

УДК 556.166/167

Д.В. Уваров \*  
Канд. геогр. наук Л.П. Мазур \*\*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕДНИКОВОГО СТОКА Р. КИШИ АЛМАТЫ (МАЛАЯ АЛМАТИНКА)

*ЛЕДНИК, ГЛЯЦИАЛЬНАЯ ЗОНА, АБЛЯЦИЯ, ФИРНОВАЯ ЛИНИЯ, ОБЛАСТЬ АККУМУЛЯЦИИ, ОБЛАСТЬ АБЛЯЦИИ, ЯЗЫК ЛЕДНИКА, МОРЕНА, ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ТАЯНИЯ, ДЕГРАДАЦИЯ ОЛЕДЕНЕНИЯ, СТОК РЕКИ*

*Произведен анализ существующих методов оценки ледникового стока и высоты фирновой линии. Рассчитан ледниковый сток р. Киши Алматы за конкретные годы многолетнего периода и рассмотрена его динамика с учетом деградации оледенения и изменения основных климатических характеристик в этом бассейне. Проанализировано изменение доли ледникового стока в общем стоке р. Киши Алматы. Определена доля ледникового стока каждого ледника в общей величине ледникового стока реки. Выявлены новые закономерности, зависимости, уточнены некоторые формулы, используемые при расчетах ледникового стока.*

Глобальное потепление климата, деградация оледенения требуют неотложного решения ряда практических и научных гидрологических задач. Одной из них является оценка стока с горных ледников. Несмотря на то, что в последние десятилетия решению этой задачи уделялось много внимания, она остается весьма актуальной и сложной, а общепринятые утвержденные указания, тем более «Наставление» по расчету ледникового стока отсутствуют.

Такое положение обусловлено труднодоступностью высокогорий, недостаточной изученностью горных ледниковых районов, трудностями наблюдений и измерений методического и технического характера, зачастую неопределенностью и неуверенностью в полученных результатах, анализ которых требует глубочайших знаний физических процессов, происходящих на ледниках, а также местных условий.

---

\* Институт географии, г. Алматы

\*\* КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы

Так, например, кажущийся с первого взгляда простой вопрос – наблюдения стаявания с поверхности ледника, является на практике сложным из-за наличия микрорельефа и микроэкспозиции, образования ледяной щетины, периодического выпадения снега, выбора места и способа установки реек и других причин. Зачастую большие различия имеют место в показаниях осадкомерных и других приборов, установленных в высокогорной зоне примерно на одинаковой высоте. Эти обстоятельства при расчетах ледникового стока заставляют делать ряд допущений.

К трудностям определения ледникового стока добавляет отсутствие единства в трактовке понятия «ледниковый сток» различными учеными. Так, В.Л. Шульц [22] под этим термином подразумевал сток, формирующийся только от таяния льда на языках ледников. По мнению О.П. Щегловой [24], такое определение не совсем верно и может применяться только для ледников с низким энергетическим балансом, где климатическая снеговая линия занимает высокое положение, и сток с фирновой области незначителен. За ледниковый сток ею предложено принимать суммарный сток от таяния льда и фирна. Согласно точке зрения Т.С. Абальян [1], основной сток с гляциальной зоны осуществляется с фирновых полей, поэтому за ледниковый сток ею предложено принимать его величину. Однако такое определение приемлемо только для ледников с очень высоким энергетическим балансом.

В.Г. Коновалов [8] к ледниковому стоку относит сток от таяния льда под мореной, открытого льда и старого фирна. Сток от таяния сезонного снега на поверхности ледников, по его мнению, следует относить к снеговому питанию реки.

Интенсивное развитие воднобалансовых исследований в горных районах Казахстана в 60е-70е годы прошлого столетия было невозможно без количественной оценки ледникового стока. По этой проблеме, прежде всего, выполнены исследования учеными АН КазССР [3] и КазНИГМИ [18, 19]. В указанных работах предложены методики расчета ледникового стока и дана трактовка понятия «ледниковый сток».

За ледниковый сток, как по методике АН КазССР [3], так и по методике КазНИГМИ [18, 19] предложено принимать сток от таяния снега и фирна в зоне аккумуляции ледников, сток от таяния сезонного снега на языках ледников и фронтальных моренах, сток от таяния льда на языках ледников, сток от подледникового таяния на нижних поверхностях ледников и сток от жидких осадков.

В последнее время в ряде работ, например в [4] при расчетах ледникового стока площадь ледника берется без учета морены «фернау».

В наших исследованиях за ледниковый сток принимается трактовка, изложенная в [3].

Для расчетов и определений величин ледникового стока к настоящему времени существуют следующие методы:

- метод вертикального расчленения гидрографов стока;
- метод водного баланса;
- метод непосредственных наблюдений за стоком с ледников;
- генетический метод;
- метод расчета ледникового стока по суммам положительных температур воздуха и температурным коэффициентам таяния снега и льда;
- расчет по эмпирическим и полуэмпирическим формулам, с применением различных гидрометеорологических характеристик (средней летней температуры воздуха, атмосферных осадков и др.)

Впервые метод выделения ледникового стока на гидрографе стока горной реки применен в 1938 г. М.М. Львовичем для рек Средней Азии. Далее различные способы расчленения гидрографа стока горных рек по типам питания с выделением ледникового стока предложены рядом ученых (Шеглова О.П., 1960; Лаврентьев П.Ф. и Соседов И.С., 1961; Литовченко А.Ф., 1963; Комлев А.М., 1966; Голубев Г.Н, 1968; Кеммерих А.О., 1974 и др.). Однако до настоящего времени нет ни общепризнанного метода расчленения гидрографа стока горной реки с ледниковым питанием, ни единого мнения по выделению ледникового стока на гидрографе.

Применение метода водного баланса ограничено трудностями получения всех составляющих воднобалансового уравнения для определения ледникового стока с приемлемой точностью. По указанной причине данный метод может применяться на репрезентативных ледниках, в районе которых производится большой комплекс гляциогидрометеорологических наблюдений и измерений.

Метод непосредственных наблюдений и измерений ледникового стока представляет собой весьма трудоемкую и сложную в методическом отношении задачу. Его применение требует больших физических и материальных затрат и зачастую не приводит к желаемым результатам. При организации гидрологических постов на приморенных участках русел рек

с ледниковым питанием может недоучитываться значительная часть ледникового стока из-за наличия подрусового стока (20...40 % и более от общего стока с гляциальной зоны). При измерениях ледникового стока непосредственно на леднике, где имеется несколько водотоков и ручейковая сеть приходится открывать несколько гидропостов. Измерения стока при этом также сложны из-за частой и значительной деформации русел.

Генетический метод определения ледникового стока физически достаточно обоснован. При расчете этим методом весь ледниковый бассейн разбивается на элементарные площадки (участки местности) по принятым критериям дифференциации. Для каждой площадки с применением метода теплового баланса, с учетом потерь, определяется водоотдача за каждые сутки, которая далее суммируется в пространстве и во времени. Полученная сумма принимается за общую величину ледникового стока. Метод сложен и трудоёмок, так как требует много информации как при разбивке на элементарные площадки, так и для последующих расчетов, поэтому пока не нашел широкого применения. Однако он перспективен для дальнейших исследований ледникового стока, особенно в условиях широкого использования компьютерной техники. Идея данного метода еще в 1958 году высказана Пальговым Н.Н. [15].

Метод расчета ледникового стока по суммам положительных среднемесячных температур воздуха и температурным коэффициентом таяния снега и льда – один из наиболее распространенных. Он основан на физической зависимости таяния льда и снега от температуры воздуха. Метод имеет ряд разновидностей, отличающихся схемами расчета, предложенными различными авторами. Идея этого метода разработана М.А. Великановым еще в 1932 году [2], при этом формула для расчета ледникового стока там была дана в виде:

$$W = F \cdot a \sum (+Q_{cp}), \quad (1)$$

где  $F$  – площадь оледенения;  $\sum (+Q_{cp})$  – сумма положительных среднесуточных температур в ледниковой области;  $a$  – коэффициент стаивания.

Формула (1) может быть пригодна только для ледников малого размера, так как она не учитывает гипсографическое распределение оледенения и вертикальные градиенты абляции.

Наиболее известными последующими вариантами данного метода, учитывающими гипсометрию ледников, являются методы В.Л. Шульца, А.С. Щетинникова, П.А. Черкасова, Р.Г. Шенгелия, Б.А. Камалова,

В.А. Семёнова, метод АН КазССР (Е.Н. Вилесова, И.С. Соседова, К.Г.Макаревича) и ряд других.

К методам расчета абляции ледникового стока с применением эмпирических и полуэмпирических формул следует отнести, прежде всего, метод А.Н. Кренке и В.Г. Ходакова, которые предложили следующую зависимость для расчета годовой суммарной абляции по средней летней температуре на расчетном уровне:

$$A_{\text{л}} = (t_{VI-VIII} + 9,5)^3, \quad (2)$$

где  $A_{\text{л}}$  – суммарная годовая абляция на расчетном высотном уровне, т.е. слой в основном стаявшего и в незначительной части испарившегося за весь сезон снега и льда, в мм;  $t_{VI-VIII}$  – средняя температура над ледником за летние месяцы на расчетном высотном уровне, в °С.

На основе глобальной формулы (2) Мазур Л.П. [23] получены две региональные формулы (3) и (4) для расчета суммарной абляции поверхности ледника в условиях Илейского Алатау, которые имеют вид:

$$A_{\text{л}} = 644 \cdot 1,44^{t_{VI-VIII}}, \quad (3)$$

$$A_{\text{л}} = 933 \cdot 1,46^{t_{V-IX}}, \quad (4)$$

где  $t_{VI-VIII}$  и  $t_{V-IX}$  – средняя температура воздуха на заданной высоте ледника.

Для ледника Туюксу региональные формулы расчета суммарной годовой абляции разработаны Е.Н. Вилесовым и В.Н. Уваровым и приведены в [4].

Формулы (2) – (4) могут быть применены для воднобалансовых и гидрологических расчетов, а также для решения ряда практических задач по использованию речного стока, когда достаточно знать лишь суммарный объем стока с гляциальной зоны, который можно определить по суммарной абляции поверхности ледников.

В результате проведенного анализа методов расчета ледникового стока можно сделать вывод, что наиболее приемлемым с точки зрения качества, требований к наличию исходной информации, масштабов применения, является метод расчета ледникового стока рек по суммам положительных среднесуточных температур воздуха и температурным коэффициентам таяния льда, снега и смешанного таяния. Он может быть использован как для оценки отдельных составляющих ледникового стока, так и для его общего объема. Широкое применение получил также метод А.Н. Кренке - В.Г. Ходакова. Этот метод может использоваться отдельно

или в комплексе с другими методами для оценки ледникового стока, его доли в общем стоке реки, расчетах водного баланса горных водосборов и других целей.

Отметим, что для применения любого метода расчета ледникового стока необходимо, прежде всего, иметь морфолого-морфометрические характеристики ледниковой зоны, сведения о её гляциогидрометеорологической изученности и глубоко изучить особенности оледенения и режима таяния ледников в исследуемом бассейне реки.

Данная работа посвящена оценке ледникового стока в репрезентативном для северного склона Илейского Алатау горном бассейне р. Киши Алматы. Репрезентативность бассейна р. Киши Алматы для Илейского (Заилийского) Алатау по физико-географическим условиям, гипсометрии, условиям формирования стока воды показана в трудах ряда ученых (Коровина В.И., Пальгова Н.Н., Соседова И.С., Литовченко А.Ф., Макаревича К.Г., Вилесова Е.Н., Федюшиной Л.П., Мазур Л.П. и др.).

В бассейне р. Киши Алматы расположен ледник Центральный Туюксу, значимость которого для исследований ледников убедительно показана, например, в работах Вилесова Е.Н., Уваро В.Н. [4] и Макаревича К.Г. [14]. Согласно этим работам ледник Туюксу прежде всего репрезентативен для ледниковой системы северного склона Илейского Алатау, т.к. имеет близкие к средним для хребта гипсометрические, морфометрические, экспозиционные и другие показатели. Баланс массы ледника Центральный Туюксу близок к средней величине баланса массы, определенной по 30 ледникам мира, имеющим многолетние ряды наблюдений и находящимся в различных условиях, и в некоторой степени мировую тенденцию в режиме оледенения в условиях глобального потепления климата. Исследованиями охвачены все стороны режима и жизни ледника. Ледник Туюксу – самый изученный в Казахстане и Центральной Азии и входит в число десяти наиболее исследованных ледников Земли, период изучения которых продолжается более 50 лет. Библиография по леднику Туюксу, составленная Е.Н. Вилесовым, включает 400 названий, в том числе значительная часть – публикации в дальнем зарубежье.

Установленная гляциогидрометеорологическая репрезентативность ледника Туюксу свидетельствует о необходимости сохранения, усовершенствования и дальнейшего развития комплекса наблюдений и измерений на этом опорном, эталонном леднике, который является одним из тестовых ледников Мировой службы мониторинга ледников (WGMS).

В результате анализа многочисленных методов оценки ледникового стока, как уже было отмечено выше, для его расчетов нами избран метод, разработанный в Академии Наук КазССР [3] с уточнениями, приведенными в работе Е.Н. Вилесова, В.Н. Уварова [4].

Этот метод учитывает целый комплекс факторов формирования ледникового стока, наиболее обоснован фактическими данными наблюдений в ледниковой зоне, требует небольшой объем исходной информации, как при расчетах в среднем за многолетний период, так и за конкретные годы. В настоящее время он широко применяется и имеет значительные возможности для дальнейшего усовершенствования. Подробный анализ метода приведен в работах [10-12]. Метод основан на результатах предыдущего детального изучения ледников.

Суммарная величина стока с гляциальной зоны ( $y$ ) по указанному методу складывается из следующих величин: стока от таяния сезонного снега на языках ледников ( $s$ ) и фронтальных моренах ( $m$ ); стока от таяния снега и фирна в зоне аккумуляции ледников ( $f$ ); стока от таяния льда на языках ледников ( $i$ ) и фронтальных моренах ( $d$ ); стока от подледникового таяния на нижних поверхностях ледников ( $g$ ), т.е.:

$$y = f + s + m + i + d + g . \quad (5)$$

Величина  $g$  на 2...3 порядка меньше остальных составляющих ледникового стока и ею обычно пренебрегают [3]. Для получения объема ледникового стока необходимо слой стаивания умножить на соответствующую ему площадь, а полученные результаты суммировать.

При расчетах стока с гляциальной зоны по этой методике использованы значения градиентов температуры воздуха, сведения о которых приведены в работах [10, 13], а также учтен коэффициент стока с морен, согласно исследованиям Г.Н. Голубева. В остальном она была принята без изменений согласно [3, 4]. В методике имеются некоторые недостатки: принятие постоянных во времени температурных коэффициентов таяния снега и льда, принятие равномерности распределения осадков по площади ледниковой зоны, отсутствие рекомендаций по расчету высоты фирновой линии за конкретные годы при отсутствии данных наблюдений и аэрофотосъемок. Тем не менее она дает достаточно реальные результаты не только при расчете общего объема стока с гляциальной зоны, но и при расчете его составляющих. Это было установлено сопоставлением расчетных слоев стаивания льда, сумм осадков в гляциальной зоне и суммарных объемов

стока с гляциальной зоны с фактическими данными наблюдений в ледниковой зоне бассейна р. Киши Алматы [10, 12].

Расчет стока с гляциальной зоны бассейна р. Киши Алматы произведён за конкретные годы периода 1957...1996 гг. Предварительно был проведён анализ изменения площади оледенения бассейна за многолетний период колебаний основных метеорологических характеристик (температуры воздуха и атмосферных осадков) в гляциальной зоне, а также методов определения высоты фирновой линии за конкретные годы.

Первый Каталог ледников северного склона Илейского Алатау по их состоянию на 1955 г. составлен Е.Н. Вилесовым и Р.В. Хониным. Второй каталог оледенения этого района составлен под руководством П.А. Черкасова в 1974 г. Следующие морфолого-морфометрические характеристики ледников составлены по состоянию на 1974 г. Е.Н. Вилесовым, совместно с К.Г. Макаревичем и В.Г. Поляковым, а по данным аэрофотосъемки (АФС) 1990 г. – Е.Н. Вилесовым и В.Н. Уваровым. По материалам 1990 г. на основе карт М 1:25000 П.А. Черкасовым составлен очередной каталог. Площади ледников северного склона Илейского Алатау, в том числе бассейна р. Киши Алматы, на 2008 г. приведены в Каталоге ледников, составленном и подготовленном к публикации А.Л. Кокаревым и И.Н. Шестеровой. Вышеизложенные сведения о каталогах ледников содержатся в работе [7], а размеры площадей оледенения на 2008 г., динамика площадей в многолетнем разрезе и другие сведения в работах [6, 7, 17]. В табл. 1 приведены данные о размерах площадей ледниковой зоны бассейна р. Киши Алматы на различные годы, характеризующие эволюцию оледенения этого бассейна.

Таблица 1  
Площади открытой части ледников бассейна р. Киши Алматы за период с 1955...2008 гг., км<sup>2</sup> [7]

Год					Изменение площади, %		Площадь морены на 2008 г, км <sup>2</sup>
1955	1974	1979	1990	2008	за весь период	за год	
9,3	7,4	8,1	6,5	5,7	-39	-0,74	2,7

На рис. 1 наглядно показано изменение площади оледенения бассейна р. Киши Алматы. Наиболее сильная деформация наблюдается в диапазоне высот от 3400 до 3750 м. Также следует отметить две скачкообразных деформации на высотах 3950 и 4150 м. Площадь оледенения уменьшилась за период 1955...1990 гг., примерно на 30 %, а за период 1955...2008 гг. на 39 % (см. табл. 1).

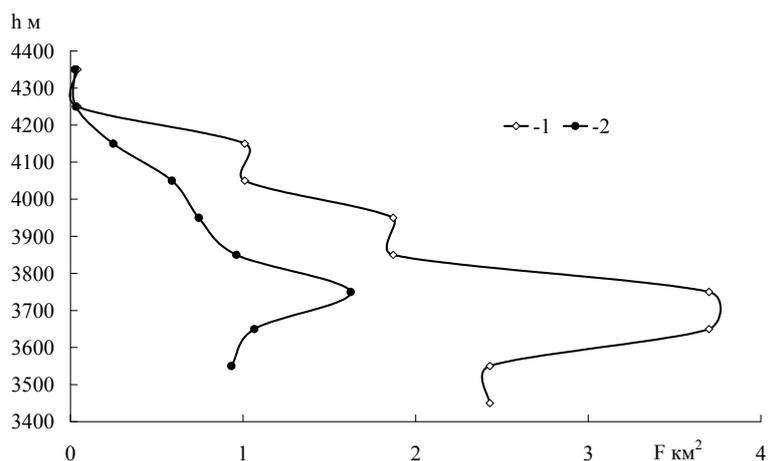


Рис. 1. Изменение площади оледенения бассейна р. Киши Алматы.  
1 – 1960 г., 2- 1990 г.

На рис. 2 приведено совмещенное распределение по высотным зонам площади оледенения бассейна р. Киши Алматы и ледника Туюксу по состоянию на 1990 г. Данный график еще раз свидетельствует о репрезентативности ледника Туюксу для оледенения бассейна р. Киши Алматы.

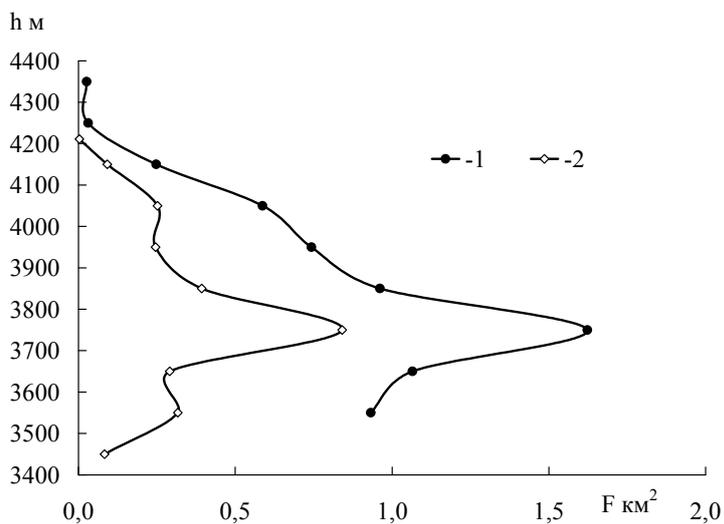


Рис. 2. Совмещенный график распределения площади оледенения р. Киши Алматы (1) и ледника Туюксу (2) по состоянию на 1990 г.

Для характеристики оледенения большой интерес имеют сведения о моренном покрове, который представляет собой незадернованные обломочные покровно-грядовые образования в виде морен современных лед-

ников и морен оледенения стадии фернау (середина 19 века), представляющих собой сложный геоморфологический комплекс [16]. Толщина моренного покрова изменяется в значительных пределах. На боковых и срединных моренах вблизи границы питания слой щебня и мелких камней составляет 1...3 см, в средней части ледников – 5...10 см, в нижней части – 20...30 см. На фронтальных моренах толщина чехла колеблется от нескольких десятков сантиметров до 1...2 м и более. На фронтальных моренах под поверхностным чехлом почти всюду имеются ядра законсервированного моренного льда, который обычно состоит не из одного монолита, а из серии дифференцированных блоков реликтовых «мертвых» льдов [4].

По данным, приведенным в работе Т.Г. Токмагамбетова [20], при выполнении настоящих исследований Д.В. Уваровым были построены графики зависимости площади морен и заморенности от площади оледенения в бассейнах рек северного склона Илейского Алатау и получены полуэмпирические формулы этих зависимостей в виде:

$$y = -0,0016x^2 + 0,263x + 0,3683, \quad (6)$$

$$y' = 278733x_1^{-3,061}, \quad (7)$$

где  $y$  и  $x_1$  – соответственно заморенность (км<sup>2</sup>) и  $x_1$  – степень заморенности (в %);  $x$  и  $y'$  – площадь бассейна.

На рис. 3 приведена зависимость площади морен от площади ледников для северного склона Илейского Алатау.

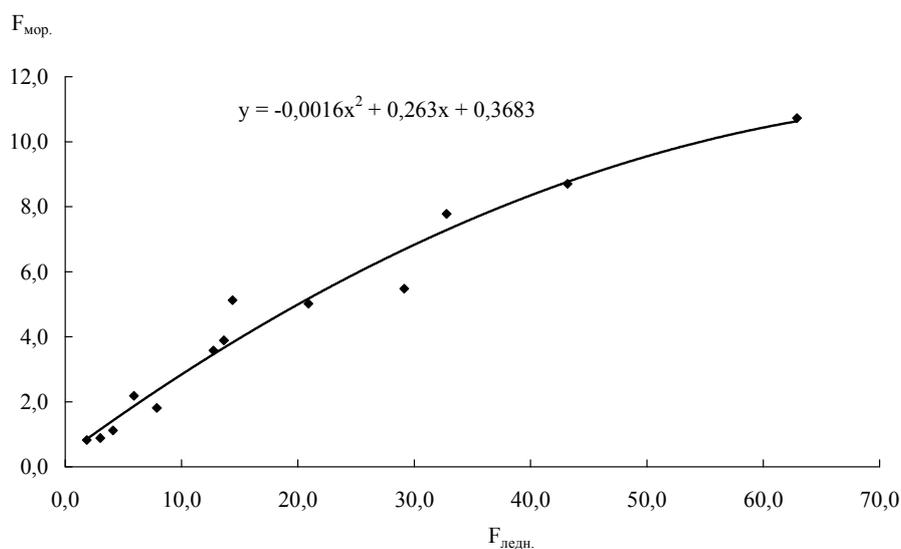


Рис. 3. Зависимость площади морен от площади ледников северного склона Илейского Алатау по состоянию на 1990 год.

Как следует из анализа методов расчета ледникового стока, большое значение для определения абляции и стока с гляциальной зоны имеет определение высоты фирновой линии, которая является границей питания и разделяет области питания и таяния ледников.

Методы определения высоты фирновой линии в среднем за многолетний период и за конкретные годы содержатся в работах Н.Н. Пальгова [15], О.П. Щегловой [23], Е.Н. Вилесова, В.Н. Уварова [4] и др. Высоту фирновой линии можно оценить по данным о таянии ледника, по аэрофотосъемкам и космическим снимкам, по непосредственным наблюдениям.

Проведенный авторами анализ существующих методов определения высоты фирновой линии показал, что для её расчета в условиях северного склона Илейского Алатау наиболее целесообразно применять методы О.П. Щегловой [23, 24] и Е.Н. Вилесова - В.Н. Уварова [4], а для расчета за конкретные годы наилучшие результаты можно получить по формуле Н.Н. Пальгова [15], в которую входит сумма атмосферных осадков за период с сентября предыдущего года по август текущего и средняя летняя температура воздуха (VI – VIII) по М Мынжилки. Однако эта формула из-за деградации оледенения требует уточнения.

На основании имеющихся материалов наблюдений за высотой фирновой линии на ледниках бассейна р. Киши Алматы и концепции формулы Н.Н. Пальгова [15], Л.П. Мазур было предложено несколько формул для расчета высоты фирновой линии за конкретные годы [11-13]. Формула, предложенная в [13], была уточнена с использованием более обширного фактического материала о высоте фирновой линии. Уточненный вариант формулы имеет вид:

$$\Phi = 3800 + 70\Delta t - 0,56\Delta x, \quad (9)$$

где  $\Phi$  – высота фирновой линии за конкретный год;  $\Delta t$  – отклонение от нормы средней за VI–VIII температуры воздуха по М Мынжилки за конкретный год, в  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta x$  – отклонение от нормы осадков, в мм за период с сентября по август по той же метеостанции. Средняя ошибка расчёта по формуле(9)  $\pm 25$  м.

На рис. 4 показан совмещенный многолетний ход величин высоты фирновой линии в ледниковой зоне бассейна р. Киши Алматы, годовых (сентябрь – август) атмосферных осадков и летней температуры воздуха (средней за июнь – август) по М Мынжилки.

График наглядно демонстрирует повышение тренда высоты фирновой линии (1937...1997 гг.) с 3650 м до 3750 м, значительное

изменение летней температуры воздуха (с 6,2 до 7,5 °С), а также увеличение колебаний высоты фирновой линии по годам, начиная с 1977. Это требует дополнительного анализа.

Трендовая линия осадков за исследуемый период показывает, что годовая сумма осадков практически не изменилась и их колебания из года в год компенсируются друг другом. Ярко выраженный минимум наблюдался в 1944 г. максимум был в 1966 г.

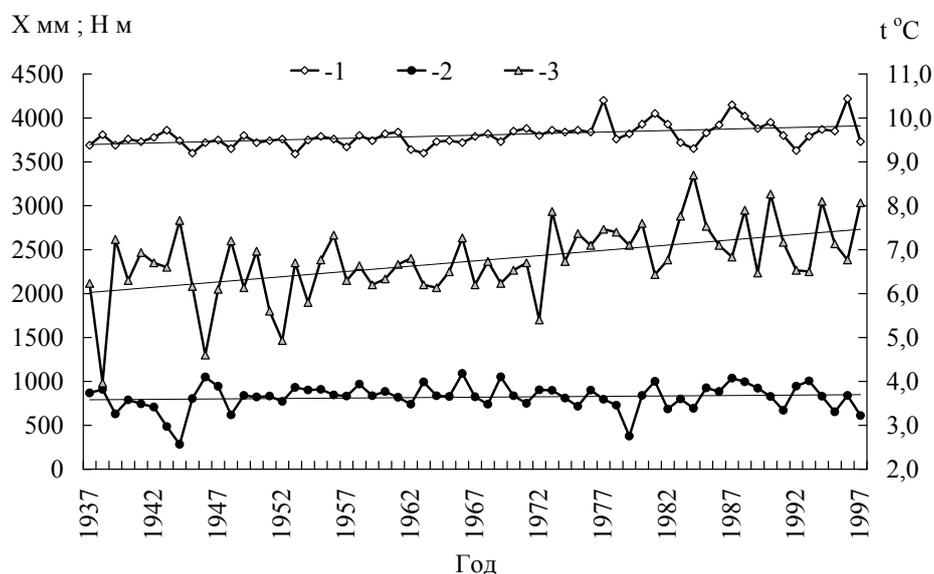


Рис. 4. Совмещенный график многолетнего хода высоты фирновой линии (1), атмосферных осадков (2) и температуры воздуха (3) за период с 1937...1997 гг.

В табл. 2 приведены результаты расчета ледникового стока р. Киши Алматы за конкретные годы 40-летнего периода (1957...1996 гг.)

Таблица 2

Результаты расчёта ледникового стока р. Киши Алматы за конкретные годы периода 1957...1996 гг. по методике АН КАЗССР [3]

Год	Составляющие стока					У <sub>л</sub> , млн. м <sup>3</sup>
	<i>f</i>	<i>i</i>	<i>s</i>	<i>m</i>	<i>g</i>	
1957	0,62	2,62	1,39	3,01	0,08	<b>7,72</b>
1958	1,99	2,08	2,57	1,58	0,08	<b>8,30</b>
1959	1,23	5,21	2,74	4,38	0,14	<b>13,70</b>
1960	0,80	3,10	1,69	3,19	0,09	<b>8,87</b>
1961	0,78	4,68	2,08	5,33	0,13	<b>13,00</b>
1962	0,74	4,67	2,09	4,67	0,12	<b>12,29</b>
1963	1,95	2,12	2,46	1,87	0,08	<b>8,48</b>

Год	Составляющие стока					У <sub>л</sub> , млн. м <sup>3</sup>
	<i>f</i>	<i>i</i>	<i>s</i>	<i>m</i>	<i>g</i>	
1964	1,83	1,97	2,34	1,1	0,07	<b>7,31</b>
1965	0,90	3,60	2,10	3,30	0,10	<b>10,00</b>
1966	1,42	5,68	2,98	3,98	0,14	<b>14,20</b>
1967	0,72	2,52	1,8	2,97	0,09	<b>8,10</b>
1968	0,55	4,07	1,76	4,51	0,11	<b>11,00</b>
1969	0,91	3,62	1,9	2,45	0,18	<b>9,06</b>
1970	0,73	3,43	1,77	4,26	0,21	<b>10,40</b>
1971	0,54	3,67	1,62	4,75	0,22	<b>10,80</b>
1972	0,56	3,44	1,6	2,62	0,18	<b>8,40</b>
1973	0,76	4,41	3,29	1,23	0,08	<b>9,77</b>
1974	0,69	4,33	3,07	1,17	0,08	<b>9,34</b>
1975	0,76	4,25	2,54	0,99	0,08	<b>8,62</b>
1976	0,79	4,17	3,81	1,51	0,08	<b>10,36</b>
1977	0,71	5,22	2,65	1,07	0,11	<b>9,76</b>
1978	0,35	8,92	2,15	0,89	0,18	<b>12,49</b>
<b>Среднее за 1957...1978 гг.</b>	<b>0,88</b>	<b>3,82</b>	<b>2,19</b>	<b>2,64</b>	<b>0,11</b>	<b>9,65</b>
1979	0,68	3,93	1,13	0,47	0,08	<b>6,29</b>
1980	0,84	5,12	3,01	1,29	0,11	<b>10,37</b>
1981	0,56	3,78	3,06	1,34	0,08	<b>8,82</b>
1982	0,68	3,70	1,85	0,83	0,08	<b>7,14</b>
1983	0,50	3,56	2,60	1,19	0,08	<b>7,93</b>
1984	0,74	3,54	2,48	1,16	0,08	<b>8,00</b>
1985	0,66	4,24	2,60	1,24	0,10	<b>8,84</b>
1986	0,70	4,31	2,71	1,33	0,11	<b>9,16</b>
1987	0,82	4,21	3,43	1,72	0,11	<b>10,29</b>
1988	0,61	4,11	2,51	1,29	0,11	<b>8,63</b>
1989	0,63	2,88	2,39	1,26	0,08	<b>7,24</b>
1990	0,50	3,91	2,09	1,13	0,11	<b>7,74</b>
1991	0,59	3,81	1,19	0,66	0,11	<b>6,36</b>
1992	0,63	2,91	2,11	1,2	0,08	<b>6,93</b>
1993	0,55	3,61	2,26	1,32	0,11	<b>7,85</b>
1994	0,46	2,75	2,08	1,25	0,08	<b>6,62</b>
1995	0,45	2,67	1,35	0,84	0,08	<b>5,39</b>
1996	0,41	5,43	1,82	1,16	0,17	<b>8,99</b>
<b>Среднее за 1978...1996 гг.</b>	<b>0,61</b>	<b>3,80</b>	<b>2,26</b>	<b>1,15</b>	<b>0,10</b>	<b>7,92</b>
<b>Среднее за 1957...1996 гг.</b>	<b>0,78</b>	<b>3,91</b>	<b>2,28</b>	<b>2,04</b>	<b>0,11</b>	<b>9,11</b>

На рис. 5 изображен многолетний ход полученных расчетных величин ледникового стока, который свидетельствует о его значительном изменении за 40-летний период. Основная причина этого изменения – увеличение температуры воздуха, вследствие которого к настоящему времени уже растаяла значительная часть площади ледников бассейна р. Киши Ал-

маты. Максимальное значение ледникового стока наблюдалось в 1966 г. и составило 14,2 млн. м<sup>3</sup>, минимальное же составило 5,4 млн. м<sup>3</sup> в 1995 г. Учёт данных о ледниковом стоке р. Киши Алматы за годы вошедшие в рассматриваемый расчётный период, позволяет сделать вывод, что он колебался в диапазоне от 5 до 15 млн. м<sup>3</sup>.

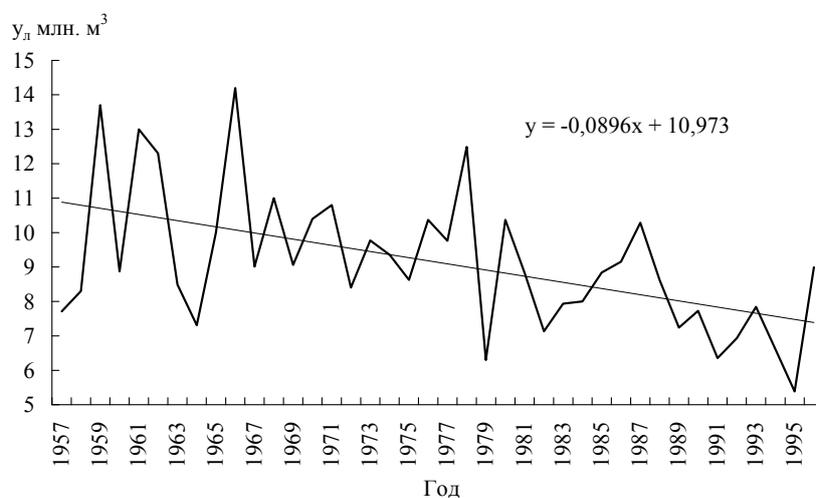


Рис. 5. Изменение ледникового стока р. Киши Алматы за период 1957...1996 гг.

На рис. 6 приведена разностная интегральная кривая модульных коэффициентов ледникового стока р. Киши Алматы, построенная по расчетным данным. Кривая свидетельствует о том, что от начала расчетного периода по 1978 г. включительно наблюдался период с ледниковым стоком выше среднемноголетнего значения, а позже наблюдается понижение ледникового стока, несмотря на повышение температуры воздуха, вследствие постепенной деградации оледенения бассейна. Особенно чётко тенденция уменьшения ледникового стока прослеживается по графику скользящих десятилетних средних значений величин ледникового стока р. Киши Алматы (рис. 7). Тренд на этом рисунке показывает, что ледниковый сток постепенно уменьшается и за 40 лет уменьшился почти в 1,4 раза, то есть с уменьшением площади оледенения в бассейне уменьшается и сток со всей площади гляциальной зоны.

Кроме общего стока с гляциальной зоны р. Киши Алматы, был рассчитан сток с каждого ледника в отдельности. По этим расчётам наибольший объём стока даёт ледник Центральный Туяксу – 34,3 % от всего ледникового стока бассейна. На ледник Иглы Туяксу приходится 25,9 %, на

ледник Молодёжный – 20 %, то есть на 3 этих ледника приходится 80,2 % ледникового стока реки. Самый малый объём стока имеет ледник Партизан (1,1 %), что можно объяснить тем отсутствием у него площади абляции.

Как известно, одной из важнейших задач исследования ледникового стока является оценка его роли в питании рек. Одним из способов такой оценки может быть сопоставление объёма ледникового стока с общим объёмом стока реки. В табл. 3 приводится такое сопоставление.

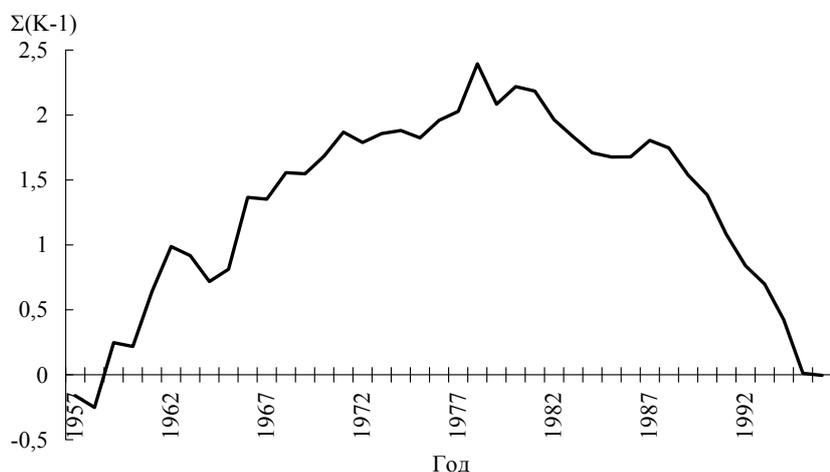


Рис. 6. Разностная интегральная кривая модульных коэффициентов ледникового стока р. Киши Алматы за период 1957...1996 гг.

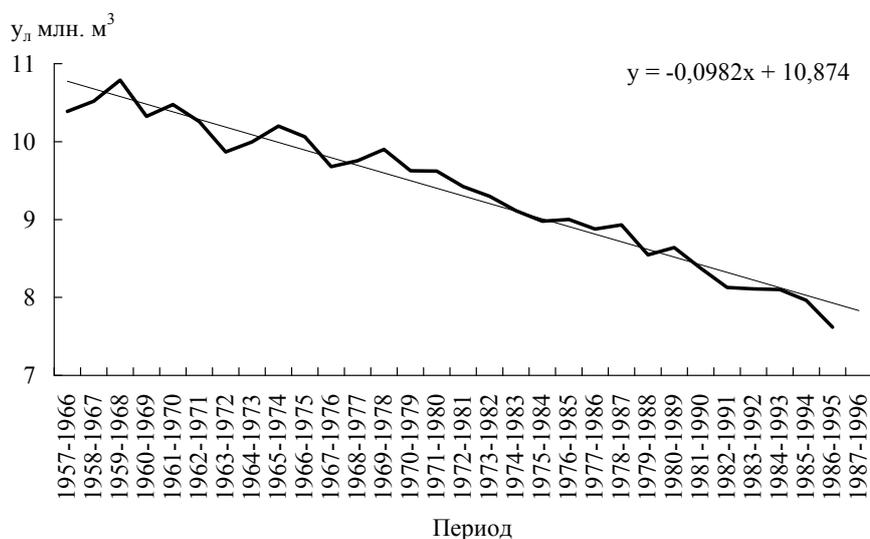


Рис. 7. Скользящие десятилетние средние значения величины ледникового стока.

Таблица 3

Сопоставление ледникового стока р. Киши Алматы с её общим стоком в створах различных гидропостов (г/п)

Год	Ледниковый сток $U_{л}$ , млн. м <sup>3</sup>	Название поста и объем стока		% от общего стока реки	
		г/п ниже устья р. Сарысай (до 1973 г. – выше устья)	г/п г. Алматы, ниже устья р. Бутаковка	г/п Сарысай	г/п Алматы
1957	<b>7,72</b>	34,1	58	22,6	13,3
1958	<b>8,30</b>	33,1	96,4	25,1	8,6
1959	<b>13,70</b>	41,6	88,8	32,9	15,4
1960	<b>8,87</b>	40,3	83,5	22	10,6
1961	<b>13,00</b>	31,5	68,7	41,3	18,9
1962	<b>12,29</b>	34	64,9	36,2	19
1963	<b>8,48</b>	30,9	85,4	27,5	9,9
1964	<b>7,31</b>	28,4	75,6	25,8	9,7
1965	<b>10,00</b>	29,3	53,9	34,1	18,6
1966	<b>14,20</b>	43,2	87,3	32,9	16,3
1967	<b>8,10</b>	36,9	69,9	24,4	12,9
1968	<b>11,00</b>	29,9	52	36,8	21,2
1969	<b>9,06</b>	38,7	70,6	23,4	12,8
1970	<b>10,40</b>	30,6	58	34	17,9
1971	<b>10,80</b>	33,7	52,3	32	20,7
1972	<b>8,40</b>	28	65,5	30	12,8
1973	<b>9,77</b>	41	72,1	23,8	13,5
1974	<b>9,34</b>	38,4	56,1	24,3	16,7
1975	<b>8,62</b>	31,8	48,8	27,1	17,7
1976	<b>10,36</b>	35,3	58,6	29,4	17,7
1977	<b>9,76</b>	38,1	50,7	25,6	19,2
1978	<b>12,49</b>	35,3	56,1	35,4	22,3
1979	<b>6,29</b>	32,4	61,7	19,4	10,2
1980	<b>10,37</b>	31,2	66,5	33,2	15,6
1981	<b>8,82</b>	38,7	68	22,8	13
1982	<b>7,14</b>	32,1	40,6	22,2	17,6
1983	<b>7,93</b>	37,2	56,1	21,3	14,2
1984	<b>8,00</b>	31,8	38,1	25,1	21
1985	<b>8,84</b>	41,3	51	21,4	17,3
1986	<b>9,16</b>	42,2	47,9	21,7	19,1
1987	<b>10,29</b>	46,6	60,5	22,1	17
1988	<b>8,63</b>	57,6	64,9	15	13,3
1989	<b>7,24</b>	45	57	16,1	12,7
1990	<b>7,74</b>	53,2	61,7	14,5	12,5
1991	<b>6,36</b>	45,4	38,7	14	16,4

Год	Ледниковый сток $u_{л}$ , млн. м <sup>3</sup>	Название поста и объем стока		% от общего стока реки	
		г/п ниже устья р. Сарысай (до 1973 г. – выше устья)	г/п г. Алматы, ниже устья р. Бутаковка	г/п Сарысай	г/п Алматы
1992	<b>6,93</b>	50,1	42,5	13,8	16,3
1993	<b>7,85</b>	51,3	55,8	15,3	14,1
1994	<b>6,62</b>	50,4	42,5	13,1	15,6
1995	<b>5,39</b>	42,8	24,6	12,6	21,9
1996	<b>8,99</b>	45	41,3	20	21,8
Среднее	<b>9,11</b>	38,4	59,8	23,7	15,2

Следует отметить, что опубликованные величины стока воды по гидропосту р. Киши Алматы – ниже устья р. Бутаковка с 1982 г. явно занижены.

В заключение следует отметить, что подробное изучение ледников, реализация программы гляциогидрометеорологического мониторинга, усовершенствование методов расчета ледникового стока и его отдельных составляющих являются важнейшими задачами в будущем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абальян Т.С. Прогноз стока рек Чуйского бассейна. // Тр. ЦИП. – 1958. – Вып. 67. – С. 11-16.
2. Великанов М.А. Метод расчета стока для рек с ледниковым питанием. – Изд. ГГИ, п.47, 1932. – С. 21-23.
3. Вилесов Е.Н., Соседов И.С., Макаревич К.Г., Чехонадская В.А., Шабанов П.Ф. Опыт оценки ледникового стока рек северного склона Заилийского Алатау // Вестник АН КазССР. – 1973. – №11. – С. 25-31.
4. Вилесов Е.Н., Уваров В.Н. Эволюция современного оледенения Заилийского Алатау в XX веке. – Алматы: Казак Университеті, 2001. – 252 с.
5. Камалов Б.А. Современное оледенение и сток с ледников // Тр. САНИГМИ. – 1974. – Вып. 12.
6. Кокарев А.Л. Мониторинг гляциального пояса северного склона Илейского Алатау с использованием космической информации и ГИС // Вестник КазНУ, сер. географ. – №2 (29). – 2009. – С. 20-27.
7. Кокарев А.Л., Шестерова И.Н. Изменение ледниковых систем северного склона Заилийского Алатау за полувековой период // Лед и снег. – 2011. – №4 (116). – С. 39-46.

8. Коновалов В.Г. Расчет и прогноз таяния ледников Средней Азии. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 230 с.
9. Кренке А.Н., Ходаков В.Г. О связи поверхностного таяния ледников с температурой воздуха // МГИ. – Вып. 12. – 1966. – С.153-164.
10. Мазур Л.П., Осовекая В.П. К методике расчета стока с гляциальной зоны на северном склоне Заилийского Алатау. // Тр. КазНИГМИ. – 1976. – Вып. 57. – С. 126-133.
11. Мазур Л.П. К расчету абляции ледников в условиях северного склона Заилийского Алатау// Использование и охрана природных ресурсов Казахстана. Алма-Ата: КазГУ, 1979 - С. 124 – 129.
12. Мазур Л.П. Анализ и расчет элементов водного баланса горных водосборов (на примере северного склона Заилийского Алатау): Дис. .... канд. геогр. наук – Алма-Ата, 1988. – 316 с.
13. Мазур Л.П. Расчет ледникового стока в условиях Заилийского Алатау // Вопросы гидрологического и гидравлического режима рек Казахстана. – Алма-Ата: КазГУ, 1993. – С. 62-65.
14. Макаревич К.Г. Фотоатлас ледников Иле Алатау (Северный Тянь-Шань). Снимки XX – начала XXI века. – Алматы. 2012. – 155 с.
15. Пальгов Н.Н. Современное оледенение в Заилийском Алатау. – Алма-Ата: АН КазССР, 1958. – 312 с.
16. Попова Г.З. Геоморфология Туюксуйской морены Заилийского Алатау // Гляциологические исследования в период МГГ. Заилийский и Джунгарский Алатау. Вып. 3. – Алма-Ата: АН КазССР, 1963. – С. 96-109.
17. Северский И.В., Вилесов Е.Н., Кокарев А.Л., Шестерова И.Н., Морозова В.И., Когутенко Л.В., Усманова З.С. Ледниковые системы Балкаш-Алакольского бассейна: состояние, современные изменения // Вопросы географии и геоэкологии. – Алматы: 2012. – №2. – С. 31-40.
18. Семенов В.А. О воднобалансовых исследованиях в Казахстане // Материалы по проблеме теории и методов расчета водных балансов речных бассейнов. 2-4 декабря 1970 г. Валдай, 1971. – С.242-251.
19. Семенов В.А. Особенности методики и возможности расчета водного баланса в бассейнах горных рек засушливой зоны / Воднобалансовые исследования на территории Казахстана. // Тр. КазНИГМИ. – Вып. 50. – 1973. – С. 20-46.
20. Токмагамбетов Т.Г. Ледниково-моренный комплекс гор Юго-Восточного Казахстана: современное состояние, возможные изменения на примере Заилийского Алатау. – Алматы: 2004. – 26 с.

21. Черкасов П.А. Абляция ледников с учетом экспозиции и высоты их залегания (на примере Джунгарского Алатау) / Гляциогидроклиматология горных стран. – М: Наука, 1973. – № 25. – С. 152-160.
22. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 302 с.
23. Щеглова О.П. Об одном методе определения высоты снеговой линии на леднике // Тр. САГУ. – 1954. – Вып. 1. – С. 43-47.
24. Щеглова О.П. Питание рек Средней Азии // Тр. САГУ. – 1960. – Вып. 167. – 243 с.

Поступила 5.09.2013

Д.В. Уваров

Геогр. ғылымд. канд. Л.П. Мазур

### **КІШІ АЛМАТЫ ӨЗЕНІНІҢ МҰЗДЫҚ АҒЫНЫН ЗЕРТТЕУ**

*Қиыршық мұз сызығының биіктігі мен мұздықтар ағындарын бағалаудың бар әдістеріне талдау жасалды. Көпжылдық кезеңдердің нақты жылдарындағы Кіші Алматы өзенінің мұздықтар ағыны есептелінген және осы бассейндердің негізгі климаттық сипатының өзгеруі және мұзбасу деградацияларын есепке ала оның динамикасы қаралған. Өзен мұздықтары ағындарының жалпы шамасынан әрбір мұздықтағы мұзды ағындардың үлесі анықталды. Мұздықтар ағындарын есептеу кезінде пайдаланылатын бірнеше формулалар анықталынып, жаңа тәуелділіктер, заңдылықтар айқындалды.*