

УДК 556 (571.15)

*В. П. Галахов, Е. С. Попов, В. О. Дмитриев***Сравнительный анализ расчета
максимальных снегозапасов в условиях
низких гор (бассейн Чумыша)**

При выяснении условий формирования стока, прогнозных максимальных объемов половодья и вероятности подтопления полыми водами населенных пунктов определенные трудности вызывает вопрос расчета максимальных снегозапасов в конце зимы. Как показывают исследования (например, в бассейне Локтевки [1]), сток в период половодья формируется тальми водами, объем которых зависит от твердых осадков, накопленных за холодный период. Однако в районах с малым количеством гидрометеорологических станций и постов расчет максимальных снегозапасов весьма затруднен. В литературе по Алтаю не исследован и вопрос: а какая методика расчета максимальных снегозапасов дает наилучшие результаты? Для выяснения вышеперечисленных вопросов мы попытались на примере бассейна Чумыша исследовать методы и их точность при построении карт максимальных снегозапасов. Бассейн Чумыша выбран нами в первую очередь как водоток, протекающий по территории Алтайского края, имеющий достаточную обеспеченность гидрометеорологической информацией. Для расчетов полей осадков использовались данные 26 метеорологических станций и постов.

Бассейн Чумыша относится к бассейнам с низкогорным рельефом (максимальные отметки не превышают 600 м). Площадь водосбора р. Чумыш – р.п. Тальменка составляет 20600 км². В бассейне имеются еще два поста гидрометрических наблюдений: Чумыш–Сорокино ($F = 15900$ км²) и Чумыш–Кытманово ($F = 11000$ км²) [2]. По типу гидрографов исследуемые реки, по классификации В.Д. Зайкова, относятся к восточноевропейскому типу [3]. Последний характеризуется высоким половодьем, низкой летней и зимней меженью и повышенным стоком осенью. Наблюдения за стоком в бассейне по створу р.п. Тальменка начаты с 1943 г., по створу Сорокино – с 1931 г., по створу Кытманово – с 1964 г. Поскольку в 1965–1966 гг. проводилась замена осадкомеров с защитой Нифера на осадкомеры с защитой Третьякова и «Основные гидрологические характеристики» опубликованы по 1980 г., в качестве периода исследований были выбраны балансовые годы с 1967–1968 по 1979–1980.

Для того чтобы рассмотреть условия формирования стока в исследуемом бассейне, необходимо разработать схему расчета водного баланса. Обычно для рек с четкими границами водоразделов водный баланс рассчитывается по формуле [4]:

$$X - E - Y = W, \quad (1)$$

где X – средние по бассейну осадки; E – среднее по бассейну испарение; Y – сток; W – изменение влагозапасов в бассейне.

Кратко рассмотрим методику расчета отдельных составляющих. Максимальные снегозапасы рассчитывались четырьмя различными способами:

- методом интерполяции по данным ГМС и постов;
- по традиционно применяемым зависимостям $W = f(H)$;
- по зависимостям $W = f(L)$, где L – приближение к орографическому барьеру в западном направлении;
- по орографической добавке к скорости вертикальных движений $W = f(Vz)$.

Считалось, что максимальные снегозапасы формируются в период с 1 ноября по конец марта. Поля осадков за теплый период (апрель–октябрь) определялись методом интерполяции по данным опорных станций и постов.

Расчет максимально возможного испарения в выделенных точках бассейна проводился по графикам П.С. Кузина [4], полученным для бассейна Волги. Расчет испарения по графикам П.С. Кузина осуществлялся по среднемесячным температурам воздуха, которые определялись с помощью высотных градиентов по температурам ГМС Сорокино. Полученные поля максимально возможного испарения сравнивались с расчетными полями осадков. В том случае, если максимально возможное испарение было меньше осадков, за реальное принималось максимально возможное испарение. Если осадки были меньше максимально возможного испарения, испарение приравнивалось к выпавшим осадкам. Сток в бассейнах брался измеренный.

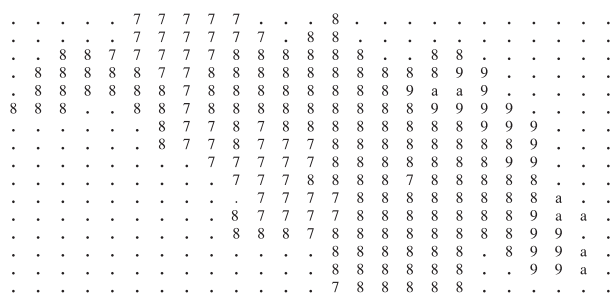


Рис. 1. Карта суммы осадков за зиму бассейна Чумыша, построенная методом интерполяции по данным станций и постов (взяты 1972–1973 гг., близкий по своим значениям к среднему многолетнему). Взятые лишь точки, относящиеся к бассейну, а не весь планшет, как в последующих картах.

Условные обозначения: 1 – менее 10; 2 – от 10 до 25; 3 – от 25 до 50; 4 – от 50 до 75; 5 – от 75 до 100; 6 – от 100 до 150; 7 – от 150 до 200; 8 – от 200 до 300; 9 – от 300 до 400; а – более 400 мм

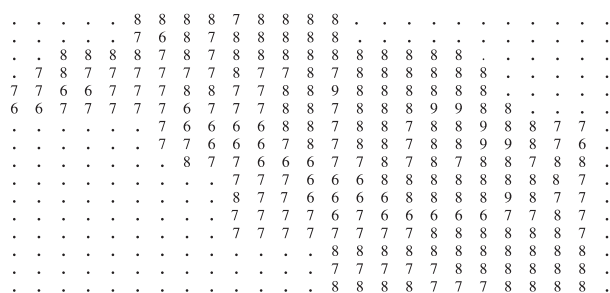


Рис. 2. Карта сумм среднееголетних осадков за зиму бассейна Чумыша, построенная по зависимости $W = f(H)$. (условные обозначения см. рисунок 1)

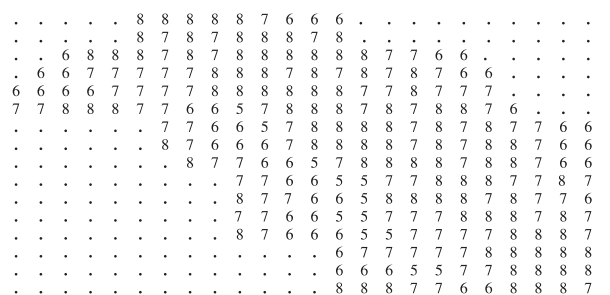


Рис. 3. Карта сумм среднееголетних осадков за зиму бассейна Чумыша, построенная по зависимости $W = f(L)$. (условные обозначения см. рисунок 1)

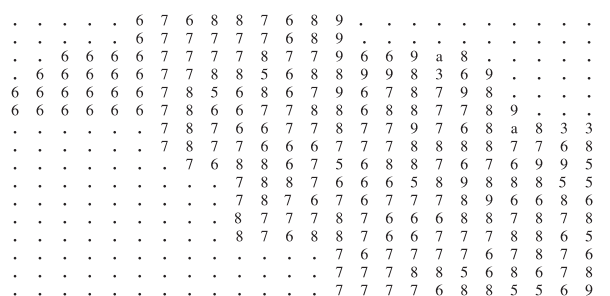


Рис. 4. Карта суммы среднееголетних осадков за зиму бассейна Чумыша, построенная по зависимости $W = f(Vz)$. (условные обозначения см. рисунок 1)

Таблица 1

Коэффициенты стока весеннего половодья ($K_{ст.}$) в зависимости от суммы влагопоступления (W , мм), река Чумыш – пост Кытманово. Снегозапасы рассчитаны методом интерполяции

Год балансый	X_{11-3}	E_{11-3}	$(X-E)_4$	W	$Y_{пол.}$	$K_{ст.}$
1968–1969	233,9	4,2	+33,5	263,2	265	1,007
1970–1971	173,0	6,8	+7,8	174,0	145	0,833
1971–1972	203,9	14,3	-4,0	185,6	156	0,841
1972–1973	224,4	13,1	-1,6	209,7	180	0,867
1973–1974	139,7	15,3	-19,8	104,6	98	0,937

Примечание: $r = 0,295$; $Y_{пол.} = 0,000383W + 0,823$ (если взять без 1974 г., то $r = 0,966$; $Y_{пол.} = 0,002W + 0,467$).

X_{11-3} – сумма зимних осадков; E_{11-3} – зимние испарения; $(X-E)_4$ – разница осадки (испарения за апрель); $Y_{пол.}$ – сток половодья.

Сравнительный анализ расчета максимальных снегозапасов...

Таблица 2

Коэффициенты стока весеннего половодья ($K_{ст.}$) в зависимости от суммы влагопоступления (W , мм), река Чумыш – пост Кытманово. Снегозапасы рассчитаны по зависимости $W = f(L)$

Год балансовый	X_{11-3}	E_{11-3}	$(X-E)_4$	W	$Y_{пол.}$	$K_{ст.}$
1968–1969	235,4	4,2	+33,5	264,7	265	1,0
1970–1971	168,0	6,8	+7,8	169,0	145	0,83
1971–1972	191,0	14,3	-4,0	175,8	156	0,90
1972–1973	210,8	13,1	-1,6	196,1	180	0,93
1973–1974	151,0	15,3	-19,8	115,9	98	0,85

Примечание: $r = 0,86$; $Y_{пол.} = 0,001W + 0,72$.

Таблица 3

Коэффициенты стока весеннего половодья ($K_{ст.}$) в зависимости от суммы влагопоступления (W , мм), река Чумыш – пост Кытманово. Снегозапасы рассчитаны по зависимости $W = f(Vz)$

Год балансовый	X_{11-3}	E_{11-3}	$(X-E)_4$	W	$Y_{пол.}$	$K_{ст.}$
1968–1969	204,2	4,2	+33,5	233,5	365	1,135
1970–1971	146,7	6,8	+7,8	147,7	145	0,982
1971–1972	177,2	14,3	-4,0	158,9	156	0,982
1972–1973	198,8	13,1	-1,6	184,1	180	0,976
1973–1974	146,2	15,3	-19,8	111,1	98	0,882

Примечание: $r = 0,946$; $Y_{пол.} = 0,00189W + 0,675$.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции для перехода от среднемноголетних карт снегозапасов к ежегодным (рассчитанных по зависимостям: $W = f(L)$; $W = f(Vz)$; $W = f(H)$)

Годы	$(X-E)_{11-4}$	$h_{полов.}$	$K_{ст.}$	X_{8-10}
1942	83,4	30,5	0,365	95,3
1943	79,4	38,4	0,484	152,7
1944	36,6	9,7	0,265	102,5
1945	83,3	22,6	0,272	98,3
1946	109,5	23,4	0,214	66,1
1947	65,3	45,5	0,697	182,0
1948	95,8	58,3	0,608	149,9
1949	57,2	51,96	0,908	149,1
1950	96,7	61,6	0,637	114,1

Таблица 5

Измеренный и расчетный сток за балансовый год.
Снегозапасы определялись методом интерполяции

Год балансовый	Кытманово			Сорокино			Тальменка		
	YB	YR	разница	YB	YR	разница	YB	YR	разница
1967–1968	174,7	147,6	+27,1	153,4	133,7	+19,7	156,5	126,4	+30,1
1968–1969	341,7	383,0	-41,3	296,4	335,9	-39,5	249,8	270,2	-20,4
1969–1970	275,1	183,0	+92,1	236,0	165,1	+70,9	229,1	152,4	+76,7
1970–1971	25,2	207,7	+42,5	258,6	193,2	+65,4	227,8	176,9	+50,9
1971–1972	227,2	224,8	+2,4	214,2	217,1	-2,9	198,0	192,0	+6,0
1972–1973	309,2	263,6	+45,6	260,5	225,3	+35,2	241,0	190,3	+50,7
1973–1974	162,5	123,4	+39,1	157,0	113,0	+44,0	137,9	108,9	+29,0
1974–1975	247,1	187,8	+59,3	237,3	176,5	+60,8	209,1	163,3	+45,8
1975–1976	160,6	148,2	+12,4	160,3	142,9	+17,4	142,0	132,4	+9,6
1976–1977	221,3	227,4	-6,1	218,0	209,5	+8,5	202,8	184,5	+18,3
1977–1978	207,6	173,2	+34,4	200,2	153,3	+46,9	198,0	142,4	+55,6
1978–1979	254,6	263,6	-9,0	244,4	239,3	+5,1	235,5	211,1	+24,4
1979–1980	132,6	103,8	+28,8	133,9	100,2	+33,7	137,1	102,2	+34,9

Примечание: YB – измеренный сток; YR – расчетный сток (в таблицах 5–8)

Таблица 6

Измеренный и расчетный сток за балансовый год. Снегозапасы определялись по зависимости $W = f(H)$. Переход от среднеголетних снегозапасов к ежегодным проводился по коэффициентам снежности

Годы	$(X-E)_{11-4}$	$h_{\text{полов.}}$	$K_{\text{ст.}}$	X_{8-10}
1951	58,8	34,7	0,590	121,2
1952	110,0	15,2	0,138	44,1
1953	129,3	38,8	0,300	142,7
1954	161,5	34,9	0,216	110,9
1955	147,3	38,0	0,258	154,2
1956	166,0	13,1	0,079	79,7
1957	139,3	58,3	0,419	150,4
1958	209,2	80,0	0,382	176,7
1959	145,5	39,0	0,268	119,5
1960	275,2	45,3	0,152	107,6
1961	234,0	39,4	0,168	137,4
1962	163,4	75,9	0,464	176,0
1963	77,3	10,8	0,140	102,7
1964	145,0	33,9	0,234	166,7
1965	76,7	42,0	0,548	122,9

Таблица 7

Измеренный и расчетный сток за балансовый год. Снегозапасы определялись по зависимости $W = f(L)$. Переход от среднеголетних снегозапасов к ежегодным проводился по коэффициентам снежности

Год балансовый	Кытманово			Сорокино			Тальменка		
	YB	YR	разница	YB	YR	разница	YB	YR	разница
1967–1968	174.7	158.3	+16.4	153.4	140.9	+12.5	156.5	128.5	+28.0
1968–1969	341.7	381.2	-39.5	296.4	331.9	-35.5	249.8	269.3	-19.5
1969–1970	275.1	190.4	+84.7	236.0	171.9	+64.1	229.1	153.8	+75.3
1970–1971	250.2	218.7	+31.5	258.6	198.1	+60.5	227.8	177.4	+50.4
1971–1972	227.2	222.8	+4.4	214.2	207.2	+7.0	198.0	181.9	+16.1
1972–1973	309.2	254.8	+54.4	260.5	228.3	+32.2	241.0	197.9	+43.1
1973–1974	162.5	153.4	+9.1	157.0	144.5	+12.5	137.9	132.4	+5.5
1974–1975	247.1	219.01	+28.0	237.3	197.0	+40.3	209.1	173.2	+35.9
1975–1976	160.6	168.5	-7.9	160.3	156.1	+4.2	142.0	139.6	+2.4
1976–1977	221.3	227.4	-6.1	218.0	205.0	+13.0	202.8	181.2	+21.6
1977–1978	207.6	185.2	+22.4	200.2	165.9	+34.3	198.0	149.2	+48.8
1978–1979	254.6	258.3	-3.7	244.4	229.7	+14.7	235.5	200.8	+34.7
1979–1980	132.6	157.6	+5.0	133.9	117.7	+16.2	137.1	112.1	+25.0

Таблица 8

Измеренный и расчетный сток за балансовый год. Снегозапасы определялись по зависимости $W = f(Vz)$. Переход от среднеголетних снегозапасов к ежегодным проводился по коэффициентам снежности

Год балансовый	Кытманово			Сорокино			Тальменка		
	YB	YR	разница	YB	YR	разница	YB	YR	разница
1967–1968	174,7	166,7	+8,0	153,4	148,5	+4,9	156,5	136,6	+19,9
1968–1969	341,7	381,4	-39,7	296,4	332,1	-35,7	249,8	267,7	-17,9
1969–1970	275,1	203,5	+71,6	236,0	182,3	+53,7	229,1	161,1	+68,0
1970–1971	250,2	206,6	+43,6	258,6	191,4	+67,2	227,8	173,9	+53,9
1971–1972	227,2	223,8	+3,4	214,2	209,3	+4,9	198,0	185,1	+12,9
1972–1973	309,2	266,2	+43,0	260,5	235,2	+25,3	241,0	200,8	+40,2
1973–1974	162,5	155,0	+7,5	157,0	145,6	+11,4	137,9	132,1	+5,8
1974–1975	247,1	237,0	+10,1	237,3	209,7	+27,6	209,1	182,7	+26,4
1975–1976	160,6	168,3	-7,7	160,3	157,7	+2,6	142,0	143,4	-1,4
1976–1977	221,3	246,1	-24,8	218,0	218,0	0,0	202,8	194,7	+8,1
1977–1978	207,6	209,4	-1,8	200,2	181,7	+18,5	198,0	163,5	+34,5
1978–1979	254,6	319,9	-65,3	244,4	267,9	-23,5	235,5	227,1	+8,4
1979–1980	132,6	129,0	+3,6	133,9	120,6	+13,3	137,1	116,8	+20,3

Среднее квадратическое отклонение реального и расчетного стока за балансовый год при различных схемах расчета максимальных снегозапасов

Пост	Схема расчетов максимальных снегозапасов			
	$W = f(Vz)$	$W = f(L)$	$W = f(H)$	Интерполяция
Кытманово	36	35	45	43
Сорокино	31	34	38	43
Тальменка	32	38	36	42

Поскольку в зимний период в исследуемом бассейне нет снеготаяния, а значит и влагопоглощения в речную сеть не наблюдается, можно принять во внимание, что поверхностный приток с ноября по март не должен учитываться в структуре данного балансового года. За остальной период (с апреля по октябрь) изменение влагозапасов в бассейне рассчитывалось как остаточный член уравнения.

Численные эксперименты проводились за период с 1968–1969 и с 1970–1974 балансовые годы. В качестве проверки использовался период 1967–1968 и 1974–1980 балансовых лет, включающий в себя многоводный год (1979), маловодные (1976, 1980) и близкие по водности к среднему (1968, 1975, 1977, 1978).

Для того чтобы выяснить условия формирования стока в бассейне и оценить полученные карты максимальных снегозапасов была разработана и реализована модель расчета поверхностного стока по трем выбранным створам. Достаточно подробно методика расчета стока описана в [1], поэтому остановимся лишь на расчетах стока за период половодья.

Карты ежегодных сумм осадков за зимний период для метода интерполяции строились по ежегодным данным станций и постов (рис. 1). Для трех остальных методов вначале были получены карты среднемноголетних зимних осадков (рис. 2–4), а затем с помощью коэффициентов снежности осуществлялся переход от среднемноголетних карт к ежегодным. Для каждого метода расчета максимальных снегозапасов рассчитывались свои коэффициенты стока (например, табл. 1–3).

Как видим, для зависимости $W = f(Vz)$ коэффициенты корреляции примерно на 0,1 выше, чем для зависимости $W = f(L)$, а для зависимостей $W = f$ (интерполяции) и $W = f(H)$ они вообще не значимы (по интерполяции: для Кытманово – $r = 0,295$, для Сорокино – $r = -0,202$, для Тальменки – $r = -0,225$).

С учетом полученных материалов сравним сток, реально измеренный и рассчитанный нами по модели, и оценим, какой из методов расчета максимальных зимних осадков (снегозапасов) лучше. Первым способом оценки может быть следующее. Переход от среднемноголетних снегозапасов к ежегодным осуществлялся при помощи коэффициентов снежности за конкретный год, которые находились отдельно для наветренного и подветренного склонов. Коэффициент снежности увязывался с многолетними снегозапасами (определенными как сумма осадков за зиму по многолетним величинам осадков) и далее по известным многолетним снегозапасам в точках расчета находились ежегодные снегозапасы (коэффициенты корреляции за расчетные годы приводятся ниже в таблице 4).

Способом оценки точности расчетов и оценки полученных карт снегозапасов является анализ разницы: измеренный сток – расчетный сток (табл. 5, 6, 7, 8).

Материалы расчетов показывают, что наименьшее среднее квадратическое отклонение получается, если максимальные снегозапасы мы считаем по зависимости $W = f(Vz)$, затем идет расчет по зависимости $W = f(L)$, далее $W = f(H)$, и наибольшая ошибка получается, если мы максимальные снегозапасы рассчитываем методом интерполяции (табл. 9).

Таким образом, для регионов с абсолютными высотами менее 2000 м карты максимальных снегозапасов необходимо рассчитывать по зависимостям $W = f(Vz)$ или $W = f(L)$, а для регионов с абсолютными высотами более 2000 м по зависимостям $W = f(L)$. Как видим, даже для низкогорного бассейна метод интерполяции и определение снегозапасов по зависимости $W = f(H)$, традиционно используемых географами, дает большую ошибку, чем два предыдущих метода. Методика построения карт максимальных снегозапасов двумя первыми методами достаточно детально описана в [5].

Литература

1. Галахов В.П., Белова О.В. Влияние метеорологических условий на сток в бассейне Локтевки (Алтай) // География и природопользование Сибири. Барнаул, 2002.
2. Основные гидрологические характеристики. Л., 1975.
3. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. Л., 1970.
4. Аполов Б.А. Учение о реках. М., 1963.
5. Галахов В.П. Условия формирования и расчет максимальных снеготпасов в горах (по исследованиям на Алтае). Новосибирск, 2003.