

ГИДРОЛОГИЯ

УДК556.535:004.9(571)

DOI 10.17072/2079-7877-2018-3-46-55

АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ ОБЪЕМОВ СТОКА ПЕРИОДА ПОЛОВОДЬЯ И ВЕЛИЧИН СНЕГОЗАПАСОВ НА УЧАСТКАХ ВОДОСБОРА РЕКИ ЧАРЫШ (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)**Валерий Юрьевич Филимонов**

SCOPUS ID: 808994400, ORCID ID: 0000-0003-0229-7058, Researcher ID: F-9991-2018

e-mail: vyfilimonov@rambler.ru

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул***Никита Анатольевич Балдаков**

ORCID ID: 0000-0003-0347-3885, Researcher ID: P-1060-2018

e-mail: nikita-baldakov@yandex.ru

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул***Алексей Васильевич Кудишин**

SCOPUS ID: 56071527800

e-mail: kudishin@iwep.ru

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул***Ольга Вольфовна Ловцкая**

SCOPUS ID: 14119955500, ORCID ID: 0000-0002-3942-1350, Researcher ID: O-7402-2018

e-mail: lov_olga@inbox.ru

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

Проведено исследование корреляционных связей суммарного объема стока р. Чарыш за период снеготаяния и соответствующих снегозапасов по данным многолетних наблюдений. Установлено, что зависимость величины коэффициента корреляции от временного интервала интегрирования гидрографа характеризуется наличием двух пиков, первый из которых определяет окончание процесса снеготаяния на равнинной части водосбора, второй – на его горной части. Выяснено, что значение коэффициента корреляции зависит также от взаимного расположения гидропостов и метеостанций. Выбрана оптимальная пара гидропост – метеостанция с целью получения наиболее точного прогноза объема стока периода половодья.

Ключевые слова: снегозапасы, сток за период снеготаяния, корреляционные связи, р. Чарыш.

ON THE CORRELATION BETWEEN THE DIRECT RUNOFF VOLUME AND SNOW RESERVES IN THE CHARYSH RIVER CATCHMENT AREA (ALTAI KRAI)**Valery Yu. Filimonov**

SCOPUS ID: 808994400, ORCID ID: 0000-0003-0229-7058, Researcher ID: F-9991-2018

e-mail: vyfilimonov@rambler.ru

*Project Leader of Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, Barnaul***Nikita A. Baldakov**

ORCID ID: 0000-0003-0347-3885, Researcher ID: P-1060-2018

e-mail: nikita-baldakov@yandex.ru

*Postgraduate of Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, Barnaul***Alexey V. Kudishin**

SCOPUS ID: 56071527800

e-mail: kudishin@iwep.ru

*Senior Scientist of Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, Barnaul***Olga V. Lovtskaya**

SCOPUS ID: 14119955500, ORCID ID: 0000-0002-3942-1350, Researcher ID: O-7402-2018

e-mail: lov_olga@inbox.ru

Senior Scientist of Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, Barnaul

The paper provides the results of studying the correlation between the volume of meltwater flowing into the Charysh river in the period of snow melting and the snow reserves. The study is based on the data from long-term observations. It was found that the dependence of the correlation coefficient on the observation time interval is characterized by two peaks, the first of which is associated with the end of snow melting on the plain part of the catchment, and the second one – on its mountainous part. The correlation coefficient was also found to depend on the relative position of gauging and weather stations. To obtain the most accurate forecast, a series of recommendations on the selection of the optimal “gauging station – weather station” pair was developed.

Key words: snow reserves, snowmelt, correlation, Charysh river.

Введение

В лесной и лесостепной зонах Западной Сибири снеготаяния обуславливают формирование объема весеннего половодья, в котором около 70% составляют талые воды [4]. Объем талых вод является основным фактором водного питания и формирования гидрологического режима рассматриваемого района. Вместе с тем межгодовая изменчивость снеготаяния является одним из главных факторов вариаций талого стока. В связи с этим, изучение корреляций снеготаяния на водосборах и объема стока за период снеготаяния позволит получить полезную информацию в отношении оценки и прогнозирования величин указанных объемов. Вопросы, связанные с анализом корреляций интегрального стока и различных факторов водного питания, неоднократно рассматривались российскими и зарубежными исследователями [1, 3, 5–6, 9, 20, 21]. В работах [5, 6] рассчитываются коэффициенты корреляции суммы твердых и жидких осадков, формирующих половодье, и средних расходов реки (апрель–июль) либо за гидрологический год. В работе [1] рассматривается корреляционная связь между суммарным стоком за период весеннего половодья и снеготаянием. В работе [3] вычислялась корреляция сумм атмосферных осадков со средними и максимальными расходами воды весеннего половодья. В монографии [7] рассмотрены различные типы моделей формирования талого стока с учетом влияния снеготаяния.

Однако определение снеготаяния на больших площадях водосборов (10–100 тыс. км²) связано с техническими трудностями [11, 14], кроме того, не вполне понятно, каким образом следует сопоставлять распределенные по площади водосбора снеготаяния с объемом стока. В связи с этим возникает вопрос о возможности корреляции снеготаяния, определенных на локальных участках водосборов, с интегральным объемом стока от истока до точки (створа) наблюдения [5]. Для корректной оценки объемов, поступающих на данном участке за определенный период, необходимо проанализировать данные многолетних наблюдений как по расходам, так и по снеготаянию в непосредственной близости от гидропостов. При наличии нескольких метеостанций (ГМС) и гидропостов (г/п) целесообразно выбрать оптимальную пару гидропост – метеостанция, которая отличается максимально тесной корреляционной связью, с целью получения наиболее точного прогноза объема стока за период активного снеготаяния. Целью настоящей работы является изучение корреляций снеготаяния и объемов весеннего стока по данным ряда гидропостов и метеостанций, расположенных на р. Чарыш (Алтайский край).

Материалы и методы исследования

Река Чарыш берет начало в месте сочленения Коргогонского и Семинского хребтов на высоте 1800 м, впадает в р. Обь слева у с. Усть-Чарыш, на 3522 км от устья р. Обь. Протяженность реки составляет 547 км, площадь водосборного бассейна – 22000 км², среднегодовой многолетний расход воды – 192 м³/с. В верхнем течении р. Чарыш протекает по горной местности, в нижнем течении выходит на широкую равнину (рис. 1), общее падение реки 1657 м, средний уклон 3,0‰.

Верхняя часть водосбора (до 60% его площади) горная. С севера бассейн ограничен Башчелакским хребтом, с юга – Тигирецким и Коргогонским хребтами северного Алтая (1800–2300 м). В этой части берут начало наиболее крупные и многоводные левобережные притоки: реки Кумир, Коргон, Иня, Белая. Правые притоки менее многоводные. На последних 25 км река течет по пойме р. Оби. Питание смешанное с преобладанием снегового. Поверхностный сток в верховьях реки формируется за счет талых снеговых вод – 49%, дождевых – 30% и грунтовых – 21%. Половодье многопиковое, растянутое (с апреля по июль) за счёт таяния снега сначала на равнине, позднее в горах на разных высотах. Максимум половодья приходится на конец мая – начало июня. Уровень воды поднимается на 3–5 м, а при интенсивном снеготаянии – до 8 м, скорость течения увеличивается в 1,5–2 раза. [15, 16].

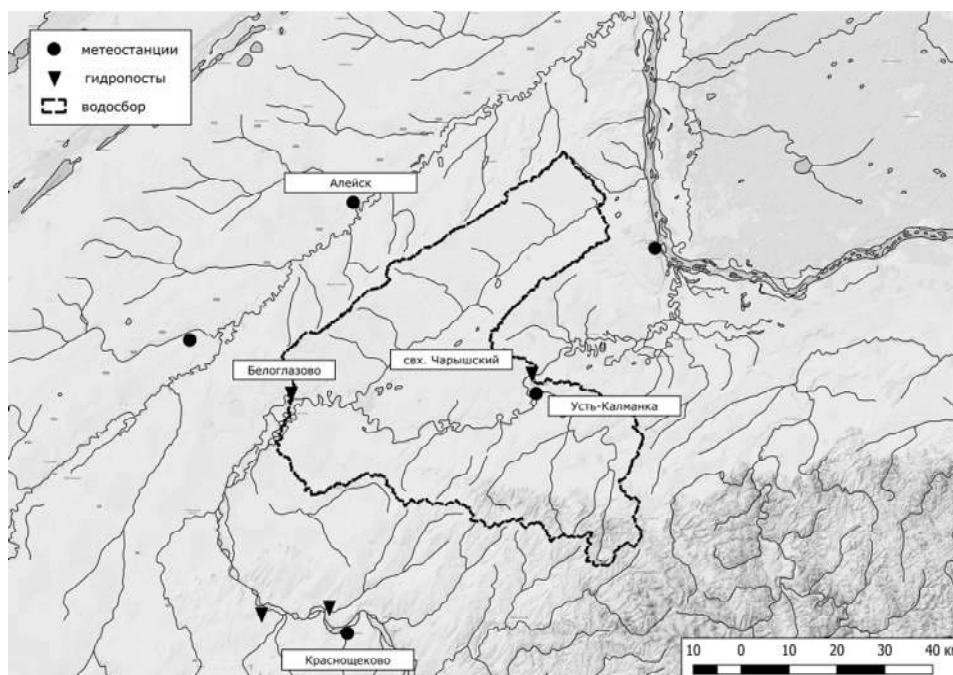


Рис. 1. Исследуемый участок водосбора р.Чарыш

В условиях недостатка гидрометеорологического обеспечения для прогноза объемов весеннего половодья и максимальных уровней используются регрессионные зависимости прогнозируемых характеристик с показателями снегонакопления [2].

Принятые в настоящее время в оперативной практике методы долгосрочного прогноза объема весеннего половодья на реках России основаны на использовании соотношений между величиной стока и набором показателей, отражающих состояние водосбора перед снеготаянием: запасами воды в снеге, глубиной промерзания почвы и показателями ее увлажненности [12, 18]. В качестве расчетных соотношений используются либо физико-статистические зависимости, основанные на уравнении водного баланса водосбора и учитывающие, в определенной мере, представления о формировании потерь талого стока, либо линейные уравнения множественной регрессии [7, 8].

А.А. Харшан [19] исследовал корреляцию стока половодья горных рек Алтая и Саян и показателей снегозапасов, вычисленных разными способами по данным об осадках. В работе [19] отмечается, что «точность связи между стоком за половодье и показателем снегозапасов зависит главным образом от доли талой составляющей стока за половодье, степени неравномерности залегания снежного покрова по территории бассейна, количества метеорологических станций и их расположения в бассейне. Первые два фактора, в отличие от последнего, зависящего от имеющейся метеорологической сети в конкретном бассейне, определяются физико-географическими особенностями данного района. Для того чтобы исключить влияние густоты метеорологической сети на точность вышеуказанных связей, целесообразно коррелировать величину стока за половодье с показателями снегозапасов, вычисленными по данным отдельных станций». Там же [19] указывается, что «при разработке методики прогноза стока половодья следует установить период прохождения половодья в отдельные годы. За начало половодья, как правило, принимается день заметного подъема уровней воды в реке, который в большинстве случаев хорошо выделяется на графике хода уровней. Весьма затруднительно определить момент окончания половодья». В [8] также отмечается, что «в связи со сложностью определения окончания половодья часто продолжительность половодья для всех лет принимается одинаковой. За начало половодья принимается первое число месяца, в котором чаще всего отмечаются подъемы уровней воды в реке, а за окончание – последнее число того месяца, в котором заканчивается таяние снега в бассейне. Так, для горных рек Сибири за время прохождения половодья принимался период с апреля по июнь».

Целью настоящего исследования являлось изучение корреляций между величиной снегозапасов и объемом стока на г/п с. Белоглазово и г/п свх. Чарышский, расстояние между которыми вдоль русла составляет около 90 км (рис. 1). Расстояние от г/п с.Белоглазово до истока – 366 км, до устья 181 км, от г/п свх. Чарышский, соответственно, 465 км и 82 км. Снегозапасы оценивались по данным маршрутных снегомерных съемок на м/с Усть-Калманка, Алейск, Краснощеково, приблизительно

равноудаленных от с. Белоглазово (Усть-Калманка – 51 км, Краснощеково – 53,7 км, Алейск – 46 км) как максимум за март произведения плотности снега и его глубины. Из множества измеренных и расчетных характеристик снежного покрова вычисленный показатель сильнее всего коррелирован с объемом стока. Использовались данные по расходам и величинам снегозапасов за период 1977–2001 гг. с 01.04 по 01.08 каждого года. Выбор периода обусловлен наличием данных маршрутной снегосъемки.

Анализ корреляционных связей

На первом этапе исследования проводился анализ данных: объем стока, объемные расходы – г/п Белоглазово, снегозапасы – м/с Усть-Калманка. На рис. 2 приведены характерный гидрограф и соответствующая кривая объемов за период наблюдения. Кривая объемов получена численным интегрированием гидрографа по времени $W = \int_0^T Q(t) dt$. В период снеготаяния среднесуточный

расход более чем в семь раз превосходит среднее многолетнее значение ($192 \text{ м}^3/\text{с}$). Соответствующий максимуму гидрографа объем стока, прошедший через створ г/п, составляет около $2,5 \text{ км}^3$. Полный объем стока составляет около $4,5 \text{ км}^3$.

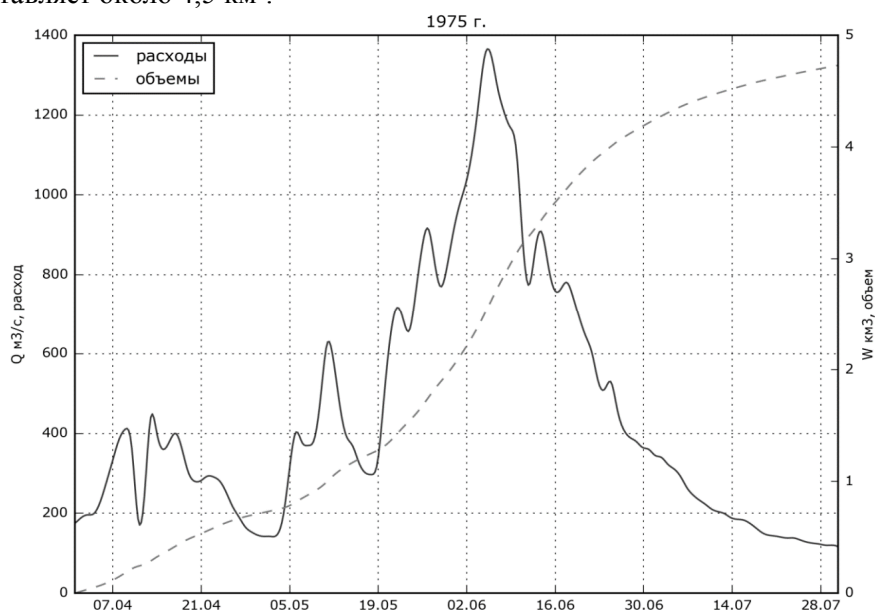


Рис.2. Характерный гидрограф и кривая объема стока по данным 1975 г для р. Чарыш за период наблюдения

Для изучения корреляционной связи между снегозапасами и объемом стока строились зависимости для разных интервалов интегрирования. На рис. 3 зависимости представлены для четырех верхних пределов интегрирования (при нижней границе 01.04 для каждого года). Как видно на графике, теснота корреляционной связи зависит от интервала интегрирования, при этом величина коэффициента корреляции меняется немонотонно. Максимальное значение коэффициента корреляции соответствует интервалу интегрирования $t=56$ сут. с момента начала процесса снеготаяния. Далее происходит его снижение вплоть до окончания сезонного периода наблюдения $t=121$ сут. Очевидно, максимально тесная корреляционная связь должна определять некоторый характерный период процесса снеготаяния.

Для коэффициентов корреляции, полученных по выборкам из распределения, отличного от нормального, закон распределения выборочных r , вообще говоря, неизвестен, и, следовательно, оценка эмпирического коэффициента корреляции затруднена [17]. При малых объемах выборок ($n < 50$) и особенно при больших r для оценки случайного рассеивания выборочных коэффициентов корреляции обычно используется преобразование Фишера, основанное на использовании специальной переменной z , функционально связанной с r выражением $z = \frac{0,5 \ln(1+r)}{1-r}$ со стандартным отклонением $\sigma_r \approx \frac{1}{\sqrt{n-3}}$. Проверка значимости коэффициента корреляции по z -критерию [10] показывает, что в диапазоне $T \in [48, 69]$ r значимо отличается от 0 при $P < 0,05$.

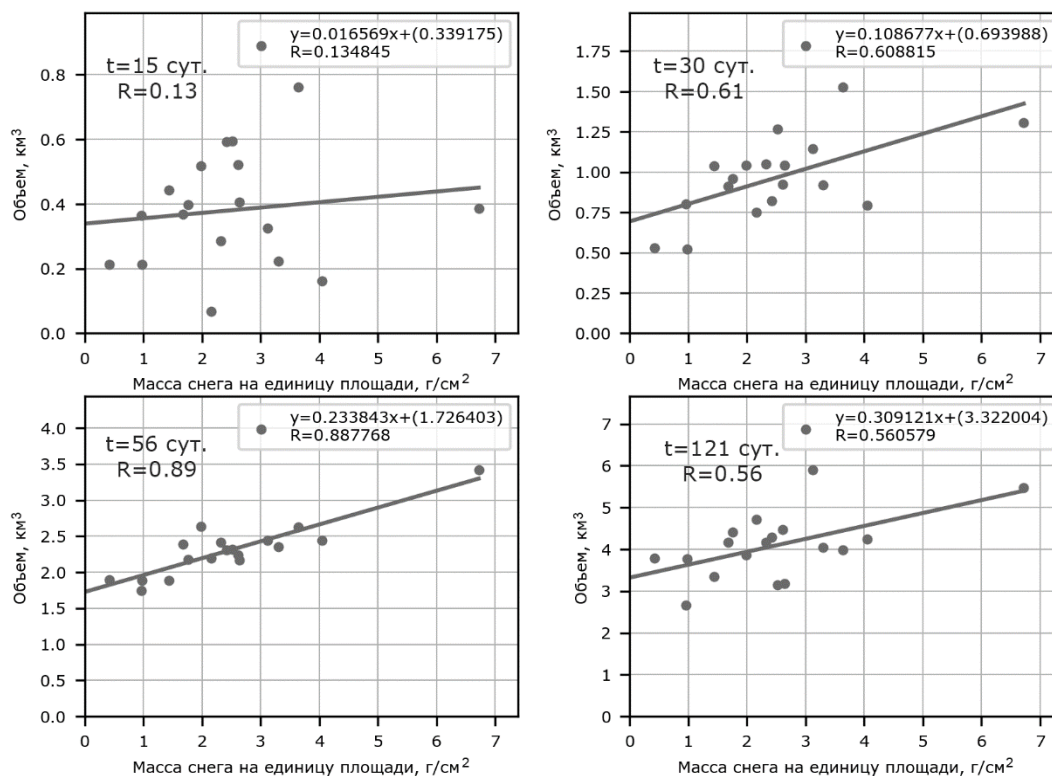


Рис. 3. Графики корреляционной связи между объемом стока, прошедшим через створ г/п с. Белоглазово за разные интервалы интегрирования (от 01.04), и снегозапасами по данным ГМС Усть-Калманка

Эволюция корреляционных связей

На рис. 4 показана зависимость коэффициента корреляции от периода интегрирования.

За период наблюдения до 30 суток от первого апреля наблюдается быстрый рост коэффициента корреляции, затем – его незначительное снижение. Далее коэффициент вновь возрастает, достигая максимального значения $R \approx 0,89$ для временного интервала $t=56$ сут. На графике имеются два отчетливо наблюдаемых максимума. Для объяснения полученной (двухпиковой) зависимости можно предположить, что первый пик коэффициента корреляции, соответствующий времени наблюдения $t=30$ сут., определяет окончание периода снеготаяния на равнинной части водосбора. Второй пик ($t=56$ сут.) определяет окончание периода снеготаяния в горной части.

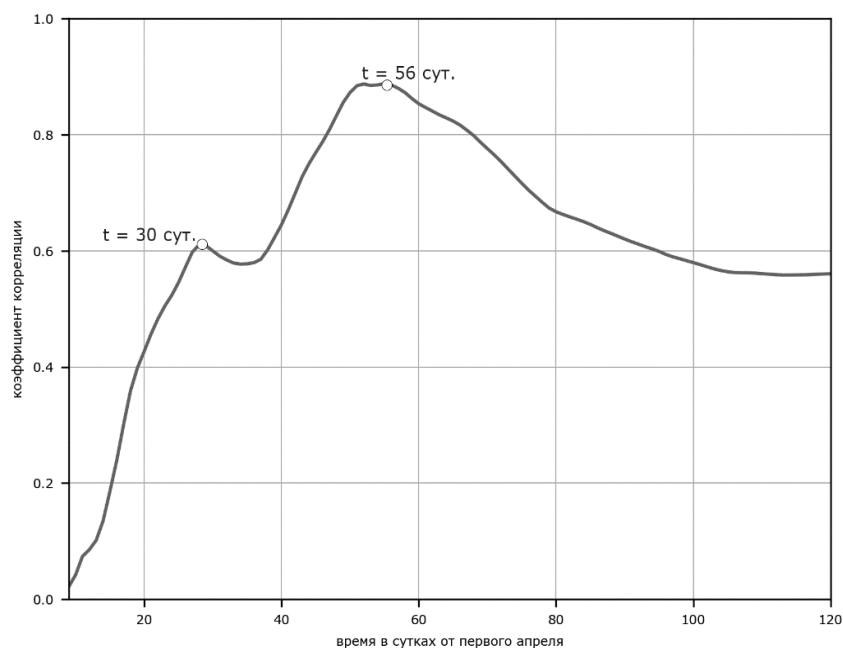


Рис. 4. Зависимость коэффициента корреляции от предела интегрирования (г/п с. Белоглазово – м/с Усть-Калманка)

Для изучения устойчивости обнаруженной зависимости из анализируемых рядов последовательно исключались годы с 2001 по 1987. Независимо от длины ряда первый пик приходится на 29–30-й день, второй пик – на 55–58-й день. Таким образом обнаруженную зависимость можно считать устойчивой.

Как следует из рис. 4, значение коэффициента корреляции, соответствующее первому пику ($R \approx 0,61$), меньше его значения для второго пика ($R \approx 0,89$). Это можно объяснить тем, что первый пик соответствует снеготаянию на большей территории водосбора (равнина и часть горных районов) и обусловлен большим количеством факторов влияния, чем второй. В случае второй волны половодья, обусловленной снеготаянием в горной части водосбора, объем талых вод определяется преимущественно снегозапасами в этой части и в меньшей степени зависит от вышеуказанных факторов влияния на равнине, поскольку снеготаяние на равнине практически завершилось

Для подтверждения высказанных предположений был проведен расчет эволюции корреляционных связей для трех метеостанций населенных пунктов: Алейск, Усть-Калманка, Краснощеково по данным г/п Белоглазово (рис.1). Соответствующие зависимости представлены на рис. 5, из которого следует, что полученные зависимости качественно соответствует кривой, представленной на рис.4. Для характерных точек значения коэффициентов корреляции близки, при этом моменты времени достижения максимумов отличаются незначительно.

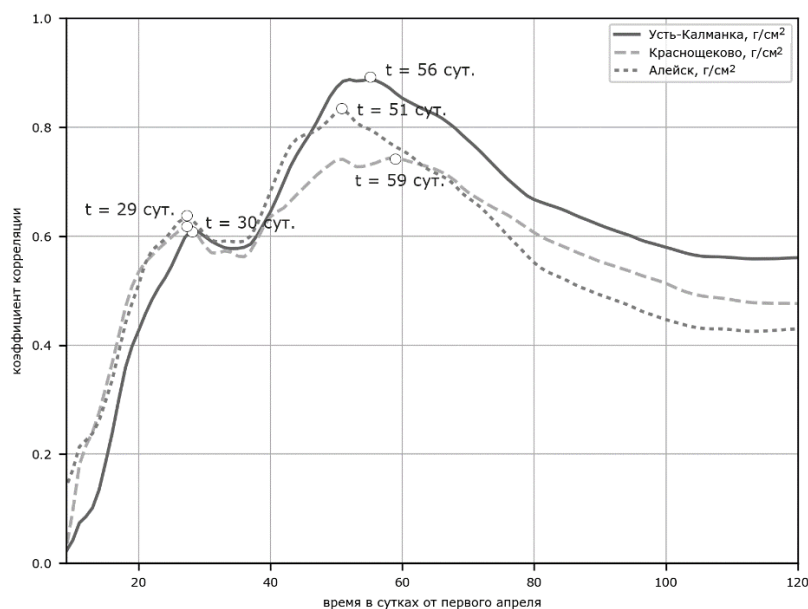


Рис. 5. Зависимости коэффициента корреляции от интервала интегрирования по данным трех метеостанций (г/п с. Белоглазово)

На рис. 6 представлены зависимости коэффициента корреляции от интервала интегрирования для г/п свх. Чарышский.

Из графика видно, что изменение гидропоста привело к некоторой трансформации корреляционных зависимостей. Можно констатировать, что значения коэффициента корреляции незначительно снизились для метеостанций с. Усть-Калманка и с. Краснощеково и существенно снизились для метеостанции г. Алейск.

Оптимальные сочетания гидропост – метеостанция слегка различаются для постов с. Белоглазово и свх. Чарышский. В случае г/п Белоглазово коэффициенты корреляции для первой волны половодья близки для всех трех рассмотренных метеостанций и составляют $R \approx 0,6$ при соответствующем времени снеготаяния 29–30 сут. Для второй волны половодья наибольшее значение коэффициента корреляции достигает сочетание г/п Белоглазово – м/с Усть-Калманка $R \approx 0,89$, соответствующее время снеготаяния: $t \approx 56$ сут.

В случае г/п свх. Чарышский м/с Алейск показывает худшие значения коэффициента корреляции. Для первой волны половодья м/с Усть-Калманка и Краснощеково дают близкие значения коэффициента корреляции $R \approx 0,6$ при соответствующем времени снеготаяния 29–31 сут. Однако при рассмотрении второй волны снеготаяния на горном участке наибольшее значение коэффициента корреляции соответствует $R \approx 0,85$ для сочетания: г/п свх. Чарышский – м/с Усть-Калманка. Поэтому для прогноза и первой, и второй волны также можно использовать это сочетание.

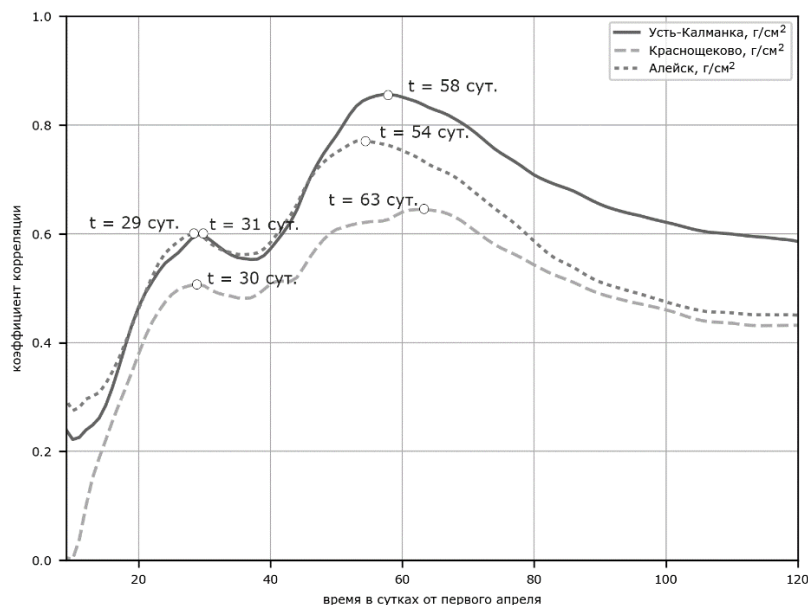


Рис. 6. Зависимости коэффициента корреляции от интервала интегрирования по данным трех метеостанций (г/п свх. Чарышский)

Выводы

Анализ корреляционных связей величин снегозапасов и соответствующих объемов стока в период снеготаяния на р. Чарыш (Алтайский край) позволил установить, что коэффициент корреляции зависит от интервала интегрирования гидрографа. Выяснено, что зависимость коэффициента корреляции от интервала интегрирования имеет два характерных пика, первый из которых (более ранний) соответствует окончанию процесса снеготаяния на равнинной части водосбора, второй определяет окончание процесса снеготаяния на горной части водосбора (в верховье бассейна). Учитывая эти два факта, при проведении аналогичных исследований предлагается при вычислении объема весеннего стока определять оптимальные пределы интегрирования, что, в общем случае, должно повысить точность построения корреляционных моделей.

Установлено, что коэффициент корреляции зависит от местоположения гидропоста по отношению к метеостанции и его удаленности от истока. Исходя из полученных результатов определены оптимальные сочетания гидропост – метеостанция для наиболее точного прогнозирования объема стока в период снеготаяния. Наилучшие результаты получены для м/с Усть-Калманка, расположенной приблизительно в центре масс бассейна.

Проведенное исследование позволяет не только прогнозировать объем стока, поступающий в русло за период активного снеготаяния, по известным величинам снегозапасов, но и оценивать точность разрабатываемых дифференциальных моделей формирования талого стока на частных водосборах.

Библиографический список

1. *Алюшинская Н.М.* Весенний сток рек бассейна Северной Двины и его прогнозы // Труды государственного гидрологического института. Л., 1962. Вып. 97. С. 3–137.
2. *Бураков Д.А., Гордеев И.Н., Космакова В.Ф.* Применение регрессионных зависимостей в долгосрочных прогнозах максимальных уровней воды на примере р. Енисей у г. Кызыла // Вопросы географии Сибири: сб. ст. Томск: Изд-во Том. гос. ун-та, 2009. Вып. 27. С. 5–6.
3. *Васильев Д.Ю., Гавра Н.К., Кочеткова Е.С., Ферантов Ю.И.* Корреляции сумм атмосферных осадков со средними и максимальными расходами воды весеннего половодья в бассейне р. Белая // Метеорология и гидрология. 2013 № 5. С. 79–90.
4. *Вершинина И.П., Игловская Н.В.* Оценка снегозапасов в горах юго-востока Западной Сибири // Вестник Томского гос. ун-та. 2010. №336. С. 184–186.
5. *Галахов В.П.* Оценка объема стока периода половодья в бассейне Томи по ежегодным снегозапасам // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. Т. 17. №12. С. 292–295.
6. *Галахов В.П., Попов Е.С., Дмитриев В.О.* Сравнительный анализ расчета максимальных снегозапасов в условиях низких гор (бассейн Чумыша) // Известия Алтайского государственного университета. 2003. №3. С. 79–84.

7. Гельфан А.Н. Динамико-стохастическое моделирование формирования талого стока. М.: Наука, 2007. 279 с.
8. Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. Прогнозы стока горных рек: текст лекций. Л.: Изд-во ЛПИ, 1987. 56 с.
9. Жук В.А., Скорняков В.А. Оценка синхронности многолетних колебаний годового стока на основе анализа корреляционной матрицы // Расчёты речного стока (методы пространственного обобщения). М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. С. 6–21.
10. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 598 с.
11. Игловская Н.В., Нарожный Ю.К. Определение снегозапасов Алтая с использованием спутниковой информации // Вестник Томского гос. ун-та. 2010. №334. С.160–165.
12. Кучмент Л.С. Речной сток. М.: Изд-во РАН, 2008. 394 с.
13. Кучмент Л.С., Гельфан А.Н., Демидов В.Н. Расчет вероятностных характеристик максимального стока по метеорологическим данным с использованием динамико-стохастических моделей формирования стока // Метеорология и гидрология. 2002. № 5. С. 83–94.
14. Ревякин В.С., Барахтин В.Н., Виноградов В.А. и др. Снежный покров Горного Алтая // Материалы гляциологических исследований. М., 1974. Вып. 23. С.160–168.
15. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Вып. VI. Равнинные районы Алтайского края и южная часть Новосибирской области / под общ. ред. В.А. Урываева. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 977 с.
16. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 462 с.
17. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометиздат, 1974. 424 с.
18. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып.1 Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 358с.
19. Харшан А.А. Долгосрочные прогнозы стока горных рек Сибири. Труды Гидрометеоцентра СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1970. Вып. 65. 211 с.
20. Gaál L., Szolgay J., Kohnová S., Hlavčová K., Parajka J., Viglione A., Merz R., Blöschl G. Dependence between flood peaks and volumes: a case study on climate and hydrological controls // Hydrological Sciences Journal. 2015. No.60(6). Pp. 968–974.
21. Tan A., Adam J.C., Lettenmaier D.P. Change in spring snowmelt timing in Eurasian Arctic rivers // Journal of Geographical Research. 2011. V.116. Pp. 1–12.

References

1. Alyushinskaya, N.M. (1962), “Spring flow of the rivers of the Northern Dvina basin and its forecasts”, in Makarevich T. N. and Norvatov A. M. (ed.), *Voprosy prognozov vodnogo rezhima rek* [Forecasting the water regime of rivers], *Trudy Gosudarstvennogo gidrologicheskogo instituta*, vol. 97, Gidrometeizdat, Leningrad, Russia, pp. 3–137.
2. Burakov, D.A., Gordeyev, I.N., Kosmakova, V.F. (2009), “Use of regression dependencies in long-term forecasts of maximum water levels, for example, Yenisey near Kyzyl”, in Narozhny Yu.K. (ed.), *Voprosy geografii Sibiri* [Questions of Siberia geography], vol. 27, Tomskiy gosudarstvennyy universitet, Tomsk, Russia, pp. 5-6.
3. Vasil’eva, D.Yu., Gavra, N.K., Kochetkova, E.S. and Ferapontov, Yu.I. (2013), “Correlation between the total precipitation and the mean and maximum runoff during the snowmelt flood in the Belaya river basin”, *Russian Meteorology and Hydrology*, vol. 38, no. 5, pp. 351–358.
4. Vershinina, I.P. and Iglovskaya, N.V. (2010), “Evaluation of snow reserves in the mountains of South-East of Western Siberia”, *Tomsk State University Bulletin*, no. 336, pp. 184-186.
5. Galakhov, V.P. (2009), “Estimation of runoff during floods in the Tom’ basin using the data on the annual snow reserves”, *Mountain Information-Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, vol. 17, no. 12, pp. 292-295.
6. Galakhov, V.P., Popov, Ye.S. and Dmitriyev, V.O. (2003), “Comparative analysis of the calculation of the maximum snow reserves in low mountains (the Chumysh basin)”, *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta*, no. 3, pp. 79-84.
7. Gelfan, A.N. (2007), *Dinamiko-stokhasticheskoye modelirovaniye formirovaniya talogo stoka* [Dynamic-stochastic modeling of snowmelt runoff formation], Nauka, Moscow, Russia.

8. Georgiyevsky, Yu.M. and Shanochkin, S.V. (1987), *Prognozy stoka gornyykh rek* [Flow forecasts of mountain rivers], LPI, Leningrad, Russia.
9. Zhuk, V.A. (1984), "Estimation of synchronism of long-term variation of an annual flow on the basis of the analysis of a correlation matrix", in Bykov V.D., Evstigneyev V.M and Zhuk V.A. (ed.), *Raschyety rechnogo stoka (metody prostranstvennogo obobshcheniya)* [River flow calculations (methods of spatial generalization)], MGU, Moscow, Russia, pp. 6–21.
10. Sachs, L. (1976), *Statisticheskoe ocenivanie* [Statistic estimation], Translated by Varygin V.N., in Adler Yu.P. and Gorsky V.G. (ed), *Statistika*, Moscow, Russia.
11. Iglovskaya, N.V. and Narozhny, Yu.K. (2010), "Evaluation of snow reserves in the Altai Mountains using satellite data", *Tomsk State University Bulletin*, no. 334, pp. 160-165.
12. Kuchment, L.S. (2008), *Rechnoi stok*, [River runoff], Publishing House of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.
13. Kuchment, L.S., Gelfan, A.N. and Demidov, V.N. (2002), "Calculation of statistical characteristics of flood peak discharges from meteorological data using dynamic-stochastic models", *Russian meteorology and hydrology*, no. 5, pp. 64-73.
14. Revyakin, V.S., Barahin, V.N., Vinogradov, V.A. and etc. (2010), "Snow cover of the Altai Mountains", *Materialy glyatsiologicheskikh issledovaniy*, vol. 23, pp. 160-168.
15. Uryvayev, V.A. (ed) (1962), *Resursy poverkhnostnykh vod raionov osvoeniya tselinnykh i zaleznykh zemel'. Vypusk VI. Ravninnye raiony Altayskogo kraya i yuzhnaya chast' Novosibirskoi oblasti*, [Surface water resources in the areas of virgin and fallow lands development. Issue VI. Plain regions of Altai Krai and the southern part of Novosibirsk oblast], Gidrometeoizdat, Moscow, Russia.
16. Semenov, V.A. (ed.) (1962), *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR, Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki, tom 15, Altay i Zapadnaya Sibir'*, [Surface water resources of the USSR, Basic hydrological characteristics, vol. 15, Altai and Western Siberia], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia.
17. Rozhdestvenskiy, A.V. and Chebotarev, A.I. (1974), *Statisticheskiye metody v gidrologii* [Statistical methods in hydrology], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia.
18. Popov, Eu.G. (ed) (1989), *Rukovodstvo po gidrologicheskim prognozam, Dolgosrochnyye prognozy elementov vodnogo rezhima rek i vodokhranilishch* [Guidance on hydrological forecasts. Long-term forecasts of rivers and reservoirs hydrological regime elements], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia.
19. Kharshan, A.A. (1970), *Dolgosrochnyye prognozy stoka gornyykh rek Sibiri* [Long-term forecasts of the runoff of mountain rivers in Siberia], *Trudy Gidrometeotsentra SSSR* [Proceedings of the Hydrometeorological Center of the USSR], issue 65, Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia.
20. Gaál, L., Szolgay, J., Kohnová, S., Hlavčová, K., Parajka, J., Viglione, A., Merz, R. and Blöschl, G. (2015), "Dependence between flood peaks and volumes: a case study on climate and hydrological controls", *Hydrological Sciences Journal*, vol. 60, no. 6, pp. 968–974.
21. Tan A., Adam J.C. and Lettenmaier D.P. (2011), "Change in spring snowmelt timing in Eurasian Arctic rivers", *Journal of Geographical Research*, vol. 116, pp. 1-2.

Поступила в редакцию: 15.09.2017

Сведения об авторах

Филимонов Валерий Юрьевич

доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, Институт водных и экологических проблем СО РАН; Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1

e-mail: vyfilimonov@rambler.ru

Балдаков Никита Анатольевич

аспирант, Институт водных и экологических проблем СО РАН; Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1

e-mail: nikita-baldakov@yandex.ru

About the authors

Valery Yu. Filimonov

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Major Researcher, Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS; 1, Molodezhnaya St., Barnaul, Altai Krai, 656038, Russia

Nikita A. Baldakov

Postgraduate Student, Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS; 1, Molodezhnaya St., Barnaul, Altai Krai, 656038, Russia

Кудишин Алексей Васильевич

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт водных и экологических проблем СО РАН;
Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1

Alexey V. Kudishin

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS;
1, Molodezhnaya St., Barnaul, Altai Krai, 656038, Russia

e-mail: kudishin@iwep.ru

Ловцкая Ольга Вольфовна

старший научный сотрудник, Институт водных и экологических проблем СО РАН;
Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1

Olga V. Lovtskaya

Senior Researcher, Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS;
1, Molodezhnaya St., Barnaul, Altai Krai, 656038, Russia

e-mail: lov_olga@inbox.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Филимонов В.Ю., Балдаков Н.А., Кудишин А.В., Ловцкая О.В. Анализ корреляционных связей объемов стока периода половодья и величин снеготопливных запасов на участках водосбора реки Чарыш (Алтайский край) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. №3(46). С. 46–55. doi 10.17072/2079-7877-2018-3-46-55

Please cite this article in English as:

Filimonov V.Yu., Baldakov N.A., Kudishin A.V., Lovtskaya O.V. On the correlation between the direct runoff volume and snow reserves in the Charysh river catchment area (Altai krai) // Geographical bulletin. 2018. №3(46). P. 46–55. doi 10.17072/2079-7877-2018-3-46-55