

УДК 556.12.+556.16.06

Климатически обусловленные изменения вклада снега в формирование опасных гидрологических явлений на реках

© 2013 г. В.А. Семенов

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации-Мировой центр данных, Обнинск
semven@meteo.ru

Статья принята к печати 20 марта 2013 г.

Маловодья, наводнения, осадки, снегопады, снежный покров.
Dry flow, flooding, rainfall, snowfall, snow cover.

При современных изменениях климата снеготаяния, играющие важную роль в формировании экстремальных гидрологических явлений, служат причиной устойчивого повышения опасных наводнений в половодье на реках горных и предгорных районов юга Сибири и Урала, а также приморских и островных районов Дальнего Востока. Для многих регионов характерно также повышение доли снеговой составляющей в формировании опасных снегодождевых паводков. Вместе с тем малоснежность – одна из причин участвовавшего экстремального снижения уровня воды (экстремальных маловодий) в летнюю межень на реках азиатской территории. На реках Европейской части России увеличение повторяемости оттепелей и продолжительности снеготаяния уменьшает опасность наводнений и повышает роль снега в питании подземных вод, что снижает повторяемость экстремальных маловодий на реках в межень.

Хорошо известна важная роль количества зимних осадков и снеготаяния к началу весеннего снеготаяния в формировании объёма и максимального стока воды рек России. Результаты исследований климатологов показывают, что при современных (конец XX в. – начало XXI в.) изменениях климата на большей части территории России количество осадков и толщина снежного покрова в зимний период увеличились [1, 3, 12]. Но особенности современных изменений климата, для которых характерны повышение приземной температуры воздуха в холодный период года и региональные изменения температурного режима в весенний период, неоднозначно влияют на сезонные изменения гидрологического режима рек и формирование его экстремальных характеристик [2, 4–8]. Основываясь на данных гидрометеонаблюдений и полученных во ВНИИГМИ-МЦД из Росгидромета сведениях об опасных гидрометеорологических явлениях с учтённым экономическим ущербом за 1991–2010 гг., обобщённых автором по годам и генезису (без учёта размера ущерба), анализируются обусловленные климатом особенности распределения снежного покрова, сильных снегопадов и их влияния на повторяемость опасных наводнений и маловодий на реках России.

Количество осадков и толщина снежного покрова

Согласно исследованиям климатологов, количество осадков холодного полугодия (октябрь–март) в 1976–2006 гг. на большей части территории России увеличивалось [2]. Наиболее интенсивный рост отмечался в приморских районах тихоокеанского побережья России (Сахалин, Камчатка, юг Приморья), на значительных территориях Сибири, на Северном Кавказе, Среднем и Южном Урале. Вместе с тем в западной части Европейской территории России (ЕТР), на юге и в центре Сибири, а также на северо-востоке страны значение этого параметра снизилось. Для большей части территории России тренды увеличения составили до 10 мм/10 лет, а для южной половины ЕТР и Камчатки положительные тренды имели значения 10–20 мм/10 лет при их достоверности на 95%-м уровне.

Аналогично изменениям количества осадков холодного периода, но с некоторыми территориальными отличиями, распределялась и средняя за зимний период толщина снежного покрова [1, 2, 12]. Наибольшее её увеличение отмечалось на территории Западной Сибири, в Предуралье, Центральных районах ЕТР, на Камчатке и Сахалине, а уменьшение – в западной части ЕТР, в горах юга Западной Сибири, на Чукотке, в Прибайкалье и Забайкалье [1, 12].

Максимальные снегозапасы

Данные по максимальным запасам воды в снежном покрове (далее снегозапасов) по данным маршрутных снегосъёмки на полевых и лесных участках за 1976–2010 гг., приведённые на сайте ВНИИГМИ-МЦД (www.meteo.ru), показывают их значительное территориальное различие. Снегозапасы возросли на полевых и лесных участках Южного и Среднего Урала, Южного Зауралья, на юге Восточной Сибири (бассейн Енисея и Алдана), на юге Приморья, Сахалине, западе Камчатки. На ЕТР некоторое увеличение снегозапасов на полевых участках наблюдалось в Центральной и Предуральской частях, в Прикаспийской части Северного Кавказа; на лесных участках, напротив, снегозапасы уменьшились на всей территории ЕТР, кроме небольшой территории побережья Белого моря. Снижались они и на Северном Урале, юге Западной Сибири (особенно на лесных участках), в большей части Восточной Сибири, в Забайкалье, восточной части Камчатки.

Анализ материалов о количестве осадков за один снегопад, причиняющий ущерб, показывает, что снегопады опасны, если количество осадков составляет от 20 до 90 мм (очень сильный снег), но в отдельных случаях (например, при выпадении мокрого снега с налипанием на провода и строения) ущерб наносят и снегопады с количеством осадков всего 10–15 мм. В горных районах Северного Кавказа нередки случаи, когда сезонное количество осадков за снегопады, вызывающие ущерб (преимущественно от схода лавин), достигает 130–145 мм. В горах юга Сибири (Алтай, Западные Саяны) оно иногда превышает 100 мм, а на Камчатке, Сахалине, в Дальневосточном Приморье – более 200 мм.

За 20 рассматриваемых лет (1991–2010 гг.) по суммарному количеству очень сильных осадков в виде снега, мокрого снега и снега с дождём, нанёвших ущерб экономике, лидируют территории Сахалина, Камчатки, Дальневосточного Приморья; аналогичная ситуация характерна для большей части южных горных районов Западной Сибири. Временные изменения за этот период повторяемости опасных снегопадов на территории Дальнего Востока и Сибири аналогичны (рис. 1). Наибольшая повторяемость опасных снегопадов на всей территории России отмечалась в 2003–2007 гг., однако на Дальнем Востоке повторяемость опасных снегопадов увеличилась и к середине 1990-х годов. На территории Сибири этот рост был выражен меньше. В горных районах

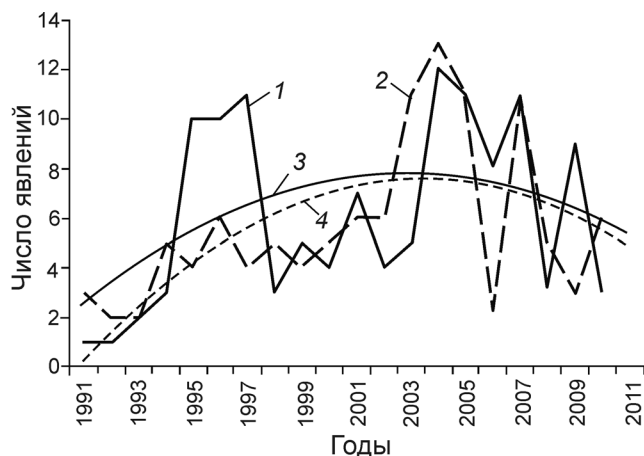


Рис. 1. Изменение (по годам) числа опасных снегопадов, нанёвших ущерб в 1991–2010 гг. на территории Дальнего Востока (1) и Сибири (2).

3, 4 – полиномиальные тренды второго порядка соответственно для территории Дальнего Востока и Сибири

Fig. 1. Changes in frequency of hazardous snowfalls that caused damage occurred on the territory of the Far East (1) and Siberia (2) in 1991–2010.

3, 4 – polynomial trends second-order for Far East and Siberia

повышение снегозапасов вызвало рост лавинной опасности, особенно на Сахалине и Камчатке. На Сахалине росту лавинной опасности способствует также рост метелевой активности [9].

Повторяемость опасных наводнений и их связь со снегозапасами

Гидрологические наблюдения на стационарной сети речных постов Росгидромета и сведения о повторяемости экстремальных наводнений с подтверждённым ущербом от них показывают, что при современных изменениях климата значительное увеличение количества зимних осадков на территории России сопровождалось ростом экстремальных гидрологических явлений, в том числе опасных наводнений (табл. 1). Особенно интенсивное увеличение повторяемости опасных наводнений во время половодья с оценённым ущербом для народного хозяйства и населения в целом для России было характерно для 1991–2005 гг., в дальнейшем повторяемость опасных наводнений в половодье на реках снизилась. Повторяемость наводнений, обусловленных ледовыми заторами, особенно возросла в последнем пятилетии (2006–2010 гг.) рассматриваемого периода (см. табл. 1) в результате понижения зимних температур воздуха.

Согласно сведениям об опасных гидрологических явлениях с зафиксированным ущербом от них, наибольшее увеличение опасных наводнений

Таблица 1. Изменения числа опасных наводнений на реках России с зафиксированным ущербом

Вид наводнения	Общее число наводнений за 1991–2010 гг.	Число наводнений по годам			
		1991–1995	1996–2000	2001–2005	2006–2010
В половодье	257	55	66	97	39
Заторные	63	15	13	8	27
<i>Всего</i>	320	70	79	105	66

в период половодья за последние годы XX – первое десятилетие XXI в. характерно для рек азиатской территории России: горные и предгорные районы юга Сибири (Алтай, Западные Саяны), некоторые районы Дальнего Востока (Сахалин, Камчатка), бассейн Енисея [4, 6]. В этих районах при общем повышении температуры воздуха весной [11] и частом выпадении большого количества жидких и смешанных осадков снеготаяние происходит более интенсивно, причём одновременно на большой площади в нескольких высотных поясах, что способствует формированию высоких половодных наводнений с затоплением прибрежных территорий. Благодаря этому даже уменьшение в последние годы снеготаяния в горах юга Западной Сибири не привело к уменьшению повторяемости опасных наводнений на больших реках данной территории [4, 5].

Наблюдения на гидрологических сетях и сведения об опасных гидрологических явлениях с зафиксированным ущербом от них показывают, что наибольшее увеличение опасных наводнений в весеннее половодье на реках Сибири отмечалось до середины первого десятилетия XXI в., когда их суммарная продолжительность за год достигала 180 суток (2007 г.). Отметим, что в последние годы такая повторяемость несколько снизилась (рис. 2). Более ранние опасные паводки на реках Северного Кавказа (апрель–май) свидетельствуют об увеличении роли снеговой составляющей в их формировании, что способствует росту повторяемости опасных паводков, а в горах – сходу селей, повторяемость которых особенно возросла в первом десятилетии XXI в. На равнинной части ЕТР, несмотря на увеличение количества выпадающих зимних осадков, небольшой рост повторяемости высоких наводнений в весеннее половодье наблюдался только на севере, преимущественно на территории самой северной области, Архангельской, на реки которой приходится половина всех наблюдавшихся на территории Северо-Западного федерального округа в 1991–2010 гг. опасных наводне-

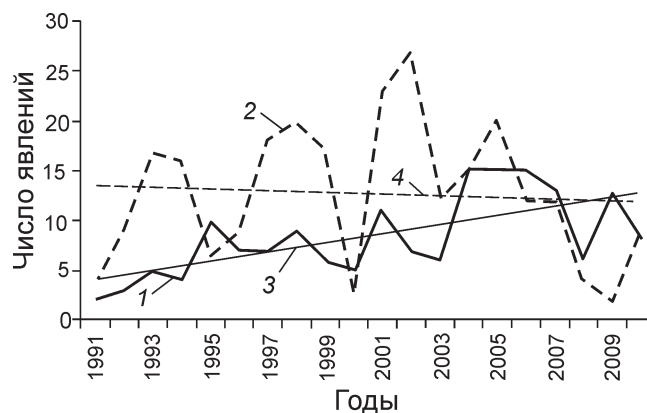


Рис. 2. Совмещённый график изменения (по годам) опасных снегопадов (1) и числа опасных половодных наводнений (2) за 1991–2010 гг. на территории России.

3, 4 – тренды

Fig. 2. Changes in frequency of hazardous snowfalls (1) and hazardous snow-melt floods (2) occurred on the territory of Russian in 1991–2010.

3, 4 – trends

ний в половодье. Но и на территории данного района (например, в бассейне р. Северная Двина) в последние годы наблюдается спад высоты уровня воды в весеннее половодье [10]. На остальной территории ЕТР роста повторяемости опасных наводнений не отмечалось, так как потепление зимой увеличило потери талых вод на инфильтрацию и снизило максимальный сток.

Опасные снегопады и наводнения

Статистический анализ методом парной корреляции между опасными снегопадами, обусловившими учтённый ущерб, и опасными наводнениями за 1991–2010 гг. показал, что для территории Дальневосточного федерального округа коэффициент корреляции составляет 0,37, а Сибирского – 0,25. Для остальных регионов России территориальная связь между опасными снегопадами и наводнениями тоже незначима. Тем не менее, на территории Центрального федерального округа годам с опасными наводнениями в весеннее половодье обычно предшествовали

зимы с опасными снегопадами (1994, 1999, 2005, 2012 г.). В Сибири, как и на всей территории России, несмотря на отсутствие тесной корреляционной связи, изменение в многолетнем ходе повторяемости опасных наводнений в период половодья согласуется с повторяемостью выпадения опасных снегопадов (см. рис. 2).

На реках Дальнего Востока наибольшее число опасных наводнений в весеннее половодье наблюдалось на Сахалине и Камчатке, где зимой также скапливается большое количества снега. На реках этих территорий, имеющих муссонный климат и «океанический» тип водного режима рек, а также характеризующихся дождевым половодьем в летнее время и паводками в весенние и летне-осенние периоды, рост количества осадков при опасных снегопадах (см. рис. 1) на фоне наблюдающегося уменьшения летних осадков также способствует увеличению снеговой составляющей в формировании максимального паводочного стока. Об этом свидетельствует увеличение в последние годы повторяемости и продолжительности опасных паводков в весенние месяцы и в июне – месяце, переходном от весны к лету.

За рассматриваемый период 1991–2010 гг. изменение числа высоких наводнений в половодье, вызванное заторами льда, происходило с повышенной повторяемостью в начале периода и существенно возросло в 2005–2010 гг. (см. рис. 2 и табл. 1). Рост повторяемости высоких наводнений при ледовых заторах, главным образом, объясняется изменчивостью зимних и весенних температур, а в Сибири это связано также с более ранним ростом высоких уровней половодий в верхних частях бассейнов рек и увеличением разницы в интенсивности и сроках повышения весенней температуры в южных и северных районах [11]. Современные изменения термического режима в весенний период обуславливают более раннее, чем до потепления конца XX в., вскрытие рек от льда в верхних частях бассейнов больших рек, текущих с юга на север, которое сопровождается ростом интенсивности притока воды в русло, а наличие ниже по течению толстого ледяного покрова и его повышенная прочность препятствуют движению увеличивающегося количества льда, перемещающегося вниз по течению, что и приводит к возрастанию повторяемости заторов. Особенно это характерно для крупных рек Сибири, в верхних частях бассейнов которых формируется сток в горах (Енисей, Лена, Обь).

В 2005–2010 гг. зимние температуры воздуха в Сибири были ниже по сравнению с довольно длительным предшествующим периодом конца XX – начала XXI в., что обусловило повышение прочности льда и рост опасности наводнений от заторов. Об этом же свидетельствует асинхронное изменение половодных наводнений при заторах и без них (см. рис. 2.). Поскольку водность сибирских рек в половодье определяется снежностью зим, то после малоснежных зим, когда наблюдаются низкие подьёмы уровня воды в верхних течениях крупных сибирских рек, в их средних и нижних течениях создаются условия, благоприятные для повышения уровня от заторов льда. Таким образом, снежность зим на азиатской территории России регулирует генезис наводнений в половодье. Для ЕТР при современных зимних потеплениях, раннем начале и увеличении продолжительности снеготаяния такая закономерность не прослеживается.

Снегозапасы и маловодья

Кроме рассмотренных опасных процессов, в условиях изменения климата во многих районах страны чаще наблюдаются гидрологические явления, имеющие неблагоприятные последствия для экономики и экологии. Так, на территории юга Западной Сибири, в Забайкалье, некоторых районах бассейнов Амура, Колымы, рек Якутии (рис. 3) в последние годы особенно участились экстремальные маловодья на

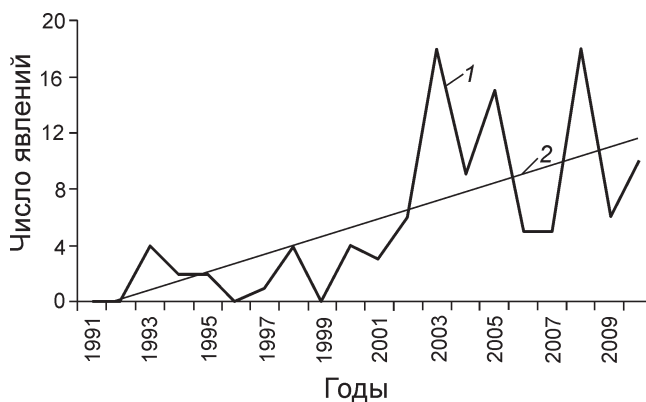


Рис. 3. Изменение (по годам) числа маловодных периодов с зафиксированным ущербом за 1991–2010 гг. на территории Дальнего Востока и Сибири (1).

2 – тренд

Fig. 3. Changes in frequency of low water periods with the recorded damage occurred on the territory of the Far East and Siberia in 1991–2010 (1).

2 – a trend

Таблица 2. Продолжительность (сутки) маловодий в 1993–2010 гг. с учтённым ущербом на реках Западной Сибири для разных территорий субъектов федерации*

Субъекты федерации	1993	1997	1998	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Республика Алтай	–							34	118	–		102
Алтайский край	–	18	–	30	88	82	106	51	120	162	73	102
Кемеровская область	–				31	82	85	–				
Новосибирская область	–	18	–		78	72	46	–		180	60	102
Томская область	–			30	46	82	40	96	–	153	–	174

*Прочерки означают отсутствие явления в указанный период.

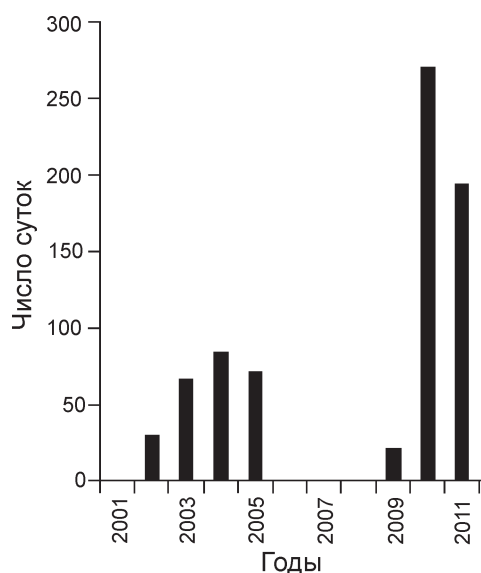


Рис. 4. Изменение суммарной продолжительности маловодий (суток) с учтённым ущербом на территории Приволжского федерального округа за 2001–2011 гг.

Fig. 4. Changes in the total duration of low water periods (days) with recorded damage occurred on the territory of the Volga Federal District in 2001–2011

реках с сократившимся периодом половодья из-за уменьшения снеготаяния. Это наносит всё возрастающий ущерб и экономике, и речному транспорту. Рост повторяемости маловодий объясняется увеличением континентальности климата, который выражается в сезонном перераспределении осадков, уменьшении их в зимне-весенний период, возрастании продолжительности периодов без дождей не только летом, но и весной [8].

На азиатской части территории России продолжительность маловодий особенно возросла в 2001–2010 гг. на юге Западной Сибири (табл. 2), где, кроме засушливых летних периодов, в последние годы уменьшилось количество зимних осадков, а, следовательно, снеготая-

ния в зоне формирования стока рек. В первом десятилетии XXI в. наметилась тенденция роста повторяемости маловодий и на реках некоторых районов ЕТР (рис. 4). Наибольшее увеличение маловодий произошло на реках Поволжья. Продолжительность маловодий 2010 г. с учтённым ущербом возросла также в Предуралье (Татарстан, Кировская область) и бассейне р. Дон. На остальной территории ЕТР зимние оттепели, продолжительное весеннее снеготаяние и незначительное промерзание почв способствовали инфильтрации талых вод, повышению уровня подземных вод и стока рек в межень, что уменьшало вероятность маловодий на реках в периоды летней и, особенно, зимней межени. Поскольку запасы подземных вод, питающих реки в межень, пополняются преимущественно талыми снеговыми водами, то важнейшее гидрологическое значение имеют снеготаяния.

Заключение

В конце XX – начале XXI в. при современных тенденциях изменения климата и климатических особенностей в регионах повышенной повторяемости опасных наводнений в весеннее половодье характерна для рек многоснежных приморских и островных районов Дальнего Востока (Камчатка, Сахалин, Приморье), где отмечается увеличение роли снеговой составляющей в формировании опасных снегопадов и наводнений в весеннее половодье в многоснежных горных и предгорных районах Алтая, Саян, Прибайкалья, бассейна Енисея, Среднего и Южного Урала, Зауралья, которая чередуется с периодически увеличивающейся опасностью высоких наводнений при заторах

льда на больших реках Сибири, преимущественно в малоснежные годы. С начала XXI в. возросла повторяемость экстремальных маловодий в летнюю межень на реках юга Поволжья, Западной Сибири, Забайкалья, бассейнов Амура, Лены, Колымы, что наносит ущерб и экономике, и речному транспорту. Причины этого – уменьшение зимне-весенних осадков, а также сокращение продолжительности половодий при повышении температуры воздуха в весенний период. На реках Европейской территории России увеличение повторяемости оттепелей зимой, продолжительности снеготаяния и половодий способствует повышению положительной роли снега в подземном питании рек, что уменьшает повторяемость экстремальных маловодий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект 11-05-00691.

Литература

1. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Разуваев И.Н. Изменения характеристик снежного покрова на территории России в последние десятилетия // Тр. ВНИИГМИ-МЦД. 2007. Вып. 173. С. 54–62.
2. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: Т. II. Последствия изменений климата. М.: изд. НИЦ «Планета», 2008. 288 с.
3. Попова В.В. Вклад снегозапасов в изменения стока крупнейших рек бассейна Северного Ледовитого океана в период современного потепления // Лёд и Снег. 2011. № 3 (115). С. 69–78.
4. Семенов В.А. Климатически обусловленные изменения экстремальных гидрологических явлений на горных реках России и развитие мониторинга для предупреждения об их опасности // Сб. Всерос. науч. конф. «Проблемы безопасности в водохозяйственном комплексе России». Краснодар: изд. ООО «Авангард плюс», 2010. С. 404–415.
5. Семенов В.А. Региональные особенности климатически обусловленных изменений повторяемости экстремальных гидрологических явлений на реках России // Материалы третьей Всерос. конф. с междунар. участием «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов». Барнаул: Изд-во АРТ, 2010. С. 451–454.
6. Семенов В.А. Климатически обусловленные изменения опасных и неблагоприятных гидрологических явлений на реках России // Метеорология и гидрология. 2011. № 2. С. 74–81.
7. Семенов В.А. Климатообусловленные изменения повторяемости и взаимосвязь опасных гидрометеорологических явлений на азиатской территории России // Климатология и гляциология Сибири: Материалы междунар. науч.-практ. конф. Томск, 16–20 октября 2012 г. Томск: изд. ЦНТИ, 2012. С. 274–276.
8. Семенов В.А., Семенова И.В. Современные климатообусловленные изменения маловодий на реках России и их неблагоприятные последствия. Вода и водные ресурсы: системообразующие функции в природе и экономике // Материалы Всерос. науч. конф., г. Цимлянск, 23–30 июля 2012 г. Новочеркасск, 2012. С. 122–128.
9. Сучков В.Е. Метелевый режим Сахалина и его роль в лавинообразовании // Лёд и Снег. 2010. № 4 (112). С. 53–61.
10. Терский П.Н. Наводнения на реках бассейна Северной Двины: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2012. 25 с.
11. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. Обнинск: изд. ВНИИГМИ-МЦД, 2008. 247 с.
12. Шмакин А.Б. Климатические характеристики снежного покрова Северной Евразии и их изменения в последние десятилетия // Лёд и Снег. 2010. Вып. 1 (109). С. 43–57.

Summary

Under current climate change the amount of snow plays a fundamental role in occurrence of hazardous hydrological events causing a steady growth in frequency of hazardous snow melt floods in mountain and piedmont areas in the south of Siberia and the Urals and coastal areas of the Far East. For these areas as well as for the Caucasus the following is also typical: greater influence of snow on occurrence of hazardous snow-rainfall floods, higher frequency of hazardous snowfalls and avalanching. Small amount of snow is one of the factors causing higher frequency of extreme lacks of water in summer low water periods on rivers of Asian Russia. On rivers of European Russia increased frequency of thaws and longer periods of snow melt reduce flood risk and enhance the role of snow in feeding underground waters to impede the growth in frequency of extreme lacks of water during low water periods.