

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК: 556.5, 556.013

DOI: 10.15372/GIPR20230317

Н.В. ОСИПОВА*, М.В. БОЛГОВ*, Н.В. КИЧИГИНА**

*Институт водных проблем РАН, 119333,
Москва, ул. Губкина, 3, Россия, osina14@yandex.ru, bolgovmv@mail.ru

**Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, nkichigina@mail.ru

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПАВОДОЧНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ РЕК ПРИБАЙКАЛЯ

Рассмотрена возможность использования вероятностных моделей для анализа максимальных расходов воды рек с целью получения надежных расчетных статистических характеристик для малоизученных в гидрологическом отношении бассейнов. Исследование выполнено на примере Прибайкалья, для которого характерен паводочный режим стока рек. Выявлено, что паводки на данной территории чаще всего проходят в летний период года (июль–август), что связано с климатическими особенностями региона, и нередко носят разрушительный характер. Анализ максимального стока рек выполнен на основе данных наблюдательной сети Росгидромета. Сформированные ряды максимальных расходов воды проверены на однородность, и в целом нарушений стационарности стока, обусловленных изменениями климата, не выявлено. В качестве основной вероятностной модели предложено обобщенное распределение экстремумов, параметры которого рекомендовано определять на основе группового анализа. В работе впервые применен комплексный подход, объединяющий известные методы гидрологических расчетов, которые чаще всего используются для уточнения получаемых характеристик стока в зоне экстремальных значений: аппарат усечения распределений, совместный анализ данных, использование редуцированной формулы с приведением значения модуля стока не только к площади 200 км², но и к средней высоте бассейнов в регионе, а также метод обеспеченности обеспеченностей для оценки полученных результатов. Все эти методы рекомендованы нормативными документами для расчетов стока и чаще всего используются по отдельности. Описанный комплексный подход позволяет максимально учесть особенности формирования стока в зоне экстремальных значений и получить более точные значения характерных квантилей заданной вероятности превышения для использования при проектировании на малоизученных реках региона.

Ключевые слова: максимальный паводочный сток, усечение распределений, совместный анализ, районирование, экстремальные гидрологические события, комплексный подход.

N.V. OSIPOVA*, M.V. BOLGOV*, N.V. KICHIGINA**

*Институт водных проблем РАН,
119333, Moscow, ul. Gubkina, 3, Russia, osina14@yandex.ru, bolgovmv@mail.ru
**V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, nkichigina@mail.ru

PROBABILISTIC MODELS OF EXTREME FLOOD WATER DISCHARGES IN THE RIVERS OF CISBAIKALIA

This article considers the possibility of using probabilistic models to analyze the maximum flow discharges of rivers in order to obtain reliable calculated statistical characteristics for hydrologically poorly studied basins. The study was carried out by using Cisbaikalia as an example, which is characterized by a flood regime of river flow. It was found that floods in the study area most often occur in the summer (July–August), which is associated with the climatic characteristics of the region, and are often

destructive. The analysis of the maximum flow of rivers is based on data from the Roshydromet observation network. The series of maximum water discharges were checked for homogeneity and, in general, no disturbances in the steady state of runoff caused by climate changes were detected. As the main probabilistic model, a generalized distribution of extremes is proposed, the parameters of which are recommended to be determined on the basis of group analysis. For the first time, an integrated approach has been applied, which combines well-known methods of hydrological calculations that are most often used to clarify the characteristics obtained for the runoff in the zone of extreme values, namely: the apparatus for truncation of distributions, joint analysis of data, use of a reduction formula with reduction of the drain modulus value not only to the area of 200 km², but also to the average height of basins in the region, as well as the method of probability of probabilities for estimation of obtained results. These methods are all recommended by regulatory documents for effluent calculations and are most often used separately. The comprehensive approach described by the authors makes it possible to take into account the features of the formation of runoff in the zone of extreme values and obtain more accurate values of characteristic quantiles of a given probability of excess for use in design on poorly studied rivers of the region.

Keywords: maximum flood runoff, truncation of distributions, joint analysis, zoning, extreme hydrological events, integrated approach.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ факторов возникновения катастрофических наводнений в современный период и надежная оценка основных статистических параметров на фоне климатических изменений, происходящих в последние годы, представляет собой одну из важных задач гидрологии [1–4]. Особенно сложно получить надежные результаты в регионах с низкой плотностью гидрологической сети и слабой гидрологической изученностью территории, так как посты часто располагаются неравномерно, а наблюдения ведутся нерегулярно или не ведутся совсем. Одним из таких регионов является Прибайкалье, где частые паводки вызывают наводнения, чем наносят значительный ущерб населенным пунктам, расположенным на реках региона.

Основная задача стохастического моделирования максимального стока — это выбор кривой распределения максимальных расходов. Требования к выбору типа распределения следует разделить на две важные составляющие: с одной стороны, оно должно наилучшим образом соответствовать эмпирической кривой распределения в зоне максимальных значений паводочного стока, с другой — желательно, чтобы расчет не был очень сложным при практическом применении, а значения эмпирической кривой распределения могли быть вычислены в любом диапазоне заданных величин. В качестве такого распределения, как неоднократно подтверждено в различных работах [5–7], может быть принято обобщенное распределение экстремумов стока, или GEV-распределение [8], как наилучшим образом выполняющее эти условия.

Методические рекомендации по гидрологическим расчетам при недостаточности или отсутствии данных наблюдения на реках включают в себя различные методы для уточнения или вычисления основных статистических характеристик максимального стока [9, 10]. Однако чаще всего они используются по отдельности без учета всех возможных подходов. В данном исследовании впервые применен комплексный подход к статистическому анализу с использованием известных в гидрологических расчетах инструментов для повышения точности определения характеристик максимального стока, а именно: анализ рядов на неоднородность, усеченные распределения, совместный анализ данных, редукционная формула с приведением модуля стока к площади 200 км² и средней высоте водосбора.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования выбраны реки Прибайкалья, протекающие по территории Иркутской области в бассейнах верхних течений Ангары и Лены и юго-западного побережья оз. Байкал. Рассматривались данные наблюдений на гидрологических постах, расположенных на реках с площадями водосборов от 1000 до 35 000 км², с продолжительностью наблюдений от 40 до 89 лет и с минимальным числом пропусков в рядах наблюдений за период 1924–2018 гг. Следует отметить неравномерное распределение по территории гидрологических постов с указанными выше характеристиками. В ходе исследования анализировались ряды максимальных расходов воды дождевых паводков. Территория включает морфоструктуры юга Сибирской платформы и ее горно-складчатого обрамления. Саяно-Байкальская горно-складчатая зона характеризуется высокой энергией контрастного рельефа. Исследуемые водосборы отличаются значительным разнообразием строения речной сети и природных условий.

Информационной основой работы послужили данные Росгидромета по речному стоку на гидропостах, в том числе справочные материалы Государственного водного кадастра [11], Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [12].

Методика расчета характеристик максимального паводочного стока включает следующие этапы:

1. Анализируется однородность рядов наблюдений с помощью разностно-интегральных кривых (РИК) и критериев Стьюдента, Фишера.

2. Для статистической обработки с помощью аппарата усечения и совместного анализа данных отбираются ряды с площадями водосборов от 1000 до 35 000 км² и продолжительностью наблюдений более 40 лет; для нестационарных рядов используются данные за второй условно-стационарный период (УСП).

3. В качестве точки усечения принимается медианное значение и осуществляется вычисление параметров кривых обеспеченности.

4. Выделяются однородные (по коэффициенту вариации усеченных рядов) районы на основе методики совместного анализа данных.

5. Определяются квантили 1%-й обеспеченности. Используется кривая обеспеченности, аппроксимированная GEV-распределением по усеченным рядам с приведением квантилей к полному ряду [7].

6. Показатель степени редукции n определяется с помощью графика зависимости максимальных модулей стока $P = 1\%$ от площади водосбора.

7. С помощью эмпирической редукционной формулы определяются значения модулей максимальных расходов воды 1%-й обеспеченности, приведенные к площади 200 км²:

$$q_{200} = \frac{(Q_p \cdot 10^3)}{F} \left(\frac{200}{F} \right)^n \delta_r \lambda_p, \quad (1)$$

где q_{200} — модуль максимального мгновенного стока обеспеченностью 1 %, приведенный к площади водосбора 200 км², Q_p — максимальный расход воды заданной обеспеченности, n — показатель степени редукции модуля максимального расхода, F — площадь водосбора, δ_r — коэффициент, учитывающий изменение параметра q_{200} с изменением средней высоты водосбора для водосборов со средней высотой более 500 м, λ_p — переходный коэффициент от параметров 1%-й обеспеченности к расчетной обеспеченности.

8. Для водосборов со средней высотой >500 м осуществляется приведение модуля q_{200} к единой для региона средней высоте. С использованием зависимости модуля стока q_{200} от средней высоты водосбора получаем значения модулей стока, приведенного к площади 200 км² и к средней высоте.

9. Уточняем полученные квантили распределений методом обеспеченности обеспеченностей. Этот анализ позволяет проверять соответствие получаемых по расчету индивидуальных оценок вероятностей экстремумов стока и рассчитываемых по группе гидрологически сходных бассейнов. Таким образом, анализируется возможная систематическая ошибка в оценке экстремального стока.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Самая высокая опасность экстремальных паводков в регионе наблюдается в бассейнах левых притоков Ангары — рек Иркутта, Китоя, Белой, Оки, Ии, Уды, Бирюсы. Паводочные наводнения также характерны для рек юго-западного побережья оз. Байкал и водотоков, берущих начало на хр. Хамар-Дабан, где данные явления могут усугубляться сходом селей, и для бассейнов рек Лены и Киренги, наряду с половодными и заторными. Обычно проходит от одного до четырех дождевых паводков в течение теплого сезона года, чаще — два-три. Максимальные паводочные расходы, как правило, проходят в июле–августе [13]. За последние 50 лет наиболее разрушительные дождевые паводки на территории Прибайкалья произошли в 1971, 1984, 1996, 2001 и 2019 гг.

В формировании дождевых паводков основная роль принадлежит характеру и интенсивности дождей, которые определяются синоптическими условиями летнего сезона. Влияние других физико-географических факторов на величину паводочного стока рек невелико. В Прибайкалье за три летних месяца выпадает половина, а иногда и более 50 % годового количества осадков. Максимум осадков приходится на конец июля - начало августа. Количество осадков в теплый период в долинах достигает 300 мм, на водоразделах 350 мм, а в горных районах более 500 мм [14].

Для случаев значительных осадков на территории Прибайкалья характерны синоптические процессы с развитием циклонов на юге Красноярского края и их медленным смещением на восток или северо-восток. При этом над Якутией располагается высотный теплый антициклон, а с северо-запада, из районов Карского моря, происходит вторжение холодного воздуха. При стационаровании циклонов в пределах бассейна Ангары и районов Южного Прибайкалья выпадают многодневные дожди, продолжающиеся от 3 до 5 сут. и определяющие в июне, июле и августе значительный избыток осадков. Циклоны проходят с юга на север или с юго-запада на северо-восток. Наибольшая вероятность повторения дождей большой интенсивности наблюдается в юго-восточных районах, включающих речные бассейны Белой, Китоя, Иркутка и притоков оз. Байкал. В западной части такие дожди наблюдаются реже. При прохождении циклонов по северным и средним широтам Сибири в направлении с запада на восток или с северо-запада на юго-восток («ныряющие» циклоны) избыток осадков наблюдается по всей территории Иркутской области [15–18].

В последние годы роль меридионального переноса возрастает [19, 20], что может вносить значительный вклад в повышение экстремальности осадков и, как следствие, паводочного стока. Катастрофические паводки летом 2019 г. на левобережных притоках Ангары — реках Ие, Уде, Оке, Бирюсе — также были обусловлены в первую очередь формированием мощного малоподвижного циклона в условиях меридионального переноса и выпадением экстремальных осадков на предварительно увлажненную поверхность водосборов.

Следует отметить, что предварительное увлажнение территории играет немаловажную роль при формировании паводков, наряду с наличием (в первой половине лета) сезонной мерзлоты. Особенно большое значение наличие сезонной мерзлоты имеет при формировании паводков в горно-таежных условиях, где она в значительной степени сохраняется к началу выпадения летних дождей.

Результат разработанной методики был апробирован с использованием данных 35 гидрологических постов, расположенных в Прибайкалье. С целью установления возможных нарушений стационарности в рядах максимального паводочного стока рек использовалась методика проверки однородности (стационарности) [21] с помощью визуального анализа методом разностно-интегральных кривых (РИК) и статистических критериев Стьюдента и Фишера. Всего было выделено девять постов с нарушением однородности. Проверка показала, что только один пост (р. Уда-Укар) неоднороден по критериям Фишера и Стьюдента, четыре поста неоднородны только по критерию Фишера и только один — по критерию Стьюдента, а также выявлены три поста, где неоднородность выделена с помощью РИК. Они расположены по всему исследуемому региону случайным образом, географической закономерности при выделении районов с нарушением однородности не выявлено.

Посты с неоднородными рядами расположены в основном в бассейнах Китоя и Иркутка и на соседних с ними реках юго-западной части Прибайкалья. Можно предположить, что на их сток влияют климатические факторы, которые носят локальный характер. Все остальные ряды могут считаться однородными, как и весь район в целом, так как неоднородность, установленная на отдельных постах, не может быть следствием глобальных климатических явлений или других факторов, оказывающих воздействие на регион в целом.

Для дальнейшей оценки статистических свойств экстремальных явлений для неоднородных рядов использовались данные за второй УСП [22], отражающие характер формирования стока в современных климатических условиях. Данные по двум гидрологическим постам были исключены из дальнейших расчетов, так как ряд за второй УСП слишком короткий и использовать статистический анализ для него невозможно. Схема расположения гидрологических постов приведена на рис. 1.

С помощью методики совместного анализа данных для усеченных в медиане рядов с применением GEV-распределения было выделено три района, однородных по значениям коэффициента вариации для усеченных выборок (см. рис. 1). Для каждого ряда с помощью GEV-распределения определены квантили заданной обеспеченности усеченных распределений (приведенные к полному ряду).

Показатель степени редукции определялся с помощью графика редукции модулей стока от площади водосбора (рис. 2).

Для водосборов со средней высотой водосбора >500 м проводился анализ зависимости модуля стока от средней высоты водосбора, приведенного к площади 200 км^2 для каждого из выделенных однородных районов (рис. 3).

В первом районе зависимости не выявлено, район признан однородным по высоте, и приведение параметров модулей стока к средней высоте водосбора для него не проводилось. Для второго и третьего районов для всех постов со средней высотой водосбора >500 м произведена привodka модуля

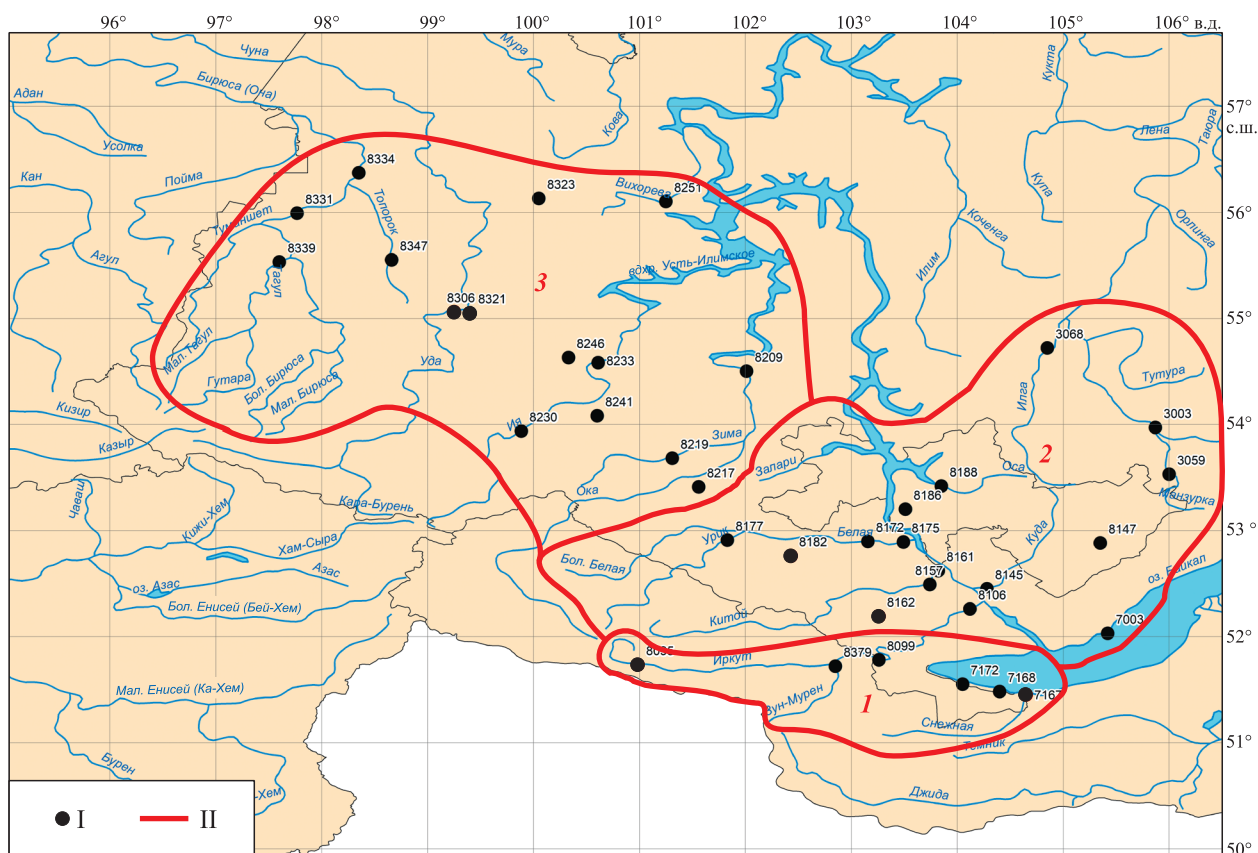


Рис. 1. Схема расположения гидрологических постов в однородных районах Прибайкалья по значениям коэффициента вариации для усеченных выборок.

1–3 — однородные районы. I — гидрологический пост; II — границы однородных районов. Нумерация гидрологических постов приведена в соответствии с нумерацией Росгидромета [23].

стока q_{200} к средней высоте водосбора 1500 м, для чего в известную редуцированную формулу (1) была введена высотная поправка:

$$q_{200\ 1\%}, H_{cp} = 1500\text{ м} = (1500 - H_{cp}) \cdot 2 + q_{200\ 1\%}, \quad (2)$$

где $q_{200\ 1\%}$ — модуль максимального стока, рассчитываемый по формуле (1) для обеспеченности 1 %, $q_{200\ 1\%}, H_{cp} = 1500\text{ м}$ — модуль максимального стока, приведенный к площади 200 км² и к средней высоте водосбора H_{cp} , равной 1500 м.

Для определения квантилей стока в зоне малых обеспеченностей использовалась обобщенная функция распределения, полученная методом обеспеченности обеспеченностей, построенная для каждого выделенного однородного района с целью получения более точных оценок квантилей максимальных паводочных расходов воды [24].

Для первого района построен график зависимости максимального модуля стока, приведенного к площади 200 км², от параметра обеспеченности обеспеченностей (рис. 4, а), а для второго и третьего районов — графики зависимости максимального модуля стока, приведенного к площади 200 км² и высоте 1500 м, от параметра обеспеченности обеспеченностей (см. рис. 4, б, в), определяемого по формуле

$$p = 1 - (1 - P)^{1/n}, \quad (3)$$

где p — ежегодная вероятность превышения экстремума, оцениваемая по совокупности наибольших членов совместно анализируемых выборок, P — вероятность превышения модуля $q_{200\ 1\%}$ в выборке, состоящей из n наибольших значений совместно анализируемых рядов.

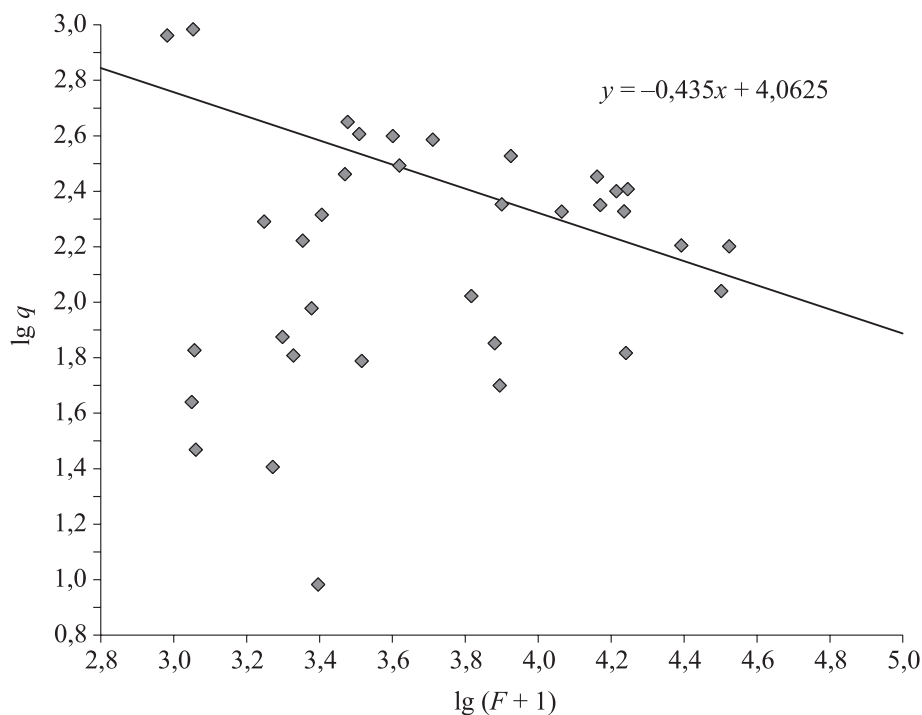


Рис. 2. Кривая редукции модуля максимального стока q_{200} от площади водосбора F для Прибайкалья. На вертикальной шкале указаны логарифмы модулей стока ((л·с)/км²), на горизонтальной — логарифмы площади (км²).

В таблице представлены результаты расчета квантилей заданной обеспеченности порайонно.

Для оценки эффективности применения метода совокупностей выполнена совместная оценка искомой характеристики по формуле [25], которая принимается средневзвешенной по точности каждой из оценок:

$$Q_{\text{совм}} = \frac{Q_{\text{инд}} \varepsilon_{\text{оср}}^2 + Q_{\text{оср}} \varepsilon_{\text{инд}}^2}{\varepsilon_{\text{инд}}^2 + \varepsilon_{\text{оср}}^2}, \quad (4)$$

где $Q_{\text{инд}}$, $\varepsilon_{\text{инд}}^2$ — индивидуальная оценка характеристики, Q — вычисленная по данным наблюдений в данном створе, $\varepsilon_{\text{инд}}^2$ — стандартная ошибка, равная случайной погрешности, $Q_{\text{оср}}$, $\varepsilon_{\text{оср}}^2$ — осредненная характеристика, вычисленная по совместной кривой распределения, и ее стандартная ошибка.

Расчет производился для трех гидрологических постов, расположенных в разных районах: первый район — р. Снежная — дер. Выдрино, второй район — р. Иркут — с. Смоленщина, третий район — р. Ия — г. Тулун. Полученные значения сопоставимы со среднерайонными значениями параметров, а следовательно, использование данного подхода обосновано для получения исследуемой характеристики максимального стока малоизученных рек региона.

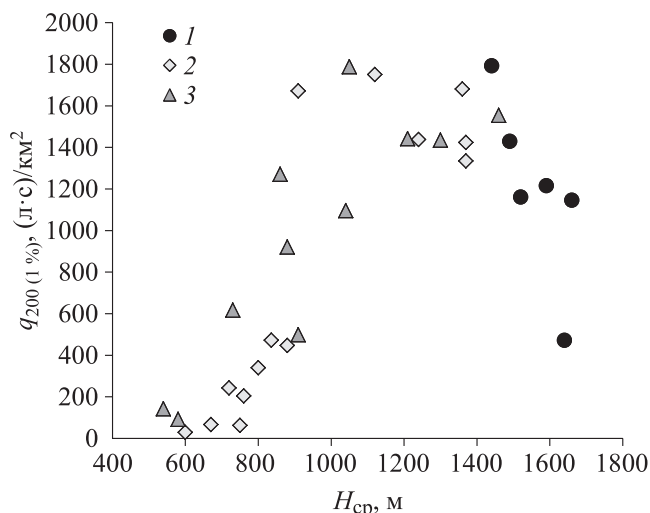


Рис. 3. График зависимости модуля стока от средней высоты водосбора, приведенного к площади 200 км², для районов Прибайкалья.

1–3 — однородные районы (см. рис. 1).

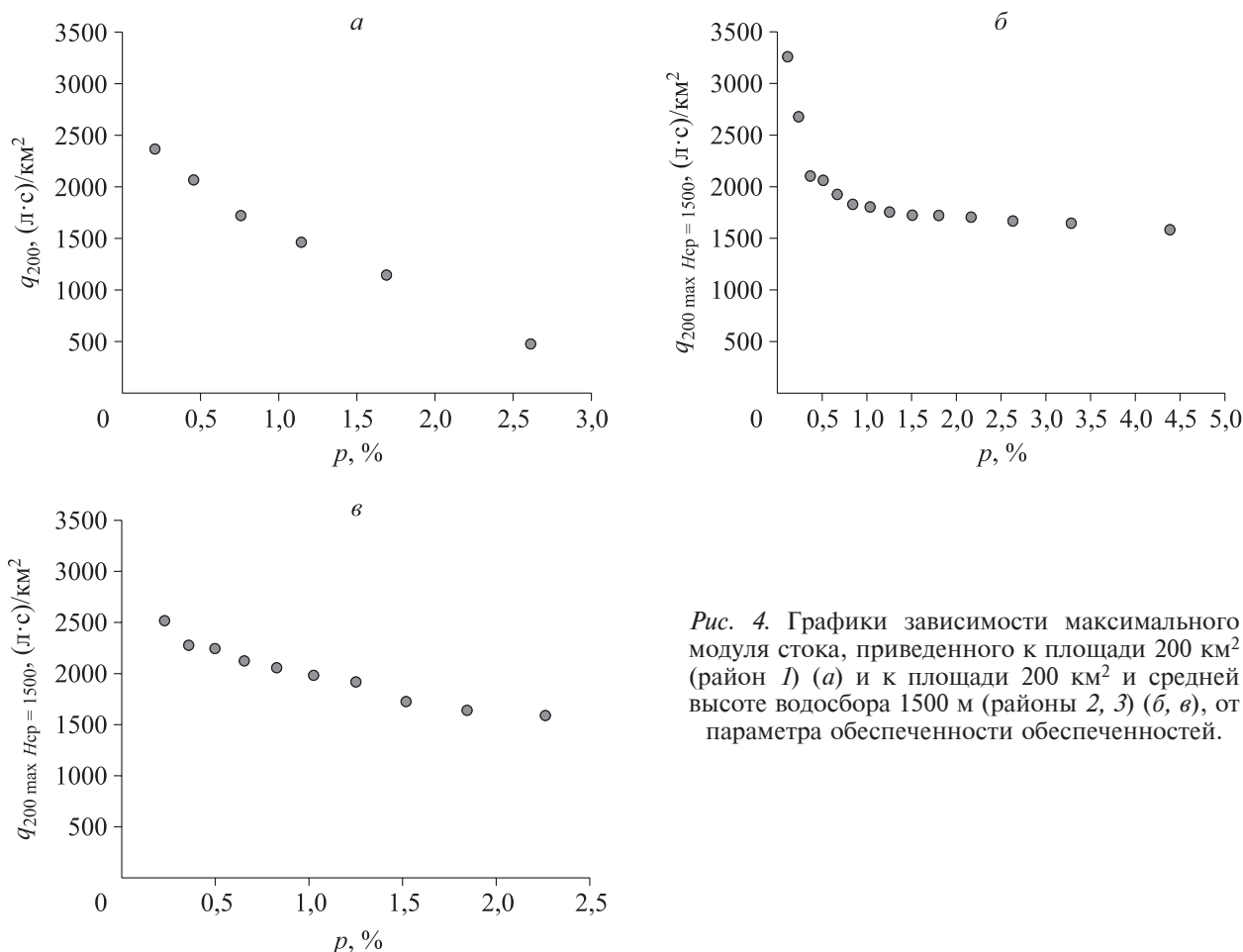


Рис. 4. Графики зависимости максимального модуля стока, приведенного к площади 200 км² (район 1) (а) и к площади 200 км² и средней высоте водосбора 1500 м (районы 2, 3) (б, в), от параметра обеспеченности обеспеченностей.

Среднерайонные параметры модуля стока заданной обеспеченности для территории Прибайкалья

Номер района*	Число постов в районе	Квантили q_{200} , (л·с)/км ²		
		0,2 %	1 %	2 %
1	6	q_{200}		
		2250	1650	900
2	14	q_{200} $H_{cp} = 1500$ м		
		2700	1800	1700
3	15	2700	2000	1650

* См. рис. 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что для территории Прибайкалья характерны случаи проявления экстремальных гидрологических событий, сопровождающихся значительными ущербами для объектов инфраструктуры, населения и экономики региона в целом. Изученность территории довольно высокая, но, как и в целом для РФ, на протяжении последних десятилетий данные гидрологического мониторинга не обобщаются, методики определения гидрологических характеристик паводков и половодий не модернизируются, территориальные строительные нормы не разрабатываются.

Для получения надежных оценок параметров распределений максимального стока, в особенности для неизученных водосборов, имеющие ряды наблюдений, ввиду их ограниченной продолжитель-

ности (с точки зрения оценки вероятностей редких событий), должны быть исследованы и обработаны методами, позволяющими повысить достоверность результатов. Такие методы и рекомендации основываются на идее комплексного анализа, выполняемого как путем построения кривых обеспеченности обеспеченностей, так и путем пространственного осреднения характеристик стока.

Выполненное исследование пространственной изменчивости характеристик паводочного стока Прибайкалья, с одной стороны, показало большую вариативность оценок стока, а с другой — подтвердило возможность применения классических подходов, развиваемых с учетом новых методических результатов.

Представленный в статье метод и полученные результаты могут составить основу региональных методик для определения расчетных характеристик максимальных расходов воды дождевых паводков.

Разработка методики расчета с применением вероятностных методов оценки максимального паводочного стока рек реализована в рамках темы Государственного задания Института водных проблем РАН (FMWZ-2022-0001), подготовка данных и характеристика условий формирования паводков выполнена в рамках темы Государственного задания Института география СО РАН им. В.Б. Сочавы (AAAA-A21-121012190059-5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болгов М.В., Филиппова И.А., Осипова Н.В., Трубецкова М.Д., Коробкина Е.А. Развитие методов оценки гидрологических характеристик для эффективного управления водными ресурсами в бассейне реки Амур // Водохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление. Материалы Всерос. науч.-практ. конф. (23–29 сентября 2019 г., г. Сочи). — Новочеркасск: ООО «Лик», 2019. — С. 51–56.
2. Болгов М.В., Коробкина Е.А., Осипова Н.В., Филиппова И.А. Об оценках максимального стока р. Ия с учетом экстремального паводка 2019 года // Метеорология и гидрология. — 2020. — № 11. — С. 53–63.
3. Георгиевский В.Ю., Грек Е.А., Грек Е.Н., Лобанова А.Г., Молчанова Т.Г. Оценка современных изменений максимального стока рек России // Метеорология и гидрология. — 2019. — № 11. — С. 46–55.
4. Kalugin A.S. Climate Change Attribution in the Lena and Selenga River Runoff: An Evaluation Based on the Earth System and Regional Hydrological Models // Water. — 2022. — N 14 (1). — P. 118.
5. Болгов М.В., Мишон В.М., Сенцова Н.И. Современные проблемы оценки водных ресурсов и водообеспечения. — М.: Наука, 2005. — 318 с.
6. Осипова Н.В. Верификация стохастических моделей максимальных расходов воды весеннего половодья на основе районирования и совместного анализа данных // Тр. Всерос. науч. конф., посвященной памяти выдающегося ученого-гидролога, профессора А.В. Рождественского (Москва, 10–12 апреля 2012 г.). — М.: Изд-во Типографии Россельхозакадемии, 2012. — С. 134–140.
7. Филиппова И.А., Осипова Н.В. Обоснование выбора типа распределения вероятности экстремальных осадков в бассейне реки Амур // Сб. науч. тр. Всерос. науч. конф. с междунар. участием «Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения» (Сочи, 2–7 октября 2017 г.). — Сочи, 2017. — С. 536–541.
8. Handbook of Hydrology / Ed. D.R. Maidment. — New York: McGraw-Hill, 1992. — 507 p.
9. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений. — СПб.: Ротапринт ГНЦ РФ ААНИИ, 2007. — 66 с.
10. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. — СПб.: Нестор-История, 2009. — 193 с.
11. Ресурсы поверхностных вод СССР / Ред. М.Г. Васильковский, В.Г. Симов, А.В. Шестаков. — Л.: Гидрометеоздат, 1972. — Т. 16, вып. 2. — 586 с.; 1972. — Т. 17, вып. 1. — 652 с.; 1973. — Т. 16, вып. 3. — 400 с.
12. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [Электронный ресурс]. — <https://gmvo.skniivh.ru> (дата обращения 20.01.2021).
13. Кичигина Н.В. Опасность паводочных наводнений в бассейнах левых притоков Ангары // География и природ. ресурсы. — 2020. — № 4. — С. 45–55. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-4(45-55)
14. Картушин В.М. Климат южной тайги Средней Сибири // Климат и воды юга Средней Сибири. — 1966. — Вып. 1. — С. 16–48.
15. Гидрология юга Восточной Сибири / Под ред. Б.В. Зонина. — М.: Наука, 1966. — 171 с.
16. Лут Л.И., Сергеев Н.И., Тарасова А.И. Атмосферная циркуляция и приземное давление воздуха // Структура и ресурсы климата Байкала и сопредельных пространств. — Новосибирск: Наука, 1977. — С. 50–67.
17. Лощенко К.А., Латышева И.В. Региональные особенности синоптических процессов на территории Иркутской области в 2000–2013 гг. // Изв. Иркутск. ун-та. Сер. Науки о Земле. — 2015. — Т. 11. — С. 38–54.
18. Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Девятова Е.В., Мордвинов В.И. Динамические процессы в атмосфере, обуславливающие аномалии осадков в Восточной Сибири и Монголии в летний период // Фундаментальная и прикладная климатология. — 2018. — № 1. — С. 10–27. DOI: 10.21513/2410-8758-2018-1-10-27.

- 19 **Osipova O.P., Osipov E.Y.** Relationship between recent climate change, ablation conditions of glaciers of the East Sayan Range, Southeastern Siberia, and atmospheric circulation patterns // Environmental Earth Science. — 2015. — Vol. 74 (3). — P. 1947–1956.
- 20 **Кононова Н.К.** Флуктуации глобальной циркуляции атмосферы в XX–XXI вв. // Сложные системы. — 2016. — № 1 (18). — С. 22–37.
- 21 **Основные** гидрологические характеристики при нестационарности временных рядов, обусловленной влиянием климатических факторов. Рекомендации по расчету: стандарт организации: СТО ГГИ 52.08.41-2017 / Разработчики: В.Ю. Георгиевский, А.Г. Лобанова, Т.Г. Молчанова, Е.А. Грек, Е.В. Гуревич, Д.В. Георгиевский. — СПб.: ГГИ, 2017. — 42 с.
- 22 **Болгов М.В., Коробкина Е.А., Филиппова И.А.** Байесовский прогноз минимального стока в нестационарных условиях с учетом возможных изменений климата // Метеорология и гидрология. — 2016. — № 7. — С. 72–81.
- 23 **Росводресурсы.** Открытые данные Федерального агентства водных ресурсов [Электронный ресурс]. — <https://gis.favt.ru/opendata> (дата обращения 05.03.2022).
- 24 **Блохинов Е.Г.** Распределение вероятностей величин речного стока. — М.: Наука, 1974. — 169 с.
- 25 **Крицкий С.Н., Менкель М.Ф.** Гидрологические основы управления речным стоком. — М.: Наука, 1981. — 270 с.

Поступила в редакцию 20.04.2022

После доработки 28.10.2022

Принята к публикации 05.04.2023