

УДК 556. 621. 72

**ГОРНОЛЕДНИКОВЫЙ БАССЕЙН: МОДЕЛИРОВАНИЕ
ГИДРОГРАФА РЕЧНОГО СТОКА**

Канд. геогр. наук В.В. Голубцов

Канд. техн. наук В.И. Ли

Рассматривается модель формирования стока с ледниковой поверхности бассейна горной реки. Приводятся алгоритмы заполнения емкостей, формирования потерь на замерзание воды при фильтрации через толщу снега и фирна, расчета интенсивности стокообразования на поверхность и в толще ледника, а также ее трансформации в гидрограф притока к гидрографической сети. Для демонстрации возможности предлагаемых алгоритмов приведены результаты моделирования стока в горно - ледниковом бассейне р. Малая Алматинка в створе урочища Сарысай.

Горноледниковый бассейн, как известно, состоит из ледниковой и неледниковой частей. Описание процесса формирования стока на его неледниковой части принципиально не отличается от описания аналогичного процесса в других высотных зонах горного бассейна. Рассмотрим процесс формирования стока в ледниково-моренной части бассейна. Ледниковая часть бассейна может быть представлена в виде двух последовательно соединенных регулирующих емкостей. При этом верхняя емкость может быть отождествлена с формированием стока на поверхности ледников и морен, а нижняя - с формированием стока в их толще.

Потери воды, образовавшейся в результате таяния снега, фирна и льда, как показали исследования Г. Н. Голубева [4], обуславливаются ее замерзанием в процессе фильтрации через снего-фирновую толщу и движения по поверхности льда под снегом. В процессе абляции происходит заполнение льдом свободной емкости снего-фирнового покрова и уменьшение потерь талой воды на замерзание.

Изменение общего дефицита замерзшей влаги в свободной емкости снего-фирнового покрова в зависимости от интенсивности ее заполне-

ния может быть выражено с помощью следующего дифференциального уравнения водного баланса:

$$\frac{dD}{dt} = -f; \quad D = W_{max} - W, \quad (1)$$

где D - 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 - интенсивность потерь воды на замерзание при фильтрации через толщу снега и фирна, мм/сут; t - время, сут.

Предположим, что f зависит от интенсивности поступления воды на поверхность ледниковой части рассматриваемого бассейна и степени заполнения емкости снего-фирнового покрова. Принимая в первом приближении зависимость интенсивности заполнения свободной емкости снего-фирнового покрова от дефицита воды в ней линейной, можно записать следующее соотношение:

$$\frac{f}{i} = \frac{D}{D_{max}}, \quad (2)$$

где $D_{max} = W_{max}$ - наибольший дефицит замерзшей воды в толще снега и фирна, мм; i - суммарное поступление воды с поверхности ледника, мм/сут.

Сведения о моделях расчета суммарного поступления воды на поверхность горно-ледникового бассейна приведены в работах [1 - 4, 6].

Соотношение (2) показывает, что по мере заполнения льдом свободной емкости снего-фирнового покрова поступление в нее воды от таяния снега, фирна и льда уменьшается. Определив из соотношения (2) значение f и подставив его в уравнение (1), получим:

$$\frac{dD}{dt} = -i \frac{D}{W_{max}}. \quad (3)$$

Решение этого дифференциального уравнения для суточных интервалов времени можно записать в следующем виде:

$$f = D_{n-1} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{i}{W_{max}}\right) \right\} \quad (4)$$

или

$$D_n = D_{n-1} \exp\left(-\frac{i}{W_{max}}\right), \quad (5)$$

где $D_{n-1} = W_{max} - W_{n-1}$; $D_n = W_{max} - W_n$ - соответственно, предшествующее и последующее значение емкости снего-фирнового покрова, мм.

Необходимо отметить, что для определения f и D_n также могут быть использованы следующие выражения:

$$f = D_{n-1} \operatorname{th} \frac{i}{W_{max}}, \quad (6)$$

$$D_n = D_{n-1} \left(1 - \operatorname{th} \frac{i}{W_{max}}\right). \quad (7)$$

Последующее значение запаса воды в рассматриваемой емкости принимается равным:

$$W_n = W_{n-1} + f. \quad (8)$$

Интенсивность стокообразования на поверхности ледников и морен и в их толще определяется следующим образом:

$$q = i - f. \quad (9)$$

Суммарный расход, характеризующий интенсивность стокообразования в ледниковой части может быть определен с помощью следующего выражения:

$$Q_q = 16,67 q F, \quad (10)$$

где Q_q - интенсивность стокообразования, м³/с; F - площадь ледниковой части бассейна, км².

Приток воды к гидрографической сети, сформировавшийся в первой (верхней) и второй (нижней) емкостях, характеризуется различной естественной зарегулированностью. Поэтому возникает необходимость разделения расхода Q_q на две части для отдельной трансформации в пределах указанных регулирующих емкостей:

$$Q'_q = \beta Q_q, \quad (11)$$

$$Q''_q = (1 - \beta) Q_q, \quad (12)$$

где Q'_q и Q''_q - соответственно, интенсивность стокообразования в верхней и нижней регулирующих емкостях, м³/с; β - параметр, характеризующий долю суммарного стока, поступающую в верхнюю регулируемую емкость.

В ходе численного эксперимента для бассейна р. Малая Алматинка параметр β может быть принят постоянным или изменяющимся в течение абляционного периода:

$$\beta = \beta_0 - \alpha \frac{\sum_1^k Q_q}{\frac{1}{n} \sum_1^n \sum_1^m Q_q}, \quad (13)$$

где k - продолжительность периода от начала абляции до расчетной даты, сут; m - общая продолжительность периода абляции в отдельные годы, сут; n - число лет наблюдений за абляцией; β_0 и α - параметры. Эти параметры могут быть приняты: $\beta_0 = 0,6$; $\alpha = 0,2$.

Трансформация интенсивности стокообразования Q'_q и Q''_q , соответственно, в интенсивность притока к гидрографической сети Q'_r и Q''_r чаще всего может быть осуществлена с помощью линейной модели:

$$Q'_{r(n)} = Q'_{r(n-1)} + a' [Q'_{q(n)} - Q'_{r(n-1)}], \quad (14)$$

$$Q''_{r(n)} = Q''_{r(n-1)} + a'' [Q''_{q(n)} - Q''_{r(n-1)}], \quad (15)$$

где a' и a'' - параметры трансформации, соответственно, для первой и второй регулирующей емкостей; $n-1$, n - индексы, соответственно, предшествующих и последующих суток.

Трансформация притока воды с ледниковых поверхностей в гидрограф стока осуществляется в процессе трансформации суммарного притока к гидрографической сети горного бассейна [5].

Необходимо отметить, что если приток к русловой сети осуществляется по поверхности открытой части ледника, то для трансформации интенсивности стокообразования в пределах верхней регулирующей емкости следует использовать нелинейные модели.

Параметры a' и a'' изменяются в течение абляционного периода и могут быть определены с помощью следующих выражений:

$$a' = a'_0 + \alpha' \frac{\sum_1^k Q_q}{\frac{1}{n} \sum_1^n \sum_1^m Q_q}, \quad (16)$$

$$a'' = a_0'' + \alpha'' \frac{\sum_l^k Q_q}{\frac{1}{n} \sum_l^n \sum_l^m Q_q}, \quad (17)$$

где a_0' , a_0'' , a' и α'' - параметры.

Следует отметить, что во многих случаях параметры a_0' и a_0'' изменяются в течение многолетнего периода. Эти изменения в последние десятилетия связаны с распадом горного оледенения. Поэтому при осуществлении непрерывного моделирования процесса формирования стока в горноледниковых бассейнах параметры a_0' и a_0'' следует принимать изменяющимися в зависимости от интегральных характеристик абляции ледников.

Выражения (16) и (17) отражают увеличение динамичности ледникового стока с увеличением продолжительности абляции. Параметры этих выражений были определены при проведении численного эксперимента по моделированию гидрографа стока р. Малая Алматинка в створе урочища Сарысай. В первом приближении они могут быть приняты равными: $a_0' = 0,1$; $\alpha' = 0,5$; $a_0'' = 0,01$; $\alpha'' = 0,05$. На рис. 1 и 2 приведено сопоставление рассчитанных и фактических гидрографов стока р. Малая Алматинка в створе урочища Сарысай за 1966 и 1967 гг.

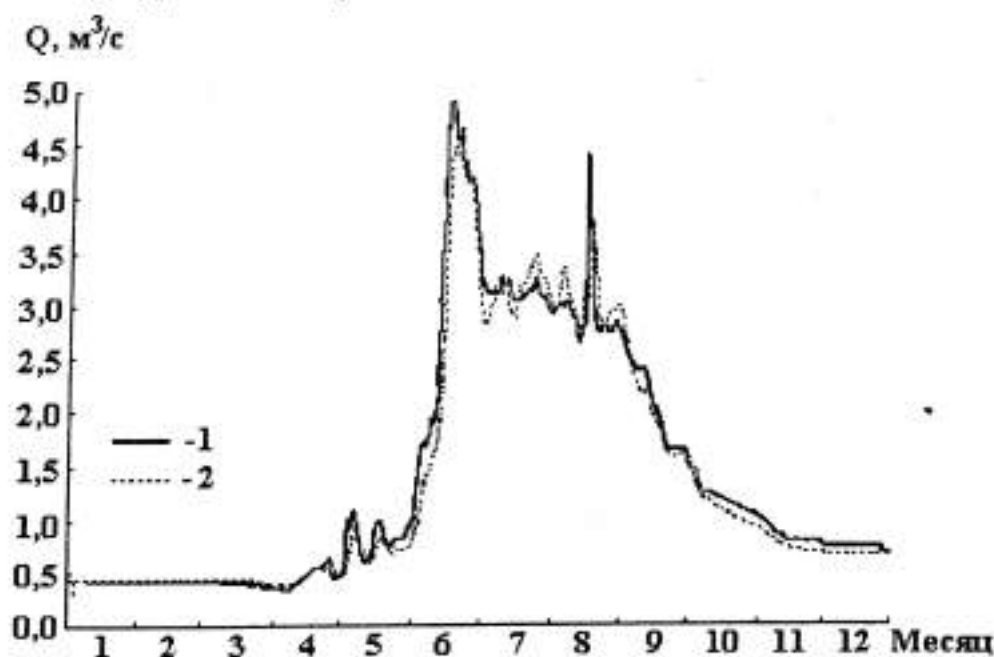


Рис. 1. Сопоставление рассчитанного и наблюдаемого гидрографа стока р. М. Алматинка в створе урочища Сарысай за 1966 г.

1 - наблюдаемый; 2 - рассчитанный.

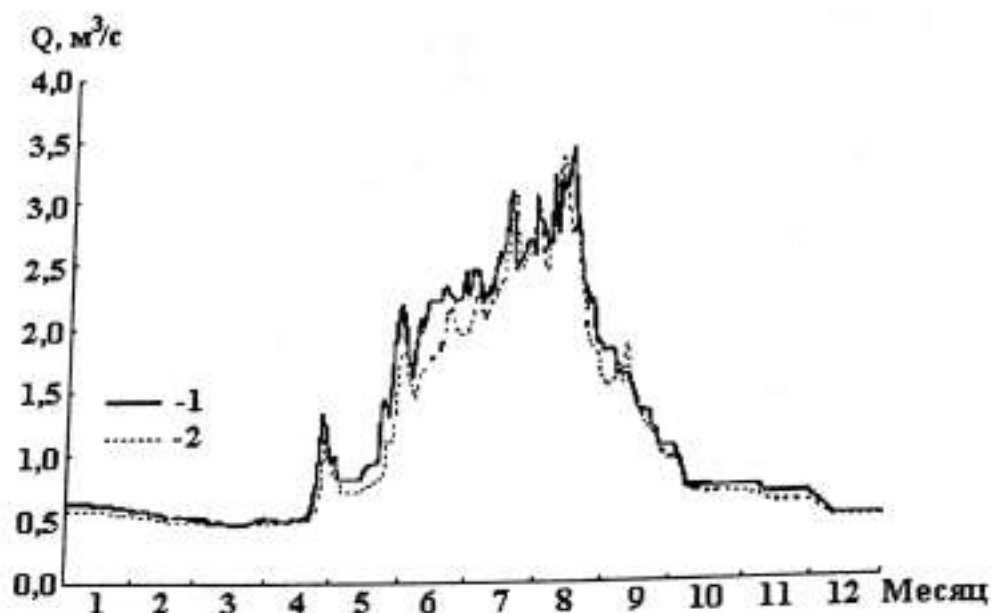


Рис. 2. Сопоставление рассчитанного и наблюдаемого гидрографа стока р. М. Алматинка в створе урочища Сарысай за 1967 г.

1 — наблюдаемый; 2 — рассчитанный.

Необходимо отметить, что р. Малая Алматинка использоавлась для оценки параметров модели формирования ледникового стока вследствие наибольшей изученности гляциальной зоны ее бассейна [7, 8, 9]. Выбор же створа выше урочища Сарысай обусловлен тем, что створ Мынжилки не полностью учитывает ледниковый сток р. Малая Алматинка. Доля ледникового стока в общем стоке учитываемом в створе урочища Сарысай составляет более 70 %, что позволяет с достаточной степенью достоверности оценить параметры модели формирования стока в ледниково-фирновой зоне. Это подтверждается хорошей сходимостью рассчитанных и фактических гидрографов стока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровикова Л.Н. и др. Математическое моделирование процесса стока горных рек / Боровикова Л.Н., Денисов Ю.М., Трофимова Е.Б., Шенцис И.Л. — Л.: Гидрометеиздат, 1972. — 151 с
2. Боровикова Л.Н., Денисов Ю.М. Модель поступления воды на поверхность горного бассейна и некоторые результаты ее проверки на бассейнах рек Западного Тянь-Шаня // Труды САНИИ. — 1970. — Вып. 52(67). — С. 3-20
3. Глазырин Г.Е. Распределение и режим горных ледников. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 181с.

4. Голубев Г.Н. Формирование речного стока в горно – ледниковых районах. -М.: Наука, 1968. – 105 с
5. Голубцов В.В. Моделирование стока горных рек в условиях ограниченной информации // Труды КазНИИ Госкомгидромета, 1985, вып. 91, С. 3 – 18.
6. Денисов Ю.М. Схема расчета гидрографа стока горных рек. - М.: Гидрометеиздат, 1965. - 102 с.
7. Ледники Туюксу (Северный Тянь-Шань)/ Макаревич К.Г., Вилесов Е.М., Голубева Р.Г. и др. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 172 с.
8. Материалы наблюдений на горно-ледниковых бассейнах СССР вып. 1, 1964 – 1969. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 210 с.
9. Оледенение Заилийского Алатау / Макаревич К.Г., Пальгов Н.Н., Тоқмагамбетов Г.А. и др. –М.: Наука, 1969. – 285 с.

Казахский научно-исследовательский институт
мониторинга окружающей среды и климата

ТАУЛЫ МҰЗДАҚТЫ АЛАП: ГИДРОГРАФИЯЛЫҚ ӨЗЕН АҒЫМЫН ҮЛГІЛЕУ

Геогр. ғылымд. канд. В.В. Голубцов

Техн. ғылымд. канд. В.И. Ли

Таулы өзен алабының мұздақты бетінде ағымның құрылу үлгісі қарастырылған. Сыйымдылықтарды толтыру, қар мен фирн қалыңдығы арқылы өткізген кездегі судың қатуы шығындарының құрылу, мұз бетінде және мұздақ қалыңдығындағы ағым пайда болуының және сонымен қатар оның гидрографиялық торапқа ағым гидрографы арқылы өтуінің есебі алгоритмдері келтірілген. Ұсынылып отырған алгоритмдердің мүмкіндіктерін көрсету үшін Кіші Алматы өзенінің Сарысай шатқалындағы таулы-мұздақты алабындағы ағымын үлгілеу нәтижелері келтірілген.