

УДК 556.124.4

К ОЦЕНКЕ МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СТОКА ПОЛОВОДИЙ РЕК ЮГО-ВОСТОЧНОГО АЛТАЯ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА РЕКИ ЧУИ)

© 2012 г. Д.Е. Клименко

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

Ключевые слова: современное оледенение, ледниковый сток, Юго-Восточный Алтай, Чуйская долина, р. Чуя.



Статья посвящена исследованию влияния современного оледенения на многолетнюю изменчивость характеристик стока весенне-летних половодий. Вопросы влияния ледников на сток рек горных районов являются слабоизученными; в настоящее время нет единого представления о влиянии ледников на максимальный сток половодий. Установленные региональные зависимости слоя стока половодья и его коэффициентов вариации от доли оледенения и высоты водосборов; сведения о циклах и фазах водности могут быть использованы при расчетах стока неизученных рек.

Введение

Количественные оценки ледникового питания в стоке горных рек разноречивы (противоречивы или двойственны). Ряд авторов указывали на отсутствие влияния ледников на величины стока (Л.К. Давыдов, 1947), объясняя увеличение стока увеличением сумм осадков и снижением испарения с высотой. Другие, Г.Н. Голубев, В.Н. Шульц, исследовавшие сток рек Средней Азии и Кавказа, отмечали увеличение ледникового стока с ростом площади оледенения [1].

Научные обобщения материалов наблюдений по рекам Центрального Алтая начаты с 1930-х годов. Первые попытки анализа данных предприняты О.К. Блумбергом (1930), П.П. Пиварелисом (1934), К.И. Лубны-Герциком (1934), Н.А. Задубиным (1937). В 1946 г. Б.Д. Зайков осуществил анализ материалов наблюдений при составлении карты среднегодового стока рек СССР. В 1955 г. годовой сток рек детально изучался Н.М. Алюшинской, в 1966 г. – А.М. Комлевым [1]. Характеристики стока половодий в условиях ледникового питания изучены незначительно.

Водное хозяйство России № 2, 2012

Водное хозяйство России

Вопросы гляциологии Алтая освещены в работах Л.Н. Ивановского, Е.В. Девяткина, П.А. Окишева, В.П. Галахова, С.Ю. Самойловой и др. [2].

Вопросы влияния ледников на максимальный сток рек горных районов, методы расчета характеристик стока неизученных горных рек до настоящего времени являются наиболее слабо разработанными в инженерной гидрологии. Исследования, результаты которых отражены в статье, имели целью расчет отдельных характеристик стока рек Горного Алтая, имеющих ледниковое питание, выявление репрезентативных периодов наблюдений и численную оценку степени влияния ледников на сток половодий.

Изученность стока половодий рек Юго-Восточного Алтая

Бассейн р. Чуи в гидрологическом отношении изучен недостаточно (рис. 1, табл. 1). Систематические наблюдения за гидрологическим режимом р. Чуи начаты Западно-Сибирским УГМС в период 1933–1935 гг. Большая часть постов открывалась в 1955–1956 гг. организациями различных ведомств. Наблюдения на малых реках (площади водосборов от 13,7 до 134 км²) в правобережной части водосбора р. Чуи проводились экспедицией Государственного гидрологического института (ГГИ) [3]. Средние высоты охваченных наблюдениями водосборов изменяются от 1900 до 2800 м. До 1995 г. гидрологический режим изучался на постах ГУ «Горно-Алтайский ЦГМС». В настоящее время пункты стационарных наблюдений отсутствуют.



Таблица 1. Пункты гидрологических наблюдений на реках Юго-Восточного Алтая

Код поста	Наименование поста	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км ²	Отметка нуля поста, м БС (абс)	Средняя высота водосбора, м	Год открытия	Год закрытия
10084	р. Чуя – с. Чаган-Узун (1)	175	8180	1721,77	2400	1957	1990
10085	р. Чуя – с. Белый Бом (2)	39,0	10 900	894,26	–	1933	1975
–	р. Чуя – створ Акташской ГЭС (с. Мены) (3)	94,0	9200	–	–	1954 1993	1955 1993
–	р. Чуя – с. Чибит (4)	77,0	–	–	–	1992	1993
–	р. Чуя–створ Чибитской ГЭС (5)	80,0	9270	–	–	2008	действ.
10700	р. Чуя – с. Иодро (нет на схеме)	25,0	11 000	867,36	–	1984	1995
10088	р. Кызыл-Шин – с. Кокорю (6)	23,0	1260	1874,00	2500	1957	1959
10090	р. Кок-Узек – в/п без названия (7)	22,0	238	–	2600	1958	1959
10091	р. Чаган – клх Кызыл-Маны (8)	0,4	372	1935,90	2800	1951	1995
10093	р. Ак-Туру – ГМС Актру (9)	20,0	33,4	2115,36	2100	1962	1995
10094	р. Чибитка – с. Нижний Акташ (10)	14,0	134	–	2200	1955	1956
10096	р. Белая – 2 км от устья (11)	2,0	25,3	–	2400	1955	1956
10097	р. Белая – 0,5 км от устья (12)	0,50	59,6	–	2500	1955	1956
10098	р. Ярлы-Амры – с. Средний. Акташ (13)	10,0	15,6	–	2600	1956	1956
10099	р. Мюэнь – 4,7 км от устья (14)	4,7	13,7	–	1900	1955	1956
10086	р. Большие Шибеты – ГМС Уландрык (15)	1,5	230	–	2600	1955	1956

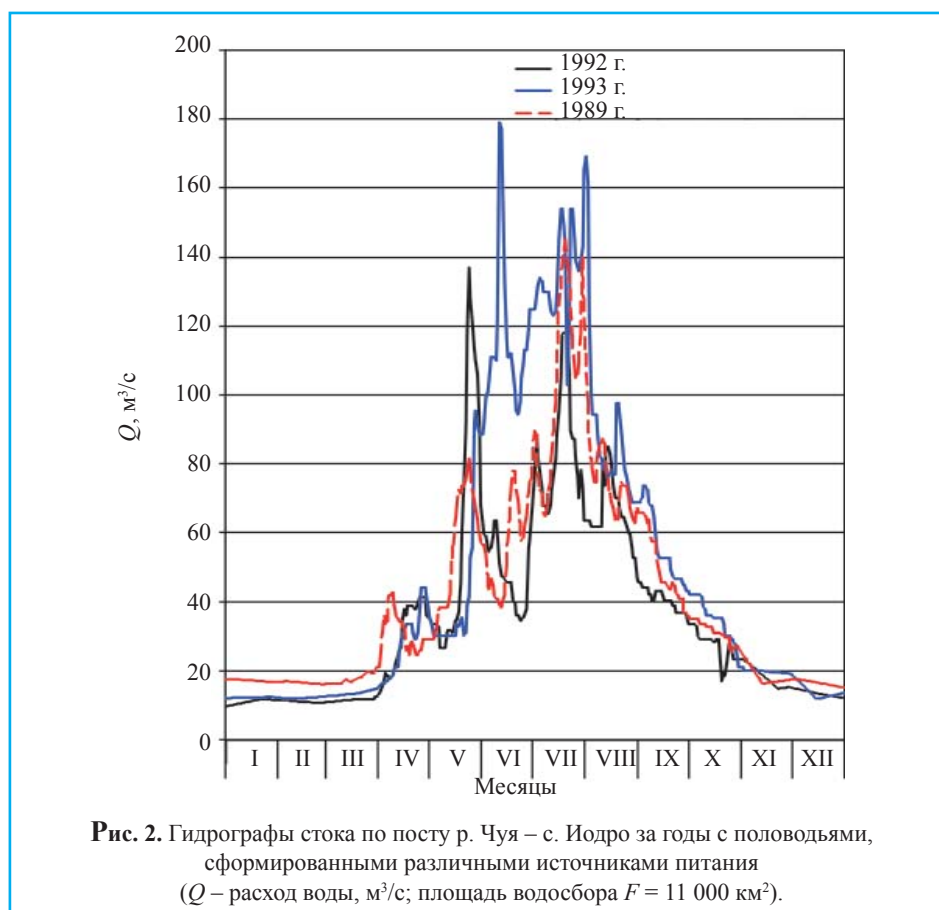
Примечание: в скобках указан номер поста по схеме на рис. 1.

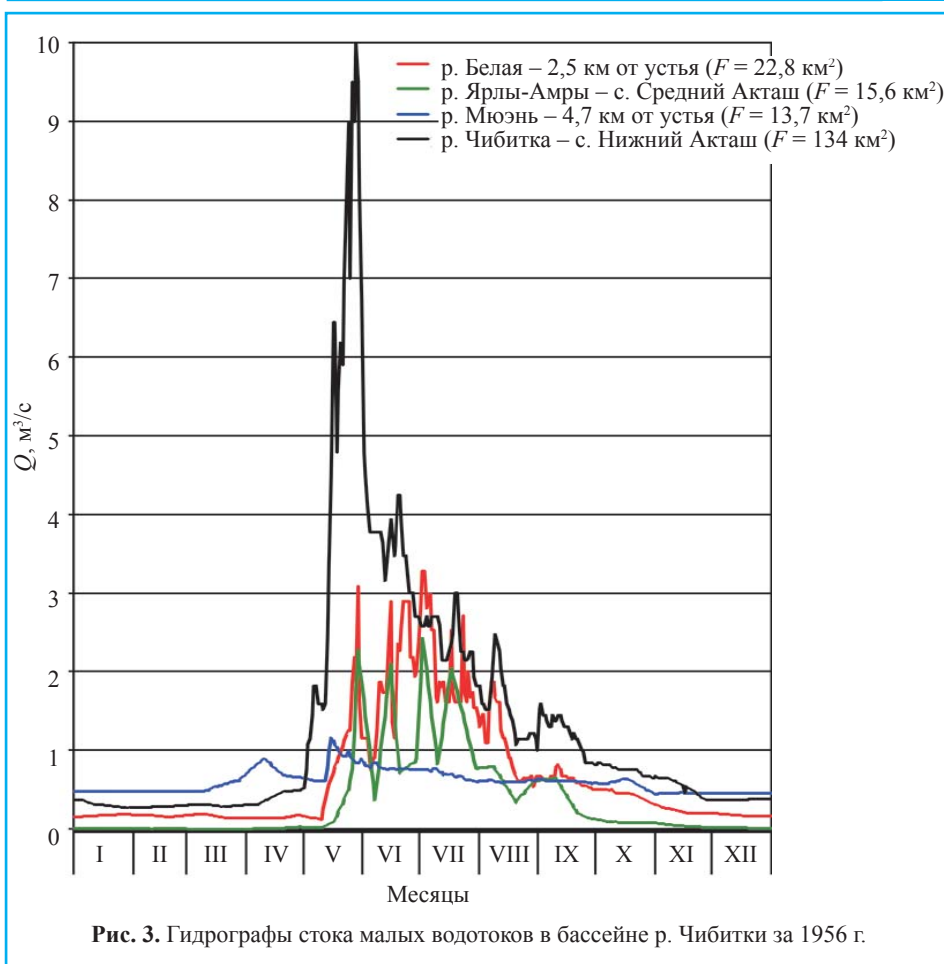
Природные условия Юго-Восточного Алтая

Основными критериями для оценки характеристик стока рек рассматриваемой территории являются средняя высота водосборов и их орографические особенности, доля оледенения, геологическое строение (трещиноватость пород и наличие карста).

Половодья формируются в условиях сложного горного рельефа, характеризующегося сочетанием хребтов с высотами от 1000 до 4500 м, разделенных слабовсхолмленными котловинами (Чуйская, Курайская и др.). Подробная характеристика природных условий представлена в [4]. При определении современных площадей оледенения водосборов использованы картографические материалы 1989 г.

Анализ гидрографов стока по постам (рис. 2, 3) позволил выделить три генетических типа волн весенне-летних половодий:





1. Первая волна (с первой декады апреля по первую декаду мая), связанная со стаиванием снега в нижней части Чуйской долины и включающая около 10 % стока половодья.

2. Вторая волна (с первой декады мая по третью декаду июня) включает около 30 % стока половодья и формирует наибольший расходу воды. Формирование ее связано со стаиванием снега в низкогорной верхней части бассейна р. Чуи, где площади, занятые ледниками и снежниками, практически отсутствуют.

3. Третья волна (с третьей декады июня до третьей декады сентября) включает в себе 50 % стока половодья и приурочена к разновременному стаиванию ледников и снежников в высокогорных частях водосборов правобережных притоков.

На водотоках с площадью менее 50 км^2 гидрографы многопиковые, что связано с существенным влиянием режима температуры воздуха и осадков в период снеготаяния.

Влияние ледников на многолетнюю изменчивость максимального стока половодий

Оценка степени изменчивости характеристик стока является важным этапом гидрологических расчетов при определении достаточной продолжительности наблюдений (репрезентативного периода) и коэффициентов вариации. Сложность условий многолетней изменчивости стока горных рек показана рядом исследователей. Б.Д. Зайков, М.Н. Большаков [1, 4] отмечали, что если в нижней части гор изменчивость стока определяется вариацией осадков, то в высокогорьях – изменчивостью температуры воздуха, ведущей к неравномерному поступлению талых ледниковых вод в речную сеть. Колебания сумм осадков и температуры часто происходят асинхронно, отражая особенности типа атмосферной циркуляции. Это влияние проявляется и в асинхронности колебаний стока рек разных высотных зон, на которую указывали В.Л. Шульц, М.Н. Большаков, Л.А. Владимиров, А.М. Комлев, Ю.В. Титова и др. [1]. Подобные исследования относительно стока половодий Горного Алтая в литературе не приводятся.

По опорным постам были построены разностно-интегральные кривые отклонений от середины модульных коэффициентов слоя стока половодий (РИК) (рис. 4). Установлено, что колебания максимального стока для север-



Таблица 2. Сведения о сроках и продолжительности фаз водности рек северного и южного склонов Чуйской долины

Пост	Многоводная фаза		Маловодная фаза	
	Период	Длительность (лет)	Период	Длительность (лет)
р. Чуя – с. Белый Бом	1956–1977	21	1977–1995	18
р. Чуя – с. Чаган-Узун	1977–1995	18	1956–1977	21
р. Чаган – клх Кызыл-Мань	1977–1995	18	1956–1977	21
р. Чибитка – с. Нижний Акташ	1956–1977	21	1939–1956 1977–1995	17 18

ного и южного склонов Чуйской долины асинхронны, что отражается и на стоке р. Чуи, принимающей воду со склонов разной экспозиции (табл. 2). Причины асинхронности связаны с разной долей оледенения водосборов (на южном склоне долины площади ледников значительно больше, чем на северном).

В ходе анализа РИК выделены полные циклы водности (циклы «макроуровня» продолжительностью более 30 лет), внутри них – многоводные и маловодные фазы, а также циклы водности «мезоуровня». Неполное отражение РИК для разных пунктов р. Чуи связано с резко неравномерным распределением лево- и правобережных площадей водосбора по длине реки.

Таким образом, асинхронность колебаний стока половодий для рек с разной долей оледенения определяется различным соотношением между тальными снеговыми и ледниковыми водами в периоды различной атмосферной циркуляции.

Для построения региональных зависимостей параметров изменчивости стока выполнено приведение к многолетнему периоду данных гидрометеорологических наблюдений на постах и определение расчетных характеристик (нормы максимального стока половодий, его асимметрии и изменчивости) в соответствии с требованиями [6] (табл. 3).

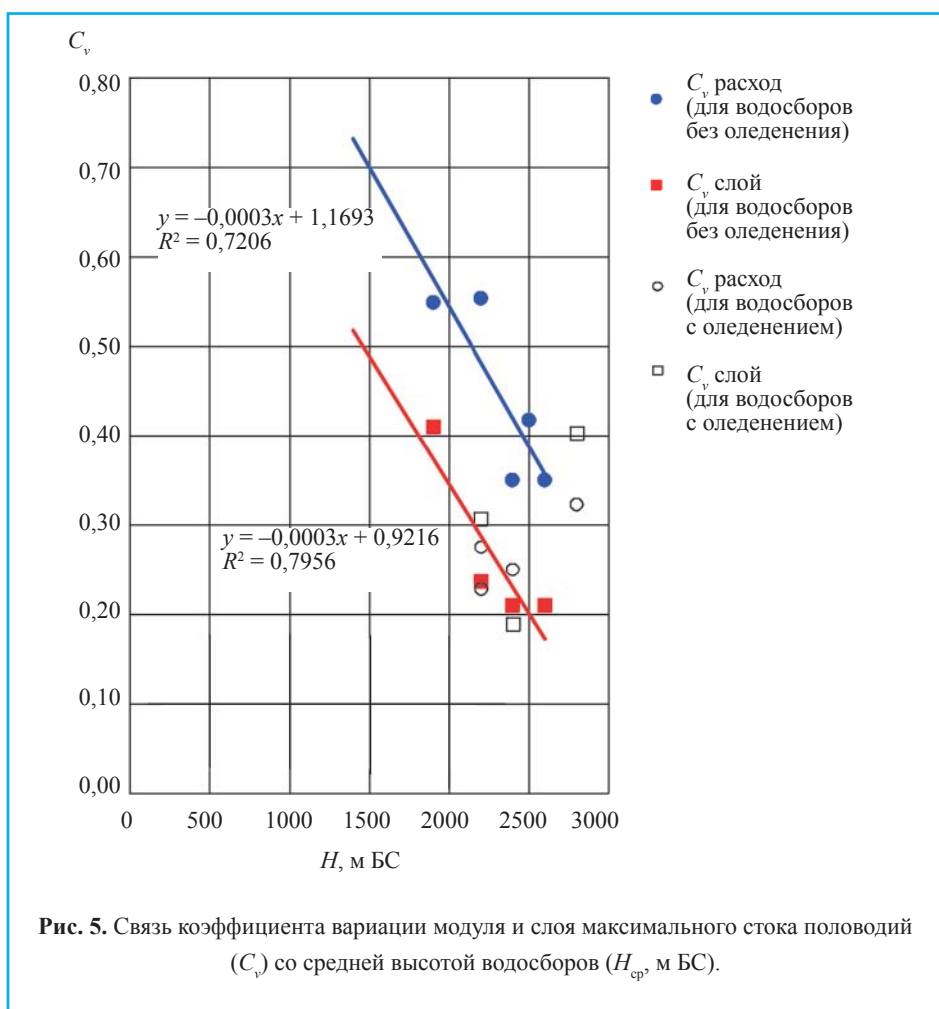
Погрешности учета максимального стока связаны с: 1) наличием подруслового стока, составляющего до 30 % суммарного стока [3, 4]; 2) сложностью учета мгновенных расходов; 3) наличием карста и потерями стока по длине рек [7].

Анализ связи коэффициентов вариации характеристик стока с высотой позволил выявить закономерное его снижение с увеличением высоты. Установлено две зависимости $C_v = f(H_{cp})$: для слоя и для модуля стока

Таблица 3. Характеристики стока половодий рек Чуйской долины и гидрографические характеристики водосборов

№	Река – пост	Площадь водосбора F , км ²	Средняя высота H , м	Средние за многолетний период						Доля оледенения $f_{\text{лед}}$, %	Номер пункта-аналога (модульный коэффициент за год), восст. характеристика	Значение коэффициента парной корреляции	
				Расход воды			Слой стока						
				Расход воды Q , м ³ /с	q_0 , л/с км ²	C_v	C_s/C_v	h_0 , мм	C_v				C_s/C_v
1	р. Чуя – с. Чаган-Узун	8180	2400	134	16,4	0,19	-0,27	54,1	0,25	1,41	1,5	Опорный (1932–95 гг.)	–
2	р. Чуя – с. Белый Бом	10 900	2200	174	15,9	0,31	1,34	87,9	0,23	0,73	2,1	Опорный (1932–95 гг.)	–
3	р. Чуя – с. Июдро	11 000	2200	175	15,9	0,31	1,34	102	0,28	-0,53	2,1	№№1,2 – h ; №2 – Q	0,97 0,69
4	р. Кызыл-Шин – с. Кокорю	1260	2466	41,6	33,0	–	–	223	–	–	0,2	$K_{1958} - h, Q$	–
5	р. Кок-Узек – в/п без названия	238	2697	41,6	175	–	–	216	–	–	3,2	$K_{1958} - h, Q$	–
6	р. Чаган – клх Кызыл-Маны	372	2800	34,9	93,7	0,40	5,09	387	0,32	1,11	10,2	Опорный (1951–69, 71–94 гг.)	–
7	р. Актур – ГМС Актру	33,4	2100	9,75	292	0,32	3,83	728	0,20	-0,76	42,8	Опорный (1962–95 гг.)	–
8	р. Чибитка – с. Нижний Акташ	134	2200	10,8	80,8	0,55	1,04	292	0,24	-0,53	1,4	№2 – Q ; №6 – h	0,80 0,87
9	р. Белая – 2 км от устья	25,3	2400	2,41	95,3	0,35	1,63	341	0,21	0,62	0,0	$K_{1954-56} - h, Q$	–
10	р. Белая – 0,5 км от устья	59,6	2500	6,02	101	0,42	1,36	–	–	–	0,0	$K_{1943, 54-56} - h, Q$	–
11	р. Ярлы-Амры – с. Средний Акташ	15,6	2600	2,06	132	0,35	–	360	0,21	–	3,0	$K_{1954-56} - h, Q$	–
12	р. Мюэнь – 4,7 км от устья	13,7	1900	1,20	87,6	0,55	–	199	0,41	–	1,5	$K_{1954-56} - h, Q$	–

Примечание: q_0 и h_0 – соответственно, средние многолетние максимальный модуль и слой стока за половодье; C_v – коэффициент вариации; C_s – коэффициент асимметрии.



(рис. 5). Дифференцировать зависимости для водосборов с оледенением не удалось. Изменчивость модулей стока во всем диапазоне высот в 1,5 раза выше этой характеристики для слоя стока.

Ввиду многообразия факторов формирования стока, редкой наблюдательной сети установить надежные связи нормы слоя стока h_0 и модуля максимального стока q_0 со средней высотой водосборов ($H_{\text{ср}}$) не удалось.

При анализе влияния доли оледенения на величину слоя стока весенних половодий получена надежная зависимость вида $h_0 = f(f_{\text{лед}})$ (рис. 6). Зависимость свидетельствует о возрастании стока под действием ледников и может быть использована при определении слоя стока неизученных рек водосборов с оледенением. Переход от величин слоя к модулям может быть

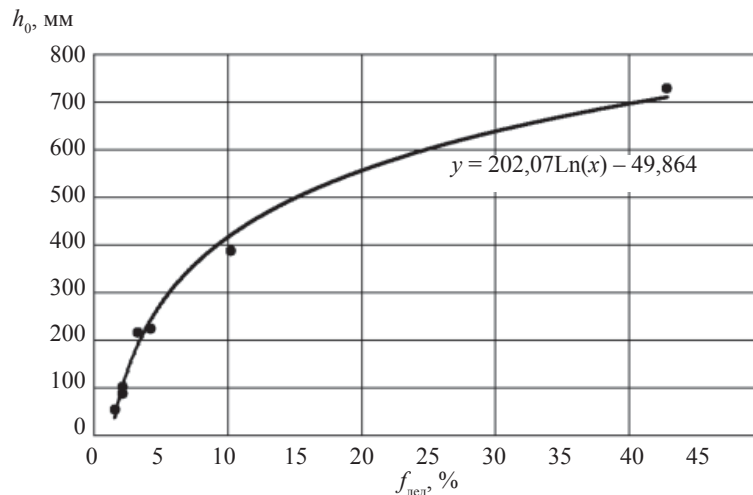


Рис. 6. Связь слоя стока за половодье (h_0 , мм) с долей оледенения водосборов ($f_{\text{лед}}$, %).

осуществлен по их связи вида $h_0 = 1,98q_0 + 85,5$, характеризующаяся достаточной теснотой ($r = 0,87$).

Заключение

1. Условия формирования стока северного и южного склонов Чуйской долины существенно отличаются в связи с разной долей оледенения.

2. Анализ гидрографов стока по постам на р. Чуе позволил выделить три генетических типа волн весенне-летних половодий.

3. Колебания характеристик стока для рек с разной долей оледенения асинхронны, что определяется различным соотношением между тальми снеговыми и ледниковыми водами в периоды различной атмосферной циркуляции. Репрезентативный период наблюдений на постах получен равным 38–39 годам.

4. Полученные зависимости вида $C_v = f(H_{\text{сп}})$ не дифференцируются между водосборами с оледенением и без него, характеризуются достаточной теснотой и могут быть использованы в расчетах стока неизученных рек. Полученные зависимости вида $h_0 = f(f_{\text{лед}})$ и $q_0 = f(h_0)$ могут быть использованы при расчетах стока половодий неизученных рек, имеющих ледники на водосборе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Комлев А.М., Титова Ю.В.* Формирование стока в бассейне р. Катунь. Новосибирск: «Наука», 1966. 156 с.
2. *Самойлова С.Ю.* Реконструкция планового положения ледников бассейна Верхней Чуи (Юго-Восточный Алтай) в максимум последнего похолодания: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Барнаул. 2011.
3. Гидрологические исследования рек Чуйской степи Горно-Алтайской АО. Экспедиция по изучению водных ресурсов целинных и залежных земель ГГИ. Л., 1960. 62 с.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 1. Горный Алтай и Верхний Иртыш. Ч. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 320 с.
5. Каталог ледников СССР. Т. 15. Вып. 1. Ч. 6. Бассейн р. Чуи. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 60 с.
6. СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Утв. постановлением Госстроя России № 218 от 26 декабря 2003 г.
7. Строительство малой ГЭС «Чибит» на р. Чуя в Улаганском районе Республики Алтай. ТЭО (Проект). Т. 3. Природные условия. Кн. 1. Климат и гидрология. Красноярск. 2008. 86 с.

Сведения об авторе:

Клименко Дмитрий Евгеньевич, к. г. н., доцент, кафедра гидрологии и охраны водных ресурсов, Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ), Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: klimenkodi@rambler.ru