в 1000 лет и один раз в 10 000 лет с гарантийной поправкой [1].

Несмотря на ограниченность данных гидрометеорологических наблюдений, накопленный опыт решения гидрологических задач позволяет определять требуемые вероятностные характеристики стока. В инженерной практике ряда зарубежных стран для определения гидрологических характеристик применяется детерминированный подход, основанный на понятии возможного максимального паводка (ВМП), рассматриваемого как предельное физически возможное значение расхода воды в данных климатических и гидрологических условиях [2]. Надежность проектных решений повышается за счет учета возможной неопределенности результатов гидрологического расчета. В российских условиях применение такого подхода ограничено несколькими случаями расчета [3–5], однако положительный опыт применения ВМП в мировой практике заслуживает большего внимания с учетом специфики гидрологических условий на территории России.

В работе на примере бассейна р. Зеи предложен подход к оценке ВМП, основанный на рекомендациях Всемирной метеорологической организации и результатах обобщения данных гидрометеорологических наблюдений, полученных методами математического моделирования.

### ОБЪЕКТ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Река Зея — левый приток Амура. Ее исток находится на южном склоне горной системы Станового хребта на высоте 1900 м над ур. моря. Длина Зеи составляет 1242 км, площадь бассейна — 233 тыс. км<sup>2</sup>. Характер течения Зеи горный в верхнем и среднем течении и равнинный ниже впадения р. Селемджи.

Наибольшее количество осадков выпадает в бассейне с мая по сентябрь во время прохождения атмосферных фронтов, что обусловлено активной циклонической деятельностью в эти месяцы. Максимальные суммы осадков приходятся на июль, при этом их суточные показатели превышают 100 мм.

По своему гидрологическому режиму Зея относится к рекам дальневосточного типа, с относительно невысоким весенним половодьем, мощными дождевыми паводками в летне-осенний период и низкой зимней меженью. Основной вид питания реки — дождевое (70–80 % общего объема), питание талыми снеговыми водами имеет второстепенное значение [6].

Бассейн Зеи расположен в зоне распространения многолетнемерзлых пород, что служит важным фактором формирования стока в этом регионе и учитывается при его моделировании [7]. Водно-энергетический баланс толщи сезонно-талого (или деятельного) слоя определяет гидрофизические и геокриологические процессы, которые формируют гидрологические характеристики склонов в криолитозоне. Классический поверхностный склоновый сток здесь практически не формируется. Как дождевые, так и снеговые паводки являются преимущественно результатом подповерхностного стекания. При моделировании максимального стока это необходимо учитывать путем введения дополнительных коэффициентов, характеризующих склоновую трансформацию осадков.

В работе использованы данные восьмисрочных наблюдений за основными метеорологическими характеристиками из электронной базы данных [8, 9] с 1966 по 2015 г. Длина рядов — 50 лет. Проанализированы значения температуры точки росы и сумм осадков на девяти метеостанциях, расположенных на территории бассейна Зеи и неподалеку от него. Также материалами исследования послужили суточные данные наблюдений за осадками и величины ежедневных расходов притока к Зейскому гидроузлу за 2007 и 2013 гг., предоставленные Амурским бассейновым водным управлением.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение предельных значений паводочного стока состоит из двух частей: 1) расчет максимально возможных осадков (МВО) за выбранный период; 2) расчет паводочного стока по значениям предельных осадков. Для каждой из частей необходим выбор собственной методики.

**Методика определения МВО.** Под термином «максимально возможные осадки» понимают наибольший слой осадков заданной продолжительности и площади распространения, физически возможный для расчетного водосбора в конкретном месте в определенное время года без учета долгосрочных климатических тенденций [2]. В исследовании применен гидрометеорологический подход к расчету МВО [2]. Он заключается в предположении, что существует верхний, физически обусловленный предел слоя максимальных осадков на заданной территории, который можно определить путем интерпретации данных наблюдений за метеорологическими характеристиками атмосферы.

При определении МВО по многолетним данным наблюдений за температурой точки росы определяется максимально возможное влагосодержание воздуха в атмосфере в данном пункте. Принимается предположение о том, что вся влага, содержащаяся в атмосфере, может выпасть в виде осадков. Затем из ряда наблюдений за осадками выбирается максимизируемый ливень с наибольшей суммой осадков за расчетный период (12 или 24 ч). В работе выбран период продолжительностью 24 ч. МВО в данной точке рассчитывают по формуле

$$P_m = P_s \frac{W_m}{W_s}, \quad (1)$$

где  $P_m$  — МВО;  $P_s$  — сумма осадков, выпавшая во время ливня;  $W_m$  — максимально возможное влагосодержание столба атмосферы в данном пункте;  $W_s$  — влагосодержание столба атмосферы во время максимизируемого ливня.

От оценок МВО в точке (для одной метеостанции) необходимо перейти к их оценкам для всего водосбора с учетом его площади. Для этого используются редуцированные кривые осадков, на основе которых определяется редуцированный коэффициент. Из всех значений МВО, полученных для метеостанций, расположенных в исследуемом бассейне, выбирается максимальное и умножается на редуцированный коэффициент. Для территории среднего Амура его величина была определена в [10]. Для исследуемого участка бассейна р. Зеи площадью 83 800 км<sup>2</sup> он равен 0,68.

Полученное таким образом значение МВО соответствует интервалу времени 1 сут. На больших водосборах время добегания волны паводка по русловой системе существенно превышает 1 сут. Для корректной оценки максимального расхода необходимо располагать расчетным графиком дождя (т. е. графиком изменения интенсивности дождя) в течение интервала времени, не меньшего, чем время добегания. Для бассейна Зеи оно составляет около 7 сут. В данной работе использован переходный коэффициент, полученный для этого периода. Значение его определялось путем статистической обработки сумм осадков различной продолжительности и вычисления соотношения квантилей распределения сумм осадков малой обеспеченности продолжительностью 1 сут и более. Переход к графику дождя с более чем суточным интервалом дискретности осуществляется следующим образом. Из многолетнего ряда наблюдений выбирается паводок, характеризующийся максимальным расходом воды. Берется последовательность суточных сумм осадков, наблюдаемых за период этого паводка (для бассейна Зеи — 7 сут), предшествующих дате максимального расхода. Распределение осадков для этих 7 сут принимается в качестве графика дождя для расчета предельно возможного паводка.

**Расчет ВМП по максимальным осадкам.** Как отмечено выше, максимальные паводки в исследуемом районе наблюдаются в летне-осенний период, и основной фактор их формирования — дождевые осадки. Зная закономерности трансформации осадков в сток в исследуемом регионе, можно получить прогнозные оценки ВМП, используя математическую модель, в которую в качестве одного из входных параметров введены МВО. Предлагаемая методика оценки максимального стока состоит из следующих шагов.

1. Выбор математической модели формирования максимального стока и ее адаптация к физико-географическим условиям исследуемого района.
2. Вычисление значений ВМП с помощью модели формирования стока по построенному графику дождя для максимального паводка.
3. Корректировка расчетных значений максимального стока малой вероятности с учетом ВМП на основе байесовского подхода.

**Описание модели.** Для расчетов паводочного стока выбрана модель НЕС, разработанная Центром инженерной гидрологии США (Hydrological Engineering Center), для моделирования полного гидрологического цикла на водосборе [11]. Модель описывает основные элементы гидрологического цикла: инфильтрацию, трансформацию осадков в сток на основе метода единичного гидрографа и трансформацию стока по русловым системам. Исходными данными для модели служат цифровая модель рельефа, гидрографические характеристики водосборов, параметры предшествующего увлажнения водосбора, МВО (в виде графика дождя), формирующие максимальный сток, величина базового стока, задающая начальные условия в гидрографической сети.

Подготовка гидрологических данных для модели выполнялась с помощью программного комплекса ArcGIS 10.3 и инструмента НЕС-GeoHMS. Расчеты стока производились по подбассейнам. На основании цифровой модели SRTM для бассейна Зеи выделялись речная сеть и подбассейны, определялись их основные характеристики (уклоны водотоков, средние уклоны поверхности подбассейнов, длина речной сети, площади подбассейнов и т. д.). Всего выделено 425 подбассейнов со средней площадью около 200 км<sup>2</sup>. Такая детализация позволяет обеспечить высокую точность расчетов.

В системе НЕС–HMS трансформация поступающих осадков в сток рассчитывается методом единичного гидрографа Кларка на основе кривых добегаания [11]. Для учета эффекта аккумуляции воды на подбассейне, возникающего в условиях многолетнемерзлых грунтов, полученный гидрограф стока преобразуется с помощью модели линейного резервуара. Емкостные коэффициенты (параметры зависимости расхода от объема аккумулированной на склоне воды) подобраны эмпирически при апробации модели для случаев сильных дождевых паводков, сформировавшихся в условиях многолетней мерзлоты и наблюдаемых на Бомнакской и Колымской водно-балансовых станциях [7].

Моделирование потоков в открытых руслах и каналах производится на основе модели кинематической волны.

Увлажнение водосбора, соответствующее событию расчетного паводка, определялось в ходе модельных расчетов за весь теплый период года начиная с 1 мая для года с наиболее высоким паводком — 2013 г. Результат расчета ВМП с помощью модели стока представлен последовательностью ежедневных расходов гидрографа ВМП. Наибольшее из них и принимается в качестве максимально возможного среднесуточного расхода воды.

**Байесовский метод.** Для уточнения квантилей распределения малой вероятности с учетом полученных значений ВМП применен байесовский метод построения кривой обеспеченности максимального стока с учетом верхнего предела распределения и задаваемой погрешности определения ВМП [12]. Байесовское решение основывается в данном случае на использовании лог-пирсоновского распределения вероятностей, усеченного в точке, равной значению ВМП. Метод позволяет скорректировать ординаты кривой обеспеченности с учетом ВМП.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Результаты расчетов МВО.** Значения МВО получены для девяти метеостанций, расположенных на территории бассейна Зеи и неподалеку от его границ (рис. 1).

Максимальное для бассейна Зеи суточное значение МВО — 299 мм. Оно и использовано при расчетах. Для пересчета суточного значения МВО в семисуточное произведена статистическая обработка

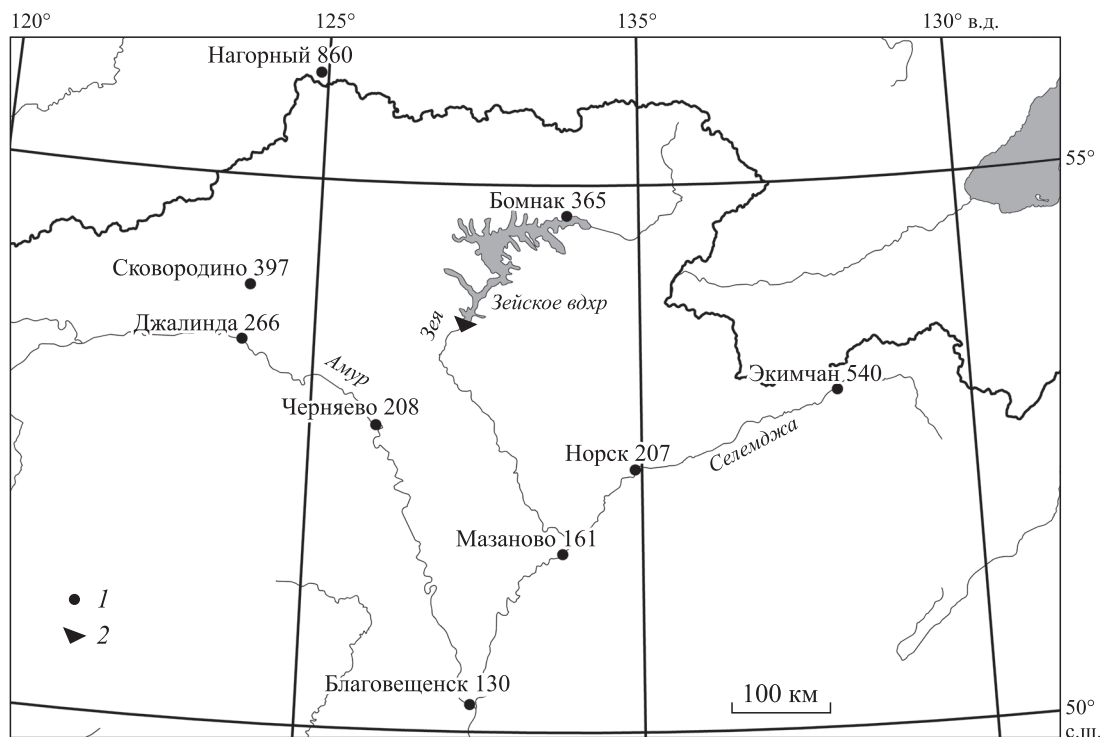


Рис. 1. Величины максимально возможных осадков в бассейне р. Зеи и вблизи его границ для теплого периода (июнь–сентябрь).

1 — метеостанции со значением максимально возможных осадков, мм; 2 — расположение расчетного створа.

Таблица 1

Статистические характеристики дождей различной продолжительности (по данным наблюдений метеостанции Бомнак)

Продолжительность дождя, сут	Параметры распределений осадков			Квантили распределений осадков		
	Среднее, мм	$C_v$	$C_s/C_v$	$H 1 \%$	$H 0,1 \%$	$H 0,01 \%$
1	46,1	0,35	3,4	100	138	181
2	59,6	0,37	3,8	130	178	234
3	68,0	0,36	3,5	148	203	267
5	79,4	0,36	4,0	173	237	312
7	90,9	0,36	4,6	198	272	357
$H_{7 \text{ сут}} / H_{1 \text{ сут}}$		—		1,98	1,97	1,97

Примечание.  $C_v$  – коэффициент вариации,  $C_s$  – коэффициент асимметрии функции распределения осадков и максимальных расходов воды. Прочерк – параметр не определяется.

сумм осадков различной продолжительности по данным метеостанции Бомнак (табл. 1). Как следует из данных табл. 1, соотношения квантилей распределения сумм осадков малой обеспеченности для 1 сут и другой продолжительности выпадения имеют устойчивый характер. Для пересчета значения МВО в предельное значение суммы осадков за период 7 сут использован коэффициент 1,97 (см. табл. 1).

Для выбора графика изменения интенсивности дождя рассматривались два экстремальных паводка — 2007 и 2013 гг. Паводки этих двух лет характеризовались различными графиками дождя. Расчеты показали, что модель выпадения дождя в 2013 г. приводит к более высокому паводку, и соответствующий график был выбран в качестве расчетного.

**Результаты расчетов ВМП.** Полученные значения ВМП для Зеи в створе гидроузла для 2007 и 2013 гг. представлены на рис. 2. ВМП оценен величиной 55 000 м<sup>3</sup>/с, которая получена на основе процедуры максимизации осадков, носящей в значительной мере детерминированный характер. Представляет интерес сравнение результатов оценивания ВМП со стандартными оценками максимального стока, применяемыми в российской гидрологической практике.

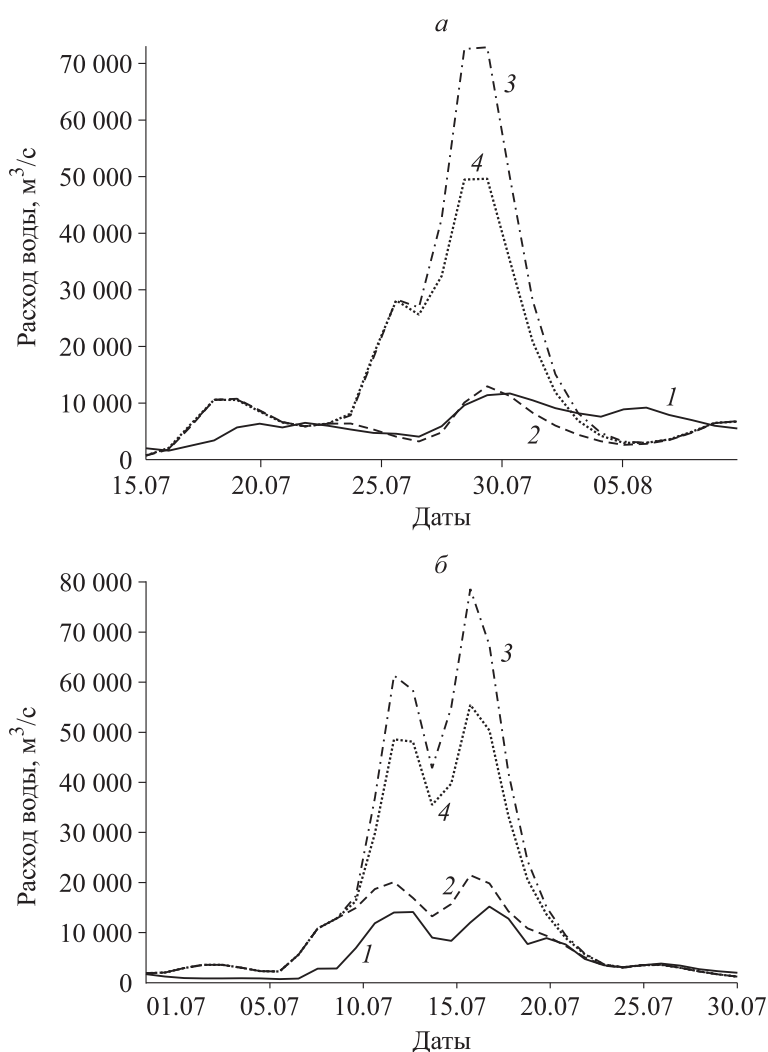


Рис. 2. Результаты расчетов предельного максимального стока бассейна р. Зеи с использованием данных 2007 г. (а) и 2013 г. (б).

1 — наблюдаемые значения расходов воды; 2 — расчет по модели с использованием наблюдаемых осадков; 3 — расчет по модели с использованием значений МВО без учета редукции осадков по площади; 4 — расчет по модели с использованием значений МВО с учетом редукции осадков по площади.



Таблица 2

**Результаты расчетов максимальных расходов воды в створе Зейского гидроузла на различных этапах реализации проекта**

Документ и год определения расчетных характеристик максимального стока	Расход (м <sup>3</sup> /с) обеспеченностью $P = 0,01$ % с г. п.	Расход (м <sup>3</sup> /с) обеспеченностью $P = 1$ %
Проект Зейского гидроузла, 1965 [14]	28 200	14 500
Правила использования водных ресурсов Зейского водохранилища:		
ПИВР, 1984 [15]	27 600	14 500
ПИВР, 2018 [16]	30 700	15 600
ПИВР, 2018 (с учетом наводнения 1886 г.) [16]	32 100	15 500

На основе имеющегося ряда наблюдений за стоком выполнены расчеты квантилей распределения максимальных расходов притока к Зейскому водохранилищу в соответствии с требованиями [13]. Длина ряда — 113 лет. Получены следующие параметры распределения: среднее значение максимального расхода воды  $\bar{Q}_{\text{макс}} = 7065$  м<sup>3</sup>/с,  $C_v = 0,33$ ,  $C_s = 4,4C_v$ . Значения максимальных расходов воды различной повторяемости составляют, м<sup>3</sup>/с: один раз в 10 лет — 10 100, в 50 лет — 11 400, в 100 лет — 14 700, в 1000 лет — 19 900. Максимальный расход воды повторяемостью один раз в 10 тыс. лет составляет 26 700 м<sup>3</sup>/с без гарантийной поправки (г. п.) и 29 400 м<sup>3</sup>/с — с г. п.

Соответствующий гидрограф паводочного стока (см. рис. 2, кривая 4) следует рассматривать как гидрограф предельно возможного притока, по которому необходимо выполнять проверочные расчеты пропуска паводка через Зейский гидроузел.

В табл. 2 приведены результаты расчетов максимальных расходов воды Зеи в створе гидроузла на различных этапах реализации проекта [14–16]. С течением времени увеличивался объем анализируемой информации, так как удлинялись ряды данных натуральных наблюдений и оценки притока воды в Зейское водохранилище изменялись, однако не очень существенно. На начальном этапе проектирования Зейской ГЭС максимальный расчетный расход оценивался величиной 28 200 м<sup>3</sup>/с. По результатам статистической обработки рядов максимальных расходов с учетом паводков последних лет и исторически зафиксированного наибольшего расхода 1886 г. максимальный расход в створе гидроузла составил  $Q_p = 0,01$  %, г. п. = 32 100 м<sup>3</sup>/с.

Таким образом, полученное в данной работе предельно возможное значение стока — реальная оценка вероятного максимального события для данных природных условий.

Обратимся к результатам корректировки квантилей распределения максимального стока малой вероятности превышения путем учета ВМП методом байесовского оценивания. В табл. 3 приведены результаты расчета ординат кривой обеспеченности максимального стока путем численного решения уравнения байесовского прогнозирования, предложенного в работе [12]. Вычисленные таким способом квантили распределения максимальных расходов воды превышают расчетные значения, получаемые в результате стандартной статистической обработки (см. табл. 2), но незначительно.

Не столь заметное увеличение значений в данном случае связано с тем, что полученный нами максимальный расход ВМП примерно в два раза больше расхода с периодом повторения 1/10 тыс. лет. В результате применения байесовского метода, предполагающего усечение распределения в точке предельного максимума [12], существенно изменятся расчетные расходы только в диапазоне очень малых вероятностей. Расчетные значения из диапазона вероятностей 1/10 тыс. лет и менее могут использоваться в задачах, связанных с оценкой риска разрушения плотины.

Таблица 3

**Квантили распределения максимального стока редкой повторяемости, рассчитанные с учетом предельного максимума стока**

Вероятность превышения, $P$ , %	Максимальные расходы на основе лог-пирсоновского распределения вероятностей, м <sup>3</sup> /с	
	с учетом предельного максимума	без учета
0,001	32 830	32 790
0,005	28 040	27 980
0,010	26 110	26 050
0,100	20 240	20 170

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе определения предельно возможного количества осадков и моделирования условий формирования стока в зоне распространения многолетнемерзлых пород получены оценки максимально возможного паводочного стока в бассейне Зеи в створе Зейской ГЭС.

Оценки предельно возможных осадков получены рекомендуемым Всемирной метеорологической организацией гидрометеорологическим методом. Эта методика позволяет получать суточные предельные суммы осадков. Для получения сумм предельных осадков за большие интервалы времени предложено использовать кривые пространственной редукции осадков и графики хода дождя во времени.

Для трансформации поступающих осадков в сток использована моделирующая система HEC–HMS, допускающая в качестве одного из вариантов расчет методом единичного гидрографа Кларка на основе кривых добега. Схема Кларка применена для учета эффекта дополнительной аккумуляции воды на склонах, возникающего в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов. Параметры модели подобраны путем калибровки для случаев сильных дождевых паводков, наблюдаемых на Бомнакской и Колымской водно-балансовых станциях.

Сравнение этих значений стока с его расчетными величинами, получаемыми традиционными статистическими методами, показало, что для исследованного бассейна возможны существенно большие величины паводочного стока.

Имеющиеся оценки надежности функционирования Зейского гидроузла при пропуске высоких паводков (емкость зоны форсировки уровня) должны быть дополнены расчетами пропуска полученного гидрографа предельно возможного притока.

*Работа выполнена в рамках темы государственного задания Института водных проблем РАН (0147–2019–0003, АААА–А18–118022090105–5).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003 (с Изменением № 1) [Электронный ресурс]. — <http://docs.cntd.ru/document/1200094156> (дата обращения 04.02.2019).
2. Estimation of Probable Maximum Floods. Technical Note N 98. Estimation of Maximum Flood: Report of a working group of the Commission for Hydrometeorology. — Geneva: World Meteorological Organization, 1969. — 288 p.
3. Асарин А.Е., Жиркевич А.Н. О необходимости разработки методики расчета вероятного максимального паводка (PMF) для инженерно-гидрологических расчетов в России // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. — 2012. — № 4. — С. 53–64.
4. Gelfan A.N., Kuchment L.S. Estimation of extreme flood characteristics using physically based models of runoff generation and stochastic meteorological inputs // Water International. — 2002. — Vol. 27, N 1. — P. 77–86.
5. Попова Н.О. Оценка возможных максимальных жидких осадков и предельно возможных расходов паводкового стока для речных бассейнов европейской территории России и Приморья // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.»: Материалы Всерос. науч. конф.: В 2 т. — Петрозаводск: Изд-во Карел. науч. центра РАН, 2015. — Т. 2. — С. 30–37.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18: Дальний Восток, вып. 1: Верхний и Средний Амур. — Л.: Гидрометеиздат, 1966. — 780 с.
7. Болгов М.В., Бояринцев Е.Л., Филимонова М.К. Моделирование паводочного стока при выпадении сильных дождей в зоне распространения многолетнемерзлых пород // Водное хозяйство России. — 2018. — № 1. — С. 6–17.
8. Булыгина О.Н., Веселов В.М., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России [Электронный ресурс]. — <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters#описание-массива-данных> (дата обращения 12. 01. 2019).
9. Булыгина О.В., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТР). — 2008 [Электронный ресурс]. — <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения 12.01.2019).
10. Соловьева Н.Н. Анализ и методика расчета осадков в бассейне Верхнего и Среднего Амура и методы расчета максимальных дождевых расходов воды // Труды Ленингр. гидромет. ин-та. — Л., 1961. — Вып. 11. — С. 28–81.
11. The Hydrologic Modeling System (HEC – HMS) [Электронный ресурс]. — <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/> (дата обращения 12.01.2019).

12. **Болгов М.В., Коробкина Е.А., Филиппова И.А., Осипова Н.В.** Об учете оценок предельных значений стока при построении функции распределения максимальных расходов воды // Гидротехническое строительство. — 2019. — № 1. — С. 23–28.
13. **СП 33-101-2003.** Определение основных расчетных гидрологических характеристик [Электронный ресурс]. — <http://docs.cntd.ru/document/1200035578> (дата обращения 12.01.2019).
14. **Зейский** гидроузел на р. Зее. Т. 1: Природные условия. Водохозяйственные и энерго-экономические расчеты водохранилища, ч. 1: Природные условия. — Л.: Гидропроект, 1965. — 120 с.
15. **Основные** правила использования водных ресурсов Зейского водохранилища на р. Зее. Утв. приказом Министерства мелиорации и водного хозяйства РСФСР от 5 октября 1984 г. № 571. — Л.: Гидропроект. — 43 с.
16. **Правила** использования водных ресурсов Зейского водохранилища на р. Зее. Утв. приказом Федерального агентства водных ресурсов от 18 июля 2018 г. № 151 [Электронный ресурс]. — <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71931776/> (дата обращения 12.01.2019).

*Поступила в редакцию 08.07.2019*

*После доработки 22.08.2019*

*Принята к публикации 25.06.2020*