

УДК 551.324.86

Доктор геогр. наук Е.Н. Вилесов*

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ОЛЕДЕНЕНИЯ В БАСЕЙНАХ РЕК АССА И ТАЛАС ПО ДАННЫМ КОСМОСЪЕМКИ 2013 ГОДА**ОЛЕДЕНЕНИЕ, БАЛАНС МАССЫ ЛЕДНИКОВ, АБЛЯЦИЯ, ЛЕДНИКОВЫЙ СТОК**

Рассматриваются пространственно-временные изменения размеров оледенения в бассейнах рек Асса и Талас за 56 лет (1957...2013 гг.). Основой для суждения о направленности динамики ледников послужило сравнение их морфометрических характеристик, полученных при каталогизации в 1957 и 2013 гг. Установлено, что за 56 лет площадь оледенения сократилась на 54,1 км² (43,9 %). Объём ледников уменьшился на 1,875 км³ (49,4 %). Среднее значение баланса массы оледенения составило 31 г/см². Безвозвратная потеря массы со всей площади ледников равна 17,5 м в слое воды. Сокращение размеров оледенения обусловило уменьшение объема ледникового стока за рассматриваемый период на 25 %.

Бассейны рек Асса и Талас расположены на северо-западе Кыргызстана и юго-западе Казахстана. С севера они ограничены Киргизским хребтом, на юге – Таласским Алатау. На востоке хребты сходятся под острым углом, образуя Таласско-Киргизский горный узел, замыкающий бассейн Таласа с востока.

Рельеф. Таласский Алатау (кирг. – Таласский Ала-Тоо) – горный хребет в системе Западного Тянь-Шаня, являющийся водоразделом между бассейнами рек Кёкёмерен, Нарын, Чаткал и Талас. Его большая часть расположена на территории Киргизии, а часть – в южном Казахстане. Этот хребет отделяет Таласскую долину от других хребтов и долин Западного Тянь-Шаня и западной части, так называемого, Внутреннего Тянь-Шаня. Таласский Алатау отделяет реки Талас и Асса от бассейна Чирчика, а его западная оконечность разделяет бассейны Ассы и Арыси. Длина Таласского Алатау около 270 км. Средняя высота его 3700...3800 м, отдельные вершины превышают 4000 м, а высшая точка – пик Манас достигает отметки 4482 м (рис. 1).

* КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы



Рис. 1. Гора Манас (4482 м).

Высокогорная зона Таласского Алатау имеет типичный альпийский облик: скалистый рельеф, узкие, зубчатые вершины гребня, покрытые местами льдом и фирном, крутые (до 60...70°) склоны.

Верхняя часть Таласского хребта характеризуется мощными выходами коренных пород, преимущественно метаморфических сланцев и гранитов, отчего здесь распространены обширные осыпи. Выше 3500 м расположены кары со сравнительно пологими стенками и с днищами, заполненными грубообломочным материалом. В этих карах сосредоточена большая часть ледников северного склона Таласского Алатау. В предгребневой части хребта хорошо развиты трюги. Эта западная часть хребта сухая, изрезана множеством ложбин и саев.

Климат района характеризуется высотной зональностью и определяется как общегеографическим внутриконтинентальным положением Тянь-Шаня, так и его горным рельефом с резкими изменениями высот на относительно небольших горизонтальных расстояниях. В то же время мощная горная система сама формирует климат, так как оказывает существенное влияние на циркуляцию воздушных масс, температурную и влажностную трансформацию воздуха, распределение атмосферных осадков и другие процессы. В средних и верхних слоях атмосферы (2...3 км) над Средней Азией преобладает западный перенос воздуха. Горные системы, имеющие своеобразную линию изгиба, направленную с юго-запада на северо-восток, представляют собой как бы «ловушку» или «мешок» для осадков. Продолжительность теплого и холодного периодов в разных высотных зонах различна. В высокогорной зоне (свыше 3000 м) осадки выпадают преимущественно в твердом виде, в предгорной – число суток с

твердыми осадками уменьшается, а в нижней части долины Таласа они выпадают только зимой. По данным М Талас, средняя годовая температура составляет 7,5 °С, на высотах более 3500 м она уменьшается до 6...10 °С. Выпадение осадков в теплый период года определяется местными факторами и холодными вторжениями, приносящими влагу. В этот период, особенно в апреле – июне, повсеместно заметно увеличение осадков во всех высотных зонах. Вследствие общих природных условий (высотного простирания и положения относительно направления влагоносных воздушных потоков) наиболее увлажненной частью района являются склоны Таласского Алатау, получающие более 1000...1200 мм осадков. Относительная влажность колеблется в пределах 60...80 %. Распределение снежного покрова в бассейнах рек неравномерное, а толщина его в конце зимы в высотной зоне 3200...3500 м достигает 130...150 см. В этой зоне общая облачность составляет 5...7 баллов.

Технологические подходы и методы картографирования гляциальных объектов. В первом Каталоге ледников обоих бассейнов, составленном сотрудниками Гидрометслужбы Киргизской ССР [4], морфометрические показатели оледенения были получены путем картометрического анализа топоосновы М 1:100000 с привлечением аэрофотоснимков (АФС) залетов 1957 и 1961 гг., согласно рекомендациям «Руководства по составлению Каталога ледников» [7]. По данным [4], в 1957 г. в обоих бассейнах был учтен 281 ледник с площадью 119,8 км² (без морен).

Позднее, в 70-е гг., при детальном дешифрировании тех же АФС нам пришлось несколько уточнить размеры оледенения района. Оказалось, что здесь в 1957 г. имелось 290 ледников с площадью чистого льда в 123,1 км².

Для изучения оледенения рассматриваемой территории в 2013 г. использовались космические снимки LANDSAT с разрешением 15 м, бесплатно распространяемые в сети Интернет National Aeronautics and Space Administration (NASA). Использование этих снимков обеспечивает полный охват всего бассейна рек Талас и Асса. Следует отметить, что для получения истинных контуров и размеров ледников очень важен сезон космосъемки. Понятно, что наиболее эффективна космическая фотосъемка, проведенная на исходе лета, в конце августа – начале сентября, так как именно в это время весь сезонный снежный покров практически стаивает, открывая собственно тело ледника.

Космоснимок после предварительной геокоррекции был векторизован (оцифрован) при помощи ГИС-программ ArcGIS и MapInfo. Как вспо-

могательная программа для визуализации 3D данных был использован Global Mapper. Векторизацию можно кратко охарактеризовать как процесс преобразования растровых данных (в данном случае изображения интересующих нас объектов на космоснимке) в векторную форму. В итоге мы получаем векторные слои, имеющие не только географически привязанные графические контуры составляющих их объектов, но и расширенную атрибутивную информацию. Информация о ледниках представлена в виде базы данных, содержащей морфометрическую характеристику. Для каждого ледника зафиксированы такие показатели как площадь, длина, высота высшей и низшей точек, экспозиция. Указанные характеристики определяются в автоматическом или полуавтоматическом режиме с требуемой точностью. Затем следуют параметры, полученные путем расчетов по методикам, которые мы считаем наиболее подходящими и дающими результаты, сопоставимые с данными расширенных исследований на отдельных ледниках. К таковым относятся объем и толщина ледника. Все прочие вспомогательные объекты также были векторизованы. К таким объектам относятся реки, озера, линии водоразделов хребтов. Далее рассмотрим изменения основных характеристик ледников района за 56 лет (1957...2013 гг.).

Изменение количества ледников в условиях деградации оледенения произошло в результате двух процессов – за счет полного стаивания малых ледников (меньше 0,1 км²) и распада крупных ледников на более мелкие. В зависимости от местных условий орографии и рельефа, особенностей абляции и снегонакопления в разных частных бассейнах преобладал тот или иной процесс. Так, в киргизской части бассейна Ассы и в верховьях Каракола на востоке района превалировал процесс распада оледенения, в результате чего количество ледников в каждом из этих бассейнов увеличилось на 12 единиц. Такая же участь постигла и самый крупный ледник района – «Вокруг Света» (№ 125 по Каталогу) в истоках р. Ар-Мурал (рис. 2), от основного тела которого отделилось с десяток мелких ледников. Напротив, в бассейнах рек Кумыш, Урмарал и других в центральной пониженной (менее 3900 м) части северного склона Таласского Алатау, где оледенение представлено мелкими каровыми и висячими ледниками (0,1...0,3 км²) шло их интенсивное стаивание, и их количество сократилось на 15 единиц. Таким образом, за прошедший период стаивание ледников вполне компенсировалось появлением новых ледников в процессе распада, и общее их количество в районе увеличилось на одну единицу (табл. 1).



Рис. 2. Верховья ледника «Вокруг Света».

Таблица 1

Изменение количества ледников района за 1957...2013 гг.

Бассейн	1957 г.	2013 г.	1957...2013 гг.
Асса в Казахстане	29	22	-7
Асса в Кыргызстане	59	71	+12
Талас	202	198	-4
Всего	290	291	+1

Изменение площади оледенения. Сокращение площади оледенения служит важнейшим показателем его деградации. Величина этого сокращения зависит от ряда особенностей конкретного ледника – его размеров, морфологического типа, экспозиции, условий питания, высоты горного обрамления и пр. Сопоставление данных первого каталога ледников [7] с космоснимками 2013 г. показало существенное сокращение площади оледенения района (имеется в виду чистая площадь ледников, без морен стадии фернау и современных) (табл. 2).

Таблица 2

Изменение площади оледенения района за 1957...2013 гг., км²

Бассейн	1957 г.	2013 г.	1957...2013 гг.
Асса в Казахстане	5,4	2,653	-2,747
Асса в Кыргызстане	30,3	19,819	-10,481
Талас	87,4	46,571	-40,829
Всего	123,1	69,043	-54,057

Наибольшие потери площади понесло оледенение бассейна Таласа. В бассейнах его притоков Чон-Чичкан, Бешташ и Колба, где оледенение носит дисперсный, рассредоточенный характер и в 1957 г. было представлено мелкими ледниками со средней площадью 0,25 км², эти потери площади составили, соответственно, 70, 72 и 80 %. Наиболее устойчивыми в

плане сокращения площади оказались ледники на восточном фланге хребта, в бассейнах рек Чон-Кошой и Каракол, где их площадь уменьшилась лишь на 23 %.

В 1957 г. в бассейне Таласа самыми крупными по размерам были котловинные ледники, лежащие в верховьях р. Ал-Мурал, № 125 – «Вокруг Света» с площадью 6,7 км² и № 122 – СГП – 6,4 км². В 2013 г. первенство по площади перешло к леднику СГП – 5,325 км² против 3,931 км² у ледника «Вокруг Света».

Средняя скорость сокращения площади оледенения района за 1957...2013 гг. составила 0,96 км²/год. В целом за 56 лет площадь ледников здесь уменьшилась на 43,9 %, или по 0,8 %/год. Аналогичные темпы дегляциации присущи и другим ледниковым районам Юго-Восточного Казахстана, в частности, Илейскому и Джунгарскому Алатау [1, 2].

В связи с деградацией оледенения средняя площадь ледника в районе за эти годы сократилась почти вдвое – с 0,42 км² до 0,23 км². Из ныне еще существующих ледников более половины, а именно 158, имеют площади менее 0,1 км² и являются «кандидатами» на скорое стаивание.

Изменение объема ледников и оценка баланса их массы. Сокращение численности и площади ледников, сопровождавшееся понижением уровня поверхности льда, естественно, привело к уменьшению их толщины и объема содержащегося в них льда.

Объем ледников V (км³) в рассматриваемых бассейнах рассчитывался по формуле Н.В. Ерасова [3]:

$$V = 0,027\sqrt{F^3}, \quad (1)$$

где F – площадь ледника, км².

Величины изменения объема льда ледников, рассчитанные по формуле (1), представлены в табл. 3.

Таблица 3
Изменение объема ледников района за 1957...2013 гг, км³

Бассейн	1957 г.	2013 г.	1957...2013 гг.
Асса в Казахстане	0,0902	0,0311	-0,0591
Асса в Кыргызстане	0,9608	0,5806	-0,3802
Талас	2,7397	1,3043	-1,4354
Всего	3,7907	1,9160	-1,8747

За 56 лет относительное уменьшение объема отдельных ледников по частным бассейнам варьирует в довольно широких пределах – от 40 до 80 %, составляя в целом по ледниковой системе 49,4 %. Средняя скорость

сокращения объема льда за период составила 0,033 км³/год, соответствующая скорости относительного сокращения объема льда по 0,88 %/год.

Исходя из изложенных выше результатов изменения основных гляциологических показателей, можно оценить величину и знак баланса массы, как отдельных ледников, так и ледниковой системы в целом за период между измерениями в «реперные» годы по формуле:

$$B = \frac{(V_2 - V_1) \cdot \rho}{TF} \cdot 10^5, \quad (2),$$

где B – баланс массы ледника, г/см²/год; $(V_2 - V_1)$ – изменение объема ледника за расчетный интервал времени, км³; T – расчетный интервал времени, число лет; F – средняя площадь оледенения за расчетный интервал времени, км²; ρ – плотность льда, принятая равной 0,9 г/см³.

Рассчитанный по формуле (2) средний годовой удельный баланс массы ледниковой системы за 1957...2013 гг. оказался существенно отрицательным и равным -31 г/см². Иными словами, за 5 лет со всей своей площади ледники потеряли 17,5 м в слое воды. В 2013 г. средняя толщина ледников здесь составила около 30 м.

Оценка величины абляции и ледникового стока. Талас – река, протекающая по территории Киргизии и Казахстана (рис. 3). Длина реки 661 км, площадь её водосборного бассейна в створе ГП Кировское – 7940 км². Образуется от слияния рек Каракол и Уч-Кошой, берущих своё начало в ледниках Таласского хребта в Киргизии. На своём пути Талас принимает много притоков, из которых наиболее полноводные Урмарал, Кара-Буура, Кумушт-ак, Калба, Бешташ. В нижнем течении река теряется в песках Мойынкум. Площадь водосбора р. Асса около жд. ст. Маймак – 2710 км²

На левом берегу р. Талас расположен административный центр Таласской области Кыргызстана – Талас, а ниже по течению – административный центр Жамбылской области Казахстана – г. Тараз (350 тыс. жителей). На реке находятся гидроузлы Таласский, Темирбекский, Жеимбетский и Уюкский. В Таласском бассейне проживает около 0,5 млн. человек.

Водные ресурсы бассейна р. Талас – 1,74 км³. Площадь орошаемых земель – 162,7 тыс. га, в том числе в Республике Казахстан – 60,0 тыс. га (37 %), в Кыргызской республике – 102,7 тыс. га (63 %). В 1980 г. здесь было 24 гидропоста, к 2010 г. их осталось 10. В верховьях Таласа средний годовой расход равен 15,3 м³/с, а в створе Кировского водохранилища (его

емкость – 550 млн. м³) – 33 м³/с. Далее воды Таласа разбираются на орошение и теряются в песках.



Рис. 3. Река Талас в среднем течении.

Для определения среднего многолетнего значения ледникового стока по суммарной абляции A (мм) мы использовали тесную связь последней со средней летней (июнь – август) температурой воздуха t_n (°С) на высоте границы питания (фирновой линии), установленную А.Н. Кренке [5]:

$$A = 1,33(t_n + 9,66)^{2,85}. \quad (3)$$

В качестве базовой взята метеостанция (М) Талас, расположенная в долине р. Талас на высоте 1218 м. Величина вертикального температурного градиента, согласно рекомендациям А.Н. Кренке [5], принята равной 6,5 °С/км. Средняя высота фирновой линии на ледниках района равна 3700 м. Средняя летняя температура воздуха на этой высоте, с учетом скачка температуры при переходе с неледниковой поверхности на ледники, равного -1 °С, составила 1,4 °С. Таким образом, среднее годовое значение суммарной абляции, рассчитанное по формуле (3), оказалось равным 1250 мм. Средняя за 56 лет площадь ледников равна 30 км² в бассейне Ассы, 67 км² – в бассейне Таласа и 97 км² – в сумме.

Результаты расчетов нормы общего речного и ледникового стока в замыкающих створах обоих бассейнов, с учетом приведенных выше показателей температуры воздуха и площади льда, представлены в табл. 4.

Как следует из данных табл. 4, средний многолетний ледниковый сток в обоих бассейнах составил 121,3 млн. м³ и 9,6 % от общего речного стока. В период абляции доля ледникового стока в замыкающих створах увеличивается до 20 %. Слой ледникового стока, как и его модуль, в 2,8 раза превышает слой стока с неледниковой части бассейнов. Доля лед-

никового стока, образующаяся за счет таяния сезонного снега, может быть определена из разности слоя суммарной абляции и «чистого» баланса массы льда, т.е. $H_{\text{л}} - B = 1067 - 310 = 757$ мм. Таким образом, ледниковый сток на 70 % обусловлен таянием снега (85 млн. м³) и лишь на 30 % – таянием глетчерного льда (36 млн. м³). Практически аналогичное соотношение составляющих суммарной абляции было получено при натурных измерениях таяния снега и льда на ледниках Илейского (Заилийского) и Джунгарского Алатау [1, 2]. Эти данные подтверждают существующие представления о ведущей роли сезонных осадков в ледниковом стоке в горах юго-восточного Казахстана.

Таблица 4

Средний многолетний сток бассейнов рек Асса и Талас

Река	Общий сток				Ледниковый сток				
	F	Q	W	H	$F_{\text{л}}$	$Q_{\text{л}}$	$W_{\text{л}}$	$H_{\text{л}}$	$W_{\text{л}}/W$
Асса	2710	7,5	237	88	30	1,19	37,5	1250	15,8
Талас	7940	32,7	1031	130	67	2,66	83,8	1250	8,1
Всего	10650	40,2	1268	120	97	3,85	121,3	1250	9,6

Примечание: здесь F и $F_{\text{л}}$ – общая площадь водосбора и площадь ледников, км²; Q и $Q_{\text{л}}$ – расход общего и ледникового стока, м³/с; W и $W_{\text{л}}$ – объем общего и ледникового стока, 10⁶ м³; H и $H_{\text{л}}$ – слой общего и ледникового стока, мм; $W_{\text{л}}/W$ – доля ледникового стока в общем стоке, %.

В последние десятилетия температура воздуха в горах юго-востока страны, как и всюду в Казахстане, заметно повысилась. В соответствии с этим величина суммарной абляции, рассчитываемая по формуле (3), также увеличилась. Тем не менее, в связи с уменьшением площади оледенения, ледниковый сток постепенно сокращается. В начале второго десятилетия 21 в. его величина оценивается в 88...90 млн. м³ при площади оледенения уже менее 70 км². За 56 лет в реки Асса и Талас за счет ледникового стока поступило около 6,8 км³ воды.

Судя по выявленным трендам сокращения ледниковой площади, оледенение в бассейне Таласа может исчезнуть к 2080 г., а в бассейне Ассы еще раньше – к 2065 г. Тем не менее, объем речного стока может сохраниться на современном уровне при условии увеличения атмосферных осадков на 10...15 % при потеплении климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вилесов Е.Н., Морозова В.И., Северский И.В. Оледенение Джунгарского (Жетысу) Алатау: прошлое, настоящее, будущее. – Алматы: 2012. – 244 с.
2. Вилесов Е.Н., Уваров В.Н. Эволюция современного оледенения Заилийского Алатау в XX веке. – Алматы: КазГУ, 2001.– 252 с.
3. Ерасов Н.В. Метод определения объема горных ледников // МГИ. – 1968. – Вып. 14. – С. 307-308.
4. Каталог ледников СССР. Т. 14. Вып. 2. Часть 1. Бассейны рек Асса, Талас. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 68 с.
5. Кренке А.Н. Массообмен в ледниковых системах на территории СССР. –Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 288 с.
6. Морозова В.И. Современные технологические подходы в изучении динамики ледниковых систем // Актуальные проблемы геосистем аридных территорий: Матер. междунар. научно-практ. конф. «Вторые Жандаевские чтения», Алматы, Казахстан, 2003. – Алматы, 2003. С. 186-190.
7. Руководство по составлению Каталога ледников СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 154 с.

Поступила 31.10.2014

Геогр. ғылымд. докторы Е.Н. Вилесов

2013 ЖЫЛДЫҢ КОСМОСТЫҚ ТҮСІРЛІМДЕР МӘЛІМЕТТЕРІ БОЙЫНША АССА ЖӘНЕ ТАЛАС ӨЗЕНДЕРІ АЛАПТАРЫНДАҒЫ МҰЗДАУ ӨЗГЕРІСТЕРІН БАҒАЛАУ

Ассы және Талас өзендері бассейнінде соңғы 56 жылда (1957...2013) мұздану өлшемдерінің кеңістіктік-уақыттық өзгерістері қарастырылады. Мұздықтар серпінінің бағытталуы туралы пікірге оларды 1957 және 2013 ж. араылындағы жіктеу барысында алынған морфометриялық сипаттары негіз болды. 60 жыл ішінде олардың аумағы $54,1 \text{ км}^2$ (43,9 %) қысқарғаны анықталды. Мұздықтар көлемі $1,875 \text{ км}^3$ (49,4 %) қысқарған. Мұз басу салмағы балансының орташа мәні – 31 г/см^2 . Мұздықтардың бүкіл аумағындағы қайта қалпына келмейтін салмақтың жоғалуы су қабатында 17,5 м құрайды. Мұздану ауданының қысқаруы қарастырылып отырған кезеңде мұздық ағын көлемінің 25 %-ға азаюымен түсіндіріледі.