

УДК 556.166:556.16.06

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛОВОДЬЯ БОЛЬШОЙ ВОДНОСТИ И ПРОГНОЗ НАВОДНЕНИЯ НА РЕКЕ АБАКАН

Паромов Владимир Валериянович¹,
pvv0266@mail.ru

Шумилова Ксения Александровна¹,
avelissa@mail.ru

Гордеев Иван Николаевич²,
biggin83@mail.ru

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

² Гидрометеорологический центр Среднесибирского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды,
Россия, 660049, г. Красноярск, ул. Сурикова, 28.

Актуальность работы обусловлена изменениями климата и увеличением повторяемости опасных гидрологических явлений на реках гор южной Сибири. Как следствие – рост величины социально-экономического ущерба.

Цель работы: анализ условий формирования весенних половодий высокой водности на реке Абакан, выявление гидроклиматических закономерностей как основы для прогноза вероятности формирования экстремально больших расходов воды, создание методики заблаговременного предупреждения опасных явлений.

Методы исследования: комплексный географо-гидрометеорологический анализ, выявление прогностических зависимостей по данным многолетних гидрометеорологических наблюдений с использованием методов математической статистики.

Результаты. Выявлены 4 типа волны весеннего половодья большой водности (обеспеченностью менее 33,3 %), различающиеся по степени опасности для человека, населенных пунктов и промышленных объектов на берегах р. Абакан. Основные факторы формирования волны половодья большой водности следующие: 1) повышенное количество зимних осадков – в среднем по водосбору сумма осадков с ноября по март более чем на 10 % выше нормы; 2) обильные, в основном жидкие, осадки апреля. Сумма осадков за апрель по метеостанциям-предикторам Неожиданный и Таштып соответственно – на 25 и 50 % выше нормы. Предложена методика прогноза наводнения, основанная на нахождении так называемого «коэффициента экстремальности половодья». Методика проверена на зависимом и независимом материалах, оценка по независимому материалу показала «удовлетворительный» результат. С помощью методики проверены экстремальные по водности года: 1969, 2004, 2014.

Ключевые слова:

Наводнение, оценка опасности, методика прогноза, максимальные расходы, бассейн реки Абакан, прогноз экстремальности половодья.

Введение

Механизм формирования режима речного стока и, в частности, весеннего половодья, использование полученных прогностических зависимостей в целях предотвращения неблагоприятных последствий опасных гидрологических явлений (ОГЯ) является важнейшим объектом научных исследований в области гидрометеорологии и обеспечения устойчивого развития регионов [1].

В настоящий момент многие страны столкнулись с воздействием изменений климата на водные ресурсы. Наблюдается учащение стихийных наводнений. Эта тенденция особенно видна в горных районах, на которых преобладают наводнения, вызванные весенним половодьем. На равнинных территориях также наблюдается учащение опасных гидрологических явлений, но их сроки, как правило, приходятся на летне-осенние паводки. Наша страна занимает огромную площадь с разными географическими условиями, поэтому подвержена разным типам наводнений [2–9].

На большей части рек России период половодья наступает ежегодно в весенний или весенне-лет-

ний сезоны и характеризуется интенсивным питанием в результате снеготаяния. Выпадающие в период половодья жидкие осадки могут вызывать дополнительные пики на подъеме и на спаде половодья. При этом формируются наибольшие в году расходы воды, достигающие экстремальных значений в особо многоводные годы и вызывающие катастрофические наводнения. Прогнозируемое направление изменения климата на территории России, наблюдаемое в данном регионе изменение объемов речного стока и неизбежный дальнейший рост хозяйственного освоения речных долин, несомненно, приведут к увеличению повторяемости и разрушительной силы наводнений [10–15].

Постоянство появления половодья в бассейне реки Абакан обуславливает надежность прогнозирования его появления, но не его мощности. Поскольку объем и продолжительность половодья и, главное, уровень затопления территорий зависят от большого числа факторов, из которых основными являются климатические.

Бассейн реки Абакан площадью 32 000 км² полностью располагается в пределах Республики

Хакасия, охватывая около 52 % ее территории, общая протяженность реки – 514 км. Истоки Абакана (по р. Большой Абакан) находятся в хребтах зоны сочленения Западного Саяна со структурами Горного Алтая (рис. 1). Высотные отметки водораздельных хребтов колеблются в пределах 2200–2800 м, истоки располагаются на высотах 2150–2400 м. В высокогорной части р. Большой Абакан после приема притоков Коэтру, Каирсу, Еринат и Кокаяжам имеет ширину до 50–70 м, скорость течения 1,2–2,3 м/с и значительный продольный уклон (до 0,05) [8]. Горный характер река имеет на протяжении 295 км. От истоков до выхода реки на равнину перепад высот составляет около 2000 м, средний продольный уклон – 0,007, средняя высота водосбора – около 1550 м. Площадь водосбора на этом участке – 14 400 км². В горной части река, после слияния Большого и Малого Абакана, принимает крупные притоки: слева – река Матур, справа – реки Кизас, на, Джебаш, Малый и Большой Арбаты, а также многочисленные малые реки и ручьи. В равнинной части реки Абакан (площадь водосбора 17 600 км²) перепад высот русла составляет 180 м, продольный уклон уменьшается до 0,0013. На всем этом отрезке русло реки разбивается на ряд рукавов, проток. Ширина русловой части долины колеблется от 2 до 4 км, пойменной части с нижними террасами – до 6–7 км. Притоками слева здесь являются реки Таштып, Тея, Есь, Аскиз, База, Камышта, Уйбат, справа – Сос, Табат, Уты, Бея. На берегах р. Абакан расположены крупные населенные пункты, важные промышленные и транспортные центры Республики Хакасия – г. Абаза и столица республики г. Абакан [16].

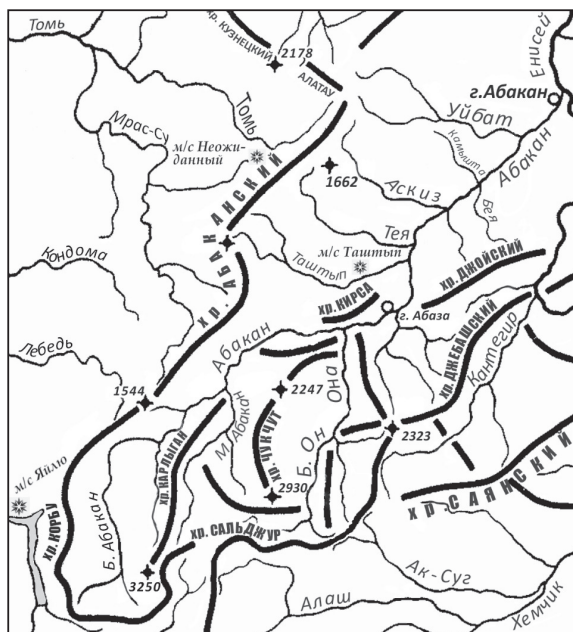


Рис. 1. Гидроореграфическая схема бассейна реки Абакан
 Fig. 1. Hydro-oro-graphic scheme of the Abakan river Basin

Для режима стока рек характерны: весеннее половодье, летние паводки и низкая зимняя межень. Весной и летом проходит до 80 % годового стока реки, на зиму приходится от 5 до 10 %. Подъем уровней весной начинается в первой половине апреля, еще при ледоставе, и достигает максимума (3–5 м над среднемеженным уровнем в горной части бассейна, 2–3 м – в пределах равнинной его части) после очищения реки ото льда – в конце мая – начале июня. Половодье состоит из серии подъемов и понижений, обусловленных ходом таяния снега в соответствии с колебаниями температур воздуха. Среднегодовой расход воды р. Абакан в створе г. Абаза равен 315 м³/с, а в створе п. Райков (25 км выше по течению от г. Абакан) – 394 м³/с.

Резкая континентальность климата региона определяется его географическим положением в центре Азиатского материка. Вытянутость горной системы с юго-запада на северо-восток обеспечивает задержку арктических и атлантических влажных воздушных масс, что является причиной сильной циклонической активности на северном макросклоне Западного Саяна [17].

Зима устанавливается в конце октября – начале ноября, когда средняя суточная температура воздуха переходит через –5°. В этот период преобладают ветра западных направлений. Атмосферных осадков выпадает незначительное количество, особенно мало – в Абаканской степи (32–34 мм). В горном лесном поясе количество осадков за зиму увеличивается до 300 мм (28–30 % годовой суммы).

Распределение снежного покрова по территории неравномерное. Наименьшее количество снега выпадает в степной зоне, где максимальная высота снежного покрова составляет 23–29 см. Средняя высота его в Абаканской степи 13–15 см. Увеличение высоты снежного покрова происходит на подветренных склонах и в понижениях. Запасы воды в снеге увеличиваются от степной зоны (24–25 мм) к горной лесостепи (30–35 мм) и поясу горной тайги (более 280 мм).

Весной азиатский антициклон постепенно ослабевает, широтная циркуляция воздушных масс уменьшается, но усиливается меридиональная. В конце апреля средняя суточная температура воздуха переходит через +5°, а в горном лесном поясе – в третьей декаде мая. Продолжительность весеннего периода – 40–50 дней. Лето наступает в степных районах во второй – третьей декаде мая, а в горах – во второй декаде июня [18].

Наибольшее количество осадков выпадает летом, когда преобладает зональная циркуляция. В результате усиления циклонической деятельности в теплый период года в зоне степей осадков выпадает 85–95 % от годовой нормы. Выпадение осадков в основном связано с прохождением холодных воздушных масс и носит ливневый характер. Количество осадков за апрель–октябрь в Хакасии возрастает по мере увеличения высоты от степной зоны (250–350 мм) к горной лесостепи (350–450 мм) и к поясу горной тайги (450–650 мм) [17].

Постановка задачи и исходные данные

Основными количественными показателями оценки мощности наводнения являются максимальный расход и уровень воды. Половодье считается экстремальным и переходит в разряд наводнения, если формируются максимальные расходы воды и, соответственно, образуются высокие уровни воды, при которых происходит затопление пониженных частей населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий, автомобильных и железных дорог, повреждение промышленных объектов. По масштабу наводнений и наносимому ими ущербу выделяют четыре вида наводнений: низкие (малые), высокие (большие), выдающиеся и катастрофические [19–23].

Главными факторами, обуславливающими мощность весеннего половодья, являются: запас воды в снежном покрове перед началом снеготаяния; количество и интенсивность выпадения атмосферных осадков в период снеготаяния и первую фазу половодья; осенне-зимнее увлажнение почвы к началу снеготаяния, термические условия весны, влияющие на интенсивность снеготаяния [24].

В бассейне р. Абакан за период гидрологических инструментальных наблюдений зафиксированы наводнения, относящиеся к классу высоких и выдающихся, в 1941, 1966, 1969, 1973, 2004, 2006, 2010, 2014 гг. Существует вероятность увеличения частоты экстремальных гидрологических ситуаций в южной части Сибирского ФО и, в частности, в бассейне р. Абакан [25]. Наиболее опасными из перечисленных, по ряду признаков, относящихся к классу катастрофических, на данный момент времени, можно считать наводнения 1969 и 2014 гг.

Основной целью работы стало определение и анализ гидроклиматических условий формирования наводнений на р. Абакан, а также выработка методики долгосрочного прогноза водности (средний за май и июнь расход воды $\bar{Q}_{v-vi}$) и степени опасности волны половодья, что представляет значительный интерес для потребителей водных ресурсов и является важной задачей, решение которой может помочь предотвратить экономический ущерб и человеческие жертвы.

В качестве базового, для анализа гидроклиматических условий формирования наводнений и методики прогноза, был выбран створ р. Абакан – г. Абаза. Основанием для этого явилось следующее: а) период наблюдений за стоком составляет 77 лет – с 1937 по 2013 гг.; б) 82 % объема половодья в створе р. Абакан – п. Райков формируется в горной части водосбора, т. е. по замыкающему створу г. Абаза; в) с учетом вышесказанного прогнозные значения расходов воды, полученные по створу г. Абаза, с хорошей точностью можно пересчитать для створа п. Райков и уровня воды для створа г. Абакан.

Большая водность половодья ($\bar{Q}_{v-vi} \geq 980 \text{ м}^3/\text{с}$ в створе р. Абакан – г. Абаза, по данным многолетних гидрологических наблюдений) – это первый сигнал к формированию экстремально высоких

среднесуточных расходов воды и, соответственно, наводнения в черте населенных пунктов по берегам р. Абакан, от г. Абаза и далее, вниз по течению до г. Абакан. В качестве граничного (критического) среднесуточного расхода, превышение которого и переводит расходы в разряд экстремальных, принят расход $2380 \text{ м}^3/\text{с}$, соответствующий уровню 490 см – высотной отметке неблагоприятного гидрологического явления, при достижении которого начинается подтопление части г. Абаза и полотно ж/д Абаза – Абакан (по данным Среднесибирского УГМС).

При разработке методики прогноза показателей экстремальности половодья использовался формализованный подход – получение математической зависимости, которая позволяет вычислить будущее значение процесса. А именно, статистической модели множественной регрессии, когда зависимость будущего значения от прошлого задается в виде уравнения. Выбранный подход для прогноза гидрологических характеристик речного стока обладает как рядом достоинств, так и определенными недостатками [26–28]. В данном случае такой выбор – следствие крайней ограниченности имеющейся гидрометеорологической информации с горной части водосбора р. Абакан.

Таким образом, для анализа гидроклиматических условий формирования наводнений и выработки методики прогноза был привлечен следующий комплекс гидрометеорологических данных:

1. Блок гидрологических данных: а) среднемесячные значения расходов воды за весь период наблюдений до 2013 г. в замыкающих створах: р. Абакан – г. Абаза, р. Абакан – п. Райков, р. Большой Абакан – п. Усть-Кизас, р. Малый Абакан – п. Усть-Тарташ, р. Таштып – п. Таштып, р. Она – п. Малый Анзас; б) ежедневные расходы воды за половодье (с апреля по июнь) по створам р. Абакан – г. Абаза, р. Абакан – п. Райков.
2. Блок метеорологических данных по 6 метеостанциям, расположенным как в бассейне р. Абакан (м/с Таштып), так и на западе – северо-запад от бассейна – в соответствии с направлением влагонесущих потоков (метеостанции Яйлю, Турочак, Кондома, Кузедеево, Неожданный): а) суммы месячных атмосферных осадков и среднемесячных температур воздуха за весь период наблюдений до 2013 г.; б) среднесуточные температуры воздуха и ежедневные осадки за период половодья по метеостанциям Таштып и Неожданный; в) максимальный запас воды в снеге по метеостанциям Неожданный, Таштып, Яйлю, Турочак.

Результаты

На первом этапе исследования проводился отбор гидроклиматических факторов, влияющих на формирование половодья большой водности с последующим проведением регрессионного анализа и получением прогностической модели множе-

ственной регрессии. Матрица коэффициентов парной корреляции включала 68 предикторов: а) среднемесячные расходы воды за октябрь и ноябрь, среднезимний расход в створах р. Абакан – п. Абаза и р. Таштып – п. Таштып; б) среднемесячные температуры воздуха за октябрь, март, апрель, май, а также среднесезонные температуры воздуха за периоды с ноября по февраль и с марта по апрель по 6 включенным в анализ метеостанциям; в) суммы атмосферных осадков за октябрь, март, апрель, май, а также за холодный (с ноября по февраль) и весенний (март и апрель) периоды по всем 6 метеостанциям; г) запас воды в снеге на 20 марта по метеостанциям Неожиданный, Таштып, Яйлю, Турочак.

Статистически значимыми предикторами водности весеннего половодья в створе г. Абаза оказались: среднемесячный расход воды за ноябрь предшествующего года P_1 (м³/с); максимальный запас воды в снежном покрове на м/с Неожиданный P_2 (мм); сумма атмосферных осадков апреля по м/с Таштып P_3 (мм).

$$\tilde{Q}_{V-VI} = 291,7 + 1,31P_1 + 1,54P_2 + 2,70P_3, \quad (1)$$

где $\tilde{Q}_{V-VI}$ – средний за май и июнь расход воды в первом приближении, найденный по данным за весь период наблюдений, без учета группы водности половодья.

По доли вклада в вариацию среднего за половодье расхода воды на первом месте находится фактор P_2 – максимальный запас воды в снежном покрове на метеостанции Неожиданный, расположенной в Хакасии на наветренном склоне Абаканского хребта на север-северо-запад от г. Абаза (рис. 1).

Тесная связь запаса воды в снежном покрове с величиной половодья на р. Абакан не является случайной и в определенной мере отражает условия снегонакопления на наветренных склонах хребтов в верхней и средней частях бассейна р. Абакан в соответствии с направлением влагонесущих атмосферных потоков. На втором и третьем местах по доли вклада – осадки апреля по м/с Таштып (P_3) и, соответственно, среднемесячный расход воды ноября предшествующего года (P_1). Второе место фактора P_3 говорит о том, что половодье на р. Абакан по происхождению является снегодождевым, когда на волну талой воды сезонного снежного покрова, сформировавшуюся в верхней и средней части водосбора, накладываются более мелкие паводочные волны жидких либо смешанных осадков, выпавших в нижней части водосборного бассейна. Статистически значимое значение предиктора P_1 (табл. 1) – свидетельство того факта, что предзимнее увлажнение верхней толщ почвы-грунтов является фоновым положительным фактором половодья большой водности. В качестве косвенного показателя предзимнего увлажнения выступает осенний сток. В данном случае расход воды ноября в створе г. Абаза, с одной стороны, зависит от влажности почвогрунтов, которая увели-

чивает коэффициент стока, а с другой – от размера грунтового питания, т. е. является интегральным показателем общего предзимнего увлажнения водосбора [24].

Таблица 1. Оценка статистической значимости и устойчивости модели множественной линейной регрессии

Table 1. Evaluation of statistical significance and stability of the multiple linear regression model

Параметры оценки Options of assessment	Коэффициенты уравнения Coefficients of the equation			
	Свободный член Free member	P_1	P_2	P_3
Модель множественной линейной регрессии (1) Multiple Linear Regression Model (1)				
Значение коэффициента Value of the coefficient	291,7	1,31	1,54	2,70
Стандартная ошибка коэффициента Standard coefficient error	103,9	0,51	0,30	0,93
R^2	0,521			
$\bar{S}/\sigma$	На зависимом материале On the dependent data	На независи- мом материале On the indepen- dent data		
	0,66	0,77		
Количество совместных лет наблюдений Number of years of joint observations	45			
Модель множественной линейной регрессии (2) Multiple Linear Regression Model (2)				
Параметры оценки Options of assessment	Свободный член Free member	$\tilde{Q}_{V-VI}$	P_4	
Значение коэффициента Value of the coefficient	433,7	0,484	2,77	
Стандартная ошибка коэффициента Standard coefficient error	95,4	0,112	1,10	
R^2	0,817			
$\bar{S}/\sigma$	На зависимом ма- териале On the dependent data	На независи- мом материале On the indepen- dent data		
	0,47	0,64		
Количество совместных лет наблюдений Number of years of joint observations	16			

Примечание: R^2 – коэффициент детерминации; $\bar{S}/\sigma$ – параметр оценки качества модели множественной линейной регрессии.

Note: R^2 is the determination coefficient; $\bar{S}/\sigma$ is the parameter of estimating the quality of Multiple Linear Regression Model.

Далее проводилось уточнение полученного по уравнению 1 значения $\tilde{Q}_{V-VI}$. При этом рассматривались только годы с половодьем большой водности. Таким образом, факторы формирования половодий, наиболее опасных для населения и хозяйственных объектов, дополнялись и детализировались.

лись. Было выявлено, что ввод в расчет дополнительного предиктора – суммы осадков холодного периода года (с ноября по март) по м/с Таштып P_4 (мм) – существенно улучшает оценку среднего расхода воды за половодье:

$$\bar{Q}_{V-VI} = 0,484\bar{Q}_{V-VI} + 2,77P_4 + 433,7, \quad (2)$$

где $\bar{Q}_{V-VI}$ – расчетный средний за май и июнь расход воды во втором приближении.

Таким образом, сумма осадков холодного периода года, выпавших в нижней части водосбора, – это дополнительный фактор формирования волны половодья большой водности в створе г. Абаза.

Второй этап исследования – разработка методики прогноза формирования экстремальных суточных расходов воды, т. е. возможности наводнения в створе г. Абаза.

Анализ гидрографов стока за половодный период в годы их большой водности показал, что только в 75 % случаев формируются экстремально большие суточные расходы воды, что приводит к подтоплению городских территорий и хозяйственных объектов. В оставшихся 25 % случаев наблюдается растянутое во времени половодье с расходами, не превышающими критический порог (рис. 2, тип 1). В тех случаях, когда подтопление территорий начинается, пик половодья и, соответственно,

время прохождения экстремально больших среднесуточных расходов воды может быть как более ранним – начало 3-й декады мая, так и более поздним – 2-я декада июня (рис. 2, тип 2 и 3). Максимальные среднесуточные расходы воды таких волн половодья на 5–10 % больше критического для г. Абаза значения. Наиболее опасным и разрушительным для человека является половодье 4-го типа (2 случая за инструментальный период наблюдений), когда формируется экстремально высокая волна, с максимальными среднесуточными расходами более чем в 2 раза больше критического значения и пиком в последнюю пентаду мая – начале июня. Примером таких катастрофических наводнений является половодье 1969 и 2014 гг.

В качестве количественного показателя возможности наводнения был использован эмпирический коэффициент, названный нами «коэффициентом экстремальности половодья» $K_{кЭП}$ (extremality flood factor K_{EFF}). Это безразмерный показатель, отражающий мощность весенней волны половодья. При $K_{кЭП} > 1$ на р. Абакан в створе г. Абаза начинается подтопление социально и хозяйственно важных объектов.

$$K_{кЭП} = \frac{Q_{\max}}{Q_{\text{крит}}} + \frac{W_3}{W_B}, \quad (3)$$

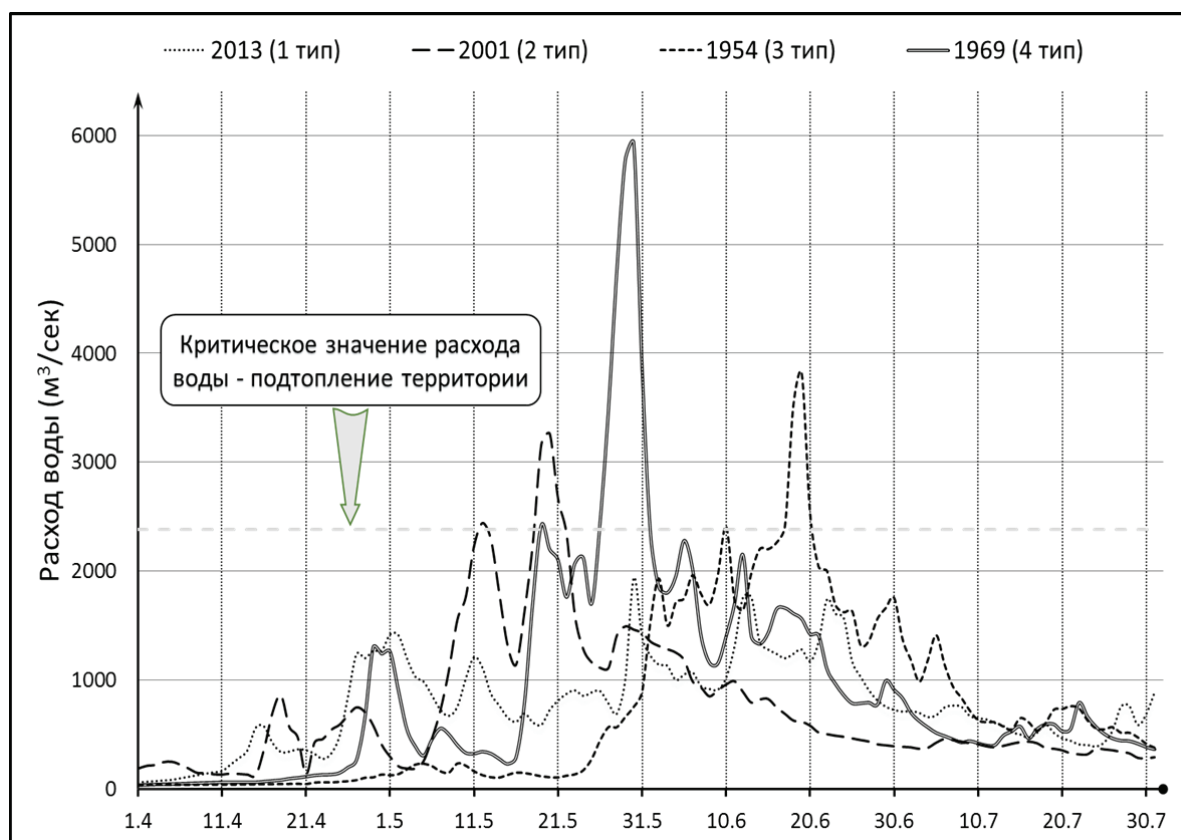


Рис. 2. Характерные типы гидрографов стока за половодный период на реке Абакан, створ г. Абаза

Fig. 2. Specific types of runoff hydrograph for the flood time on the Abakan river, the outlet of Abaza

где $Q_{\max}$ – максимальный суточный расход за период с 1.05 по 30.06 ($\text{м}^3/\text{с}$); $Q_{\text{крит}}$ – расход воды, при достижении которого можно говорить о начале наводнения, равный $2380 \text{ м}^3/\text{с}$; $W_{\text{э}}$ и $W_{\text{б}}$ – соответственно «экстремальный» и «базовый» объемы волны половодья (м^3) за период с 1.05 по 30.06, равные:

$$W_{\text{э}} = \bar{Q}_{\text{э}} \times N_{\text{э}} \times 86400;$$

$$W_{\text{б}} = \bar{Q}_{\text{б}} \times N_{\text{б}} \times 86400. \quad (4)$$

где $\bar{Q}_{\text{э}}$ – средний расход за $N_{\text{э}}$ дней, когда расходы были больше $2380 \text{ м}^3/\text{с}$; $\bar{Q}_{\text{б}}$ – средний расход за $N_{\text{б}}$ дней, когда расходы были меньше или равны $2380 \text{ м}^3/\text{с}$.

Выполненный корреляционно-регрессионный анализ позволил выявить гидрометеорологические факторы, влияющие на формирование экстремально высоких суточных расходов воды в створе г. Абаза, а также получить прогностическую регрессионную зависимость для $K_{\text{кэп}}$ следующего вида:

$$K_{\text{кэп}} = 0,00306P_2 + 0,00438P_5 - 0,062P_6 - 0,926, \quad (5)$$

где P_2 – сумма атмосферных осадков апреля по м/с Неожиданный; P_6 – среднезимняя температура воздуха по м/с Таштып.

Оценка качества модели (5) на независимом материале показала «удовлетворительный» результат. Отношение стандартной ошибки уравнения регрессии к среднему квадратическому отклонению ряда-предиктанта равно 0,69 (при $R^2=0,76$).

Основной фактор формирования экстремально высоких суточных расходов воды половодья – величина водозапаса в сезонном снежном покрове и количество осадков апреля в средне- и высокогорной зоне водосбора. Фактором, благоприятствующим формированию таких расходов воды, являются низкие температуры воздуха зимнего сезона, приводящие к минимизации потерь сезонного снежного покрова (оттепели) в нижней части водосбора.

Гидрометеорологическая обстановка весны 2014 г. 30 мая 2014 г. на р. Абакан в створе г. Абаза был зафиксирован уровень воды, равный 673 см, что на 34 см превышает максимальный уровень, зафиксированный в 1969 г. Максимальный среднесуточный расход воды – $6620 \text{ м}^3/\text{с}$ ($5930 \text{ м}^3/\text{с}$ в 1969 г.). Значение коэффициента экстремальности половодья – 3,59 (2,94 в 1969 г.) – абсолютный максимум за 78 лет инструментальных гидрологических наблюдений за стоком.

Проверка регрессионной модели (5), по данным 2014 г., показала, что главные факторы, приведшие к наводнению в этом году, абсолютно иные, лишь частично связанные с величиной снеготалопа в сезонном снежном покрове (табл. 2). Рассчитанный по климатическим данным 2014 г. коэффициент экстремальности оказался равным 0,44.

Половодье в Хакасии весной 2014 г. началось раньше из-за малоснежной и аномально теплой зимы. Положительная аномалия средней месячной

температуры воздуха ноября варьировала в пределах 4,7–6,6 °С. Превышение средней месячной температуры отмечалось в большинстве зимних месяцев. Средняя месячная температура марта превысила многолетние значения на 3,8–5,8 °С. В Абакане зарегистрированы температурные рекорды: абсолютные суточные максимумы температуры воздуха перекрыты 19 марта на 2,2 °С, 20 марта на 3,6 °С [8]. Запас воды в снеге в бассейне р. Абакан в предгорной части составил 40–70 % от нормы, в горной части 95–100 % [29]. То есть сформировалась и наблюдалась волна половодья по 1 типу (рис. 2).

Таблица 2. Климатические показатели – факторы формирования $K_{\text{кэп}}$ на р. Абакан в створе г. Абаза

Table 2. Climatic indicators – the factors of $K_{\text{кэп}}$ formation on the river Abakan in the alignment of Abaza

Климатический фактор Climatic factor	Годы экстремально высоких расходов воды половодья Years of extremely high water flow of floods		
	1969	2004	2014
Водозапас в сезонном снежном покрове P_2 (мм) Water content in the seasonal snowpack P_2 (mm)	464	237	197
Сумма осадков апреля P_5 (мм) Amount of precipitation in April P_5 (mm)	127	185	47,5
Среднезимняя температура воздуха P_6 (°С) Average winter temperature P_6 (°C)	–22,7	–13,8	–8,9

Но начавшиеся в последнюю пентаду мая на территории Горного Алтая и Западного Саяна ливневые дожди, связанные с редкой синоптической ситуацией [30], и пришедшие на спад второй волны половодья талых снеговых вод с верхней части водосбора, привели к формированию экстремально высокого дождевого паводка и наводнения со среднесуточными расходами, в течении 5 дней превышавшими критический.

Коэффициент экстремальности половодья, оцененный по модели (5), равный 0,44 (рис. 3), отражает уровень опасности волны половодья талых снеговых вод с расходами не более $1048 \text{ м}^3/\text{с}$. Фактически измеренные среднесуточные максимумы расходов воды в период, предшествующий паводку, составили $943 \text{ м}^3/\text{с}$. Таким образом, прогностическая модель (5) достаточно точно отражает условия формирования «классического» весеннего половодья, где главную роль играют талые снеговые воды, и не подходит для прогноза экстремальных расходов дождевых паводков. Стоит отметить, что с 1937 г., начала регулярных гидрометрических наблюдений, это первый случай, когда объем и максимальные расходы паводка в несколько раз превысили объем и расходы половодья талых вод от сезонного снежного покрова [31, 32].

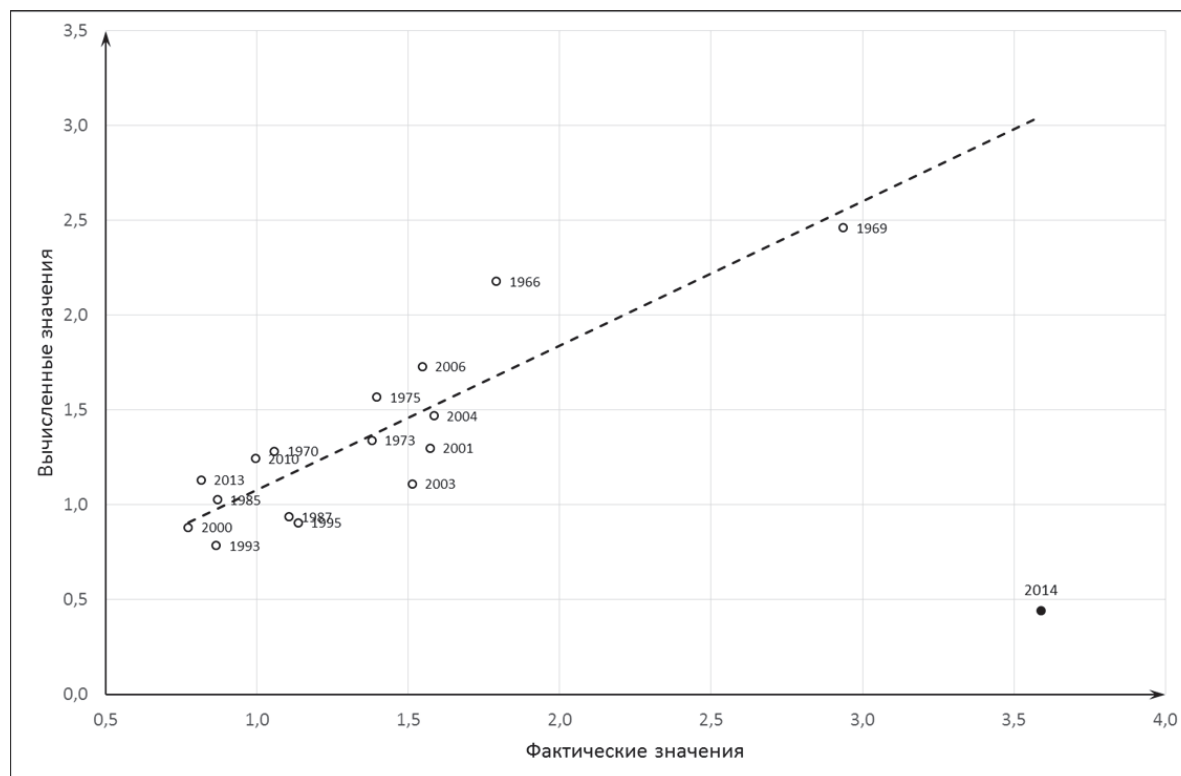


Рис. 3. Соотношение фактических и вычисленных значений $K_{ср}$ за годы с половодьем большой водности

Fig. 3. Ratio of actual and calculated values of $K_{ср}$ over the years with a great flood of water content

Выводы

Основными климатическими факторами, влияющими на объем волны весеннего половодья и формирование экстремально высоких среднесуточных расходов воды на р. Абакан – створ г. Абаза являются: 1) сумма осадков зимнего сезона и максимальный запас воды в снежном покрове; 2) осадки апреля; 3) температура зимнего сезона; 4) предзимнее увлажнение верхней толщи почвогрунтов. При этом только в 75 % случаев прохождение волны половодья большой водности сопровождается формированием экстремально высоких расходов воды. В оставшихся 25 % случаев наблюдается растянутое во времени половодье с расходами, не превышающими критический порог. Всего выявлено 4 типа волны весеннего половодья большой водности (обеспеченностью менее 33,3 %), отличающиеся по степени опасности для человека, населенных пунктов и промышленных объектов на берегах р. Абакан.

Разработана методика долгосрочного прогноза среднего за май и июнь расхода воды – показателя водности весеннего половодья, и показателя мощности волны весеннего половодья – «коэффициента экстремальности половодья». При $K_{ср} > 1$ на р. Абакан в створе г. Абаза начинается подтопление социально и хозяйственно важных объектов. Данный эмпирический безразмерный параметр, по сути, является интегральным гидрологическим количественным показателем опасности наводне-

ния и может служить основой для разработки качественно новой классификации наводнений.

Основными предикторами прогностических уравнений множественной регрессии (2, 3, 5) являются отдельные климатические характеристики м/с Неожиданный и Таштып Хакасского ЦГМС. Оценка статистической значимости и устойчивости предложенных моделей показала их «удовлетворительное» качество и возможность использования в практике инженерно-гидрологических прогнозов. При этом основными направлениями улучшения предложенной методики являются замена выявленных предикторов на более качественные, например открытие метеостанций в бассейнах рек Большой и Малый Абакан, а также ежегодная верификация предлагаемых уравнений, связанная с удлинением рядов-предиктантов и, соответственно, уточнением коэффициентов.

Недостатком предложенной методики является невозможность статистически удовлетворительного долгосрочного прогноза параметров волны половодья смешанного происхождения, когда максимальные расходы и объем дождевого паводка в несколько раз превышают максимальные расходы и объем талых вод сезонного снежного покрова. Удовлетворительный результат прогноза будет достигнут, если предлагаемую методику дополнить прогнозом повторения синоптической ситуации, аналога весны 2014 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hydrological risks in Western Siberia under the changing climate and anthropogenic influences conditions / V.A. Zemtsov, V.V. Paromov, S.G. Kopysov, A.V. Kouraev, S.V. Negrul // *The international journal of environmental studies*. Iss. 5: Western Siberia in a changing climate. – 2014. – V. 71. – P. 611–617.
2. Basilashvili T., Tabatadze J., Janelidze M. Prevention of High Water floods of the Mountainous Rivers // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. – 2011. – V. 19. – P. 580–585.
3. Catastrophic impact of extreme flood events on the morphology and evolution of the lower Jökulsá á Fjöllum (northeast Iceland) during the Holocene / E.R.C. Baynes, M. Attal, A.J. Dugmore, L.A. Kirstein, K.A. Whaler // *Geomorphology*. – 1 December 2015. – V. 250. – P. 422–436.
4. Primea Th., Brown J.M., Platera A.J. Flood inundation uncertainty: the case of a 0.5 % annual probability flood event // *Environmental Science & Policy*. – May 2016. – V. 59. – P. 1–9.
5. Flash flood hazard mapping: a pilot case study in Xiapu River Basin, China / Da-wei Zhang, Jin Quan, Hong-bin Zhang, Fan Wang, Hong Wang, Xiao-yan He // *Water Science and Engineering* – July 2015. – V. 8. – Iss. 3. – P. 195–204.
6. Taye M.T., Willems P., Block P. Implications of climate change on hydrological extremes in the Blue Nile basin: a review // *Journal of Hydrology: Regional Studies*. – September 2015. – V. 4. – P. B. – P. 280–293.
7. Modrick Th.M., Georgakakos K.P. The character and causes of flash flood occurrence changes in mountainous small basins of Southern California under projected climatic change // *Journal of Hydrology: Regional Studies*. – March 2015. – V. 3. – P. 312–336.
8. Impacts of Climate Changes on Water Resources in Yellow River Basin, China / Yongnan Zhu, Zhaohui Lin, Jianhua Wang, Yong Zhao, Fan He // *Procedia Engineering*. – 2016. – V. 154. – P. 687–695.
9. Borsch S., Simonov Y. Operational Hydrologic Forecast System in Russia // *Flood Forecasting. A Global Perspective* / Eds. Th.E. Adams, Th. Pagano. – Elsevier, 2016. – Ch. 7. – P. 169–181.
10. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1. Изменение климата / Г.В. Груза, А.С. Зайцев, И.Л. Кароль и др. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2008. – 228 с.
11. Современные глобальные и региональные изменения окружающей среды и климата / Ю.П. Переведенцев, М.А. Верещагин, К.М. Шанталинский, Э.П. Наумов, В.Д. Тудрий. – Казань: «УНИПРЕСС», 1999. – 96 с.
12. Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона: оценочный доклад / под ред. А.О. Кокорина. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF России), 2011. – 168 с.
13. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Катастрофические наводнения XXI века: уроки и выводы. – М.: ООО «Дэкс-Пресс», 2003. – 352 с.
14. Hydrological Changes: Historical Analysis, Contemporary Status, and Future Projections / A.I. Shiklomanov, R.B. Lammers, D.P. Lettenmaier, Yu.M. Polischuk, O.G. Savichev, L.C. Smith, A.V. Chernokulsky // *Regional Environmental Changes in Siberia and Their Global Consequences* / Eds. P.Ya. Groisman, G.Gutman. – Dordrecht, Springer Environmental Science and Engineering, 2013. – P. 111–154.
15. Extreme hydrological events: new concepts for security. Report of Workshop in the Russia. – Novosibirsk, 11–15 July. 2005. – Netherlands: Springer, 2005. – 183 p.
16. Государственный доклад. О состоянии окружающей среды Республики Хакасия в 2014 г. – Абакан / Департамент по охране окружающей среды Министерства промышленности и природных ресурсов Республики Хакасия. – Абакан, 2015. – 201 с.
17. Севастьянов В.В. Климат высокогорных районов Алтая и Саян. – Томск: Изд-во ТГУ, 1998. – 201 с.
18. Шауло Д.Н. Флора Западного Саяна // *Turczaninowia*. – 2006. – Т. 9. – Вып. 1–2. – 336 с.
19. Природные опасности России. Гидрометеорологические опасности / под ред. Г.С. Голицына, А.А. Васильева. – М.: «КРУК», 2002. – Т. 5. – 348 с.
20. Тенденция роста катастрофических наводнений на территории Российской Федерации / Г.М. Нигметов, Ю.А. Филатов, В.И. Пчелкин и др. // *Технология гражданской безопасности: науч.-техн. журнал ФЦ ВНИИ ГОЧС*. – 2003. – № 1–2. – С. 37–44.
21. Зонирование территории Российской Федерации по величине риска от наводнений / Г.М. Нигметов, В.И. Ларионов, Ю.А. Филатов и др. // *Технология гражданской безопасности: науч.-техн. журнал ФЦ ВНИИ ГОЧС*. – 2003. – № 1–2. – С. 30–35.
22. Бузин В.А. Опасные гидрологические явления. – СПб.: РГГМУ, 2008. – 228 с.
23. Фалеев М.И., Черных Г.С., Старостин А.С. Оценка опасностей и угроз, обусловленных катастрофическими наводнениями, и предложения по защите населения и территорий от них // *Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования*. – 2014. – Т. 4. – Вып. 2. – С. 18–32.
24. Владимиров А.М. Факторы, определяющие возникновение экстремальных расходов и уровней воды половодья // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического ун-та*. – 2009. – № 9. – С. 22–39.
25. Бузин В.А., Копалиани З.Д. Наводнения на реках России при современных тенденциях в изменении климата // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического ун-та*. – 2007. – № 5. – С. 43–54.
26. Савичев О.Г. Методика расчета максимальных расходов речных вод в таёжной зоне Западной Сибири // *Известия ТПУ*. – 2011. – Т. 318. – № 1. – С. 140–144.
27. Красногорская Н.Н., Нафикова Э.В., Ферапонтов Ю.И. Оценка и прогнозирование экстремальных гидрологических ситуаций // *Современные проблемы науки и образования*. – 2012. – Вып. 1. – С. 1–9.
28. Lawrence D., Haddeland I. Uncertainty in hydrological modeling of climate change impacts in four Norwegian catchments // *Hydrology Research*. – 2011. – № 42 (6). – P. 457–471.
29. Метельская Я. Как погодная аномалия повлияет на весеннее половодье в Хакасии // *Шанс. On-line еженедельник Хакасии*. URL: http://www.shans-online.com/articles/2014-03-09/kak_pogodnaya_anomaliya_povliyaet_na_vesennnee_polovo-de_v_hakasii/ (дата обращения: 09.03.2016).
30. Кононова Н.К. Связь стихийных бедствий в России в 2013 и 2014 гг. с циркуляцией атмосферы Северного полушария // *Сложные системы*. – 2014. – № 4 (13). – С. 46–60.
31. Silvestro F., Rebora N. Impact of precipitation forecast uncertainties and initial soil moisture conditions on a probabilistic flood forecasting chain // *Journal of Hydrology*. – November 2014. – V. 519 – P. A. – P. 1052–1067.
32. Meteorological and hydrological analysis of major floods in NE Iberian Peninsula / D. Pino, J.L. Ruiz-Bellet, J.C. Balasch, L. Romero-León, J. Tuset, M. Barriendos, J. Mazon, X. Castelltort // *Journal of Hydrology*. – 11 February 2016. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169416300336> (дата обращения: 02.06.2016).

Поступила 25.07.2016 г.

Информация об авторах

Паромов В.В., кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии Национального исследовательского Томского государственного университета.

Шумилова К.А., аспирант кафедры гидрологии Национального исследовательского Томского государственного университета.

Гордеев И.Н., заместитель начальника Гидрометеорологического центра Среднесибирского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

UDC 556.166:556.16.06

CONDITIONS OF FORMATION OF HIGH-WATER FLOOD AND FLOOD FORECAST ON THE RIVER ABAKAN

Vladimir V. Paromov¹,
pvv0266@mail.ru

Kseniya A. Shumilova¹,
avelissa@mail.ru

Ivan N. Gordeev²,
biggin83@mail.ru

¹ National Research Tomsk State University,
36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

² Central Siberian Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring,
28, Surikov Street, Krasnoyarsk, 660049, Russia.

The relevance of the work is caused by climate change and increase in frequency of occurrence of dangerous hydrological phenomena on the rivers of the southern Siberian mountains. As a consequence the social and economic damage grows.

The aim of the research is to analyze the conditions of formation of spring flood high water content on the river Abakan, to identify hydro-climatic laws as a basis for predicting the probability of formation of extremely high flow rates.

Methods: complex geographical and hydrometeorological analysis, identification of prognostic data dependencies of long-term meteorological observations using the methods of mathematical statistics.

Results. The authors have revealed four types of the tide of spring flood high water content (probability is less than 33,3 %), which differ in the degree of danger to human settlements and industrial facilities on the banks of river Abakan. The main factors of the formation of the flood high water content tide are the following: 1) increased amount of winter precipitation – at average the sum of rainfall catchment from November to March is 10 % above the norm; 2) abundant, mainly liquid, April precipitation. The amount of precipitation in April, according to the data of weather stations Neozhidanny and Tashtyp, is above normal by 25 and 50 %, respectively. The authors proposed the technique of flood prediction based on searching for the so-called «Extremality flood factor».

Key words:

Flood, risk assessment, prediction technique, maximum water flow, Abakan River Basin, predictions of extreme floods.

REFERENCES

1. Zemtsov V.A., Paromov V.V., Kopysov S.G., Kouraev A.V., Negrul S.V. Hydrological risks in Western Siberia under the changing climate and anthropogenic influences conditions. *The international journal of environmental studies*. Iss. 5: Western Siberia in a changing climate, 2014, vol. 71 (5), pp. 611–617.
2. Basilashvili T., Tabatadze J., Janelidze M., Prevention of High Water floods of the Mountainous Rivers. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2011, vol. 19, pp. 580–585.
3. Baynes E.R.C., Attal M., Dugmore A.J., Kirstein L.A., Whaler K.A. Catastrophic impact of extreme flood events on the morphology and evolution of the lower Jökulsá á Fjöllum (northeast Iceland) during the Holocene. *Geomorphology*, 1 December 2015, vol. 250, pp. 422–436.
4. Primea Th., Brownb J.M., Platera A.J. Flood inundation uncertainty: the case of a 0,5 % annual probability flood event. *Environmental Science & Policy*, May 2016, vol. 59, pp. 1–9.
5. Da-wei Zhang, Jin Quan, Hong-bin Zhang, Fan Wang, Hong Wang, Xiao-yan He. Flash flood hazard mapping: A pilot case study in Xiapu River Basin, China. *Water Science and Engineering*, July 2015, vol. 8, Iss. 3, pp. 195–204.
6. Taye M.T., Willems P., Block P. Implications of climate change on hydrological extremes in the Blue Nile basin: a review. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, September 2015, vol. 4, P. B, pp. 280–293.
7. Modrick Th.M., Georgakakos K.P. The character and causes of flash flood occurrence changes in mountainous small basins of Southern California under projected climatic change. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, March 2015, vol. 3, pp. 312–336.
8. Yongnan Zhu, Zhaohui Lin, Jianhua Wang, Yong Zhao, Fan He. Impacts of Climate Changes on Water Resources in Yellow River Basin, China. *Procedia Engineering*, 2016, vol. 154, pp. 687–695.
9. Borsch S., Simonov Y. Ch. 7. Operational Hydrologic Forecast System in Russia. *Flood Forecasting. A Global Perspective*. Eds. Th.E. Adams, Th. Pagano. Elsevier, 2016. pp. 169–181.
10. Gruzova G.V., Zaytseva A.S., Korol I.L. *Otsenochny doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. Izmeneniya klimata* [Assessment report on climate change and their consequences in the Russian Federation]. Obninsk, VNIIGMI-MTSD Publ., 2008. Vol. 1, 228 p.
11. Perevedentsev Yu.P., Vereshchagin M.A., Shantalinskiy K.M., Naumov E.P., Tudriy V.D. *Sovremennye globalnye i regionalnye izmeneniya okruzhayushchei sredy i klimata* [Current global and regional environmental change and climate]. Kazan, UNIPRESS Publ., 1999. 96 p.
12. *Izmenenie klimata i ego vozdeystvie na ekosistemy, naselenie i khozyaystvo rossiyskoy chasti Altae-Sayanskogo ekoregiona: otsenochny doklad* [Climate change and its impact on ecosystems, population and economy of the Russian part of the Altai-Sayan Ecoregion: assesment report]. Ed. by A.O. Kokorin. Moscow, Vse-mirny fond dikoy prirody (WWF Rossii) Publ., 2011. 168 p.
13. Vorobev Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. *Katastroficheskie novodneniya XXI veka: uroki i vyvody* [The catastrophic floods of the XXI century: Lessons and Conclusions]. Moscow, Deks-press Publ., 2003. 352 p.
14. Shiklomanov A.I., Lammers R.B., Lettenmaier D.P., Polischuk Yu.M., Savichev O.G., Smith L.C., Chernokulsky A.V. Hydrological Changes: Historical Analysis, Contemporary Sta-

- tus, and Future Projections. *Regional Environmental Changes in Siberia and Their Global Consequences*. Eds P.Ya. Groisman, G. Gutman. Dordrecht, Springer Environmental Science and Engineering, 2013. pp. 111–154.
15. *Extreme hydrological events: new concepts for security. Report of Workshop in the Russia*. Novosibirsk, 11–15 July, 2005. Netherlands, Springer, 2005. 183 p.
16. *Gosudarstvenny doklad. O sostoyanii okruzhayushchey sredy Respubliki Khakasiya v 2014 g. Abakan* [State report. State of the Environment of the Republic of Khakassia in 2014. Abakan]. Abakan, Environmental Protection Department of the Ministry of Industry and Natural Resources of the Republic of Khakassia, 2015. 201 p.
17. Sevastyanov V.V. *Klimat vysokogornyykh rayonov Altaya i Sayan* [Climate mountainous regions of Altai and Sayan]. Tomsk, TSU Press, 1998. 201 p.
18. Shaulo D.N. Flora Zapadnogo Sayana [Flora of West Sayan]. *Turczaninowia*, 2006, vol. 9, Iss. 1–2, pp. 5–336.
19. Prirodnye opasnosti Rossii. *Gidrometeorologicheskie opasnosti* [Natural hazards in Russia. Hydrometeorological hazards]. Ed. by G.V. Golitsyn, A.A. Vasilev. Moscow, KRUK Publ., 2002. Vol. 5, 348 p.
20. Nigmatov G.M., Filatov Yu.A., Pchelkin V.I. Tendentsiya rosta katastroficheskikh novodneniy na territorii Rossiyskoy Federatsii [Trend of growth of catastrophic floods on the territory of the Russian Federation]. *Tekhnologiya grazhdanskoy bezopasnosti: nauchno-tekhnicheskyy zhurnal FTs VNII GOChS*, 2003, no. 1–2, pp. 37–44.
21. Nigmatov G.M., Larionov V.I., Filatov Yu.A. Zonirovanie territorii Rossiyskoy Federatsii po velichine riska ot novodneniy [Zoning of the territory of the Russian Federation by the magnitude of risk from floods]. *Tekhnologiya grazhdanskoy bezopasnosti: nauchno-tekhnicheskyy zhurnal FTs VNII GOChS*, 2003, no. 1–2, pp. 30–35.
22. Buzin V.A. *Opasnye gidrologicheskie yavleniya* [Dangerous hydrological phenomena]. St-Petersburg, RGGMU Publ., 2008. 228 p.
23. Faleev M.I., Chernykh G.S., Starostin A.S. Otsenka opasnostey i ugroz, obuslovlennykh katastroficheskimi navodneniyami, i predlozheniya po zashchite naseleniya i territoriy ot nikh [Evaluation of dangers and threats posed by catastrophic floods, and proposals to protect the population and territories from them]. *Strategiya grazhdanskoy zashchity: problem i issledovaniya*, 2014, vol. 4, Iss. 2, pp. 18–32.
24. Vladimirov A.M. Faktory, opredelyayushchie vozniknovenie ekstremalnykh raskhodov i urovney vody polovodya [Factors determining the occurrence of extreme water levels and costs of flood]. *Uchen. zap. Ros. gos. gidrometeorol. un-ta*, 2009, no. 9, pp. 22–39.
25. Buzin V.A., Kopaliani Z.D. Novodneniya na rekakh Rossii pri sovremennykh tendentsiyakh v izmenenii klimata [Floods on the rivers of Russia at current trends of climate change]. *Uchen. zap. Ros. gos. gidrometeorol. un-ta*, 2007, no. 5, pp. 43–54.
26. Savichev O.G. Methods of calculating the maximum river water costs in the taiga zone of Western Siberia. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 318, no. 1, pp. 140–144. In Rus.
27. Krasnogorskaya N.N., Nafikova E.V., Ferapontov Yu.I. Otsenka i prognozirovanie ekstremalnykh gidrologicheskikh situatsiy [Estimation and forecasting of extreme hydrological situations]. *Sovremennyye problem nauki i obrazovaniya*, 2012, Iss. 1, pp. 1–9.
28. Lawrence D., Haddeland I. Uncertainty in hydrological modeling of climate change impacts in four Norwegian catchments. *Hydrology Research*, 2011, no. 42 (6), pp. 457–471.
29. Metelskaya Ya. Kak pogodnaya anomalija povliyaet na vesennee polovode v Khakasii [In what way will the weather influence spring flood in Khakassia]. *Shans. On-line ezhenedelnik Khakassii*. Available at: http://shans-online.com/articles/2014-03-09/kak_pogodnaya_anomalija_povliyaet_na_vesennee_polovode_v_hakasii/ (accessed 9 March 2016).
30. Kononova N.K. Svyaz stikhiynykh bedstviy v Rossii v 2013 i 2014 gg. s tsirkulyatsiyey atmosfery Severnogo polushariya [Relation of disasters in Russia in 2013 and 2014. with the atmospheric circulation in the Northern Hemisphere]. *Slozhnye sistemy*, 2014, no. 4 (13), pp. 46–60.
31. Silvestro F., Rebora N. Impact of precipitation forecast uncertainties and initial soil moisture conditions on a probabilistic flood forecasting chain. *Journal of Hydrology*, November 2014, vol. 519, P. A, pp. 1052–1067.
32. Pino D., Ruiz-Bellet J.L., Balasch J.C., Romero-León L., Tuset J., Barriendos M., Mazon J., Castellort X. Meteorological and hydrological analysis of major floods in NE Iberian Peninsula. *Journal of Hydrology*, 11 February 2016. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169416300336> (accessed 02 June 2016).

Received: 25 July 2016.

Information about the authors

Vladimir V. Paromov, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk State University.

Kseniya A. Shumilova, graduate student, National Research Tomsk State University.

Ivan N. Gordeev, Deputy Chief, Hydrometeorological Center, Central Siberian Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring.