

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2022-3-15-25.14>

УДК 551.32/551.582-588

Н. Б. Курбонов

К.т.н., заместитель директора по науке и образованию
(Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии
Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Республика Таджикистан)

КЛИМАТО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА ДЕГРАДАЦИЮ ЛЕДНИКОВ БАССЕЙНА РЕКИ ЗЕРАФШАН

Аннотация. Анализируются проблемы глобального потепления климата в целом и их влияние на таяние ледников Таджикистана. На основе многолетних наблюдений метеостанций, которые расположены в разных зонах бассейна реки Зерафшан, и сравнения изменений средней температуры воздуха за два тридцатилетия (1960-1990 и 1990-2020 гг.) рассматривается процесс климатического потепления в районе. С использованием многолетних метеоданных (температуры воздуха) и спутниковых снимков, зафиксировавших деградацию языковой части ледников Зерафшан, Рама, Россиндж, Туро, Дихаданг и ГГП, исследуется линейная регрессионная зависимость отступления этих ледников от роста температуры.

Ключевые слова: изменение климата, метеорологические данные, температурный режим, вертикальный градиент температуры, деградация ледников, регрессионная зависимость, бассейн реки Зерафшан.

Введение. За последние несколько десятилетий проблема глобального потепления превратилась в одну из самых актуальных и серьёзных проблем мирового сообщества. Взгляды на процесс глобального потепления разнообразны: некоторые считают, что глобальное потепление связано с эволюцией планеты, ее развитие не закончилась и продолжается, другая группа полагает, что глобальное потепление зависит от ряда космическо-природных факторов (изменение размеров, рельефа и взаимного расположения материков и океанов, солнечной активности, параметров орбиты и наклона оси Земли, прозрачности и состава атмосферы, отражательной способности поверхности земли (альбедо), количества тепла, имеющегося в глубинах океана, вулканической активности и антропогенных воздействий).

С 1990-х годов исследования по изменению климата расширились, особенно после создания Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, 1988). Они охватили многие отдалённые и несхожие области науки, такие, как физика атмосферы, численное моделирование, геология и экономика. МГЭИК продолжает свою работу и издаёт серию трудов [1], которые описывают состояние научного понимания на момент выхода очередного доклада. Согласно [1] с 1991 года МГЭИК опубликовал пять оценочных докладов, шестой находится на стадии разработки.

Процесс глобального потепления или тенденция повышения температуры на планете, которая является неотъемлемой частью изменения климата, идентифицируется и оценивается по всему земному шару в соответствии с данными оценочных отчетов МГЭИК. Согласно Пятому оценочному докладу [2], с 1850 года в десятилетнем масштабе температура воздуха в каждое десятилетие была выше, чем в любое предшествующее десятилетие. В [2] одной из основных причин глобального потепления считается антропогенное воздействие, с 1880 по 2012 год средняя глобальная температура поверхности земли повысилась примерно на 0,9°C [2]. Также отмечается [2], что вероятность повышения температуры на протяжении XXI века на основе климатических моделей составляет 0,3-1,7°C для сценария минимальных выбросов парниковых газов и 2,6-4,8°C для сценария максимальных выбросов [2].

Особенно чувствительны к изменению климата ледники. С 60-х годов XX века Таджикистан является одной из стран с самой высокой скоростью отступления ледников на своей территории из-за изменения климата и загрязнения атмосферы.

Одним из крупных оледенённых районов Таджикистана и единственным крупным ледником в Гиссаро-Алае является Зерафшанский ледниковый узел, который по некоторым данным [5-12] деградирует быстрее, чем ледники Памира. Некоторые авторы [5-12] считают, что причина более быстрого отступления ледников в бассейне реки Зерафшан по сравнению с ледниками Памира заключается в том, что 70% ледников в этом бассейне расположены ниже фирновой линии. Важно отметить, что в этих условиях ледовое поле очень чувствительно к высоким летним температурам, низкой влажности, малому количеству годовых осадков, специфике горно-ущельного типа рельефа по направлению движения дождевых воздушных масс, а также орографическим показателям [5-7].

С учетом проблемы негативного воздействия изменений климата на состояние ледников в данной статье анализируется влияние одного из важнейших индикаторов состояния климата – температуры воздуха на деградацию ледников бассейна реки Зерафшан.

Целью работы является определение скорости отступления ледников в бассейне реки Зерафшан в зависимости от повышения средней температуры воздуха. Рассматривается влияние орографии местности на колебания температуры и её годовой ход по сезонам.

Динамика температуры воздуха в районе исследования. Для оценки климатического потепления в бассейне реки Зерафшан использовались многолетние данные метеостанций Анзоб, Шахристан, Пенджикент, Сангистон, Искандеркуль, Мадрушкат и Дехавз. Из них четыре метеостанции (вверх по течению) – Пенджикент, Сангистон, Мадрушкат и Дехавз расположены вдоль реки Зерафшан, метеостанция Искандеркуль – на берегу одноимённого озера, метеостанция Анзоб – на Анзобском перевале (юг) и Шахристан – на Шахристанском перевале (север). В таблице 1 приведены общие данные о метеорологических станциях.

Таблица 1 – Общие данные о метеостанциях бассейна реки Зерафшан

Станция	Год открыт.	Высота, м над ур. м.	Географические координаты			
			Широта		Долгота	
			град.	мин.	град.	мин.
Анзоб	1939	3373	39	05	68	52
Дехавз	1928	2561	39	27	70	12
Искандеркуль	1929	2204	39	06	68	23
Мадрушкат	1932	2234	39	26	69	40
Пенджикент	1879	1015	39	30	67	36
Сангистон	1932	1502	39	23	68	35
Шахристон	1933	3143	39	34	68	35

По многолетним показателям климат бассейна реки Зерафшан имеет особенности. Несмотря на горно-ущельный рельеф Зерафшанской долины и разности высот в этом районе, не наблюдается климатического контраста. От равнины долин до вершины гор здесь наблюдаются, с небольшой разницей, сухой климат и засушливая зима. Однако сложный рельеф и большие разности высот тесно влияют на изменения метеопараметров, в том числе на температуру воздуха и атмосферные осадки. Например, поток влажного воздуха, который входит в бассейн реки Зерафшан с запада, является основным источником осадков, но их количество меняется с запада на восток в зависимости от сезонов, орографии местности и расположения хребтов [6, 7, 11, 12].

Для оценки изменения температурного режима в бассейне реки Зерафшан использованы многолетние данные метеостанций Пенджикент, Искандеркуль, Мадрушкат, Дехавз, Шахристан и Анзоб за последние 30 лет. На рисунке 1 представлены среднегодовые температуры воздуха за 1990-2020 гг.

Из рисунка 1 ясно, что среднегодовая температура по всей зоне бассейна реки Зерафшан с 1990 по 2020 год неоднородна. По данным метеостанций Пенджикент, Искандеркуль и Мадрушкат температура воздуха имеет тенденцию к значительному повышению. Наблюдения, проведенные на метеостанциях Дехавз и Анзоб в этот период, показывают, что тенденция среднегодовой температуры снижалась. Согласно данным метеостанции Шахристан тренд среднегодовой температуры воздуха за 1990-2020 гг. оставался относительно неизменным.

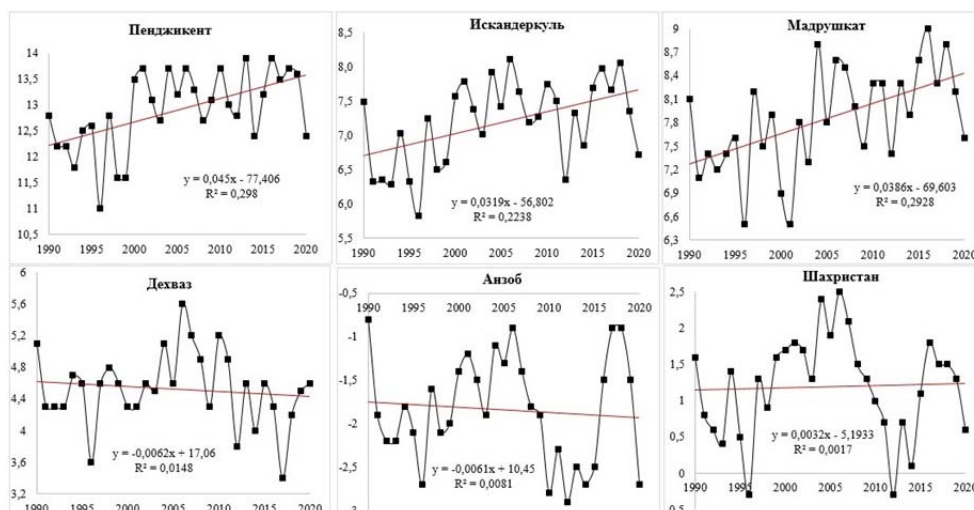
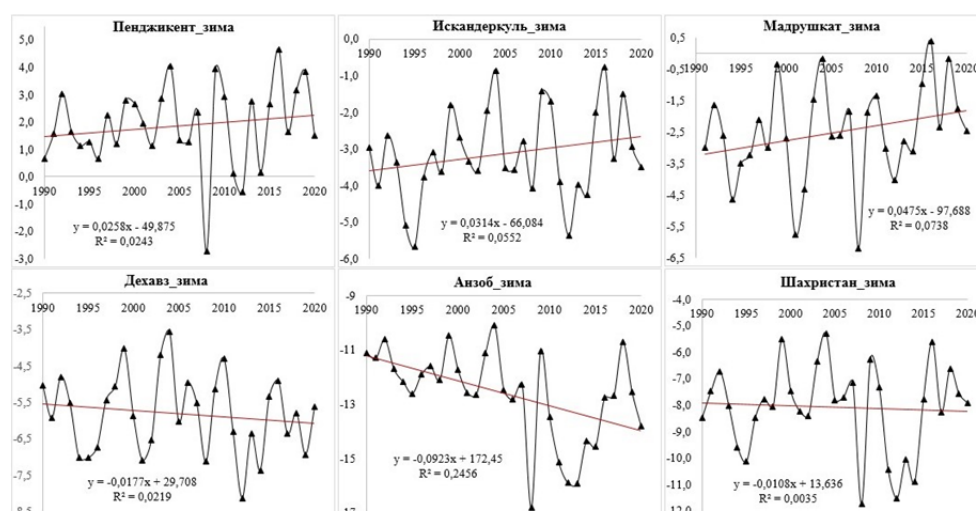


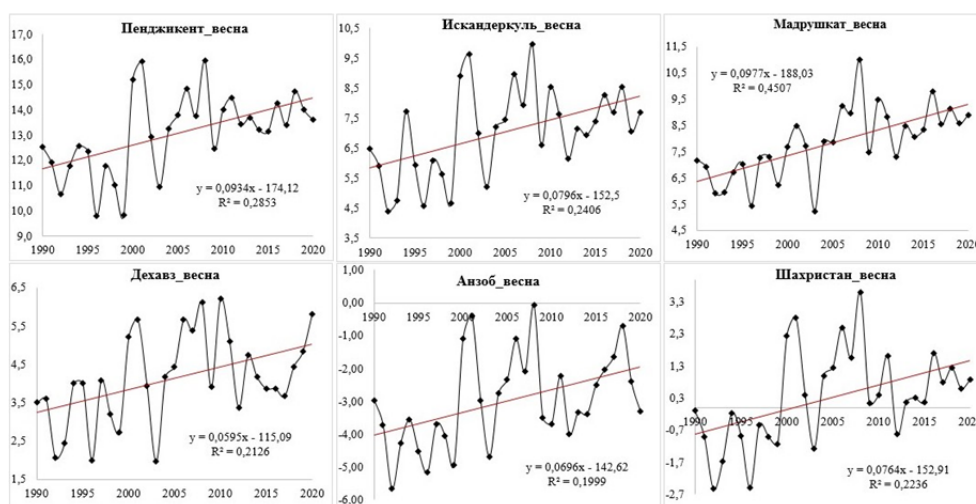
Рисунок 1 – Среднегодовые температуры воздуха по наблюдениям метеостанций Пенджикент, Искандеркуль, Мадрушкат, Дехавз, Анзоб и Шахристан за 1990-2020 гг.

Для определения хода изменения температуры воздуха в бассейне реки Зерафшан с 1990 по 2020 год проанализировали среднесезонную температуру (зимний, весенний, летний и осенний сезоны) (рисунок 2).

1



2



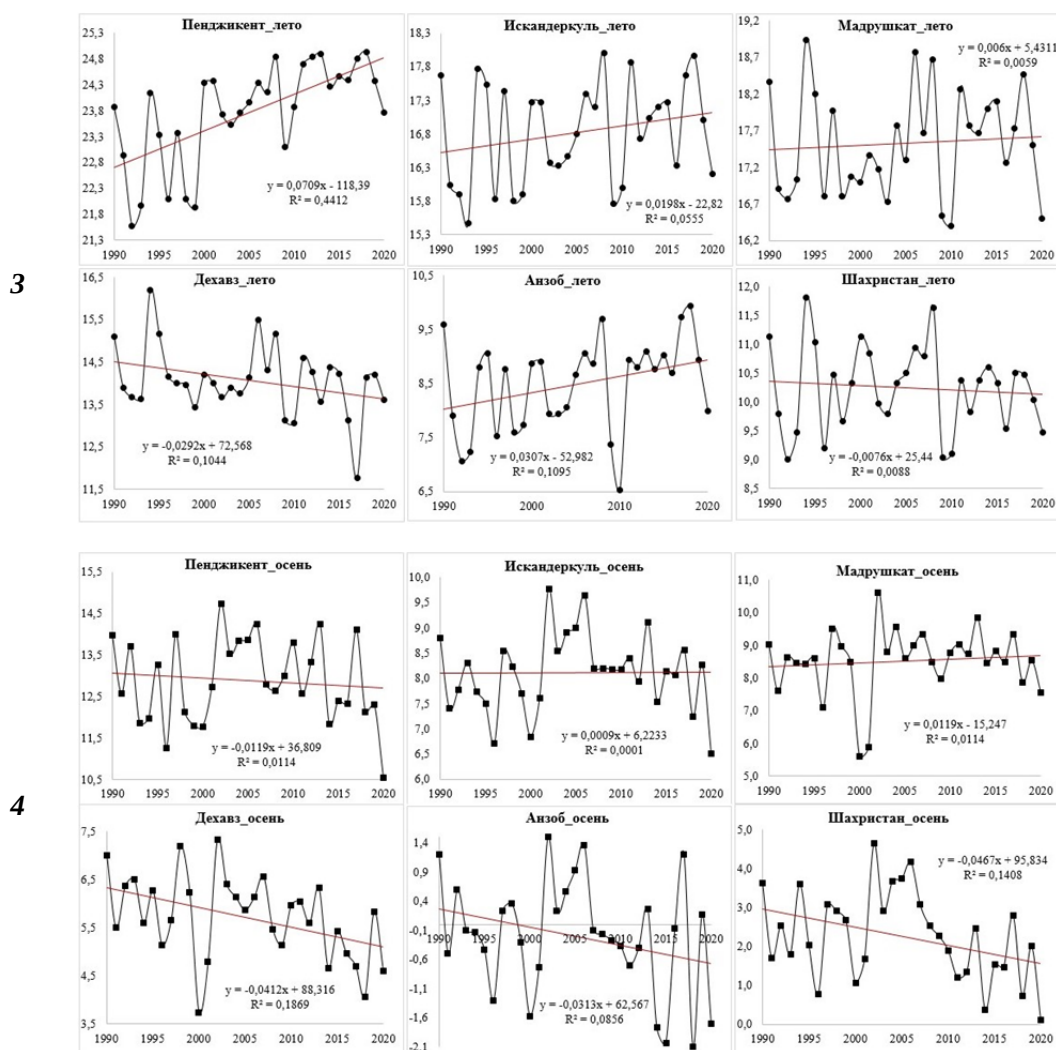


Рисунок 2 – Ход изменения среднесезонной температуры воздуха в бассейне реки Зерафшан с 1990 по 2020 г.г.:

1 – зима; 2 – весна; 3 – лето; 4 – осень

Рисунок 2 (1) показывает, что по данным метеостанций Пенджикент, Искандеркуль и Мадрушкат средняя зимняя температура за 1990-2020 годы имеет тенденцию к повышению. Согласно метеостанциям Дехавз и Анзоб за период наблюдений температура в этот период снизилась. По данным метеостанции Шахристан среднезимняя температура воздуха с 1990 по 2020 г. практически не изменилась.

Из рисунка 2 (2) видно, что за период наблюдений (1990-2020 гг.) средняя весенняя температура во всех зонах (Пенджикент, Искандеркуль, Мадрушкат, Дехавз, Анзоб и Шахристан) бассейна реки Зерафшан имеет тенденцию к повышению.

Кривые линии рисунка 2 (3) подтверждают, что изменение средне-летней температуры в этом бассейне имеет совершенно разные тенденции. Согласно данным метеостанций Пенджикент и Анзоб температура воздуха в 1990-2020 гг. имела тенденцию к повышению. По данным метеостанций Искандеркуль и Мадрушкат средняя температура неуклонно растёт. Однако данные метеостанций Дехавз и Шахристан показывают, что среднелетняя температура в период наблюдений снизилась.

Из рисунка 2 (4) видно, что изменение средней температуры воздуха осенью имеет тенденцию к увеличению только по данным метеостанции Мадрушкат. По данным трех высокогорных метеостанций – Анзоб, Шахристан и Дехавз средняя температура осенью снизилась за весь период наблюдений. Согласно данным метеостанции Анзоб тенденция к снижению в этот период является постоянной, а для метеостанции Искандеркуль она практически не изменилась.

Понижение температуры в зависимости от высотного положения метеостанций. Всемирная метеорологическая организация (ВМО) внесла ряд изменений в свои нормативные документы и технические стандарты, которые определяют климатические нормы [13]. Наиболее значительное из изменений касалось порядка определения климатологических 30-летних периодов, кончающихся цифрой 0 (1901-1930, 1931-1960, 1961-1990 и 1991-2020 гг.). Согласно [14] еще в 1998 г. ВМО приняла период с 1961 по 1990 г. как стандартный опорный период для долгосрочной оценки изменения климата. Поэтому на рисунке 3 представлены сравнительные нормы среднемесячной температуры воздуха в бассейне реки Зерафшан за два 30-летних периода – 1960-1990 и 1990-2020 гг.

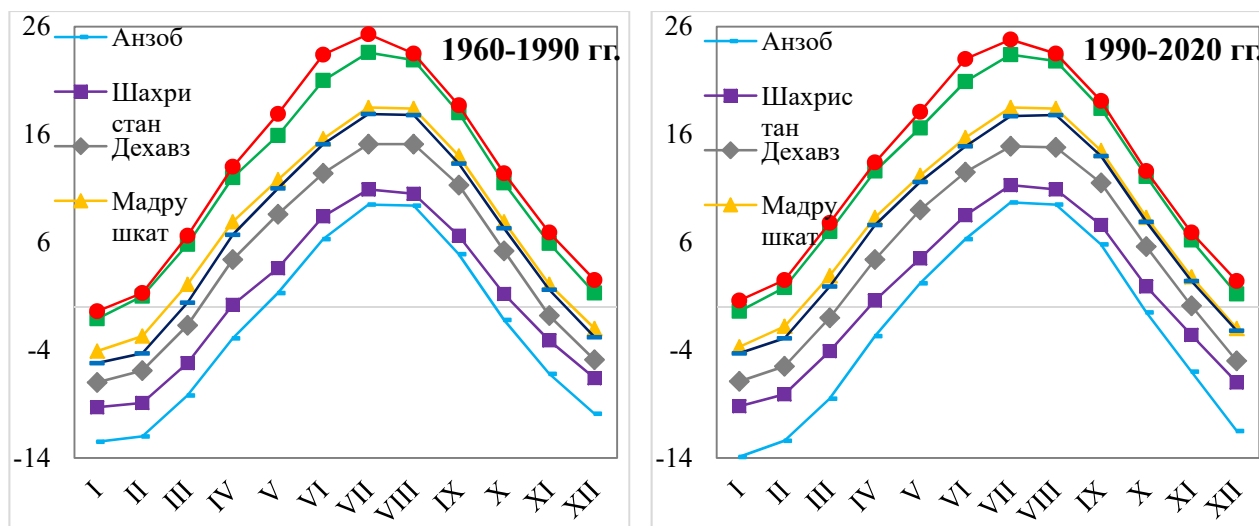


Рисунок 3 – Норма среднемесячного хода температуры воздуха в бассейне реки Зерафшан в 1960-1990 и 1990-2020 гг.

Из рисунка 3 видно, что хотя нормы среднемесячного хода температуры воздуха являются однородными для обеих периодов наблюдений, между кривыми линий есть отклонения. На рисунке видно, что начала и концы кривых линий периода 1990-2020 гг., за исключением метеостанции Анзоб, оказались немного выше, чем в 1960-1990 гг.

На рисунке 4 отражено сравнение вертикального градиента температуры воздуха за 1960-1990 и 1990-2020 гг. Колебания температуры воздуха варьируются в зависимости от высоты расположения метеостанции вдоль реки Зерафшан.

Рисунок 4 подтверждает, что с повышением географического местоположения метеостанции наблюдается понижение температуры, это называется вертикальным градиентом температуры воздуха. Однако вертикальный градиент температуры воздуха по данным за 1990-2020 гг. лежит выше вертикального градиента воздуха периода 1960-1990 гг. Из этого ясно, что температура в Зерафшанской долине за последние 30 лет повысилась по сравнению с 1960-1990 гг. на 0,5 °C в Дехавзе.

Воздействие роста температуры воздуха на отступление ледников. Повышение температуры воздуха оказывает негативное влияние на ледники, сокращаются площади оледенений, что проанализировано в ряде работ [5-12, 15-18]. Поэтому здесь обсуждаются корреляционные зависимости деградации некоторых ледников в бассейне реки Зерафшан с повышением средней температуры воздуха. Гляциодинамические данные и спутниковые съёмки показывают, что глобальное потепление климата привело к отступлению почти всех ледников Таджикистана в верховьях бассейна реки Зерафшан, а также на ледниках Федченко, Гармо, Мушкетова, Гандо, Фортамбек, Мазарский, Скогач, Бырс (Бохуд), Баральмос, Малый Октябрьский, Акбайтал, Бакчигир, Медвежий, РГО, Якарча, Диахандара, Абрамова и др. [5-7, 10, 15-16, 20]. В таблице 2 показана динамика площади некоторых ледников страны в 1980-2020 гг. (по данным Агентства по гидрометеорологии Таджикистана).

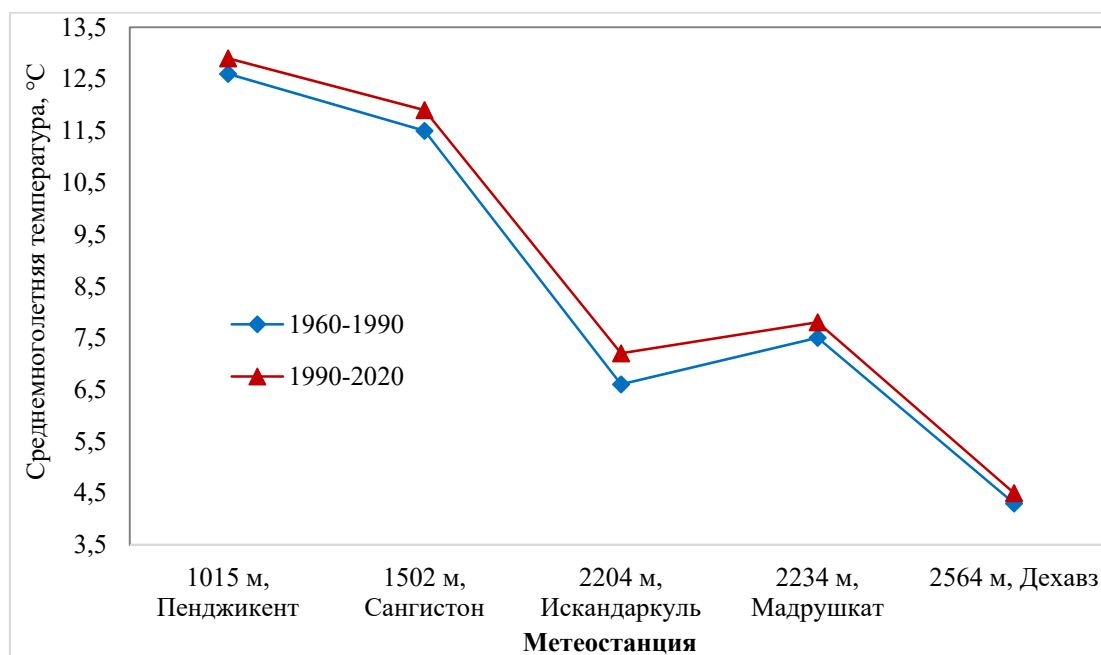


Рисунок 4 – Сравнение изменения температуры в зависимости от высоты в бассейне реки Зерафшан в 1960-1990 и 1990-2020 гг.

Таблица 2 – Динамика площади некоторых ледников Таджикистана в 1980-2020 гг.*

Ледник	Площадь ледника в 1980 г., км ²	Площадь ледника в 2020 г., км ²	Разница
Федченко	156	152	- 4
Зерафшан	133	127	- 6
Гармо	115	111	- 4
РГО	64	65	+1
Бивачный	34	41	+4
Косиненко	27	25	- 2
Медвежий	25	26	+1
Мазарский	23	21	- 2

*Источник: Агентство по гидрометеорологии Республики Таджикистан.

Из таблицы 2 видно, что за последние 40 лет под воздействием изменения климата некоторые крупные ледники потеряли свои площади и длину в километрах. Хотя данные таблицы показывают, что в этом периоде ледники РГО и Медвежий увеличились на 1 км. Такие данные не соответствуют реальности, поскольку названные ледники являются полирующими ледниками. В то же время из таблицы 2 видно, что с 1980 по 2020 год ледник Зерафшан намного больше потерял свои геометрические размеры, чем другие ледники. Следовательно [6-8, 18], многолетние анализы космоснимков ледников бассейна реки Зерафшан подтверждают, что из-за изменения климата все ледники находятся на стадии деградации.

Поскольку большинство ледников бассейна реки Зерафшан (рисунок 5) расположено в верховьях Зерафшана и Фанских гор, для определения скорости отступления ледников из-за повышения температуры использованы данные метеостанций Дехавз и Искандеркуль, которые находятся ближе всего к ледникам. Для определения влияния климатических колебаний на таяние ледника Гидрографической партией (ГГП) использовались многолетние метеонаблюдения станции Искандеркуль, а для остальных ледников – метеостанции Дехавз.

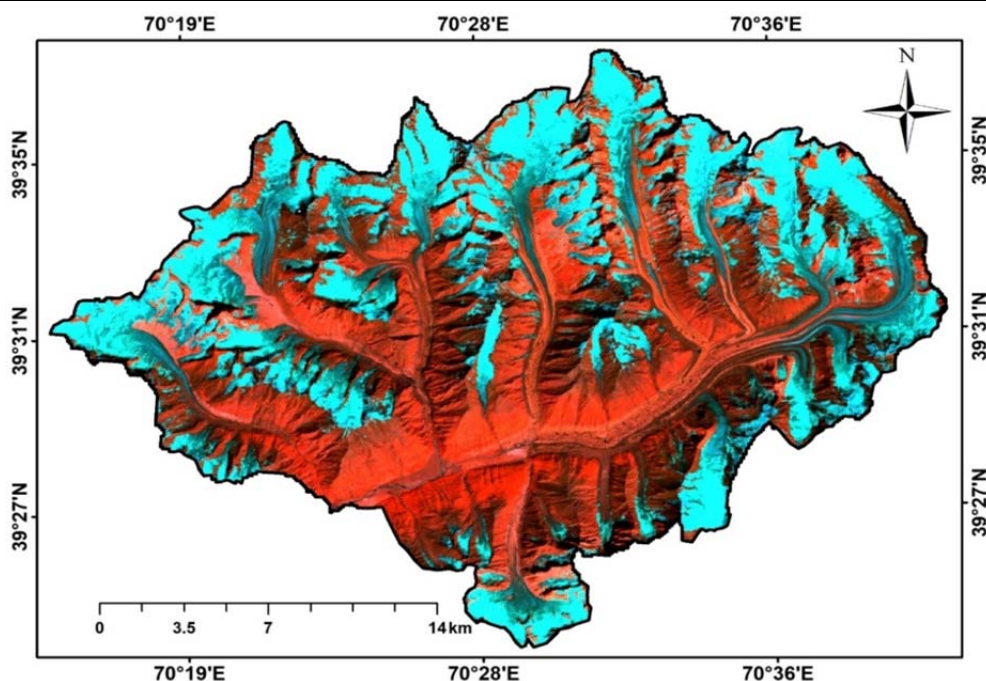


Рисунок 5 – Карта площади оледенения истока реки Зерафшан

Так как организация прямых наблюдений на ледниках горных или высокогорных районов затруднена по ряду причин (труднодоступность, финансовые ограничения и т.д.), для изучения площади, состояния, эволюции и деградации таких ледников очень удобно проводить дистанционное зондирование из космоса.

Результаты исследования и их обсуждение. Для наблюдений отступления языка ледников в верховьях этого бассейна были использованы космоснимки Landsat. Поскольку снимки Landsat имеют разрешающую способность 60 м на пиксель, то для явного определения границ ледника мы выбрали примерно декадные интервалы съёмки.

Точность положения оцифрованной границы ледника по горизонту пропорциональна $\frac{1}{2}$ линейного размера пикселя космоснимка и составляет ± 30 м. Поскольку форма языка ледников сложная, было высчитано среднее значение на основе 3-6 измерений дистанции отступления. Затем эту дистанцию пересчитывали в скорость таяния ледника за данную декаду.

Для нахождения математической взаимосвязи таяния ледников с температурами воздуха для каждой декады были рассчитаны среднегодовые значения температуры за 1977-1988, 1988-1999, 1999-2009 и 2009-2019 гг. Взаимосвязь между параметрами определяли с помощью линейной регрессии и величины аппроксимации в Excel.

Среднегодовая скорость отступления языков ледников, рассчитанная для каждой декады, представлена на рисунке 6. Среднегодовая скорость их таяния за весь период наблюдения составляет: Зерафшан – 24,4 м/год, Рама – 41,1 м/год, Россиндж – 22,7 м/год, Туро – 10,4 м/год, Дихаданг – 7,1 м/год и ГПП – 4,1 м/год.

Как следует из рисунка 6, ледник Зерафшан быстрее всех отступал во вторую декаду. Затем эта скорость резко снизилась, в четвертую декаду процесс немного ускорился.

Таяние ледника Рама (см. рисунок 6) с первой по вторую декаду ускорилось, тогда как между второй и третьей декадами немного снизилось и, наоборот, с третьей по четвертую декаду скорость отступления резко повысилась.

С первой по третью декаду отступление ледника Россиндж (см. рисунок 6) сильно замедлилось, однако в четвертой декаде заметна тенденция к ускорению.

Для ледника Туро (см. рисунок 6) по всем декадам наблюдается тенденция уменьшения скорости отступления.

Скорость таяния языков ледников ГПП и Дихаданг (см. рисунок 6) с первой по вторую декаду немного снизилась, и с небольшими колебаниями сохраняется стабильной по настоящее время.

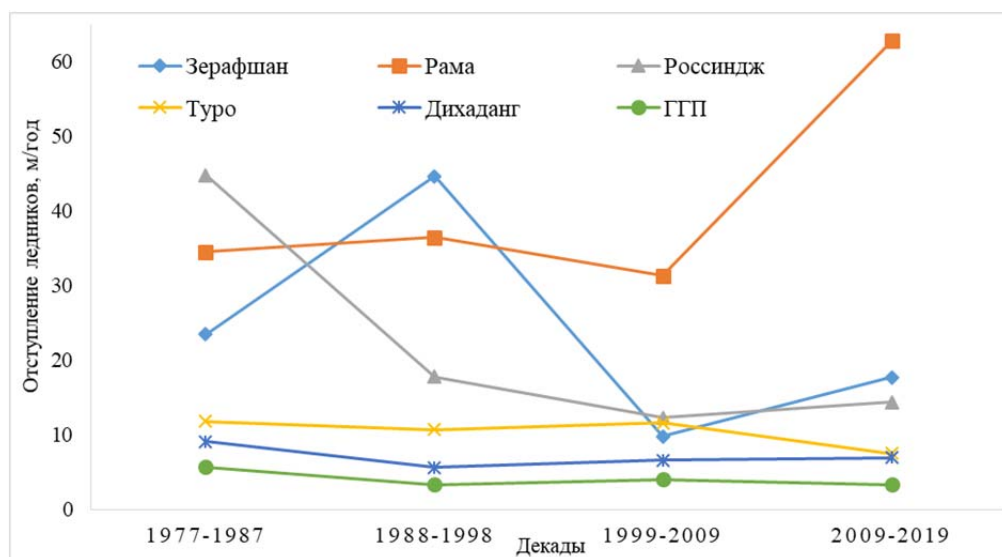


Рисунок 6 – Скорость отступления ледников в бассейне реки Зерафшан (м/год) по декадам 1977-1988, 1988-1999, 1999-2009 и 2009-2019 гг.

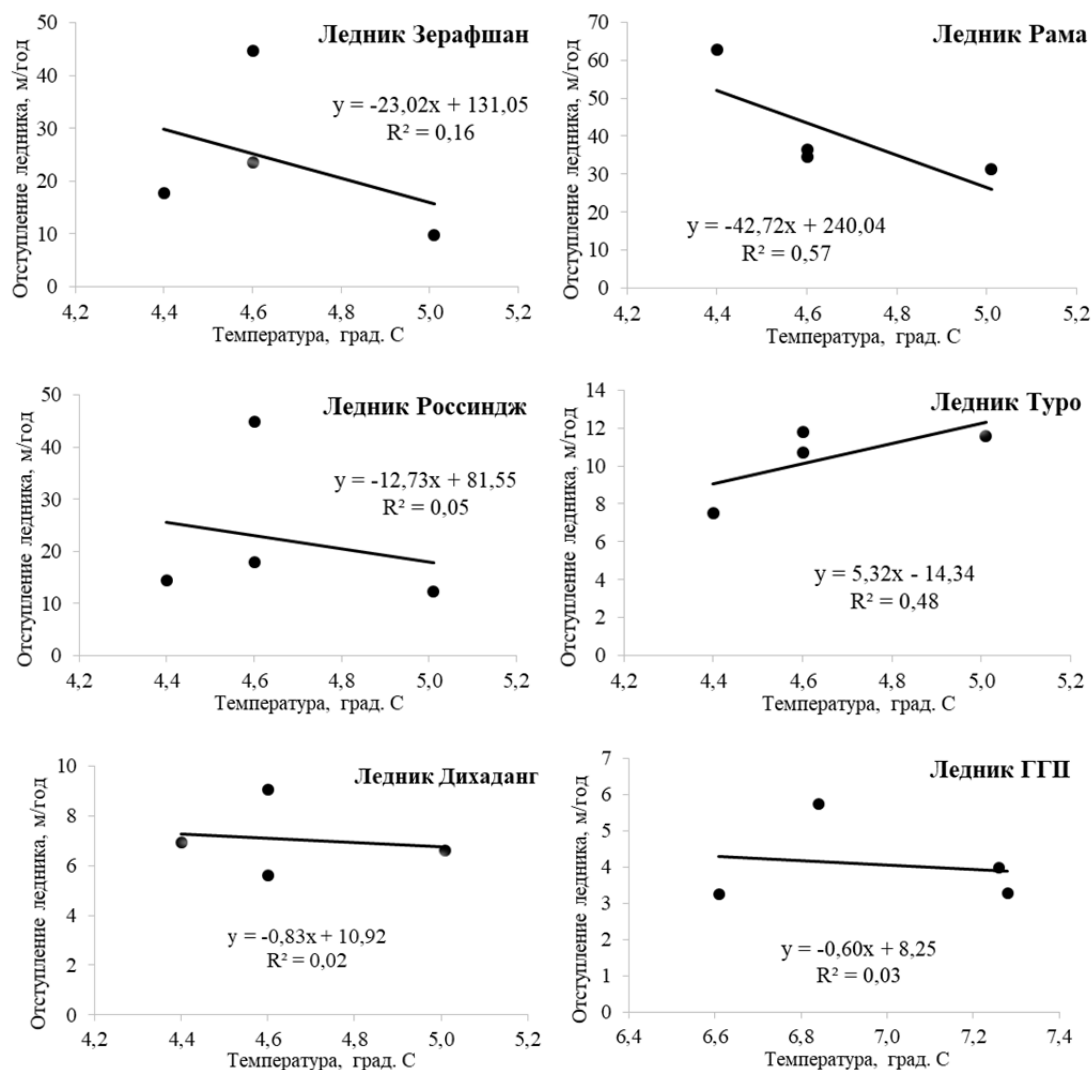


Рисунок 7 – Регрессионная зависимость среднегодовых значений температуры воздуха и средней скорости отступления ледников по декадам 1977-1988, 1988-1999, 1999-2009 и 2009-2019 гг.

На рисунке 7 показана линейная регрессионная зависимость сокращения ледников Зерафшан, Рама, Россиндж, Туро, Дихаданг и ГПП от среднегодовой температуры по четырём декадам. Регрессионная зависимость может быть признана сильной только для двух ледников – Рама и Туро. Остальные ледники показывают явно слабые связи с колебаниями средних значений температуры по декадам наблюдения.

Как видно из рисунка 7, только для ледника Туро угловой коэффициент регрессии положителен и показывает рост скорости деградации языка с повышением температуры. Во всех остальных случаях угловые коэффициенты регрессии отрицательны. Это указывает на то, что чем выше температура, тем медленнее отступает язык ледника в заданном диапазоне температурных значений. Таким образом, полученные результаты согласуются с представлением о влиянии повышения температуры на сокращение площади ледников. Однако регрессионные тренды позволили установить, что скорость этого сокращения замедляется с ростом температуры в пяти случаях из шести. Исключение составил только ледник Туро.

Заключение. Влияние температурного режима и солнечной радиации очень зависит от местоположения ледника, его экспозиции и уклона тающей поверхности, т.е. важнейшую роль играет именно микроклимат. Так, ледник Рама расположен на южных склонах хребта Туркестан, и солнечное излучение непосредственно достигает его круглый год. Ледник Туро также находится на южном склоне названного хребта, но внутри ущелья, лежащего параллельно с Туркестанским хребтом. Поэтому в осенние, зимние и весенние сезоны солнечные лучи меньше достигают его поверхности. На тех же южных склонах данного хребта расположен и ледник Россиндж. Однако рост температуры очень слабо отражается на динамике этого ледника за последние три декады (см. рисунок 6). Наряду с этими ледниками повышение температуры оказывает наименьшее влияние на скорость отступления ледника Дихаданг (см. рисунок 7), расположенного на северном склоне хребта Зерафшан. Это обуславливает малый угол наклона солнца и ледник крайне медленно отступает без каких-либо сильных колебаний во времени.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Reports – IPCC // URL: <https://www.ipcc.ch/reports/>
- [2] МГЭИК (2014). Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад / Основная группа авторов: Р. К. Пачури, Л. А. Мейер. – IPCC, 2015. – (Вклад рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад МГЭИК).
- [3] World glacier monitoring service. global glacier change bulletin (2021) // URL: <https://wgms.ch/ggcb/>
- [4] National Snow and Ice Data Center. Global glacier recession (2015) // URL: <https://wgms.ch/>
- [5] Аброров Х. Ледники Таджикистана. – Душанбе, 2017. – 147 с. (на тадж. яз.).
- [6] Курбонов Н.Б. Динамика изменения метеорологических условий и их влияние на водные ресурсы бассейна реки Зерафшан: Дис. ... к. тех. н. – Душанбе, 2019. – 156 с.
- [7] Норматов П.И., Курбонов Н.Б., Фрумин Г.Т., Норматов И.Ш. Метеорологические особенности и гидрохимия озера Искадеркуль и впадающих в него рек // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2016. – № 45. – С. 13-19.
- [8] Курбонов Н.Б., Восидов Ф.К., Мирзохонова С.О., Халимов А.М. Процесс деградации ледников верховьев бассейна реки Зерафшан в условиях современного изменения климата // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. – 2019. – № 2. – С. 58-67.
- [9] Мухаббатов Х.М., Яблоков А.А. Снежный покров Таджикистана. – Душанбе, 2008. – 118 с.
- [10] Пильгуй Ю.Н., Саидов М.С., Хомидов А.Ш., Шакиржанова Г.Н. Ледники Таджикистана в условиях изменения климата. – Душанбе, 2008. – 116 с.
- [11] Курбонов Н.Б. Мониторинг чрезвычайных ситуаций и их зависимости от метеорологических условий в бассейне реки Зерафшан // Вестник Таджикского национального университета. – Т. 126, № 1/1. – С. 273-279.
- [12] Курбонов Н.Б., Норматов П.И. Мониторинг метеорологических условий и их влияние на состояние ледников бассейна реки Зерафшан // Известия вузов (Кыргызстан). – 2015. – № 4. – С. 82-86.
- [13] Всемирная метеорологическая организация, 2017 г.: Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм (ВМО-№ 1203). – Женева, 2017.
- [14] World Meteorological Organization, 1998: 1961–1990 Global Climate Normals (CLINO), Version 1.0 (WMO - No. 847). Geneva, 1998.
- [15] Ледники – водные ресурсы Таджикистана в условиях изменения климата // Главное управление по гидрометеорологии и наблюдениям за природной средой. – Душанбе, 2010. – 34 с.
- [16] Финаев А.Ф. Климат и оледенение // Водные ресурсы Центральной Азии. – 2004. – Т. I, № 1. – С. 55-65.
- [17] Курбонов Н.Б., Боев Б.Х., Восидов Ф.К., Халимов А.М., Кабутов Х.К. Изучение состояния и негативные последствия ледниковых озер в высокогорных районах Таджикистана // Тезисы международной конференции и школы молодых ученых, посвященные памяти Н.К. Кононовой «Климатические риски и космическая погода». – Иркутск, 2021. – С. 41.

[18] Халимов А.М., Курбонов Н.Б., Митусов А.В., Восидов Ф.К. Исследование процесса деградации ледника Гидрографической партии с учетом климатического колебания // Материалы VIII международной научной конференции «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли». – Красноярск, 2021. – С. 287-294.

REFERENCES

- [1] Reports – IPCC // URL: <https://www.ipcc.ch/reports/>
- [2] IPCC (2014). Climate change, 2014: Synthesis report / The main group of authors: R.K. Pachuri, L.A. Meyer. IPCC, 2015. (Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the IPCC) (in Russ.).
- [3] World glacier monitoring service. global glacier change bulletin (2021) // URL: <https://wgms.ch/ggcb/>
- [4] National Snow and Ice Data Center. Global glacier recession (2015) // URL: <https://wgms.ch/>
- [5] Abrorov H. Glaciers of Tajikistan. Dushanbe, 2017. 147 p. (in Tajik).
- [6] Kurbonov N.B. Dynamics of changes in meteorological conditions and their impact on the water resources of the Zerafshan river basin: Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Dushanbe, 2019. 156 p. (in Russ.).
- [7] Normatov P.I., Kurbonov N.B., Frumin G.T., Normatov I.Sh. Meteorology and Hydrochemistry of the Lake Iskanderkul and Influent Rivers // Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University. 2016. N 45. P. 13-19 (in Russ.).
- [8] Kurbonov N.B., Vosidov A.M., Mirzokhonova S.O., Khalimov A.M. The process of degradation of glaciers in the upper reaches of the Zerafshan river basin in the context of modern climate change // Science and innovation. Geological and Engineering Science Series. 2019. N 2. P. 58-67 (in Russ.).
- [9] Mukhabbatov Kh.M., Yablokov A.A. Snow cover of Tajikistan. Dushanbe, 2008. 118 p. (in Russ.).
- [10] Pilguy Yu.N., Saidov M.S., Khomidov A.Sh., Shakirzhanova G.N. Glaciers of Tajikistan in the context of climate change. Dushanbe, 2008. 116 p. (in Russ.).
- [11] Kurbonov N.B. Monitoring of emergency situations and their dependence on meteorological conditions in the Zerafshan river basin // Bulletin of Tajik National University. 2014. Vol. 126, N 1/1. P. 273-279 (in Russ.).
- [12] Kurbonov N.B., Normatov P.I. Monitoring of meteorological conditions and their influence on the state of glaciers in the Zerafshan river basin // Izvestiya vuzov (Kyrgyzstan). 2015. N 4. P. 82-86 (in Russ.).
- [13] World Meteorological Organization, 2017: WMO Guidelines for the Calculation of Climate Norms (WMO - No.1203), Geneva, 2017 (in Russ.).
- [14] World Meteorological Organization, 1998: 1961–1990 Global Climate Normals (CLINO), Version 1.0 (WMO - No.847). Geneva, 1998.
- [15] Glaciers - water resources of Tajikistan in the context of climate change // Main Directorate for Hydrometeorology and Observation of the Natural Environment. Dushanbe, 2010. 34 p. (in Russ.).
- [16] Finaev A.F. Climate and glaciation // Water resources of the Central Asia. 2004. Vol. I, N 1. P. 55-65 (in Russ.).
- [17] Kurbonov N.B., Boev B.Kh., Vosidov F.K., Halimov A.M., Kabutov Kh.K. Study of the state and negative consequences of glacial lakes in the high mountainous regions of Tajikistan // Abstracts of the International Conference and the School of Young Scientists dedicated to the memory of N. K. Kononova «Climatic Risks and Space Weather». Irkutsk, 2021. P. 41 (in Russ.).
- [18] Halimov A.M., Kurbonov N.B., Mitusov A.V., Vosidov F.K. The study of stadresearch the process of degradation of the Hydrographic Party with account for climatic oscillation // Proceedings of the VIII International Scientific Conference «Regional Problems of Earth Remote Sensing». Krasnoyarsk, 2021. P. 287-294 (in Russ.).

Н. Б. Курбонов

Т.ғ.к., директордың ғылым және білім жөніндегі орынбасары
(Тәжікстан Ұлттық Ғылым академиясының су проблемалары,
гидроэнергетика және экология институты,
Душанбе, Тәжікстан Республикасы)

ЗЕРАФШАН ӨЗЕНІНІҢ БАССЕЙНІНДЕГІ МҰЗДЫҚТАРДЫҢ ДЕГРАДАЦИЯСЫНА ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ РЕЖИМНІҢ ӨСЕРІН КЛИМАТТЫҚ-ГЕОГРАФИЯЛЫҚ ТАЛДАУ

Аннотация. Жалпы жаһандық жылыну мәселелері мен олардың Тәжікстан мұздықтарының еруіне әсері талданылады. Зерафшан өзені алабының әртүрлі аймақтарында орналасқан метеостанциялардың көпжылдық бақылауларына және екі отыз жылдықтағы (1960-1990 және 1990-2020) орташа ауа температурасының өзгеруін салыстыруға сүйене отырып, аудандағы климаттың жылыну процесі қарастырылды. Зерафшан, Рама, Россиндж, Туро, Дихаданг және ГПП мұздықтарының тілдік бөлігінің деградациясын тіркеген көпжылдық метеодеректер (ауа температурасы) мен ғарыштық түсірімдерді пайдалана отырып, бұл мұздықтардың шегінуі температураның өсуіне сызықтық регрессиялық тәуелділігі зерттеледі.

Түйін сөздер: климаттың өзгеруі, метеорологиялық деректер, температура режимі, тік температура градиенті, мұздықтардың деградациясы, регрессияға тәуелділік, Зерафшан өзенінің бассейні.

N. B. Kurbonov

Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Science and Education
(Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan,
Dushanbe, Republic of Tajikistan)

**CLIMATIC-GEOGRAPHICAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE TEMPERATURE REGIME
ON THE DEGRADATION OF GLACIERS IN THE ZERAFSHAN RIVER BASIN**

Abstract. The problems of global climate warming in general and their impact on the melting of glaciers in Tajikistan are analyzed. Based on long-term observations of weather stations located in different zones of the Zerafshan River basin and comparison of changes in average air temperature over two decades (1960-1990 and 1990-2020), the process of climatic warming in the area is considered. Using long-term meteorological data (air temperature) and satellite images that recorded the degradation of the linguistic part of the Zerafshan, Rama, Rossinj, Touro, Dihadang and GGP glaciers, the linear regression dependence of the retreat of these glaciers on temperature growth is investigated.

Keywords: climate change, meteorological data, temperature regime, vertical temperature gradient, degradation of glaciers, regression dependence, Zerafshan river basin.