

ГИДРОЛОГИЯ

УДК 556.51.028; 556.535; 571.1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ТАЛОГО СТОКА В РЕПРЕЗЕНТАТИВНЫХ РАВНИННОМ (КАСМАЛА) И НИЗКОГОРНОМ (МАЙМА) РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ ВЕРХНЕЙ ОБИ

Л.Ф. Лубенец¹, Д.В. Черных^{1,2}, А.А. Коломейцев¹

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

²Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия



Представлен сравнительный анализ условий формирования стока половодья в низкогорном (Майма) и равнинном (Касмала) бассейнах Верхней Оби. На Майме значения слоя стока половодья выше в связи с более высоким увлажнением низкогорий за зиму; продолжительность половодья меньше из-за более быстрой водоотдачи бассейна. Для Касмалы выявлена более значимая зависимость между годовым коэффициентом водности и коэффициентом стока половодья; на Майме – между величинами осадков за зиму и слоя стока половодья.

Ключевые слова: талый сток, речной бассейн, бассейн-индикатор, модульный коэффициент водности, половодье, гидрограф половодья, объем стока, слой стока, коэффициент стока

Введение

Для малых по водоносности рек фаза половодья играет важную роль, так как на нее, как правило, приходится большая часть годового стока. Прикладные аспекты, связанные с безопасностью жизнедеятельности и рациональной организацией водопользования, стимулируют высокий научный интерес к этой фазе водного режима рек, а понимание особенностей формирования стока половодья на разнотипных водосборах является ключом к его прогнозированию [Попов О.В., 1968; Аполлов и др., 1974].

История изучения условий формирования стока на реках бассейна Верхней Оби насчитывает более полувека. В ранних работах [Воскресенский, 1962; Комлев, Титова, 1966; Фащевский, 1967] на основе накопленных к тому времени гидрометеорологических данных и экспериментальных исследований для рассматриваемой территории были определены основные гидрологические характеристики, в том числе условия формирования талого стока. В работах конца XX – начала XXI в. [Паромов, 2002; Галахов, 2009, 2015; Бураков, Литвинова, 2010; Аванесян, 2013] с использованием более длительных рядов наблюдений предлагается ряд зависимостей талого стока как от отдельных факторов, так и их совокупности.

Атмосферные осадки холодного периода вносят основной вклад в сток половодья (талый сток) на реках средних широт. Так, В.П. Галахов для горной реки определяет тесную связь объема половодья и коэффициента снежности [Галахов, 2015]. Д.А. Бураков и О.С. Литвинова, рассматривая факторы стока весеннего половодья бассейнов рек лесоболотной, лесо-

степной и степной зон, отмечают, что показатели водно-балансовых зависимостей изменяются исходя из ландшафтно-гидрологического фона территории [Бураков, Литвинова, 2010]. При этом знание только суммы твердых осадков за зиму не дает полной гарантии обоснованного прогноза объема стока за период половодья. Отмечается, что важным фактором формирования талого стока является осеннее увлажнение бассейнов. При этом в степной зоне недостаточного увлажнения в качестве репрезентативного показателя осеннего увлажнения рекомендуется использовать сумму осенних осадков. В заболоченных районах с близким залеганием к дневной поверхности грунтово-болотных вод более показательной характеристикой увлажнения является осенний сток рек [Бураков, Литвинова, 2010]. Еще одним значимым показателем является количество осадков на спаде половодья [Галахов, 2009].

В качестве объектов исследования выбраны низкогорный бассейн р. Майма и равнинный бассейн р. Касмала, которые относительно хорошо обеспечены метеорологической и гидрологической информацией. Кроме этого, выбор модельных территорий определяется их репрезентативностью для соответствующих областей бассейна Оби. В частности, р. Касмала, как и большинство рек Приобского плато, наследует ложбину древнего стока. В связи с этим в пределах бассейна представлены все основные элементы ландшафтной структуры данной территории. Река Майма целиком расположена в пределах низкогорий Алтая, где, по мнению ряда исследователей, формируется значительная часть стока первой волны весеннего половодья на Оби.

Цель исследования – выявление основных особенностей формирования талого стока на реках Майма и Касмала, относящихся к бассейну р. Обь.

Задачи исследования:

1) охарактеризовать холодный период в каждом речном бассейне на основе метеоданных о температуре воздуха, количестве осадков и состоянии снежного покрова;

2) по ежедневным расходам воды для каждой из рек построить годовые гидрографы, выделить на них периоды половодья и рассчитать главные показатели (объем, слой и коэффициент стока);

3) качественно оценить влияние ведущих факторов на формирование талого стока в бассейнах при сопоставлении многолетней динамики показателей половодья и индивидуальных физико-географических характеристик.

Материалы и методика исследования

Исходные данные и территория исследования.

В исследовании для анализа холодного периода и расчета характеристик стока половодья по обоим речным бассейнам использованы месячные и ежедневные данные по метеостанциям и ежедневные данные по гидропостам за период с 1998 по 2017 г.

Бассейн р. Майма находится на территории Республики Алтай в низкогорной части Русского Алтая, располагаясь на северном окончании хребта Иолго. Майма является притоком второго порядка р. Обь и правобережным притоком первого порядка р. Катунь. Бассейн р. Касмала расположен на территории Алтай-

ского края в северо-восточной части Приобского плато. Река Касмала является притоком первого порядка р. Обь (табл. 1). В бассейне р. Майма метеостанция расположена в с. Кызыл-Озёк (наблюдения с 1940 г.), в бассейне р. Касмала – в с. Ребриха (с 1940 г.). Гидрологические посты находятся, соответственно, в с. Майма (с 1939 г.) и в с. Рогозиха (с 1940 г.).

Геологическое строение. Дочетвертичные породы в низкогорьях Северного Алтая собраны в складки разных дислокаций [Геологическое строение..., 2001], образуя «фундамент» для четвертичных отложений разного генезиса, завершающих разрез. Последние по генезису и времени образования разделяются на несколько фациальных групп, которые условно можно объединить в две: склоновая и русловая. Отложения первой группы выполняют склоны и водоразделы внутри бассейна, имеют пестрый состав пород, большую вариацию крупности и слабую сортировку. Их мощность колеблется от первых метров вверху склонов до 15–20 м – у подножий. Отложения второй группы слагают днища долин водотоков, имеют меньшую вариацию крупности и хорошую окатанность. Представлены валунными галечниками, гравийными песками, супесями, суглинками и глинами [Земцов и др., 1973]. На р. Майма аллювий имеет мощность до 15 м [Геологическое строение..., 2001].

Днище Касмалинской ложбины древнего стока, часть которой занимает долина р. Касмала, сложено аллювиальными отложениями касмалинской свиты (Q_{1-1k}sm), перекрытыми с поверхности эоловыми песками верхнеплейстоцен-голоценового возраста мощностью 8–10 м.

Таблица 1

Основные морфометрические и гидрологические характеристики водосборов р. Касмала и р. Майма (составлено по материалам [Золотов и др., 2012; Бирюков, 2013; Черных и др., 2014; Лубенец, Черных, 2015])

Table 1

Main morphometric and hydrological features of Kasmala and Maima catchments (compiled by materials [Zolotov et al., 2012; Biryukov, 2013; Chernykh et al., 2014; Lubenets, Chernykh, 2015])

Характеристика	Майма	Касмала
Площадь водосбора по замыкающему створу, км ²	780	1 650
Длина, км	51,1	63,3
Средняя ширина бассейна, км	15,3	26,0
Средняя высота бассейна*, м	670	233
Минимальная высота, м	260	167
Максимальная высота, м	1 460	290
Средний уклон, ‰	213	17
Преобладающие углы наклона, градусы / ‰	Покатые (4–10°) и пологие (10–20°) / 87 %	плоские (<1°) / 79 %
Озерность**, % от общей площади бассейна	0,01	0,72***
Залесенность, % от общей площади бассейна	67	25

Примечание: * Рассчитана как средневзвешенное. ** С учетом площади прудов.

*** Среднее значение за период наблюдений 1940–1962, 1962–1989, 1986–1998, 1998–1911 гг.

Note: * Calculated as weighted average. ** With due regard to the area of the ponds.

*** The average for observation periods of 1940–1962, 1962–1989, 1986–1998, 1998–1911.

Аллювий касмалинской свиты вложен в осадки краснодубровской, отложения которой имеют лессовидный облик и залегают в виде наложенных друг на друга пачек, разделенных слоями песков и иловатых суглинков [Малолетко, 1974]. Осадки краснодубровской свиты, перекрытые субаэральными отложениями голоцена, выполняют также склоны Касмалинской ложбины древнего стока, вершины и склоны прилегающих к ней увалов.

Рельеф. Территория бассейна р. Майма представляет собой денудационно-эрозионное низкоегорье, абсолютные отметки повышаются с севера на юг от 500–700 до 1 000 м [Барышников, 1992]. В пределах бассейна широко развиты различные генетические типы рельефа: структурный, денудационный и эрозионно-аккумулятивный. К первому типу относятся склоны речных долин и хребтов [Девяткин, 1965; Богачкин, 1981]. Второй тип является определяющим, занимая не менее 50 % площади бассейна. Он представлен склонами с высотным диапазоном от 400 до 1 400 м и крутизной от 5 до 30°, иногда больше. Третий тип характеризуют речные долины [Сязина, Кондалов, 1972].

Бассейн р. Касмала включает в себя четыре крупных элемента рельефа – макросклоны Кулундинско-Касмалинского и Касмалинского-Барнаульского увалов, днище ложбины древнего стока и вложенную в днище современную долину. Большая часть территории бассейна имеет углы наклона менее 1° [Бирюков, 2013]. Пологие склоны увалов достаточно густо расчленены современными эрозионными формами – долинами и балками [Путилин, 2002].

Климат. Значения основных климатических показателей и их внутригодовая динамика несколько различаются на территориях рассматриваемых речных бассейнов. Для бассейна Маймы величина проходящей солнечной радиации за год ниже по сравнению с бассейном Касмала, характерны меньшая продолжительность солнечного сияния по причинам закрытости горизонта (низкоегорье) и большего числа дней с облачностью [Энциклопедия..., 1995].

В регионе преобладающим направлением переноса воздушных масс является юго-западное, определяющее в основном циклональный тип погоды. В горных областях глубокая расчлененность и сильная изменчивость подстилающей поверхности создают некоторые различия в температурном режиме и распределению осадков по сравнению с равнинными территориями [Энциклопедия..., 1995].

Для региона в целом самым теплым месяцем в году является июль, самым холодным – январь. Среднемесячные температуры июля в низкоегорьях Алтая составляют 15–22 °С; в январе значения температур в этих областях колеблются в пределах от –14 до –19 °С. В равнинной части региона среднемесячные температуры июля составляют более 19 °С, увеличи-

ваясь с севера на юг. В январе их значения здесь изменяются от –17 до –20 °С [Ресурсы..., 1962].

За теплый период в регионе выпадает 70 % годового количества осадков, при этом максимальное – в июле, минимальное – в феврале и марте. На равнине в лесостепной зоне выпадает до 400 мм в год. В предгорьях Алтая и Салаира годовое количество осадков возрастает от 500–650 мм на западе до 800–850 мм – на востоке [Энциклопедия..., 1995].

Гидрологический режим. На Приобском плато за счет снегового питания формируется 60–80 % стока, дождевого – 5–15 %, грунтового – 15–25 % [Энциклопедия..., 1995]. Поэтому реки в соответствии с классификацией Львовича можно относить к категории с преимущественно снеговым питанием [Чеботарев, 1978]. В низкоегорных районах Северного Алтая доля дождевого питания рек значительно возрастает при небольшом увеличении доли грунтового, что позволяет относить их к категории смешанного питания.

Для водного режима рек низкоегорной зоны Северного Алтая характерно высокое, сильно расчлененное весеннее половодье и паводки в теплое время года. В летне-осеннюю межень характерно прохождение паводков с поднятием уровня воды на 1–3 м. Минимальные расходы наблюдаются в период зимней межени (февраль–март) [Энциклопедия..., 1995].

На реках равнинной части на половодье приходится 80–100 % годового стока, подъем уровней составляет 2–4 м. В остальную часть года наблюдается низкая водность. Средний модуль стока для предгорий и низкоегорий Алтая составляет 5–10 л/с×км², на большей части равнинной территории – 1–1,5 л/с×км² [Энциклопедия..., 1995].

Река Майма относится к категории рек со смешанным типом питания, так как доля ни одного из основных источников не превышает 50 %: грунтовое – 39, снеговое – 41, дождевое – 20. Норма годового стока в бассейне составляет 11,8 л/с×км², средний расход воды 9,2 м³/с, годовой слой стока 372 мм [Ресурсы..., 1969]. Норма годового стока в бассейне Касмала составляет 1,44 л/с км², средний расход воды 2,39 м³/с, годовой слой стока 45 мм [Ресурсы..., 1962].

Методика исследования. Под «холодным периодом» в данном исследовании понимается период, когда осадки выпадают на земную поверхность в твердой фазе и отсутствует поверхностный сток на водосборе. При использовании данных среднесуточной, максимальной, минимальной температуры, суточных сумм осадков, характеристик снежного покрова определены параметры холодного периода по каждой метеостанции: даты начала и окончания, длительность, сумма осадков. При определении дат начала и окончания периода использовали следующие характеристики:

1) устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 0 °С;

2) наличие атмосферных осадков, их состояние в зависимости от температуры воздуха (<http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных>; <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters>);

3) степень покрытия снежным покровом местности (значимая степень покрытия 4–5 баллов (<http://meteo.ru/data/165-snow-cover#описание-массива-данных>)). В общем случае началом холодного периода следует считать дату перехода среднесуточной температуры воздуха ниже 0 °С. Характеристикой, уточняющей дату начала, является наличие осадков в твердой фазе (что подтверждается степенью покрытия местности снежным покровом более 4 баллов). Окончанием холодного периода считаем дату перехода среднесуточной температуры воздуха выше 0 °С и степень покрытия менее 4 баллов.

С использованием данных по среднегодовым расходам воды вычислены модульные коэффициенты водности, на основе которых для каждой реки выделены характерные по стоку годы и построена разностная интегральная кривая за период 1998–2017 гг. На основе годовых гидрографов по каждому посту проведены анализ и расчет характеристик половодья: даты начала и окончания, продолжительность, максимальный расход с указанием даты его наступления, объем и слой талого стока. Выявлены характерные за период наблюдений годы со средним, наибольшим, наименьшим расходом и слоем стока весеннего половодья. На основе суммы осадков за зимний период и слоя талого стока рассчитаны коэффициенты стока, отражающие степень водоотдачи речных бассейнов.

При расчленении годового гидрографа объем грунтового стока выделяли методом «прямой срезки» при минимальном значении расхода в зимнюю межень [Попов Е.Г., 1968] за начало половодья принимали дату со значимым повышением расхода воды по сравнению с предшествующими сутками ($\delta Q > 15\%$ от значения расхода предшествующей даты). Окончанием половодья считали дату, с которой кривая спада становилась примерно параллельной оси абсцисс. Дождевые паводки, проходившие в период половодья и осложняющие кривую спада характерными пиками, идентифицировались с использованием ежедневных данных о количестве осадков, характерных температурах воздуха и состоянии снежного покрова. Участки кривой спада, соответствующие дождевым паводкам, линейно интерполировали («срезали»), приводя кривую к классическому виду. В итоге получали значение объема стока за выделенный период половодья без учета дождевых паводков.

Результаты

Водность рек Майма и Касмала за период исследования 1998–2017 гг. Анализ ряда данных наблюдений за стоком (на основе среднегодовых расходов) по-

казывает, что чередования максимальных и минимальных пиков до 2010 г. для рек происходят либо асинхронно, либо они сдвинуты по фазе (рис. 1). К концу исследуемого периода водность обеих рек увеличивается. Среднегодовые значения расходов воды за период 1998–2017 гг. на р. Майма колеблются в пределах 4,32–11,90 м³/с (среднее 8,41 м³/с), на р. Касмала – 0,43–3,04 м³/с (1,78 м³/с). Различная конфигурация интегральных кривых отражает различные условия формирования стока на исследуемых реках.

Характеристика холодного периода (1998–2017 гг.). В бассейне р. Майма этот период обычно начинается в первой-второй декадах ноября (65 % случаев за период), реже (25 %) – в третьей декаде октября. Продолжительность составляет 109–155 дней. Окончание приходится на вторую-третью декаду марта (80 % случаев), реже – на первую декаду марта (15 %) и апреля (5 %). Наименьшее значение суммы осадков за период наблюдений отмечено в 2012 г. (69 мм), наибольшее – в 2017 г. (223 мм); среднее – 142 мм.

Начало холодного периода в бассейне Касмалы в большинстве случаев (55 % за рассматриваемый период) приходится на первую декаду ноября, значительно реже – на третью декаду октября (25 %) и вторую декаду ноября (15 %), единожды на конец ноября (5 %). Продолжительность за весь период исследования на реке составляет 113–162 дня. Окончание наступает во второй (20 %) – третьей (60 %) декадах марта, реже в первой (10 %) – второй (10 %) декадах апреля. Наименьшее значение средней суммы осадков (46 мм) наблюдалась в 2012 г., наибольшее (167 мм) – в 2001 г.; среднее – 100 мм.

Среднегодовые и среднемноголетние характеристики половодья (1998–2017 гг.). Увеличение расходов воды на р. Майма начинается обычно в третьей декаде марта (60 % случаях за период наблюдений), реже – во второй декаде марта (25 %) и первой декаде апреля (15 %). Продолжительность половодья 39–65 дней (рис. 2). Окончание приходится на вторую-третью декаду мая, нередко сопровождается осадками, вызывающими пиковые повышения расходов воды. Максимальные значения расходов (20,60–110,00 м³/с) на р. Майма наблюдаются в среднем через 24 дня после начала половодья (минимально – через 7, максимально – через 45 дней). Максимальный расход – 110,00 м³/с, отмечен 15 апреля 2004 г.

На р. Касмала весеннее половодье проходит одной ярко выраженной волной, начало отмечается в третьей декаде марта (60 % за период наблюдений), реже – во второй декаде марта (15 %) и первой (15 %) – второй (10 %) декадах апреля. Окончание наблюдается обычно в первой декаде июня (60%), а также третьей декаде мая (35 %), и единожды во второй декаде июня (5 %).

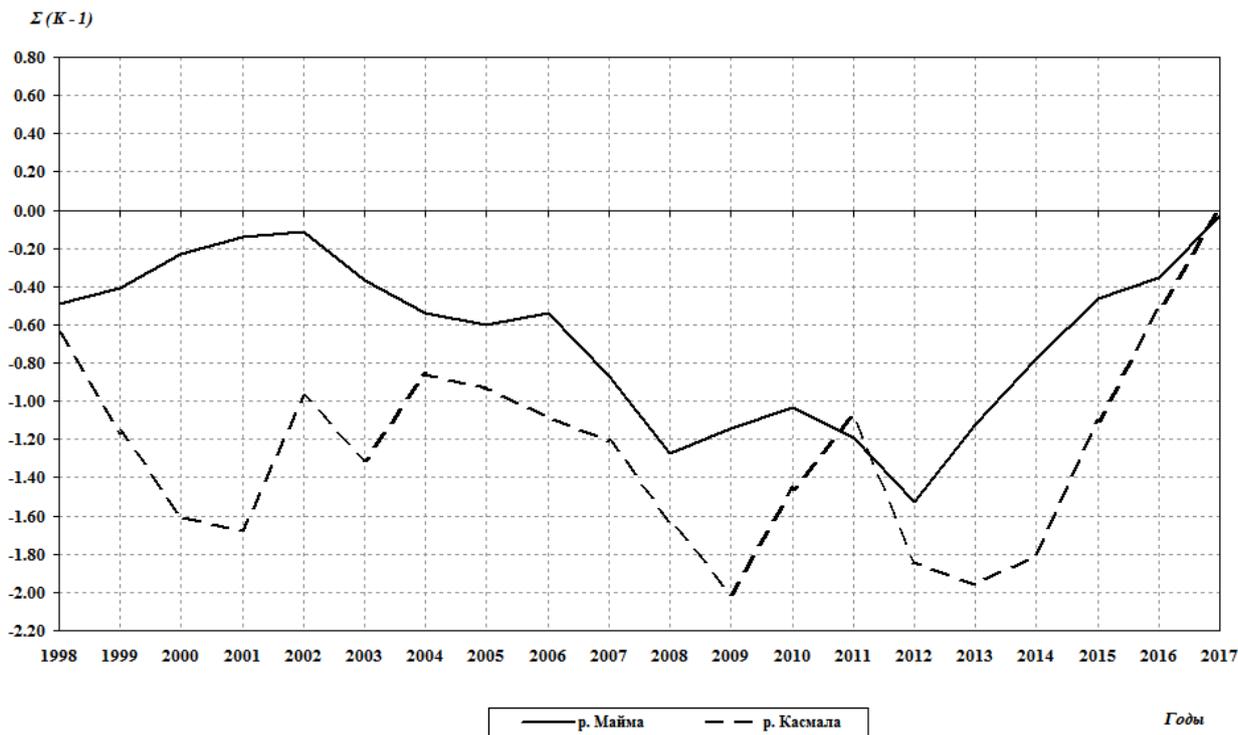


Рис. 1. Разностные интегральные кривые модульных коэффициентов среднегодового стока для рек Майма и Касмала (1998–2017 гг.)

Fig. 1. Difference integral curves of modulus coefficients of annual mean runoff for Maima and Kasmala Rivers (1998–2017)

Длительность составляет 48–81 день (рис. 3). В период половодья значительно реже, чем в бассейне р. Майма, отмечаются дождевые паводки. Максимальные расходы воды в половодье (3,52–150,00 м³/с), которые являются и максимальными за год, наблюдаются в большинстве случаев в начале – середине апреля, в среднем за период с 1998 по 2017 г. на 18-й день после начала (минимально – на 4-й день, максимально – на 34-й). Максимальный расход – 150,00 м³/с – отмечен 15 апреля 2015 г.

По основным показателям половодья рассматриваемые реки контрастны (табл. 2). В среднем объем стока половодья на р. Майма в 1,5, а средний расход в 3 раза больше, чем на р. Касмала. При этом пиковые максимальные расходы на Касмале имеют большие значения, что говорит о различиях условий снеготаяния в этих речных бассейнах.

Коэффициенты стока (1998–2017 гг.). Многолетние колебания стока рек тесно связаны с колебаниями количества атмосферных осадков [Снежно-водноледниковые ресурсы..., 1986], выпадающих на поверхность водосборов. Расчет коэффициентов стока за половодье позволяет определить соотношение суммы осадков за холодный период и талого стока в речном бассейне, а также выявить характер и тесноту их связи

(см. табл. 2). Согласно расчетам, средний за период коэффициент стока за половодье на р. Майма в 2,5 раза больше, чем на р. Касмала, также различна для рек и многолетняя динамика этого показателя (рис. 4, 5).

Обсуждение

Водосборные бассейны исследуемых рек значительно различаются между собой по целому ряду характеристик (см. табл. 1). Из значимых при формировании поверхностного стока нужно выделить площадь водосбора, среднюю высоту, средний уклон, залесенность. Кроме этого, для бассейна Маймы так же, как и для других горных бассейнов, значимым фактором является экспозиция склонов.

При площадях поверхностных водосборов, отличающихся в 2 раза, по водоносности реки Майма и Касмала вполне сопоставимы. По среднегодовому расходу воды обе реки в соответствии с классификацией Огиевского относятся к категории «очень малые» [Чеботарев, 1978]. В среднем водоносность Маймы несколько выше в связи с влиянием орочлиматического фактора (высоты и расчлененности местности) на выпадение атмосферных осадков в данной области.

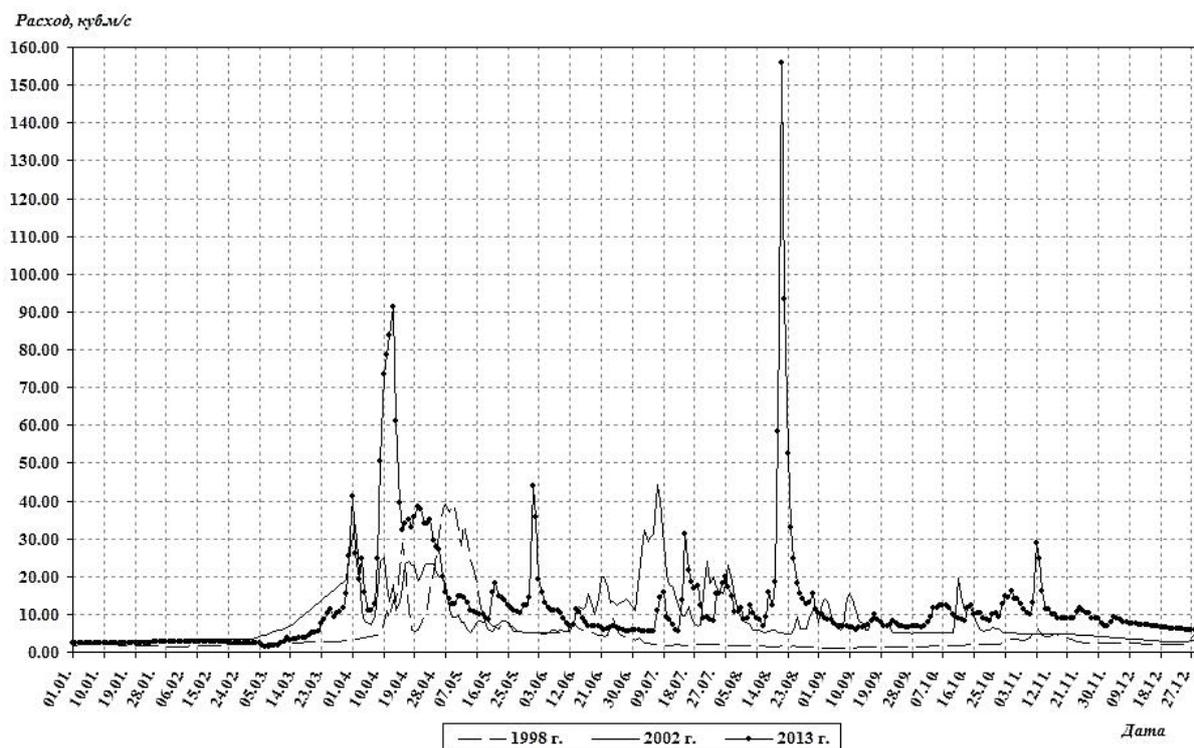


Рис. 2. Гидрографы р. Майма за характерные годы в период 1998–2017 гг.: 1998 – минимальный, 2002 – средний, 2013 – максимальный по водности

Fig. 2. Maima River hydrographs for characteristic years of 1998–2017: 1998 – minimum, 2002 – average, 2013 – maximum water content

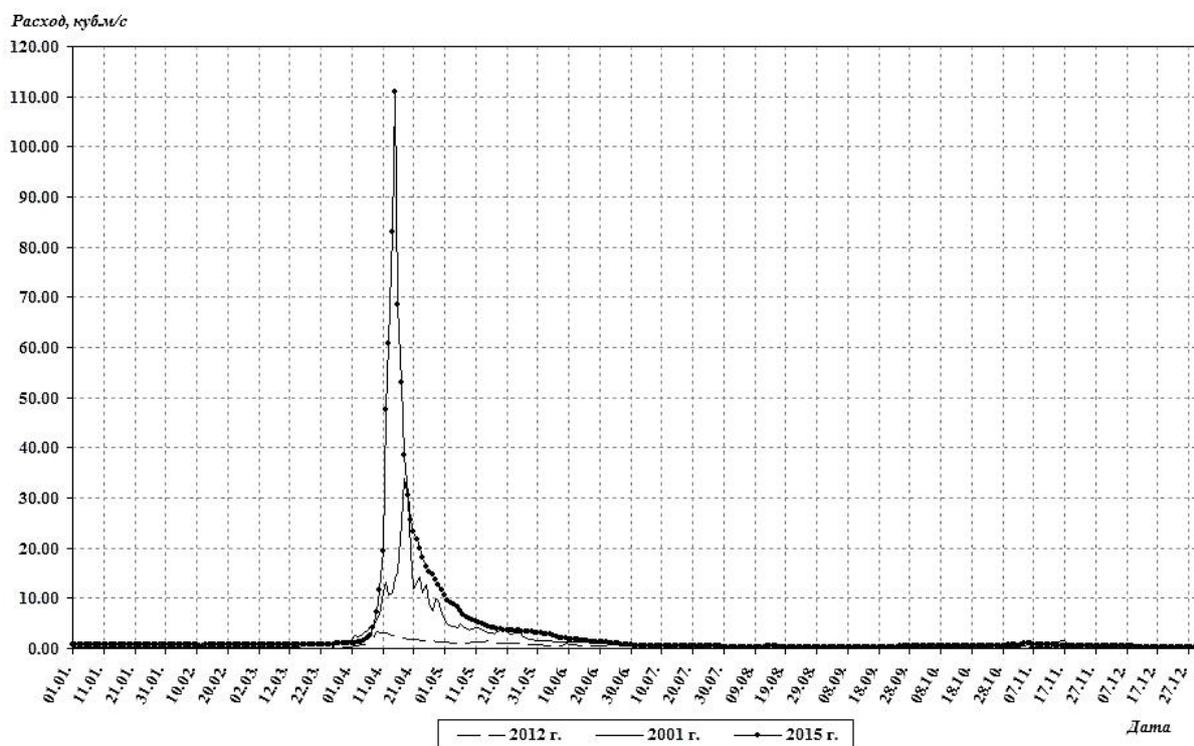


Рис. 3. Гидрографы р. Касмала за характерные годы в период 1998–2017 гг.: 2012 – минимальный, 2001 – средний, 2015 – максимальный по водности

Fig. 3. Kasmala River hydrographs for characteristic years of 1998–2017: 2012 – minimum, 2001 – average, 2015 – maximum water content

Таблица 2

Основные характерные гидрологические показатели половодья за период наблюдений на р. Майма (М) и р. Касмала (К) (1998–2017 гг.) (рассчитано на основе материалов [Ежегодные данные..., 1998–2017 гг.]

Table 2

Main specific hydrological flood indicators of rivers Maima (M) and Kasmala (K) for observation periods of 1998–2017, respectively (calculated due to [Annual data..., 1998–2017])

Значение показателя	Средний расход воды, м ³ /с		Объем, м ³		Слой стока, мм		Коэффициент стока	
	М	К	М	К	М	К	М	К
Среднее	19,39	6,82	62 176 260	40 178 603	80	24	0,57	0,24
Минимальное	9,85	1,22	26 497 152	5 128 528	34	3	0,32	0,06
Максимальное	27,34	14,73	111 313 435	78 466 752	143	48	0,73	0,71

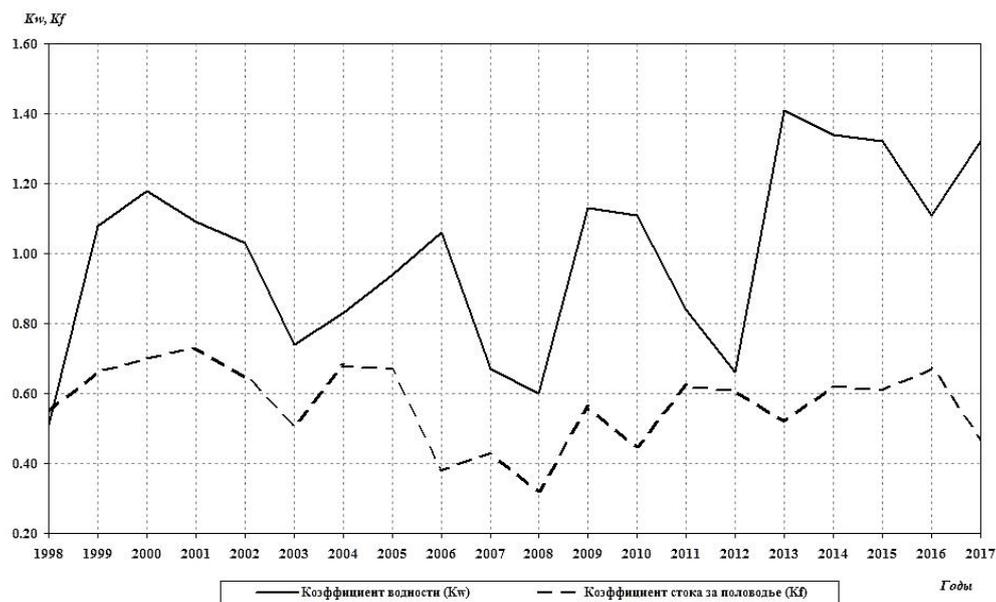


Рис. 4. Динамика модульного коэффициента водности и коэффициента стока для р. Майма за период 1998–2017 гг.

Fig. 4. Dynamics of modulus water content and runoff coefficients for Maima River (1998–2017)

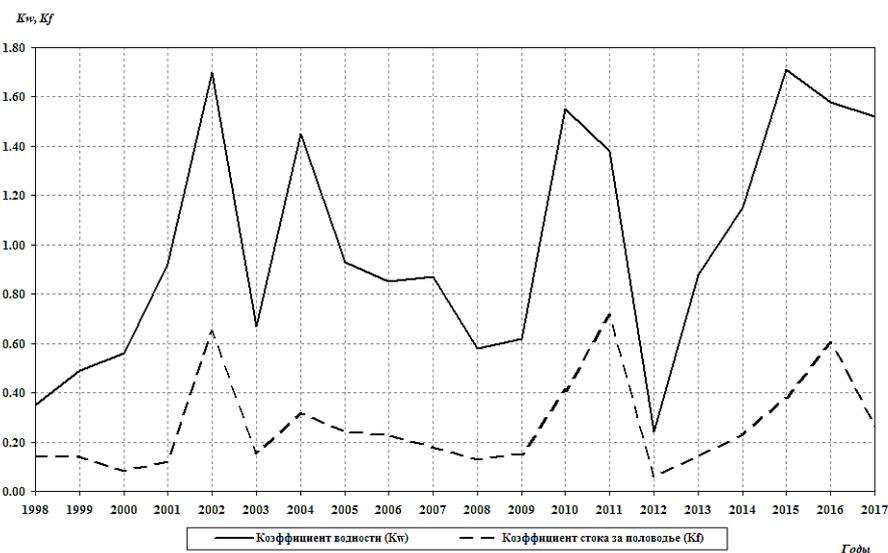


Рис. 5. Динамика модульного коэффициента водности и коэффициента стока для р. Касмала за период 1998–2017 г.

Fig. 5. Dynamics of modulus water content and runoff coefficients for Kasmala River (1998–2017)

Увлажнение бассейна Маймы в холодный период в 1,5 раза, а средний уклон поверхности водосбора – примерно в 12 раз – больше, по сравнению с Касмалой. Поэтому для первого бассейна время добегания воды в русловую сеть меньше. Однако залесенность водосбора Маймы (см. табл. 1) определяет более растянутое половодье. При анализе многолетней динамики водности, коэффициента стока за половодье (см. рис. 4, 5), суммы осадков за холодный период и слоя стока за половодье (рис. 6, 7) для рас-

сматриваемых бассейнов рек можно отметить взаимопротивоположные тенденции:

1) хорошо прослеживается качественная зависимость между коэффициентом водности года и коэффициентом стока за половодье для бассейна Касмалы и плохо – для бассейна Маймы;

2) хорошо прослеживается качественная зависимость слоя стока половодья от суммы зимних осадков для бассейна Маймы и плохо – для бассейна Касмалы.

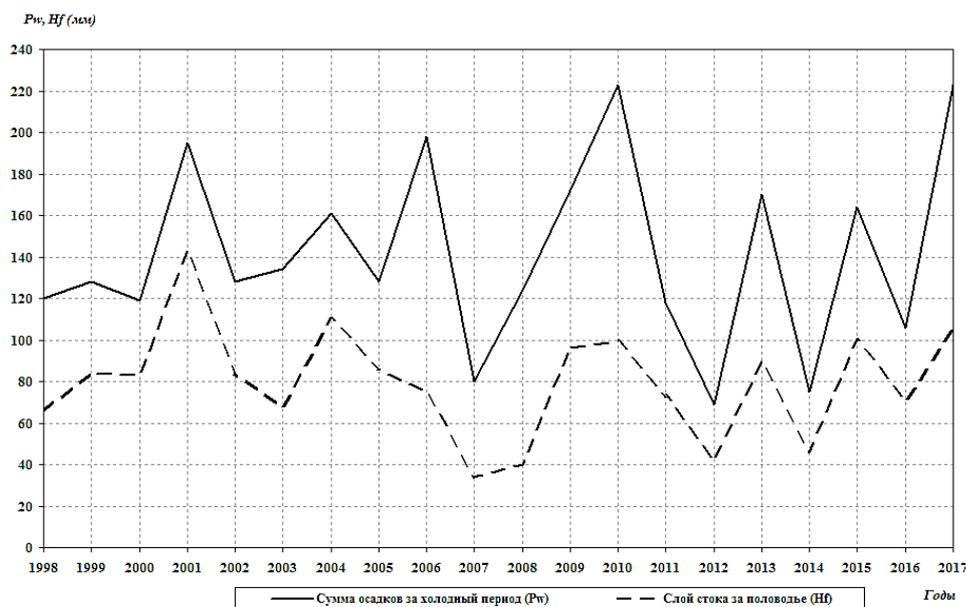


Рис. 6. Динамика суммы осадков за холодный период по метеостанции Кызыл-Озёк и слоя стока за половодье для р. Майма в период 1998–2017 гг.

Fig. 6. Dynamics of total precipitation for the cold period at Kyzyl-Ozek w. s. and runoff depth during flooding for Maima River (1998–2017)

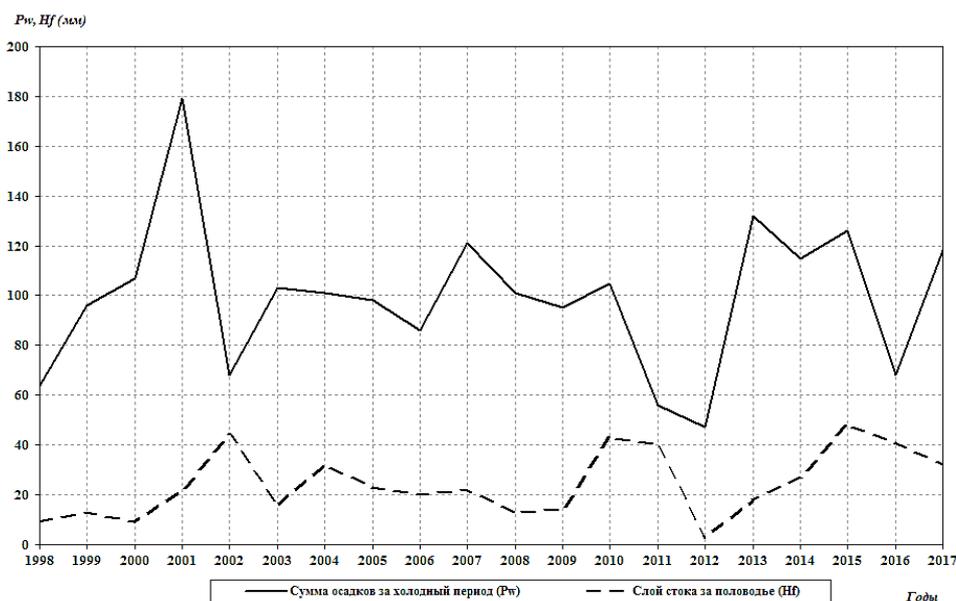


Рис. 7. Динамика суммы осадков за холодный период по метеостанции Ребриха и слоя стока за половодье для р. Касмала в период 1998–2017 гг.

Fig. 7. Dynamics of total precipitation for the cold period at Rebrikha w. s. and runoff depth during flooding for Kasmala River (1998–2017)

Первая тенденция подтверждает тот факт, что Касмала, в отличие от Маймы, относится к рекам с преимущественно снеговым питанием, для которых величина талого стока определяет водность года. На р. Майма при смешанном питании со значительным вкладом дождевого водность года в меньшей степени зависит от величины стока за половодье. Вторая тенденция косвенно может говорить о различном влиянии геолого-геоморфологического фактора на величину поверхностного талого стока в бассейнах при специфических условиях снеготаяния. На р. Майма при больших уклонах поверхности и меньшей мощности покровных четвертичных отложений водоотдача происходит быстрее, и величина талого стока пропорциональна количеству осадков за холодный период.

Различие средних коэффициентов стока за половодье более чем в 2 раза прямо отражает разнородность бассейнов по площади, увлажнению за холодный период и влиянию геолого-геоморфологического фактора на сток. Изменчивость коэффициента за исследуемый период на р. Майма очень небольшая, тогда как на Касмале случаются значительные его повышения в отдельные годы. Последнее можно связать со специфическими условиями формирования половодья, когда интенсивное снеготаяние в бассейне происходит при мерзлых почвогрунтах.

Время формирования максимальных расходов половодья в среднем меньше на р. Касмала. Отмеченные выше различия в приходе суммарной солнечной радиации на поверхность водосбора, коэффициентах залесенности и суточном температурном режиме весной определяют различие во времени начала снеготаяния и наступления максимальных расходов воды на рассматриваемых реках.

В бассейне р. Майма в связи с влиянием экспозиционного фактора и углов наклона световые (юго-западные, южные юго-восточные) склоны освобождаются от снега еще до начала интенсивного снеготаяния. Но это не дает значимого стока и не определяет начала половодья. Более высокие значения прихода суммарной солнечной радиации и меньшая залесенность в бассейне Касмалы при интенсивном снеготаянии определяют не только раннее увеличе-

ние расходов воды в реке, но иногда и большие их значения за половодье по сравнению с Маймой.

Заключение

Репрезентативные для бассейна Верхней Оби малые реки Майма и Касмала, водосборы которых различаются по комплексу физико-географических условий, характеризуются рядом особенностей формирования стока в весеннее половодье за период 1998–2017 гг.

1. Равнинная р. Касмала при больших длине и площади бассейна характеризуется меньшим объемом и слоем стока в период более растянутого по времени половодья, по сравнению с низкогорной р. Майма. Такая ситуация объясняется повышенными значениями годовой и зимней увлажненности низкогорий Алтая, по сравнению с южной частью Западно-Сибирской равнины, а также уклонами в горах.

2. Максимальные расходы с момента начала половодья на р. Касмала формируются, как правило, раньше, чем на р. Майма, что объясняется, в первую очередь, высокой распаханностью первой.

3. Для бассейна р. Касмала выявлена лучшая, чем для бассейна р. Майма, качественная зависимость между годовым коэффициентом водности и коэффициентом стока половодья. Данная закономерность служит подтверждением того факта, что Касмала, в отличие от Маймы, относится к рекам с преимущественно снеговым питанием, а водность года на Майме в меньшей степени зависит от величины стока за половодье. Однако на р. Майма прослеживается лучшая качественная зависимость между величиной осадков за холодный период и величиной слоя стока половодья. Это, в свою очередь, как и ряд других отмеченных особенностей, связано с разницей в условиях снеготаяния, вследствие чего водоотдача с бассейна р. Майма происходит быстрее.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН № 1021032422891-7 при частичной поддержке РФФИ (проект № 18-45-220001 p_a).

Литература

- Аванесян Р.А.** Пространственно-временная изменчивость стока горных рек в условиях трансформации природной среды (на примере Республики Алтай) : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Барнаул, 2013. 26 с.
- Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д.** Курс гидрологических прогнозов. М. : Гидрометеорологическое изд-во, 1974. 422 с.
- Барышников Г.Я.** Развитие рельефа переходных зон горных стран в кайнозойе (на примере Горного Алтая). Томск : Изд-во Том. гос. ун-та, 1992. 182 с.
- Бирюков Р.Ю.** Интеграция разнородной пространственно-распределенной информации средствами ГИС при создании основы для ландшафтно-гидрологических карт // Мир науки, культуры, образования. 2013. № 2 (39). С. 307–314.
- Богачкин Б.М.** История тектонического развития Горного Алтая в кайнозойе. М. : Наука, 1981. 132 с.
- Бураков Д.А., Литвинова О.С.** Водно-балансовые зависимости для прогноза стока талых вод на юге Западно-Сибирской равнины // География и природные ресурсы. 2010. № 3. С. 111–120.

Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л. : Гидрометеорологическое издательство, 1962. 542 с.

Галахов В.П. Оценка объема стока периода половодья в бассейне Томи по ежегодным снегозапасам // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 17. С. 292–295.

Галахов В.П. 2015. Условия формирования половодья малой горной реки (по исследованиям в бассейне реки Майма) // Известия АО РГО. 2015. № 3 (38). С. 35–40.

Геологическое строение и полезные ископаемые междуречья Ануй – Катунь в северной части Горного Алтая. Отчёт Катунской съёмочной партии по составлению и подготовке к изданию Государственной геологической карты масштаба 1 : 200000 листов М–45–I, М–45–II за 1994–2001 гг. / сост. В.А. Кривчиков, П.Ф. Селин, Г.Г. Русанов. Малоенсейское (Фонды геол. информации. Гос. рег. № 13-96-10/1 Росгеолфонда). 2001.

Десяткин Е.В. Кайнозойские отложения и неотектоника Юго-Восточного Алтая // Труды геологического института АН СССР. М. : Наука, 1965. Т. 126. 244 с.

Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. 1: Реки и каналы. Т. 1: Российская Федерация. Вып. 10: Бассейны Оби (от верховьев до с. Александровского), Оми, Тары (в пределах Новосибирской обл.) за 1998–2017 гг. Новосибирск, 1998–2016.

Земцов Ю.Н., Ребезов В.П., Ребезова А.Д. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна среднего течения р. Иши в Горном Алтае. Отчет Карагайской геолого-съёмочной партии за 1969–1973 гг. Бийск, 1973. 153 с.

Золотов Д.В., Лубенец Л.Ф., Черных Д.В. Ландшафтные факторы формирования стока в бассейне реки Майма (Северный и Северо-Восточный Алтай) // Мир науки, культуры и образования. 2012. № 2 (33). С. 360–369.

Комлев А.М., Титова Ю.В. Формирование стока в бассейне Катунь (Горный Алтай). Новосибирск : Наука, 1966. 147 с.

Лубенец Л.Ф., Черных Д.В. Роль Антропогенных модификаций в ландшафтно-гидрологической организации бассейна р. Майма // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 11. Естественные науки. 2015. № 1 (11). С. 61–67.

Малолетко А.М. К вопросу о возрасте касмалинской свиты Степного Приобья. Вопросы географии Сибири. Томск : Том. гос. ун-т, 1974. С. 72–78.

Паромов В.В. Ресурсы речного стока бассейна Верхней Оби (современная оценка и тенденции изменения). Томск : Том. гос. ун-т, 2002. 113 с.

Попов Е.Г. Основы гидрологических прогнозов. Л. : Гидрометеорологическое изд-во, 1968. 294 с.

Попов О.В. Подземное питание рек. Л. : Гидрометеорологическое изд-во, 1968. 292 с.

Путилин А.Ф. Эрозия почв в лесостепи Западной Сибири. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2002. 184 с.

Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Вып. 6: Равнинные районы Алтайского края и южная часть Новосибирской области. Л. : Гидрометеорологическое изд-во, 1962. 977 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 15: Алтай и Западная Сибирь. Вып. 1: Горный Алтай и Верхний Иртыш. Л. : Гидрометеорологическое изд-во, 1969. 216 с.

Снежно-водно-ледниковые ресурсы бассейна Верхней Оби и прогнозы стока весеннего половодья. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1986. 254 с.

Сязина А.Г., Кандалов А.Ф. Поиски и оценка проявлений золота на участках Синюхинского рудного поля и прилегающих к нему районов. Отчёт Ушпинской партии за 1969–1972 гг. Бийск, 1972. Ч. 1. 145 с.

Фашевский Б.В. Средний годовой сток рек Верхней Оби. Гляциология Алтая. Томск, 1967. Вып. V. С. 254–262.

Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. Л. : Гидрометеорологическое издательство, 1978. 307 с.

Черных Д.В., Бирюков Р.Ю., Золотов Д.В., Вагнер А.А. Антропогенные модификации и трансформации ландшафтов в бассейне р. Касмала: классификация и динамика на основе данных дистанционного зондирования // Вестник алтайской науки. 2014. № 1. С. 233–240.

Энциклопедия Алтайского края : в 2 т. Барнаул : Алт. кн. изд-во, 1995. Т. 1. 368 с.

Авторы:

Лубенец Лилия Федоровна, научный сотрудник, кандидат географических, лаборатория ландшафтно-водноэкологических исследований и природопользования, Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия.

E-mail: lilia_lubenets@mail.ru

Черных Дмитрий Владимирович, главный научный сотрудник, лаборатория ландшафтно-водноэкологических исследований и природопользования, Институт водных и экологических проблем СО РАН; профессор, биологический факультет, кафедра экологии, биохимии и биотехнологии, Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия.

E-mail: chernykh@mail.ru

Коломейцев Андрей Алексеевич, ведущий инженер, лаборатория гидрологии и геоинформатики, Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия.

E-mail: kolomeyev@iwerp.ru

Geosphere Research, 2021, 4, 110–121. DOI: 10.17223/25421379/21/10

L.F. Lubenets¹, D.V. Chernykh^{1,2}, A.A. Kolomeyev¹

¹*Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia*

²*Altai State University, Barnaul, Russia*

COMPARATIVE ANALYSIS OF CONDITIONS FOR SNOWMELT RUNOFF FORMATION IN REPRESENTATIVE LOWLAND (KASMALA) AND LOW-MOUNTAIN (MAIMA) RIVER BASINS OF THE UPPER OB

The paper deals with main factors of flood-induced runoff formation in two river basins-indicators of the Upper Ob basin, i.e. the low-mountain (Maima) and the lowland (Kasmala) ones. The basins are characterized by similar zonal conditions of heat supply being

at the same time different in geological-geomorphological structure and evolution of landscapes that brings to differences in parameters of the cold period and main characteristics of flood. The results of the analysis of characteristics for the cold and flooding periods as well as calculations of principal indicators of floods for a long-term period are given. The average annual discharge (1998–2017) for the Maima ranges from 4.32–11.90 m³/s (average 8.41 m³/s), while for the Kasmala (1998–2017) – 0.43–3.04 m³/s (1.78 m³/s). The duration of the cold period at rivers Maima and Kasmala is 109–155 and 113–162 days, respectively. The study rivers are contrasting by major indicators of high water. Generally, the volume of snowmelt runoff on the Maima is 1.5 and the average discharge is three times greater than on the Kasmala. However, maximum discharges are higher at the Kasmala river that indicates the difference in snowmelt conditions in these river basins. Flood on the Maima usually begins in the third decade of March (in 60 % of cases during the observation period), less often – in the second decade of March (25 %) and the first decade of April (15 %), whereas on the Kasmala – in the third decade of March (60 %), less often – in the second decade of March (15 %) and in the first (15 %) – the second (10 %) decades of April. Maximum discharges (20.60–110.00 m³/s) on the Maima river usually occur on day 24 and on the Kasmala (3.50–150.00 m³/s) – on day 18, after the flood onset. For these basins, the difference in dependences of snowmelt runoff volume on physical and geographical features are established. In contrast to the low-mountain river Maima, the lowland Kasmala river with its larger length and catchment area is distinguished by a smaller volume and runoff depth during a high water period. This is due to higher annual and winter moisture content of low mountains and larger stream gradients responsible for a shorter water lag time. Along with the specific geological structure, larger gradients provide greater runoff from the Maima basin and shorter flood duration as compared to the Kasmala one. The study rivers show mutually contradictory trends characterizing the relationship between the runoff coefficient during high water and the annual water content coefficient, and the relationship between the total precipitation for the cold period and the runoff depth during high water. The annual water content of the Kasmala with a predominantly snow-alimentation type is more dependent on floodwater than that of the Maima River with its mixed type of alimentation. For the latter, runoff volume changes in proportion to total precipitation during the cold period that is due to larger gradients of the catchment area and less Quaternary deposits cover as compared to the Kasmala River. With a flood period onset, maximum discharges from the Kasmala River are formed earlier than on the Maima. This is explained by a considerable arrival of total solar radiation to the underlying surface, less forest cover and frozen soils in the Kasmala basin.

Key words: meltwater runoff, river basin, basin-indicator, modular ratio of water content, flood, flood hydrograph, runoff volume, runoff depth, runoff coefficient

References

- Avanesyan R.A. *Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' stoka gornyh rek v usloviyah transformacii prirodnoj sredy (na primere Respubliki Altaj)*. [Spatial-temporal variability of mountain river runoff under natural environment transformation (by the example of the Republic of Altai)] // Abstract of a thesis (Ph.D. in Geography (25.00.36.). Barnaul, 2013. 26 p. In Russian
- Apollov B.A., Kalinin G.P., Komarov V.D. *Kurs gidrologicheskikh prognozov*. [A course of hydrological forecasts]. Hydrometeorological publishing house. Moscow. 1974. 422 p. In Russian
- Baryshnikov G.Ya. *Razvitie rel'efa perekhodnykh zon gornyh stran v kajnozoe (na primere Gornogo Altaya)* [Relief development in transition zones of mountain countries in the Cenozoic (by the example of the Altai Mountains)]. Tomsk: Publishing house of Tomsk State University, 1992. 182 p. In Russian
- Biryukov R.Yu. *Integraciya raznorodnoj prostranstvenno-raspredelennoj informacii sredstvami GIS pri sozdanii osnovy dlya landshaftno-gidrologicheskikh kart* [Integration of heterogeneous spatially distributed information with GIS tools for creating landscape and hydrological map basis] // World of science, culture, and education. 2013. No 2(39). pp. 307–314. In Russian
- Bogachkin B.M. *Istoriya tektonicheskogo razvitiya Gornogo Altaya v kajnozoe* [Tectonic development of the Altai Mountains in the Cenozoic]. Moscow: Nauka, 1981. 132 p. In Russian
- Burakov D.A., Litvinova O.S. *Vodno-balansovye zavisimosti dlya prognoza stoka talyh vod na yuge Zapadno-Sibirskoj ravniny* [Water-balance dependencies for forecasting meltwater runoff in the south of the West Siberian plain] // Geography and natural resources. 2010. No 3. pp. 111–120. In Russian
- Voskresensky K.P. *Norma i izmenchivost' godovogo stoka rek Sovetskogo Soyuz* [Rate and variability of annual runoff in the USSR rivers]. Leningrad: Hydrometeorological publishing house, 1962. 542 p. In Russian
- Galakhov V.P. *Ocenka ob'ema stoka perioda polovod'ya v bassejne Tomi po ezhegodnym snegozapasam* [Annual snow reserves-based estimation of runoff volume in the Tom basin during the flood period] // Mining Information and Analytical Bulletin. 2009. 17. pp. 292–295. In Russian
- Galakhov V.P. *Usloviya formirovaniya polovod'ya maloj gornoj reki (po issledovaniyam v bassejne reki Majma)* [Conditions for flood formation on a small mountain river (according to studies in the Maima river basin)] // News of AB RGS. 2015. No 3(38). pp. 35–40 p. In Russian
- Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye mezhdu rech'ya Anui – Katun' v severnoj chasti Gornogo Altaya. Otchyot Katun'skoj s'yomochnoj partii po sostavlenu i podgotovke k izdaniyu Gosudarstvennoj geologicheskoy karty masshtaba 1:200000* [Geological structure and minerals of the Anui – Katun river in the north of the Altai Mountains. Report of the Katun survey party on preparation and publication of the state geological map of scale 1: 200,000 sheets of M-45-I, M-45-II for 1994–2001]. Compiled by Krivchikov V.A., Selin P.F., Rusanov G.G. Maloeniseyskoye. (Geol. information funds. State reg. № 13-96-10/1 of Rosgeolfond). 2001. In Russian
- Devyatkin E.V. *Kajnozoijskie otlozheniya i neotektonika YUgo-Vostochnogo Altaya* [The Cenozoic deposits and neotectonics of South-Eastern Altai] // Proceedings of the Geological Institute of the USSR Academy of Sciences 126. Moscow: Nauka, 1965. 244 p. In Russian
- Ezhegodnye dannye o rezhime i resursah poverhnostnykh vod sushy* [Annual data on regime and resources of inland surface waters] // Part 1. Rivers and canals. Vol. 1. Russian Federation. Issue 10. Basins of rivers Ob (from the upper reaches to Alexandrovskoye village), Om, and Tara (within the Novosibirsk region) for 1998–2017. Novosibirsk. In Russian
- Zemcov YU.N., Rebezov V.P., Rebezova, A.D. *Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye bassejna srednego techeniya r. Ishi v Gornom Altai* [Geological structure and minerals of the mid-stream Ishi river basin in the Altai Mountains] // Report of the Karagay geological survey party for 1969–1973. Biysk, 1973. 153 p. In Russian
- Zolotov D.V., Lubenets L.F., Chernykh D.V. *Landshaftnye faktory formirovaniya stoka v bassejne reki Majma (Severnyj i Severo-Vostochnyj Altaj)* [Landscape factors of runoff formation in the Maima river basin (North and North-East Altai)] // World of science, culture and education. 2012. 2(33). pp. 360–369. In Russian

- Komlev A.M., Titova Yu.V. *Formirovanie stoka v bassejne Katuni (Gornyj Altaj). Izdatel'stvo «Nauka» Sibirskoe otdelenie* [Runoff formation in the Katun basin (Mountainous Altai)] // Novosibirsk: "Nauka" publishing house, Siberian Branch. 1966. 147 p. In Russian
- Lubenets L.F., Chernykh D.V. *Rol' Antropogennykh modifikacij v landshaftno-gidrologicheskoj organizacii bassejna r. Majma* [The role of anthropogenic modifications in landscape and hydrological organization of Maima river basin] // Bulletin of Volgograd State University. Series 11. Natural Sciences. 2015. No 1(11). pp. 61–67. In Russian
- Maloletko A.M. *K voprosu o vozraste kasmalinskoj svity Stepnogo Priob'ya* [On the age of Kasmala suites of the Steppe Ob region] // Issues of Geography of Siberia. Tomsk: Tomsk State University, 1974. pp. 72–78. In Russian
- Paromov V.V. *Resursy rechnogo stoka bassejna Verhnej Obi (sovremennaya ocenka i tendencii izmeneniya)* [Resources of river runoff in the Upper Ob basin (current assessment and trends)]. Tomsk: Tomsk State University, 2002. 113 p. In Russian
- Popov E.G. *Osnovy gidrologicheskikh prognozov* [Fundamentals of hydrological forecasts. Leningrad: Hydrometeorological publishing house, 1968. 294 p. In Russian
- Popov O.V. *Podzemnoe pitanie rek. Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo* [Underground alimentation of rivers]. Leningrad: Hydrometeorological publishing house, 1968. 292 p. In Russian
- Putilin A.F. *Eroziya pochv v lesostepi Zapadnoj* [Sibiri Soil erosion in the forest-steppe of Western Siberia]. Novosibirsk: Publishing house of SB RAS, 2002. 184 p. In Russian
- Resursy poverhnostnykh vod rajonov osvoeniya celinnykh i zaleznykh zemel'* [Surface water resources in the areas of virgin and fallow lands development. Vol. 6. Flat areas of Altai Territory and the southern part of the Novosibirsk region] / Uryvaeva V.A. (ed.). Leningrad: Hydrometeorological publishing house, 1962. 977 p. In Russian
- Resursy poverhnostnykh vod SSSR: Gidrologicheskaya izuchennost'* [Surface water resources of the USSR: Hydrological study. V. 15. Altai and Western Siberia. Vol. 1. Mountain Altai and Upper Irtysh] / Zeeberg V.V. Leningrad: Hydrometeorological publishing house, 1969. 216 p. In Russian
- Snezhno-vodno-lednikovye resursy bassejna Verhnej Obi i prognozy stoka vesennego polovod'ya* [Snow-water-glacial resources of the Upper Ob basin and forecasts of spring flood runoff] Tomsk: Tomsk State University, 1986. 254 p. In Russian
- Syazina A.G., Kandalov A.F. *Poiski i ocenka proyavlenij zolota na uchastkah Sinyuhinskogo rudnogo polya i prilegayushchih k nemu rajonov* [Prospecting and evaluation of gold manifestations in the Sinyukhinsky ore field and adjacent areas. Report of the Ushpinsky party for 1969–1972 Part 1] Biysk. 1972. 145 p. In Russian
- Fashchevsky B.V. *Srednij godovoy stok rek Verhnej Obi* [Annual mean runoff of the Upper Ob Rivers. Glaciology of Altai]. Issue V. 1967. pp. 254–262. In Russian
- Chebotarev A.I. *Gidrologicheskij slovar'* [Hydrological dictionary]. Leningrad: Hydrometeorological publishing house. 1978. 307 p. In Russian
- Chernykh D.V., Biryukov R.Yu., Zolotov D.V., Wagner A.A. *Antropogennyye modifikacii i transformacii landshaftov v bassejne r. Kasmala: klassifikaciya i dinamika na osnove dannykh distancionnogo zondirovaniya* [Anthropogenic modifications and transformations of landscapes in the Kasmala river basin: classification and dynamics based on remote sensing data] // Bulletin of Altai Science 1. 2014. pp. 233–40. In Russian
- Enciklopediya Altajskogo kraja: v dvuh tomah* [Encyclopedia of Altai Krai: in two volumes]. Barnaul: Altai publishing house, 1995. V. 1. 368 p. In Russian

Author's:

Lubenets Lilia F., Cand. Sci. (Geography), Researcher, Laboratory of Landscape-Water-Ecological Research and Nature Management, Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, Barnaul, Russia.

E-mail: lilia_lubenets@mail.ru

Chernykh Dmitry V., Dr. Sci. (Geography), Chief Researcher, Laboratory of Landscape-Water-Ecological Research and Nature Management, Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, Barnaul, Russia; Professor, Faculty of Biology, Department of Ecology, Biochemistry and Biotechnology, Altai State University, Barnaul, Russia.

E-mail: chernykhd@mail.ru

Kolomeyev Andrey A., Lead Engineer, Laboratory of Hydrology and Geoinformatics, Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, Barnaul, Russia.

E-mail: kolomeycev@iwep.ru