

УДК 556.16.072:556.124

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА
В ГОРНО-ЛЕДНИКОВОМ БАССЕЙНЕ**

Канд. геогр. наук В.В. Голубцов
Канд. техн. наук В.И. Ли
 Т.П. Строева

Изложена модель формирования стока в горно-ледниковом бассейне. Определены параметры модели и произведено ее испытание на основе данных гидрометеорологических наблюдений в бассейнах рек Малая Алматинка (хр. Заилийский Алатау), Каратау и Коксу (хр. Джунгарский Алатау).

При гидрологических расчетах и прогнозах стока нередко возникает необходимость в оценке и учете ледникового питания горных рек. Поэтому моделирование процесса формирования стока в горном ледниковом бассейне является важной задачей гидрологии.

Ледниковую часть горного бассейна можно представить в виде двух последовательно соединенных регулирующих емкостей, отождествляя верхнюю из них с стокообразованием на поверхности ледников и морен, а нижнюю - с формированием стока в толще ледниково-моренного комплекса.

Как показали исследования Г.Н. Голубева [1], потери воды, образовавшейся в результате таяния снега, фирна и льда, обуславливаются ее замерзанием в процессе фильтрации через снего-фирновую толщу и движения по поверхности льда под снегом. При абляции происходит заполнение водой свободной емкости снего-фирнового покрова, с последующим ее замерзанием, и уменьшение потерь талой воды.

Изменение общего дефицита замерзшей влаги в

свободной емкости снего-фирнового покрова в зависимости от интенсивности ее заполнения может быть описано дифференциальным уравнением вида:

$$\frac{dD}{dt} = - f_{л}, \quad (1)$$

где $D = W_{\max} - W$ - дефицит замерзшей влаги в свободной емкости снего-фирнового покрова, мм; W_{\max} - максимальное значение свободной емкости снего-фирнового покрова, мм; W - запас замерзшей влаги в толще снега и фирна, мм; $f_{л}$ - интенсивность потерь воды на замерзание при фильтрации через толщу снега и фирна, мм/сут; t - время, сут.

Исходя из предположения, что $f_{л}$ зависит от интенсивности поступления воды и степени заполнения емкости, и принимая в первом приближении зависимость интенсивности заполнения свободной емкости от дефицита воды в ней линейной, можно записать следующее соотношение:

$$\frac{f_{л}}{V_{л.ф}} = \frac{D}{D_{\max}}, \quad (2)$$

где $D_{\max} = W_{\max}$ - наибольший дефицит замерзшей воды в толще снега и фирна, мм; $V_{л.ф}$ - суммарное поступление воды на поверхность ледника, рассчитываемое по выражению, приведенному в работе [2], мм/сут.

Из соотношения (2) следует, что по мере заполнения льдом свободной емкости, поступление воды в нее уменьшается, а интенсивность потерь воды

$$f_{л} = V_{л.ф} \frac{D}{D_{\max}}. \quad (3)$$

После подстановки выражения (3) в уравнение (1) последнее примет вид:

$$\frac{dD}{dt} = - V_{л. \phi} \frac{D}{D_{max}} \quad (4)$$

Решая уравнение (4) для суточных интервалов времени, можно получить:

$$f_{л} = D_{t-1} [1 - \exp(- V_{л. \phi} / W_{max})], \quad (5)$$

или

$$D_t = D_{t-1} \exp(- V_{л. \phi} / W_{max}), \quad (6)$$

где $D_t = W_{max} - W_t$, $D_{t-1} = W_{max} - W_{t-1}$ - соответственно текущее и предшествующее значения дефицита емкости снего-фирнового покрова, мм.

Текущее значение запаса рассматриваемой емкости можно представить в виде

$$W_t = W_{t-1} + f_{л}, \quad (7)$$

интенсивность стокообразования ($q_{л}$) на поверхности ледников и в их толще определить как разность

$$q_{л} = V_{л. \phi} - f_{л}, \quad (8)$$

а суммарный расход ($Q_{q_{л}}$, м³/с), характеризующий интенсивность стокообразования в ледниковой части бассейна, вычислить по выражению

$$Q_{q_{л}} = 16,67 \sum_{i=1}^n q_{лi} \cdot F_i, \quad (9)$$

где $q_{лi}$ - интенсивность стокообразования в i -ой высотной зоне ледникового бассейна, мм; F_i - площадь i -ой высотной зоны, км²; n - число высотных зон.

Приток воды к гидрографической сети, сформировавшейся в первой и второй емкостях, характеризуется различной естественной степенью зарегулированности. Поэтому возникает необходимость раз-

деления расхода Q_q на две части для трансформации в пределах каждой из этих регулирующих емкостей в отдельности:

$$Q'_{ql} = \beta^* Q_{ql}, \quad (10)$$

$$Q''_{ql} = (1 - \beta^*) Q_{ql}, \quad (11)$$

где Q'_{ql} и Q''_{ql} - соответственно, интенсивность стокообразования в верхней и нижней регулирующих емкостях, m^3/c ; β^* - параметр, характеризующий долю суммарного стока, поступающую в верхнюю регулируемую емкость.

В ходе численного эксперимента, проведенного для бассейнов рек Малая Алматинка, Каратал, Коксу, установлено, что параметр β^* не постоянен во времени. Это изменение может быть описано выражением вида:

$$\beta^* = \beta^*_0 - \alpha_L \cdot \frac{\sum_{t=1}^k Q_{ql}}{1/N \cdot \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^m Q_{ql}}, \quad (12)$$

где β^*_0 , α_L - параметры; t - время, сут; k - продолжительность периода от начала абляции до расчетной даты, сут; j - порядковый номер года наблюдений; N - число лет наблюдений за абляцией; m - общая продолжительность периода абляции в отдельные годы, сут.

Для бассейнов, указанных выше рек, параметры β^*_0 и α_L соответственно равны 0,95 и 1,00.

Трансформация интенсивности стокообразования Q'_{ql} и Q''_{ql} соответственно в интенсивность притока к гидрографической сети $Q'_{гл}$ и $Q''_{гл}$ может быть осуществлена с помощью линейной модели:

$$Q'_{гл}(t) = Q'_{гл}(t-1) + a'_L [Q'_{ql}(t) - Q'_{гл}(t-1)], \quad (13)$$

$$Q''_{гЛ}(t) = Q''_{гЛ}(t-1) + a''_{л} [Q''_{ql}(t) - Q''_{гЛ}(t-1)], \quad (14)$$

где $a'_{л}$ и $a''_{л}$ - параметры трансформации, соответственно для первой и второй регулирующих емкостей; $t, t-1$ - обозначение текущих и предшествующих суток.

Параметры $a'_{л}$ и $a''_{л}$ изменяются в течение абляционного периода и могут быть определены с помощью следующих выражений:

$$a'_{л} = a'_{ол} + \alpha'_{л} \cdot \frac{\sum_{t=1}^k Q_{ql}}{1/N \cdot \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^m Q_{ql}}, \quad (15)$$

$$a''_{л} = a''_{ол} + \alpha''_{л} \cdot \frac{\sum_{t=1}^k Q_{ql}}{1/N \cdot \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^m Q_{ql}}, \quad (16)$$

где $a'_{ол}, a''_{ол}, \alpha'_{л}, \alpha''_{л}$ - параметры.

Выражения (15) и (16) отражают увеличение динамичности ледникового стока с увеличением продолжительности абляции. Значения этих параметров, определенные в результате численных экспериментов, приведены ниже в таблице.

Значение параметров $a'_{ол}, \alpha'_{л}, a''_{ол}$ и $\alpha''_{ол}$

Бассейн реки	$a'_{ол}$	$\alpha'_{л}$	$a''_{ол}$	$\alpha''_{ол}$
Малая Алматинка	0,1	0,5	0,01	0,05
Каратал	0,5	0,3	0,05	0,1
Коксу	0,5	0,3	0,05	0,1

Река Малая Алматинка находится в Заилийском Алатау. Гляциальная зона ее бассейна является наиболее изученной в Казахстане [3,4,5]. Для оценки параметров модели формирования ледникового стока выбран створ выше уроч.Сарысай. Это обусловлено тем, что створ Мынжилки не полностью учитывает ледниковый сток р.Малая Алматинка. Оценка параметров производилась за период 1965-1972 гг. Доля ледникового стока в общем стоке, учитываемого в створе выше уроч.Сарысай, составляет более 70 %. Это позволяет с достаточной степенью достоверности оценить параметры модели формирования стока в ледниково-фирновой зоне, что подтверждается неплохой сходимостью рассчитанных и фактических гидрографов стока (рис.1).

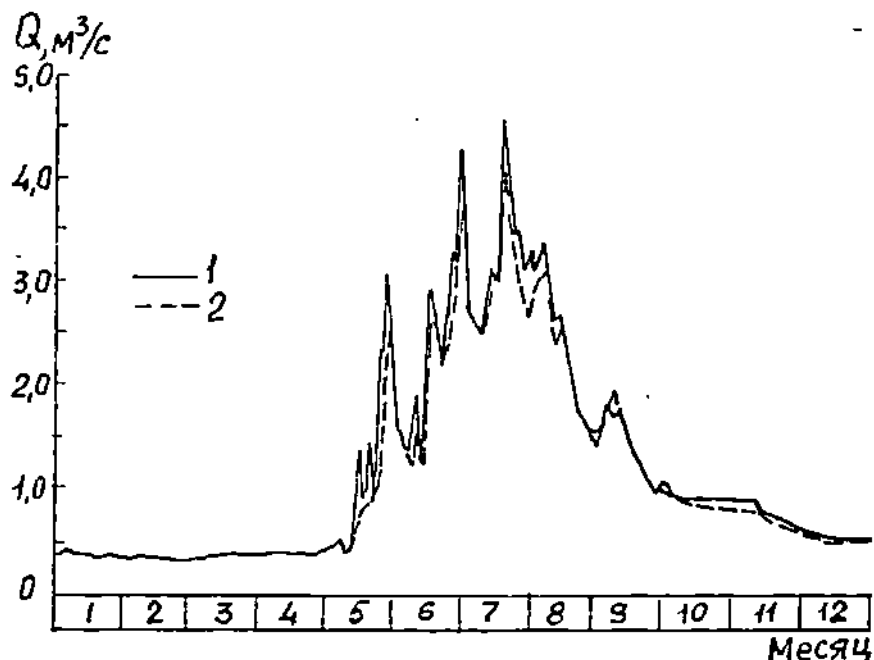


Рис.1. Фактический (1) и рассчитанный (2) гидрографы стока р.Малая Алматинка выше уроч.Сарысай за 1969 год

Реки Каратал и Коксу расположены в Джунгарском Алатау. Площади водосборов их до использованных в экспериментах створах (соответственно

с.Каратальское и с.Коксу) равны 1160 и 1590 км², а площади оледенения составляют 81,0 и 140,3 км². Ледники встречаются на высотах более 3000 м.

Совпадение рассчитанных и фактических гидрографов стока для рек Каратал и Коксу также достаточно хорошее. В качестве примеров на рис.2 и 3 оно показано для этих рек за 1970 г.

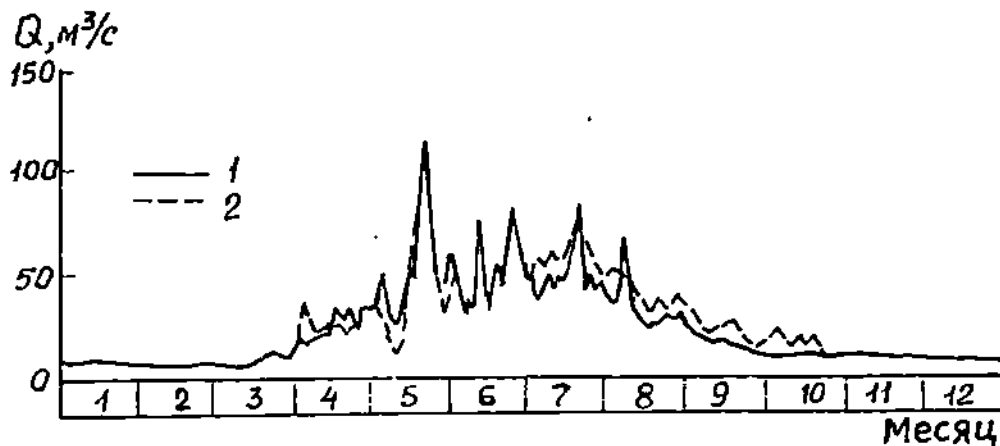


Рис. 2. Фактический (1) и рассчитанный (2) гидрографы стока р.Каратал у с.Каратальское за 1970 год

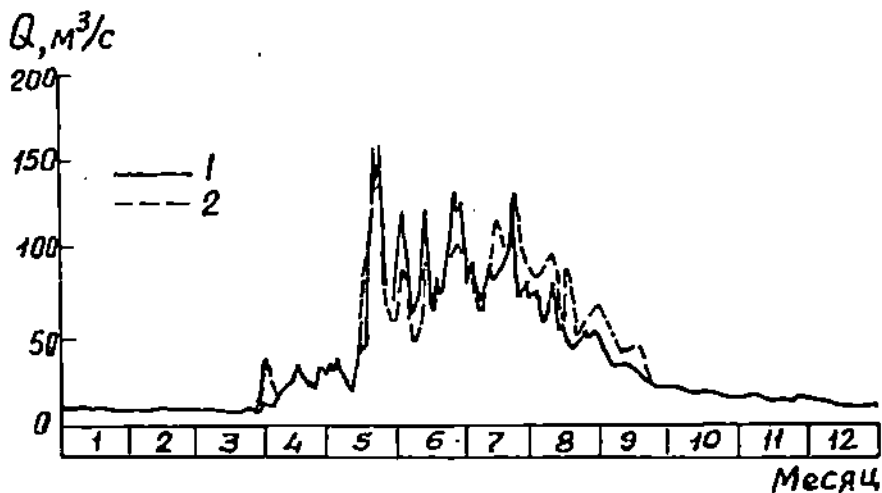


Рис. 3. Фактический (1) и рассчитанный (2) гидрографы стока р.Коксу у с.Коксу за 1970 год

Проведенные численные эксперименты показывают, что предлагаемая численная модель может успешно использоваться для расчета гидрографа стока горно-ледниковых бассейнов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубев Г.Н. Формирование речного стока в горно-ледниковых районах. - М.: Наука, 1988. - 105 с.
2. Голубцов В.В., Ли В.И., Строева Т.П. Определение поступления воды на поверхность ледниковой части горного бассейна // Гидрометеорология и экология. - 1996. - № 2. - С.126-132.
3. Макаревич К.Г. и др. Оледенение Заилийского Алатау / К.Г. Макаревич, Н.Н. Пальгов, Г.А. Токмагамбетов, Е.Н. Вилесов, П.А. Судаков, Р.Г. Голубева, Т.Я.Денисова, Н.Д. Егорова. - М.: Наука, 1969. - 286 с.
4. Макаревич К.Г. и др. Ледники Тууксу (Северный Тянь-Шань) / К.Г.Макаревич, Е.Н.Вилесов, Р.Г. Голубева, Т.Я.Денисова, П.Ф. Шабанов. - Л.: Гидрометеоздат, 1984. - 172 с.
5. Материалы наблюдений на горно-ледниковых бассейнах СССР. - Л.: Гидрометеоздат, 1980. - Вып.1. - 210 с.

Казахский научно-исследовательский институт мониторинга окружающей среды и климата

ТАУЛЫ-МҰЗДЫ СУ АЛҚАБЫНДАҒЫ АҒЫННЫҢ ҚАЛЫПТАСУ ПРОЦЕССИН МОДЕЛДЕУ

Геогр. ф. канд. В.В. Голубцов
Техн. ф. канд. В.И. Ли
Т.П. Строева

Таулы-мұзды су алқабында ағынның қалыптасу моделі көрсетілген. Кіші Алматы (Іле Алатауы жотасы), Қаратал және Көксу (Жоңғар Алатауы жотасы) өзендерінің су алқаптарындағы гидрометеорологиялық бақылау мәліметтеріне сүйеніп моделдің параметрлері анықталған және тексеруден өткізілген.