

ИЗМЕНЕНИЕ ОЛЕДЕНЕНИЯ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ С ПРЕОБЛАДАНИЕМ МАЛЫХ ЛЕДНИКОВ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX – НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Т. В. Кудышкин¹, Ю. А. Тарасов², А. В. Яковлев³

¹Старший научный сотрудник (НИГМИ Узгидромета, Ташкент, Узбекистан)

²Ведущий инженер (НИГМИ Узгидромета, Ташкент, Узбекистан)

³Начальник отдела (УзГИП, Ташкент, Узбекистан)

Ключевые слова: ледники, изменение оледенения, ГИС, обработка спутниковых снимков.

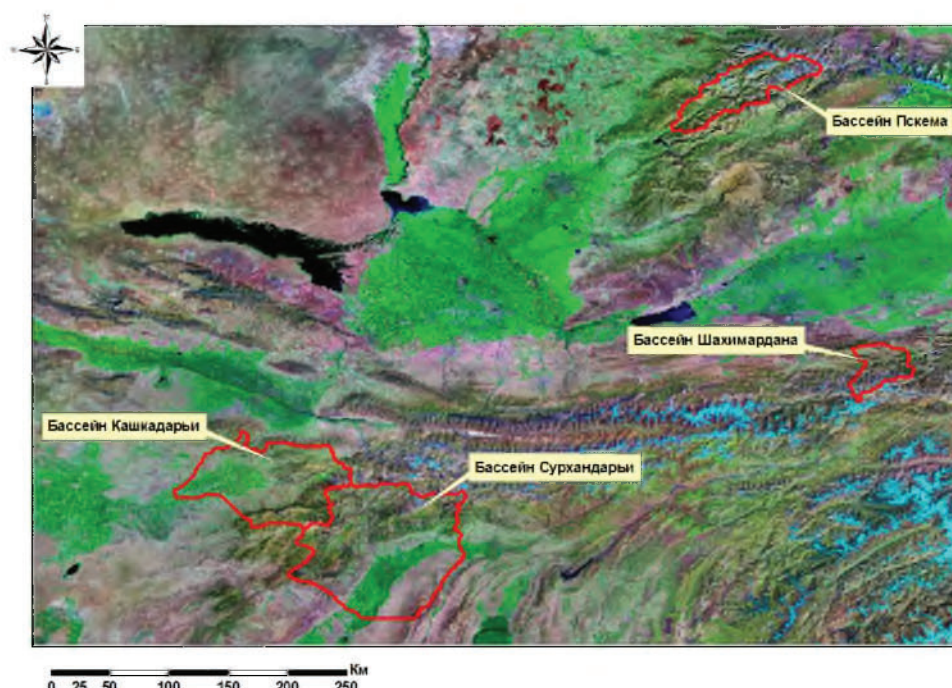
Аннотация. Представлены результаты инвентаризации современного состояния оледенения бассейнов рек Пскем, Шахмардан, Кашкадарья и Сурхандарья, имеющих ледники малых форм. Проанализировано изменение оледенения в бассейнах рек со второй половины XX века по настоящее время. На общем фоне деградации ледников во всех исследуемых бассейнах темпы сокращения оледенения существенно разные от бассейна к бассейну.

Введение. Изначальной целью нашей работы было проведение инвентаризации современного состояния ледников, расположенных на территории Узбекистана. Такая инвентаризация была выполнена по спутниковым снимкам за 2010 г. Ледники в Узбекистане расположены в бассейне реки Кашкадарья (полностью), в части бассейна реки Пскем (притоки реки Пскем, бассейн реки Ойгаинг) и в части бассейна реки Сурхандарья (бассейн рек Сангардак и Тупаланг).

Ледники этих речных бассейнов представлены ледниками малых форм. У нас появилась вторая цель – оценить реакцию изменения оледенения речных бассейнов, имеющих ледники небольших размеров (преимущественно менее 1 км²), в начале XXI века и сравнить эту реакцию с той, которая отмечалась во второй половине XX века.

Для этого была проведена инвентаризация всех ледников в бассейнах рек Пскем (западные отроги Западного Тянь-Шаня), Кашкадарья (западные отроги Гиссарского хребта), Сурхандарья (южные склоны Гиссарского хребта), расположенных не только на территории Узбекистана. Бассейн Пскема находится довольно далеко к северу от бассейнов Кашкадарья и Сурхандарья, и для того чтобы оценить более плавно влияние зональных факторов, была проведена инвентаризация ледников в бассейне реки Шахмардан – северные склоны Алайского хребта (рисунок 1).

Рисунок 1 –
Спутниковое
изображение
с контурами границ
исследуемых
речных бассейнов



Таким образом, в выборку для проведения нашего исследования вошли речные бассейны, находящиеся в разных макроклиматических и орографических условиях – открытость речных бассейнов преобладающим влажным воздушным массам, географическая широта местности, преобладающая экспозиция склонов, высотный диапазон распространения оледенения и т. п.

Ранее для этих речных бассейнов А. С. Щетинниковым [1–3] были проведены две инвентаризации ледников: в 1957 г. по данным аэрофотосъемки и в 1980 г. по данным аналоговых спутниковых снимков.

Методика проведения инвентаризация ледников речных бассейнов. Инвентаризация ледников бассейнов рек Пскем, Шахмардан, Кашкадарья и Сурхандарья была проведена с использованием цифровых спутниковых снимков семейства Landsat.

Были отобраны и получены с сайта Национальной геологической службы США <http://earthexplorer.usgs.gov/> спутниковые снимки Landsat-5 (TM) и Landsat-7 (ETM+) на территорию бассейнов рек Пскем, Шахмардан, Кашкадарья и Сурхандарья.

Основными критериями выбора спутниковых снимков являлось отсутствие облачности над исследуемыми объектами. Также все спутниковые изображения были подобраны на дату съемки – вторая половина августа – середина сентября, когда ледники были свободны от сезонного снежного покрова в их языковой части, а склоны гор лишены его полностью.

Для расчета высотных характеристик ледников использовалась цифровая модель рельефа местности SRTM с пространственным размером ячейки 90 на 90 м.

Все географические объекты, такие, как снег, лед, почва, растительность и т.д., имеют свои спектральные яркости в различных диапазонах спектра электромагнитных волн. Эти характеристики принято называть спектральной подписью объекта. Для распознавания ледников нас интересуют спектральные подписи следующих объектов: снег, лед, голые скалы и открытые почвы, поверхности, покрытые растительностью, вода. Как отмечалось, для дешифрирования ледников подбирались снимки, которые не содержали облачный покров и свежеснеженный снег, поэтому хорошо были видны все объекты на поверхности земли.

Для дешифрирования ледников по цифровым спутниковым снимкам были созданы компьютерные изображения в псевдоцвете, составленные по спектральной яркости разных каналов.

Для распознавания ледников, мы выбрали три канала:

канал 2 – 525–605 нм;

канал 4 – 760–900 нм;

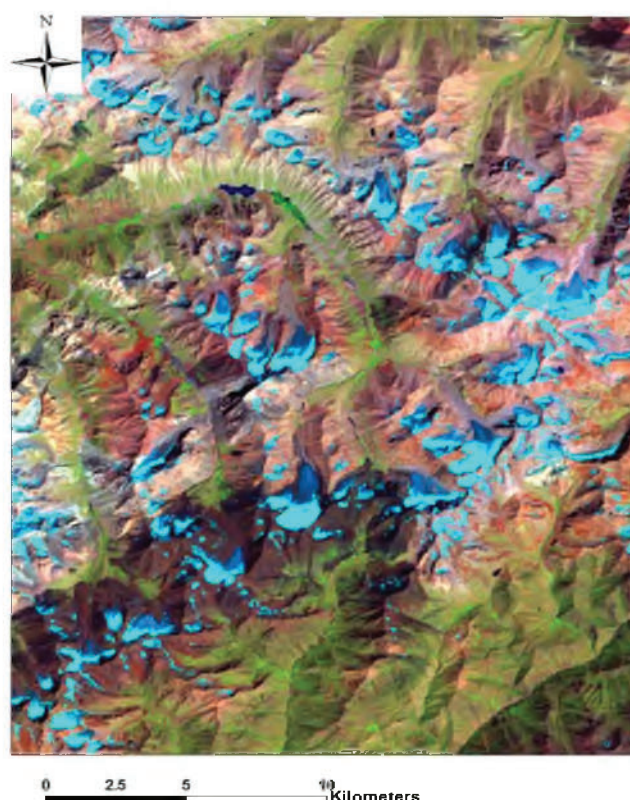
канал 7 – 2080–2350 нм.

Снег имеет высокую спектральную яркость во всех трех каналах, и пиксели, занятые снегом, будут иметь белый цвет. Лед имеет почти такую же спектральную подпись, что и снег, но несколько меньшую спектральную яркость в 7 канале (ближний инфракрасный канал). И поэтому пиксели, содержащие лед, голубоватого цвета. Растительность имеет большое значение спектральной яркости во 2 канале, еще большее значение в 7 канале и низкое в 4. И значит в зависимости от густоты растительности поверхности, покрытые растительностью, содержат оттенки от сиреневого до кирпично-оранжевого цвета. Зелено-серым, серым и серо-коричневыми цветами представлены открытые почвы и скалы.

Также для уточнения отдельных деталей на снимке использовался канал 8 – 520–900 нм с геометрическим разрешением 15 м. При составлении компьютерного изображения в псевдоцвете красному цвету ставились в соответствие данные канала 7, зеленому – канала 4 и синему – канала 2. Такая комбинация каналов дает изображение, близкое к естественному, но в то же время позволяет распознавать ледники в целом и, главное, распознавать области аккумуляции и абляции. Область аккумуляции ледников, покрытая фирном и сезонным снегом, представлена зелено-голубым цветом; область абляции, покрытая льдом, – голубовато-синим цветом. На рисунке 2 показан фрагмент компьютерного изображения в псевдоцвете.

Таким образом, основываясь на спектральных подписях объектов: фирн, сезонный снег и лед, в диапазоне электромагнитных волн каналов 7, 4, 2 было проведено дешифрирование ледников. На основе всех дешифровочных признаков горных ледников было создано векторное покрытие контуров ледников (дешифрирование проводилось в ручном режиме), независимо от их размера. Полученные GIS слои ледников представлены в виде полигональных слоев формата Shape.

Рисунок 2 – Компьютерное изображение бассейна р. Ойгаинг, представленное в псевдоцвете



Расчет основных морфометрических характеристик ледников проводился программным обеспечением ArcGIS.

Результаты инвентаризации ледников. По данным на 2010 г. в бассейнах рек Пскем, Шахмардан, Кашкадарья и Сурхандарья имеются 698 ледников суммарной площадью 187,87 км². Из них 411 ледников суммарной площадью 99,69 км² расположены на территории Узбекистана.

Ледники во всех речных бассейнах имеют преимущественно северные экспозиции и представлены малыми формами.

Изменение площади и количества ледников. Авторы этой статьи в полной мере осознают, что сравнительный анализ данных разных лет инвентаризации ледников имеет некоторую погрешность в силу того, что все три инвентаризации проводились хоть и с соблюдением положений «Руководства по составлению каталога ледников СССР» [4], но основывались на разных как по геометрическому разрешению, так и по визуальному восприятию исходных материалах (панхроматические аналоговые аэрофотоснимки, спектрзональные аналоговые спутниковые снимки, цифровые спутниковые снимки). Также использовались различные картографические материалы для определения высотных отметок ледников. В силу этого некоторые изменения отдельных ледников носят случайный характер и обусловлены погрешностями при проведении инвентаризации. Но, несмотря на это, в целом по речному бассейну эти изменения неплохо характеризуют реакцию оледенения на изменение климата.

В таблице 1 приводятся данные по количеству ледников в бассейнах и их суммарной площади за разные годы инвентаризации.

Во всех исследованных речных бассейнах произошло сокращение площади оледенения с середины прошлого столетия по настоящее время.

При этом в бассейнах рек Пскем, Шахмардан и отчасти в бассейне реки Сурхандарья количество ледников в результате деградации оледенения продолжает увеличиваться. Сокращение числа ледников отмечается только в бассейне реки Кашкадарья. Это объясняется тем, что ледники в бассейнах рек Пскем, Шахмардан и Сурхандарья имеют более крупные размеры, чем ледники в бассейне реки Кашкадарья (таблица 2), и в этих бассейнах еще идет процесс деления ледников на более мелкие части.

Таблица 1 – Суммарная площадь и число ледников речных бассейнов в разные годы инвентаризации

Речной бассейн	Суммарная площадь ледников, км ²			Число ледников		
	1957	1978	2010	1957	1978	2010
Пскем	119,80	106,13	102,52	211	260	262
Шахимардан	39,46	30,14	29,68	81	82	85
Кашкадарья	18,14	15,51	7,85	68	65	61
Сурхандарья	70,37	59,20	47,82	289	285	290
Итого	247,77	210,98	187,87	649	692	698

Примечание. Здесь и в таблицах 2–4: для дешифрирования ледников в бассейне реки Пскем использовался спутниковый снимок за 2011 г., в бассейне реки Шахимардан – за 2010 г., в бассейнах рек Кашкадарья и Сурхандарья – за 2008 г. Данные по бассейну реки Пскем за 1957 г. приводятся по «Каталогу ледников СССР».

Таблица 2 – Площадь среднего ледника в речных бассейнах в разные годы инвентаризации, км²

Речной бассейн	1957	1978	2010
Пскем	0,57	0,41	0,39
Шахимардан	0,49	0,37	0,35
Кашкадарья	0,27	0,24	0,13
Сурхандарья	0,24	0,21	0,16

Суммарное сокращение площади оледенения речных бассейнов за 1957–2010 гг. составило 59,90 км², или 24,2% от первоначальной (1957 г.) площади.

Величины деградации оледенения по речным бассейнам составляют: для бассейна реки Пскем – 17,28 км², для бассейна реки Шахимардан – 10,22 км², для бассейна реки Кашкадарья – 10,29 км² и для бассейна реки Сурхандарья – 22,55 км², или 14,4; 25,9; 56,7 и 32,0% от первоначальной площади соответственно. Таким образом, скорость сокращения оледенения в речных бассейнах, находящихся в разных климатических и орографических условиях, существенно отличается. При этом скорость изменения оледенения другая и по временным периодам. В таблице 3 приводятся данные скорости изменения оледенения за разные периоды времени.

Таблица 3 – Скорость изменения оледенения речных бассейнов за разные периоды времени, % в год

Речной бассейн	1957-1978	1978-2010
Пскем	0,59	0,10
Шахимардан	0,57	0,06
Кашкадарья	0,69	1,65
Сурхандарья	0,76	0,64

Ледниковые системы речных бассейнов стремятся прийти в равновесие с современными климатическими условиями с учетом имеющихся орографических условий. Малые размеры ледников в данных бассейнах обуславливают высокую скорость реакции ледников на изменение климата.

При сопоставлении величин изменения оледенения следует отметить, что в разных речных бассейнах процессы деградации оледенения отличаются как по скорости, так и по характеру. Например, в бассейне реки Шахимардан оледенение в настоящее время находится в почти стационарном состоянии, а бассейне Пскема – близко к стационарному.

Нам представляется, что такие разные величины суммарного изменения оледенения и разные скорости изменения оледенения связаны как с региональными особенностями изменения климата, так и неоднородными климатическо-орографическими условиями существования оледенения в каждом конкретном речном бассейне.

В целом для исследуемых речных бассейнов подтверждается закономерность, что сокращение площади оледенения значительнее в тех бассейнах, где оледенение представлено ледниками меньших размеров. Средняя скорость изменения оледенения в бассейнах рек Кашкадарья и

Сурхандарья за период 1978–2010 гг. больше, чем в бассейнах рек Пскем и Шахмардан. Но все же начальное условие состояния оледенения в бассейне, которое характеризуется площадью среднего ледника (см. таблицу 2), удовлетворяется только в самом первом приближении. Оно не объясняет различия в скорости изменения оледенения в разные временные периоды и для близко расположенных речных бассейнов. Так, площади средних ледников в бассейнах рек Кашкадарья и Сурхандарья примерно одинаковые для всех лет проведения инвентаризации, но скорости деградации различные (скорость деградации в бассейне Кашкадарья в 1978–2010 гг. значительно больше, чем в бассейне Сурхандарья) и, главное, существенно разный характер процесса деградации оледенения. Если в бассейне Сурхандарья скорость деградации оледенения примерно одинаковая для двух периодов (1957–1978 и 1978–2010 гг.) и составляет 0,76 и 0,64% в год соответственно, то в бассейне Кашкадарья скорость деградации увеличивается в конце XX – начале XXI века в два раза по сравнению с предыдущим периодом (1957–1978 гг.). Скорость деградации оледенения в 1957–1978 гг. составила 0,69% в год, в 1978–2010 гг. – 1,65% в год.

В бассейнах рек Кашкадарья и Сурхандарья весьма схожий режим накопления осадков. Оба бассейна расположены на открытых периферийных склонах Гиссарского хребта, все высотные зоны которых в равной степени доступны для влагонесущих воздушных масс. Максимальные градиенты осадков приурочены к нижним высотным зонам, в средних и верхних высотных зонах градиенты уменьшаются, но не становятся отрицательными.

Но ледники данных речных бассейнов имеют разный режим абляции, несмотря на то, что находятся на одной географической широте, и экспозиция склонов, на которых они расположены, в обоих бассейнах примерно одинаковая – от северо-западной до северо-восточной. Ледники этих бассейнов различаются высотным положением (см. таблицы 6, 7) концов языков и в большей степени вертикальным диапазоном оледенения.

Ранее А. С. Щетинниковым [1] были выполнены расчеты необходимой величины слоя удельной аккумуляции в фирновых областях ледников, при которых они бы могли сохранять стационарное состояние при современных (на 1978 г.) размерах. Расчеты показали, что величина слоя удельной аккумуляции в фирновых областях ледников бассейна Кашкадарья, необходимая для стационарного оледенения, равна 2550 мм/год, а для ледников в бассейне Сурхандарья – 1780 мм/год. Эти расчеты показывают, что ледникам бассейна Кашкадарья для нахождения в стационарном состоянии необходимо большее количество выпадающих атмосферных осадков в верхних высотных зонах, чем ледникам бассейна Сурхандарья. А значит и скорость, с которой идет сокращение оледенения, чтобы прийти в стационарное состояние в бассейне Кашкадарья, больше, чем в бассейне Сурхандарья.

Сравнение скорости изменения оледенения двух рядом расположенных речных бассейнов говорит о том, что обобщенные сравнения условий существования оледенения недостаточны, для того чтобы понять особенности режима оледенения в разных речных бассейнах. Весьма трудно делать прогнозы изменений оледенения на длительный период по большим горным системам, в которых оледенение отдельных бассейнов ведет себя не синхронно. Межбассейновые различия темпов изменения оледенения, представленного малыми формами, обуславливается не только особенностями регионального климата, но и различиями в морфологии ледников, а также орографическими особенностями речных бассейнов.

В бассейне реки Пскем отмечается переход от стадии деградации оледенения (1957–1978 гг.) к стадии стационарного оледенения (с конца прошлого столетия) – скорость деградации уменьшилась с 0,59 до 0,10% в год, т.е. почти в 6 раз.

Оледенение бассейна реки Шахмардан с конца прошлого столетия находится практически в стационарном состоянии. Ранее в работах [5, 6] было отмечено, что с 1980 г. скорость деградации оледенения северных склонов Алайского и Туркестанского хребтов существенно меньше, чем в предшествующий период. Анализ спутниковых снимков системы ледника Абрамова, а также данные, полученные путем реконструкции баланса массы самого ледника Абрамова с 2000 по 2010 г., показывают [7], что и сам ледник Абрамова, и небольшие ледники в его бассейне в целом находятся в стадии, близкой к стационарной. Значит в настоящее время ледники, расположенные в бассейне реки Шахмардан, а также ряда соседних речных бассейнов, находящихся на северных склонах Алайского хребта, пришли в некоторое временное равновесие с современными

климатическими условиями и имеющимися орографическими условиями. Этому способствует то, что северные склоны хребтов наиболее благоприятны для развития оледенения по условиям инсоляции, а в связи с этим и по степени сохранности снежного покрова по сравнению с южными склонами. Кроме того, они получают лавинное питание в течение почти всего года. Последнее относится также и к пскемским ледникам. В среднем для пскемских ледников лавинное и метелевое питание может составлять 100% по отношению к осадкам, выпадающим непосредственно в фирновой области ледников [8].

Расчеты необходимой величины слоя удельной аккумуляции в фирновых областях ледников бассейна Шахмардана [1], при которых они бы могли сохранять стационарное состояние при современных (на 1978 г.) размерах, показывают, что удельная аккумуляция составляет 1320 мм/год. И это значение весьма близко к величинам атмосферных осадков, выпадающих на высоте фирновых областей. По данным И. А. Ильина [9], на северных склонах Алайского хребта, в западной его части в средних высотных зонах выпадает 600–800 мм осадков, в верхних зонах их количество увеличивается до 1000–1200 мм. Таким образом, при существующих орографических и морфометрических характеристиках вмещающих ледники форм рельефа местности ледники бассейна Шахмардан (а возможно, и ледники бассейна рек Сох и Исфара) находятся в стадии, близкой к равновесию с климатом.

Такие же особенности и темпы деградации ледников характерны и для других районов Центральной Азии, в частности для Заилийского Алатау (Северный Тянь-Шань) [10, 11].

Изменение длины ледников. В таблице 4 представлены линейные размеры ледников (средняя длина и длина крупнейшего ледника) в речных бассейнах в разные годы инвентаризации.

Таблица 4 – Линейные размеры ледников (средняя длина и длина крупнейшего ледника) в речных бассейнах в разные годы инвентаризации, км

Речной бассейн	Средняя длина ледников			Длина крупнейшего ледника		
	1957	1978	2010	1957	1978	2010
Пскем	1,16	0,90	0,93	4,10	3,30	3,65
Кашкадарья	0,73	0,67	0,50	3,10	2,70	2,35
Сурхандарья	0,72	0,61	0,55	3,00	2,40	2,16

Изменение длины ледников позволяет считать, что и в начале XXI столетия происходит сокращение оледенения. Правда расчет длины ледников имеет большую субъективность, чем расчет площади ледников. Поэтому при анализе особенностей изменения длины ледников в тех или иных речных бассейнах следует относиться к полученным результатам с некоторой долей осторожности.

За период 1978–2010 гг. в результате большего по скорости сокращения площади ледников в бассейне Кашкадарьи, чем у ледников бассейна Сурхандарьи, ледники Кашкадарьи стали иметь меньшие линейные размеры. В 2008 г. средняя длина ледников бассейна Кашкадарьи составила 0,50 км, когда в бассейне Сурхандарьи она была 0,55 км. Хотя в предыдущие годы (1957 и 1978) картина была обратная – ледники Кашкадарьи имели чуть большие линейные размеры, чем ледники Сурхандарьи. При этом в бассейне Кашкадарьи все еще расположен крупнейший ледник западных периферийных склонов Гиссарского хребта. В 2008 г. длина крупнейшего ледника в бассейне Кашкадарьи составила 2,35 км, а в бассейне Сурхандарьи – 2,16 км.

В бассейне Пскема в условиях режима изменения оледенения, близкого к стационарному, длины ледников несколько увеличились к 2011 г. по сравнению с 1978 г. Возможно, что все же тут имеет место некоторый субъективизм при определении длин ледников.

Известно, что площадь ледников связана с их длиной степенной зависимостью:

$$F = a \cdot L^b,$$

где F – площадь ледника; L – длина ледника; a и b – параметры. Было интересно проверить, сохраняется ли такая зависимость в современных условиях, когда размеры ледников становятся все меньше.

Таблица 5 – Параметры зависимости площади ледников от их длины по состоянию оледенения на 2010 г.

Речной бассейн	Параметры		Коэффициент детерминации зависимости R^2
	a	b	
Пскем	0,33	1,45	0,81
Капкадарья	0,25	1,38	0,85
Сурхандарья	0,30	1,50	0,84

Расчеты подтверждают степенной характер зависимости площади ледников от их длины. Коэффициенты детерминации зависимости очень высокие для всех речных бассейнов. Коэффициенты a и b (таблица 5) несколько отличаются от бассейна к бассейну, но в целом весьма близки по значениям между собой и весьма близки к значениям, полученным А. С. Щетинниковым [1] по спутниковым снимкам 1978 г. Мы так же, как и А. С. Щетинников, предполагаем, что такое небольшое различие параметров зависимости, вероятно, обусловлено локальными орографическими и морфологическими особенностями горных склонов и форм рельефа, вмещающих горные ледники.

Высокие значения коэффициентов детерминации зависимости площади ледников от их длины говорят о том, что в современных условиях по-прежнему сохраняется тесное взаимоотношение климатических факторов и орографических, морфометрических условий существования горных ледников.

Изменение высотных отметок концов и вертикального диапазона оледенения. В работе [12] было показано, что практически невозможно проводить сравнительный анализ высотных отметок ледников, полученных за разные годы проведения инвентаризации ледников. В разные годы инвентаризации авторы имели доступ к разным картографическим материалам (топографические карты разной картографической проекции и разного масштаба; спутниковые снимки разного геометрического и радиометрического разрешения, цифровые модели рельефа, полученные разными методами и имеющие разное разрешение как по плановым, так и по высотным характеристикам), применяли разную технику дешифрирования ледников. Все это вносит большие погрешности (картографические, картометрические, дешифрирования) в определение высотных отметок ледников. Эти погрешности часто сравнимы с величинами изменения положения высотных отметок ледников, а значит практически невозможно провести сравнительный анализ изменения высотных отметок ледников как для каждого в отдельности ледника, так и в целом по бассейну.

В таблице 6 приводятся значения экстремальных и средних отметок концов ледников в разных речных бассейнах за разные годы инвентаризации ледников.

Таблица 6 – Экстремальные и средние значения отметок концов ледников в речных бассейнах в разные годы инвентаризации, км

Речной бассейн	Экстремальные значения отметок концов ледников			Средние значения отметок концов ледников		
	1957	1978	2010	1957	1978	2010
Пскем	2,90	2,95	2,86	3,43	3,49	3,47
Капкадарья	3,28	3,28	3,38	3,74	3,75	3,77
Сурхандарья	3,04	3,04	3,02	3,74	3,76	3,81

Нижняя граница ледников зависит не только от климатических факторов, но и от динамических свойств самих ледников, прежде всего от наличия пульсирующих ледников. Правда при современной инвентаризации ледников нами не было выявлено характерных признаков пульсации у ледников исследуемых речных бассейнов.

Хотя значения погрешностей определения высотных отметок сравнимы с величинами самих изменений высотных отметок концов ледников, но в условиях сокращения оледенения в бассейнах рек Капкадарья и Сурхандарья этот процесс приводит к увеличению высотного положения концов

ледников. Но эти изменения высотных отметок ледников не велики и не отражаются на режиме абляции.

Также был проведен сравнительный анализ вертикального диапазона оледенения, рассчитываемый как разность между экстремальными отметками – высотами нижней и верхней точками ледников.

В таблице 7 приведены значения высотных интервалов.

Таблица 7 – Средние значения вертикального диапазона оледенения в речных бассейнах в разные годы инвентаризации, км

Речной бассейн	1957	1978	2010
Пскем	0,34	0,29	0,31
Кашкадарья	0,23	0,23	0,21
Сурхандарья	0,25	0,24	0,24

Так как верхняя граница ледников определяется в основном высотой гребней хребтов, то в условиях, когда не произошло существенного изменения высоты нижней границы ледников, вертикальный диапазон оледенения не претерпел существенных изменений.

В бассейнах рек Кашкадарья и Сурхандарья вертикальные диапазоны оледенения имеют практически равные значения.

Ледники в бассейне Пскема спускаются ниже, чем в бассейнах Кашкадарьи и Сурхандарьи. Также бассейн Пскема имеет большее значение вертикального диапазона оледенения, что объясняется в большей степени более северным расположением пскемских ледников по отношению к ледникам бассейнов Кашкадарьи и Сурхандарьи, а значит меньшим значением абляции ледников.

Изменение водных ресурсов в ледниках. Для расчета объема ледников была использована формула Ерасова, связывающая объем ледника с его площадью:

$$V = 0,02 \cdot 7F^{1,5},$$

В таблице 8 приведены объемы льда в ледниках речных бассейнов Пскема, Кашкадарьи и Сурхандарьи.

Таблица 8 – Объемы льда в ледниках речных бассейнов в разные годы инвентаризации, км³

Речной бассейн	1957	1978	2010
Пскем	3,469	2,875	2,625
Шахимардан	1,167	0,778	0,768
Кашкадарья	0,387	0,339	0,126
Сурхандарья	1,341	1,062	0,803
Итого	6,364	5,054	4,322

Суммарное сокращение объема льда в ледниках бассейнов Пскема, Шахимардана, Кашкадарьи и Сурхандарьи составило 2,024 км³, или 32,1% от первоначального объема.

Величины сокращения объемов льда в ледниках по речным бассейнам составляют: для бассейна реки Пскем – 0,844 км³, для бассейна реки Шахимардан – 0,399 км³, для бассейна реки Кашкадарья – 0,261 км³ и для бассейна реки Сурхандарья – 0,538 км³, или 24,3; 34,2; 67,4 и 40,1% от первоначального объема соответственно.

В переводе на водный эквивалент (при плотности льда 0,85 г/см³) ледники потеряли за период 1957–2010 гг. 1,736 км³ воды.

Закключение. Несмотря на то, что ледники бассейнов Пскема, Шахимардана, Кашкадарьи, Сурхандарьи продолжают сокращаться, в большинстве бассейнов (Пскем, Шахимардан и Сурхандарья) скорость деградации оледенения в период 1978–2010 гг. меньше, чем в период 1957–1978 гг. При этом ледники в бассейне Пскема и Шахимардана приходят в состояние, близкое к стационарному. Только в бассейне Кашкадарьи отмечается ускорение темпов деградации оледенения.

Для существования ледников малых форм важную роль играют не только региональные климатические условия, но и механизмы обратной связи, выраженные через морфометрические характеристики ледников и орографические особенности нивально-гляциальных зон речных бассейнов. Это приводит к тому, что в речных бассейнах, представленных ледниками малых форм, характер изменения оледенения может быть равнозначным.

Для оценки современного состояния ледниковых систем и тенденций их изменения необходимо проведение дистанционного мониторинга как можно большего числа бассейнов, имеющих оледенение, не взирая на размеры ледников. Методики и содержание таких инвентаризаций должны быть как можно больше унифицированными. Также необходимы данные об изменениях баланса массы ледников, полученных как по прямым натурным измерениям, так и по данным дистанционного зондирования.

Авторы выражают свою глубокую благодарность госпоже Haijing Wang (Hydrosolutions Ltd) и господину Tobias Siegfried (Hydrosolutions Ltd) за помощь в подборе пригодных для дешифрирования ледников спутниковых снимков Landsat.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Щетинников А.С. Морфология и режим ледников Памиро-Алая. – Ташкент, 1998. – 219 с.
- [2] Щетинников А.С. Оледенение Гиссаро-Алая. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 118 с.
- [3] Щетинников А.С., Яковлев А.В. Состав и функциональные возможности банка данных “Ледники” на ПЭВМ // Тр. САНИГМИ. – 2000. – Вып. 153(234).
- [4] Руководство по составлению каталога ледников СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 154 с.
- [5] Батыров Р.С., Яковлев А.В. Мониторинг горных ледников некоторых районов Гиссаро-Алая с использованием космических снимков ASTER // Тр. САНИГМИ. – 2004. – Вып. 167(248). – С. 22-27.
- [6] Yakovlev A. Attempt of Abramov glacier annual mass balance computation with using of Landsat images and glacier change estimation from 1957 to 2000. Abstract of International Symposium on Changing Cryosphere, Water Availability and Sustainable Development in Central Asia. – Urumqi. China, October 8-10, 2011. – P. 5.
- [7] Yakovlev A. Some features of state of the Abramov glacier and other glaciers of its basin in the first decade of the XXI. Abstract of the International Conference on Eurasian Mountain's Cryosphere, 13-15 December. Almaty, 2012. – P. 26.
- [8] Щетинников А.С. Ледники бассейна реки Пскем. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 120 с.
- [9] Ильин И.А. Водные ресурсы Ферганской долины. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1959. – 247 с.
- [10] Вилесов Е.Н., Уваров В.Н. Эволюция современного оледенения Заилийского Алатау в XX веке. – Алматы, 2001. – 252 с.
- [11] Северский И.В., Вилесов Е.Н., Кокарев А.Л. и др. Ледниковые системы Балхаш-Алакольского бассейна: состояние, современные изменения // Вопросы географии и геоэкологии. – Алматы, 2012. – Вып. 2. – С. 31-40.
- [12] Глазырин Г.Е., Яковлев А.В. Оценка ежегодного изменения площади оледенения речных бассейнов // Материалы гляциологических исследований. – 2009. – Вып. 107. – С. 67-71.

REFERENCES

- [1] Schetinnikov S.A. The morphology and regime of Pamir-Alai glaciers. Central Asia, Hydro-Meteorological Institute. Tashkent. 1998. 219 p. (in Russian).
- [2] Schetinnikov S.A. Glaciation of Hissar-Alai. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1981. 118 p. (in Russian).
- [3] Schetinnikov A.S., and Yakovlev A.V. Structure and functional capabilities of the data bank “Glaciers” for PC. Proc. of SANIGMI, edition 153 (234), 2000 (in Russian).
- [4] Guidebook on drawing up of the Catalogue of glaciers of the USSR. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1966. 154 p. (in Russian).
- [5] Batyrov R.S., Yakovlev A.V. Monitoring of glaciers in some areas Hissar-Alai using satellite images ASTER. Tr. SANIGMI. 2004. Vol. 167 (248). P. 22-27 (in Russian).
- [6] Yakovlev A. Attempt of Abramov glacier annual mass balance computation with using of Landsat images and glacier change estimation from 1957 to 2000. Abstract of International Symposium on Changing Cryosphere, Water Availability and Sustainable Development in Central Asia. Urumqi. China, October 8-10, 2011. P. 5.
- [7] Yakovlev A. Some features of state of the Abramov glacier and other glaciers of its basin in the first decade of the XXI. Abstract of the International Conference on Eurasian Mountain's Cryosphere, 13-15 December. Almaty, 2012. P. 26.
- [8] Schetinnikov A.S. Glaciers in the Pskem river basin. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976. 120 p. (in Russian).

- [9] Ийин I. A. Ferghana Valley Water resources. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1959. 247 p. (in Russian).
[10] Vilesov E.N., Uvarov V.N. The evolution of modern glaciation of Zailiyskiy Alatau in XX century. Almaty, 2001. 252 p. (in Russian).
[11] Severskiy I.V., Vilesov E.N., Kokarev A.L., et al. Glaciers systems of the Balkhash-Alakol basin: state, contemporary changes. Issue of Geography and Geoecology. 2012. N 2. P. 31-40 (in Russian).
[12] Glazyrin G.E., Yakovlev A.V. Evaluation of annual changes of glaciated area in river basins. Data of glaciological studies. 2009. Vol. 107. P. 67-71.

XX ҒАСЫРДЫҢ ЕКІНШІ ЖАРТЫСЫНДА МЕН XXI ҒАСЫРДЫҢ БАСЫНДАҒЫ ЖАС МҰЗДЫҚТАРДЫҢ БАСЫМДЫЛЫҒЫНДАҒЫ ӨЗЕН БАССЕЙНДЕРІНІҢ МҰЗБАСУ ӨЗГЕРІСТЕРІ

Т. В. Кудышкин¹, Ю. А. Тарасов², А. В. Яковлев³

¹Аға ғылыми қызметкер (Өзгидромет ГМҒЗИ, Ташкент, Өзбекстан)

²Жетекші инженер (Өзгидромет ГМҒЗИ, Ташкент, Өзбекстан)

³Бөлім бастығы (ӨЗМЖИ, Ташкент, Өзбекстан)

Тірек сөздер: мұздықтар, мұзбасу өзгерістері, ГАЖ, жерсерік түсірілімдерін өңдеу.

Аннотация. Шағын формасы бар мұздықтар Шахимардан, Кашкадария мен Сурхандария, Пскем өзен бассейндеріндегі қазіргі мұзбасу ахуалын инвентаризациялау нәтижесі ұсынылған. XX ғасырдың екінші жартысынан қазіргі кездегі өзен бассейндерінің мұзбасу өзгерістеріне талдау жасау. Жалпы ортада мұздықтар деградациясының зерттеу бассейндерінің барлығында бассейнден бассейнін әртүрлі мұзбасу қарқынының азайып кету маңызды.

CHANGES IN THE GLACIATION OF THE RIVER BASINS WITH A PREDOMINANCE OF SMALL GLACIERS IN THE SECOND PART OF XX CENTURY AND IN THE BEGINNING OF XXI CENTURY

T. V. Kudyshkin¹, Yu. A. Tarasov², A. V. Yakovlev³

¹Senior researcher (Scientific Research Hydrometeorological Institute, Uzhydromet, Tashkent, Uzbekistan)

²Leading engineer (Scientific Research Hydrometeorological Institute, Uzhydromet, Tashkent, Uzbekistan)

³Head of the department (UZGIP, Tashkent, Uzbekistan)

Key words: glaciers, change of a freezing, GIS, processing of satellite pictures.

Abstract. The results of the inventory of the current state of glaciation of Pskem, Shakhimardan, Kashkadariya and Surkhandariya with glaciers of small forms. The change of glaciers in the basins of the second half of the XX century to the present time. The general background of glacier degradation in all the studied basins, the rate of deglaciation is significantly different from basin to basin.