

Н.В. Пиманкина * , **Ж.Д. Такибаев** 

ТОО «Центрально-Азиатский Региональный Гляциологический Центр категории 2
под эгидой ЮНЕСКО», Казахстан, г. Алматы

* e-mail: pimankina@mail.ru

ДИНАМИКА СНЕЖНОГО ПОКРОВА В БАСЕЙНЕ Р. АРЫС В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

В статье приводятся результаты оценки изменения температуры воздуха, сумм атмосферных осадков и характеристик снежного покрова в бассейне р. Арыс – правого притока р. Сырдария. В условиях современного глобального потепления происходят заметные изменения в горных районах, растет риск опасных явлений, связанных со снегом, ледниками и вечной мерзлотой. В бассейне р. Арыс происходят сильные снего-дождевые паводки на фоне оттепели. Необходимо изучение климатических факторов, влияющих на состояние криосферы гор. На основе доступных данных наземных наблюдений Казгидромета на метеорологических станциях и по данным маршрутных снегосъемок в горах показаны изменения характеристик зимнего периода за 1960–2023 гг. Результаты анализа позволили оценить увеличение средней температуры воздуха в районе исследования за год и холодный период в $0,1^{\circ}\text{C}/10$ лет. Отмечается незначительное увеличение сумм осадков за ноябрь–март. Величина наибольшей за зиму высоты снега по данным маршрутных снегосъемок увеличилась на 5–20 см. За последние 30 лет величина снегозапасов увеличилась по сравнению с периодом 1960–1990 гг. на 80–100% пунктов измерений. Даты залегания устойчивого снежного покрова сдвинулись в сторону несколько более раннего установления и раннего схода снега. Результаты анализа позволили выявить изменения средних метеорологических показателей за два тридцатилетних периода.

Ключевые слова: Бассейн р. Арыс, температура воздуха, атмосферные осадки, высота снега, снегозапасы, сроки залегания снега, ГИС-карты.

N.V. Pimankina*, Zh.D. Takibayev

LLP “Central Asian Regional Glaciological Center category 2
under the auspices of UNESCO”, Kazakhstan, Almaty

*e-mail: pimankina@mail.ru

Dynamics of the snow cover in the Arys River basin in conditions of climate change

In the article the results of assessment of the changes in the air temperature, sums of precipitation, and the snow depth in the Arys River basin, which is the right tributary of the Syrdarya River are presented. In the context of global warming, noticeable changes are taking place in mountains, and the risk of hazards associated with snow, glaciers and permafrost is growing. In the upper reaches of the Arys River basin, strong snowmelt-rain floods occur against the backdrop of a thaw. It is necessary to study the climatic factors influencing the state of the mountain cryosphere. Based on the data of ground observations carried out by the Kazakh Hydrometeorological Service at the meteorological stations and according to the data of total precipitation gauges and field snow surveys in the mountains, the changes in the characteristics of the winter period for 1960–2023 are shown. The results of the analysis made it possible to estimate the increase in the average air temperature for the year and the cold period at $0.1^{\circ}\text{C}/10$ years. There is a slight increase in the sums of precipitation for November–March. The average snow depth, according to the field snow surveys, has increased by 5–20 cm. Over the past 30 years, the amount of snow-water equivalent has increased compared to the period of 1960–1990 at almost 80–100% of measurement points. The dates of occurrence of the snow cover have shifted towards somewhat earlier start and finish dates. The results of the analysis made it possible to identify changes in the mean multiyear meteorological characteristics over two 30-year periods.

Key words: Arys River basin, air temperature, atmospheric precipitation, depth of snow cover, snow-water equivalent, GIS-maps.

Н.В. Пиманкина*, Ж.Д. Такибаев
«ЮНЕСКО аясындағы 2-санатты
Орта Азия аймақтық гляциологиялық орталығы» ЖШС,
Қазақстан, Алматы қ.
*e-mail: pimankina@mail.ru

Климаттың өзгеру жағдайындағы Арыс өзені алабындағы қар жамылғысының динамикасы

Мақалада Сырдария өзенінің оң саласы – Арыс өзені алабындағы ауа температурасының, атмосфералық жауын-шашынның және қар жамылғысының биіктігінің өзгеруін бағалау нәтижелері келтірілген. Жаһандық жылыну жағдайында таулы аймақтарда айтарлықтай өзгерістер болып жатыр, қар, мұздықтар және мәңгі мұзбен байланысты қауіпті құбылыстардың қаупі артып келеді. Арыс өзені алабының жоғарғы ағысында еріген қар-жаңбырлы су тасқыны болды. Таулардың криосфералық жағдайына әсер ететін климаттық факторларды зерттеу қажет. Қазгидрометтің метеорологиялық станциялардағы жер үсті бақылауларының деректері негізінде және жауын-шашын мөлшерін өлшегіштер мен таулардағы маршруттық қар түсірілімдерінің деректері бойынша 1960–2023 жылдардағы қысқы кезең сипаттамаларының өзгерістері көрсетілген. Қараша-наурыз айларында жауын-шашын мөлшерінің шамалы өсуі байқалады. Маршруттық қар түсіру деректері бойынша максималды қардың орташа биіктігі 5–20 см-ге өсті. Соңғы 30 жылда қар қоры 1960–1990 жылдар кезеңімен салыстырғанда өлшеу пункттерінде 80–100% өскен. Тұрақты қар жамылғысының жату мерзімдерінде қардың сәл ертерек орнығуы және еруі байқалған. Талдау нәтижелері екі отыз жылдық кезеңдегі орташа метеорологиялық көрсеткіштердің өзгеруін анықтады.

Түйін сөздер: Арыс өзенінің алабы, ауа температурасы, жауын-шашын, қар жамылғысы, қардың түсу уақыты, ГАЗ карталар.

Введение

В настоящее время исследователи многих стран достаточно уверенно отмечают, что климат Земли изменяется. По расчетам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC, 2014), за последние 140 лет средняя глобальная приземная температура воздуха возросла на $0,6 \pm 0,20^\circ\text{C}$. Вследствие изменения климата наблюдается общее сокращение в последние десятилетия площади снежного покрова, объема ледников и глубины промерзания грунтов. В связи с изменениями в горной криосфере возрастает вероятность бедствий и социального ущерба, связанных с водой – истощение водных ресурсов (Li, 2023), таяние вечной мерзлоты (Bodin, 2015), подвижки каменных глетчеров (Marcer, 2021) и другие.

Распространение снежного покрова в Северном полушарии, а также протяженность арктического и антарктического морского льда специалисты Всемирной Метеорологической Организации называют в качестве основных индикаторов изменений климата для объяснения изменений политикам и населению (Williams, 2017). Анализы этих 3 показателей помогут обратить внимание политиков на наиболее чувствительные части криосферы.

Недавние исследования изменений климата в горных районах Центральной Азии (ЦА) ука-

зывают на совпадение глобальных и региональных тенденций. Ученые в целом установили положительные тренды в рядах средних годовых температур и годовых сумм осадков (Национальный..., 2016; Первый..., 2018; Третье..., 2016). Для Узбекистана подсчитан положительный тренд средней годовой температуры воздуха в пределах $0,5\text{--}1^\circ\text{C}$. Для всей территории Кыргызстана средняя годовая температура в XX в. возросла на $1,6^\circ\text{C}$, что значительно выше глобального потепления. Примерно аналогичные изменения климатических условий в XX в. наблюдались также на территории Таджикистана и Туркменистана. Потеплел и климат Казахстана: согласно подсчетам, средняя годовая температура воздуха в среднем по территории страны за 1991–2020 гг. повысилась на $0,9^\circ\text{C}$ по сравнению с предыдущим тридцатилетием 1961–1990 гг. (Восьмое Национальное..., 2022).

Анализ данных по снежному покрову Тянь-Шаня за 1940–1991 гг. показал уменьшение средней годовой толщины снега на 6–19 см, а число дней со снежным покровом сократилось за этот период на 9 дней (Aizen, 1997). По данным А. Finaev, высота снежного покрова по рейке на 6 станциях Таджикистана за 1990 – 2002 гг. отклонялась от нормы, как в положительную, так и в отрицательную стороны (Finaev, 2009). Явной тенденции выявлено не было. Увеличился диапазон между абсолютными максималь-

ными и минимальными значениями. G. Glazirin показал, что число дней со снежным покровом уменьшилось в г. Ташкенте за 80 лет с 60 до 30 дней в году (Glazirin, 2009). На горной станции Ойгаинг этот показатель также несколько сократился. Об уменьшении числа дней со снегопадами в высокогорных районах Центральной Азии сообщают (Li, 2020). По мнению экспертов, поскольку годовое и зимнее количество осадков на горных станциях или не меняется, или даже слабо растет, в целом максимальные снегозапасы на этих станциях изменяются не так сильно, так как они определяются зимними осадками.

Недостаточное количество данных наземных наблюдений по региону и новые технические возможности привели специалистов к оценке динамики снежно-ледовых ресурсов с помощью дистанционного зондирования (ДЗЗ). Использование спутниковых снимков, данных реанализа и непосредственных измерений позволили сделать заключение о том, что в период до усыхания Арала (1930-1965) в верховьях Амударьи и Сырдарьи имел место положительный тренд толщины снега (Khan, 2009). После 1965 г. преобладала тенденция к уменьшению данного показателя. Использование данных ДЗЗ позволяет уточнить характер изменений компонентов криосферы. Анализ данных радиометров MODIS и AVHRR за 28 лет позволили A. Dietz с соавторами (Dietz, 2014) установить сдвиг в датах к более раннему снеготаянию в горах Памира и Тянь-Шаня. Анализ данных AVHRR с 1986 по 2008 гг. привел Zhou et al. к заключению, что число дней со снежным покровом как увеличивается, так и уменьшается в различных горных районах (Zhou, 2008). Использование сеточного архива CRU для определения изменений осадков и температуры с 1960 г., данных MODIS и GRACE показало, что площадь снежного покрова в Центральном Тянь-Шане сократилась значительно, а на Западном – несколько увеличилась (Chen, 2016). А. Гафуров с соавторами (Gafurov, 2013; Калашникова, 2017; Hoelzle, 2020) использовали данные МОДИС для расчета водности р. Нарын. На основе снимков Ландсат сделана попытка оценить влияние климатических и социально-экономических факторов на сокращение водных ресурсов Центральной Азии (Huang, 2021). Современные данные ДЗЗ позволяют оценить изменения усредненного режима снежности на уровне континентов и субконтинентов (Терехов, 2020) и территории Казахстана в целом (Терехов, 2019; Кауазов, 2023). Сделаны

выводы о том, что климатические изменения ведут к сокращению площади снежного покрова, уменьшению его высоты и сдвигу даты начала снеготаяния на более ранние сроки.

Однако использование данных ДЗЗ пока не облегчило и не ускорило решение проблем динамики криосферы. В оценках экспертов нет единодушия в оценке темпов изменения климата по территории Центральной Азии. По-видимому, изменения температуры и атмосферных осадков, в том числе твердых в виде снега, происходят неравномерно как по территории, так и по сезонам года. Для орографически сложной территории изменение выпадения осадков также характеризуется значительной изменчивостью, и тренды осадков во всех высотных зонах имеют как положительные, так и отрицательные значения.

Анализ прямых наблюдений и использование традиционных способов оценки климатических условий и расчетов осадков, стока и других компонентов не теряет своей значимости.

Цель исследования – по данным многолетних стандартных метеорологических наблюдений уточнить динамику снегонакопления в зоне формирования стока р. Арыс, оценить колебания некоторых климатических характеристик, влияющих на формирование снежного покрова.

Материалы и методы исследования

Методом проведения работы является анализ данных регулярных наблюдений за температурой воздуха, осадками и снежным покровом на метеорологических станциях сети Казгидромета, а также материалов маршрутных снегосъемок на территории горной части бассейна р. Арыс. Изменения климатических параметров оценены через анализ многолетних рядов наблюдений и полученных на их основе величин линейных трендов. При построении карт величины температуры воздуха и высоты снега применена программа ArcGIS 10.8 с модулем Spatial Analyst, позволяющим строить изолинейные карты с помощью методов интерполяции данных между точками наблюдений. Использован метод сплайнов. Для картографической визуализации использованы произвольно выбранные градации.

Район исследований расположен в пределах Туркестанской области РК (Рис. 1). Река Арыс – правый приток р. Сырдарьи длиной 378 км, снегово-дождевого питания. В регионе проживает около 2 млн чел., проходят крупные автодороги Коргас-Алматы-Ташкент, Шымкент-Са-

мара. Сооружены 37 водозаборных каналов, 11 водохранилищ и 3 ГЭС (База знаний..., 2023). В зимне-весенний период район исследований находится под влиянием активной циклонической деятельности. Суммы осадков за ноябрь-март в равнинной части бассейна р. Арыс составляют 80-200 мм, в горном обрамлении достигают 800-1000 мм и более (Каталог..., 1976). Средняя высота снега по рейкам на площадках метеорологических станций (МС) колеблется от 8 до 90 см (Справочник..., 1969). Наибольшее снегонакопление наблюдается в бассейне р. Жабагылы – до 1000 мм в.э. и более. Характерные опасные явления – метели, заносы, снежные лавины, тало-дождевые паводки на фоне оттепели (дождь-на-снег).

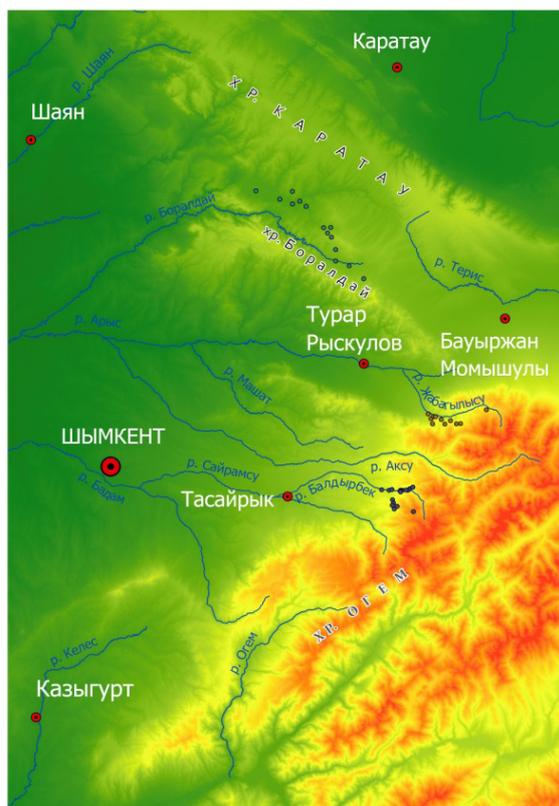


Рисунок 1 – Расположение пунктов наблюдений в бассейне р. Арыс.
Черные точки – снегомерные пункты

В условиях сложного орографического строения распределение осадков и снегонакопление на территории крайне неоднородно. Расположенные в восточной части бассейна р. Арыс хребты в сочетании с преобладающим западным

переносом воздушных масс создают барьерный эффект, следствием чего является повышенное увлажнение восточной части бассейна и соответственно, увеличение высоты и водности снежного покрова от равнинной части к горной.

Согласно данным (Никифорова, 2014), в бассейне р. Сырдария на территории Казахстана средняя годовая температура воздуха за 1941-2014 гг. повышалась на 0,22-0,26 °С/10 лет. Повышаются значения суточных максимумов, увеличивается общая продолжительность волн тепла, уменьшается продолжительность морозных дней. Привлекает внимание, что в исследовании отмечено отсутствие явных тенденций в режиме осадков – как годовых, так и сезонных. Прогнозируется, что годовые суммы осадков несколько увеличатся за счет осадков холодного периода. Причиной изменения климата местные специалисты считают увеличение площади старого Шардаринского водохранилища и нового Коксарайского контррегулятора (Каримсаков, 2012). Более реальным представляется обоснование наличия многоснежных зим усилением западно-восточного переноса (Воеводина, 2022).

Несмотря на имеющиеся данные о потеплении климата и уменьшении снежности зим в целом на территории страны, факты свидетельствуют о том, что опасность и риски, связанные со снегом, не становятся меньше. В изучаемом районе в 2010 г. объем лавин колебался от 50-70 тыс. куб. м (бассейн р. Балдырбек) до 170 тыс. (бассейн р. Жабагылы). 20 февраля 2008 г. из-за резкого повышения температур воздуха и таяния снега в трех районах ЮКО тальми водами было подтоплено 2346 домов и 9 школ, пострадали 12805 человек, разрушены 411 домов, общий материальный ущерб составил 15,2 млрд. тенге (Предупреждение..., 2012). В 2012 г. сильные тало-дождевые паводки вызвали подъем уровня воды на реках на 2 м, подтопили 1,5 тыс. домов, эвакуировано более 2,2 тыс. человек (Косенов, 2012). 3 февраля 2023 г. министр по ЧС РК вылетел в зону подтопления Туркестанской области и провел оперативное совещание по вопросам безопасности (Казангапов, 2023; Халдарова, 2023).

Исследование проводилось на основе наблюдений Казгидромета на метеорологических станциях (МС) и наблюдений за снежным покровом и осадками в горах (маршрутные снегосъемки). Период наблюдений при условии наличия данных – с 1960 г. по 2023 гг. Используются данные о средней температуре воздуха, суммах осадков за ноябрь-март, сроках залегания устойчивого

снежного покрова и наибольшей за зиму высоте снега по постоянной рейке на площадках 3 МС. Проанализированы данные измерений высоты и водности снежного покрова на 52 снегопунктах в 3 бассейнах рек – притоков р. Арыс. Учтены данные 22 суммарных осадкомеров (ОСК), расположенных на склонах различной экспозиции. Данные систематических наблюдений на территории бассейна р. Арыс позволяют оценить распределение и динамику осадков и снегозапасов в диапазоне высот 700-3300 м.

Для анализа использованы архивные справочные материалы гидрометслужбы Казахстана, а также данные сайтов (Материалы..., 2000; Архив..., 2023; Климатические..., 2023; Государственный..., 2023). Расположение метеостанций (МС) и снегопунктов (СП), данные которых использованы при анализе, показано на рисунке 1. Все метеостанции расположены в полузамкну-

тых горных котловинах или в открытых широких засушливых долинах и котловинах. На склонах метеостанций нет.

В табл. 1 представлены данные о длиннорядных с небольшим количеством пропусков метеорологических станциях.

Использованы данные маршрутных наблюдений за снежным покровом и осадками по суммарным осадкомерам в бассейнах притоков р. Арыс. Снегосъемки в горах и установка суммарных осадкомеров были начаты в разные годы, затем отдельные снегопункты и ОСК закрывались. При анализе по возможности были выбраны и оценены ряды одинаковой продолжительности. Поскольку целью исследования является анализ текущих изменений снежности, а не установление климатических норм, представляется правомерным использование всей имеющейся информации.

Таблица 1 – Данные о метеорологических станциях в районе исследований

№	Название	Широта	Долгота	Высота, м
1	Тасарык	42.23	70.13	1122
2	Шуылдак	42.17	70.21	1947
3	Аул Т. Рыскулова	42.29	70.18	801

В табл. 2 представлена информация о снегомерных маршрутах. Измерения высоты и водности снежного покрова производились в ходе маршрутных снегосъемок в конце каждого месяца зимнего сезона, период наблюдений по 2018 г. включительно. Высота снега на снегопунктах измеряется в 20 точках пере-

носной снегомерной рейкой с точностью до 1 см. Протяженность маршрутов от 25 до 50 км. Учтены данные наблюдений по суммарным осадкомерам, установленным на склонах различной экспозиции. Корректировка данных не производилась, данные использованы как оценочные.

Таблица 2 – Информация о наблюдениях за снежным покровом и осадками на маршрутах в бассейнах притоков р. Арыс

№	Бассейн	Снегопункты, диапазон высот, м	Осадкомеры, диапазон высот установки, м
1	р. Боралдай	700-1560	700-1650
2	р. Балдырбек	1500-2440	1680-3270
3	р. Жабагылысу	1300-1840	1590-2400

Изменения климатических характеристик оценены также через определения разницы между показателями за 30-летние периоды (1960-1990 и 1991-2021 гг.). При анализе изменчивости высоты и водности снежного покрова на снегомерных пунктах в горах выбраны их наибольшие значения за зиму.

Результаты и обсуждение

По нашим подсчетам, в бассейне р. Арыс и прилегающей территории средняя годовая температура воздуха за последние 30 лет (1991-2021 гг.) увеличилась по сравнению с периодом 1960-1990 гг. Результат подсчетов представлен в обобщенном виде на карте, составленной в ГИС-программе (рис. 2). Положительная разница средней годовой температуры за указанные периоды достигает 1,8°C

Для определения тенденций климатических изменений выполнен анализ многолетних колебаний средней температуры воздуха, сумм осадков за холодный период, а также сроков установления и разрушения устойчивого снежного покрова (УСП) и высоты снега по постоянной рейке на площадке МС. В табл. 3 представлены коэффициенты линейных трендов данных по-

казателей холодного периода. Коэффициенты линейного тренда температуры и суммы осадков положительны на низкогорных станциях, т. е. наблюдается тенденция к потеплению и увеличению сумм осадков (достоверность аппроксимации R^2 очень низкая). На МС Шуылдак, расположенной в среднегорной зоне, коэффициенты линейного тренда слабо отрицательны.

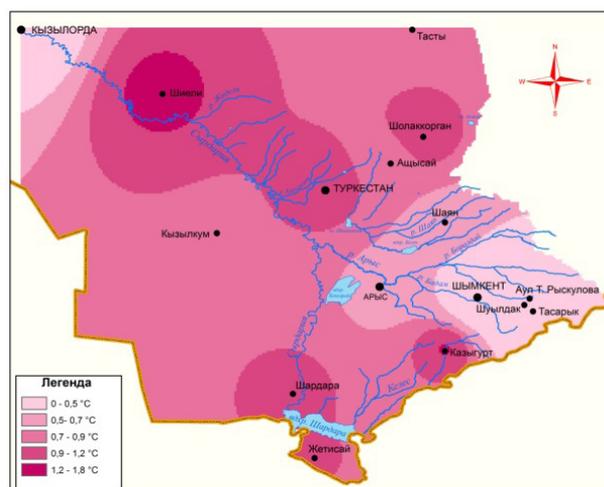


Рисунок 2 – Разница средней годовой температуры воздуха за 1960-1990 и 1991-2021 гг. в бассейне р. Арыс и на сопредельной территории

Таблица 3 – Коэффициенты линейных трендов показателей режима зимнего периода в бассейне р. Арыс за период 1960-2023 гг.

Метео станция	Температура воздуха, ноябрь-март	Сумма осадков, ноябрь-март	Даты установления УСП	Даты разрушения УСП	Высота снега по рейке
Тасарык	$y=0,0177x-34,6$ $R^2=0,052$	$y=0,09x+211,5$ $R^2=0,0003$	$y=-0,54x+1200,7$ $R^2=0,212$	$y=-0,43x+1055,2$ $R^2=0,123$	$y=-0,036x+106,4$ $R^2=0,0016$
Аул Т. Рыскулова	$y=0,015x-29,1$ $R^2=0,041$	$y=0,724x-1012,7$ $R^2=0,013$	$y=-0,219x+618,3$ $R^2=0,0426$	$y=-0,328x+765,2$ $R^2=0,1013$	$y=0,048x-67,7$ $R^2=0,0215$
Шуылдак	$y=-0,003x+3,51$ $R^2=0,002$	$y=-1,61x+3645,3$ $R^2=0,057$	$y=-0,202x+484,6$ $R^2=0,034$	$y=-0,192x+610,1$ $R^2=0,079$	$y=0,0032x+98,6$ $R^2=0,0004$

Согласно значениям коэффициента линейного тренда, на ряде МС отмечается незначительная тенденция роста осадков. Изменения не являются одинаковыми во времени: при очень высокой межгодовой изменчивости наблюдался период с суммами осадков ниже нормы, а с начала 2000-х годов – тенденция увеличения сумм осадков.

Очень слабые тенденции в изменении максимальной за зиму высоты снега, измеренной по постоянной рейке, имеют как положительный, так и отрицательный знак.

Важным показателем снежности территории служат сроки залегания устойчивого снежного покрова (УСП), которые определяются на метеостанциях и постах. В табл. 3 представлены

уравнения линейных трендов многолетних изменений дат установления и разрушения УСП. Коэффициенты линейного тренда отрицательны, т.е. наблюдается слабая тенденция к более раннему установлению и более раннему разрушению УСП. По линейному тренду, установление УСП отодвигается на более ранние сроки со скоростью на 1 сут/10 лет, а разрушение начинается несколько ранее с той же скоростью.

При анализе материалов наблюдений за осадками в горах (данные 22 суммарных осадкомеров) выявлено, что тенденции изменения сумм осадков за холодный период имеют противоположные знаки. В целом, в 50% рассмотренных данных по суммам осадков, измеренных СО, наблюдалась положительная тенденция, в 50% – отрицательная. Судя по имеющимся данным, осадки холодного периода ниже нормы наблюдались примерно в 1980-е, периоды повышенного увлажнения – в 2000-е годы. В бассейне р. Боралдай суммы осадков за ноябрь-март по показаниям трех суммарных осадкомеров увеличилась, на трех – уменьшилась. В бассейне р. Балдырбек многолетний ход сумм осадков за холодный сезон имеет слабую отрицательную тенденцию. В бассейн р. Жабагылысу вся сеть наблюдений над снежным покровом и осадками в горах организована в 1978 г., что не позволяет определять разницу между показателями за 30-летние периоды. Слабые положительные тренды в суммах осадков за ноябрь-март наблю-

даются на 3 ОСК, отрицательный – на 1.

Измерение сумм осадков по СО связано с высоким риском неточности результатов измерений. С целью оценки наиболее общих тенденций изменения увлажненности территории были использованы данные без поправок и корректировки на ветровой недоучет.

В тесной связи с распределением осадков холодного периода находится распределение высоты и водности снежного покрова. В условиях сложного орографического строения снегонакопление на изучаемой территории крайне неоднородно. Расположенные в казахстанской части бассейна р. Сырдария отроги Таласского хребта, Огемский и Каржантау в сочетании с преобладающим западным переносом воздушных масс создают барьерный эффект, следствием чего является повышенное увлажнение восточной части бассейна р. Арыс и соответственно, увеличение высоты и водности снежного покрова от равнинной части к горной. Наибольшие значения указанных параметров отмечаются в отрогах хребта Огем: в среднегорной зоне бассейнов рр. Балдырбек и Жабагылысу средняя многолетняя высота снежного покрова колеблется от 30 до 100 см, снеготолщины достигают 300 мм и более.

На рисунке 3 показаны многолетние изменения наибольшей за зиму высоты снега (см), измеренной в ходе маршрутных снегосъемок в горах, на отдельных снегопунктах (СП) в бассейнах притоков р. Арыс.

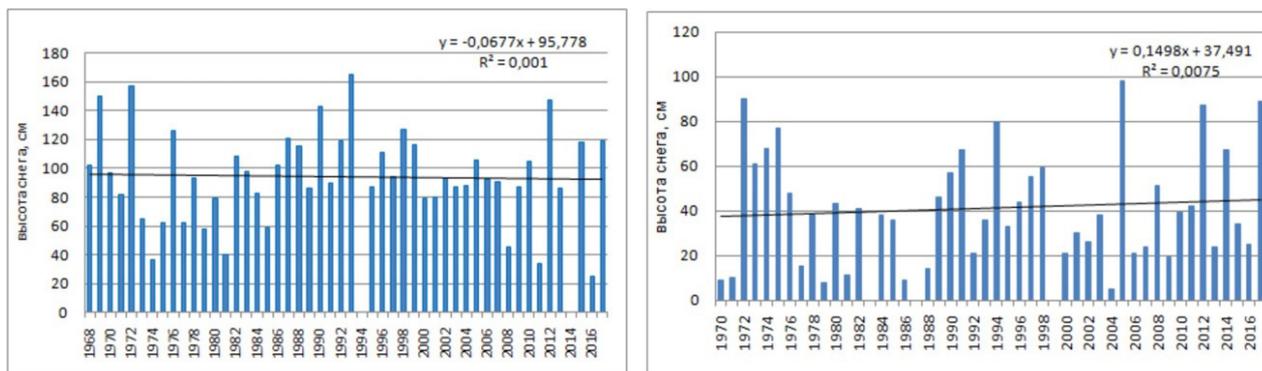


Рисунок 3 – Многолетние изменения наибольшей за зиму высоты снега по данным маршрутных снегосъемок в бассейнах р. Балдырбек (слева- СП 20, Н=2480 м) и р. Боралдай (справа – СП 2, Н=1310 м).

Прямая линия – линейный тренд

Обобщение данных о динамике высоты снега в пунктах маршрутных наблюдений показало, что в целом в бассейне р. Боралдай на 75% пунктов наблюдений средняя высота снега увеличилась. Разница между средними величинами высоты снега за 1960-1990 и 1991-2018 гг. колеблется от 3 до 19%, и в основном находится в пределах точности измерений. В бассейне р. Балдырбек средняя из наибольших высота снежного покрова за период 1991-2018 гг. по наблюдениям на маршрутных снегосъемках увеличилась на 5-20 см и более по сравнению с периодом измерений 1960-1990 гг. В бассейне р. Жабагылысу на всех СП наблюда-

лась положительная тенденция. Высота снежного покрова значительно колеблется из года в год, и знаки трендов изменений противоположны.

Все имеющиеся данные о наибольшей за зиму высоте снега на территории бассейна р. Арыс были осреднены для периодов 1960-1990 и 1991-2018 гг. Практически на всей территории отмечается увеличение наибольшей за зиму высоты снега. Составленная в ГИС-программе карта показывает, что площадь территории, где толщина снежного покрова за последние 30 лет увеличилась, составляет большую часть бассейна (рис. 4).

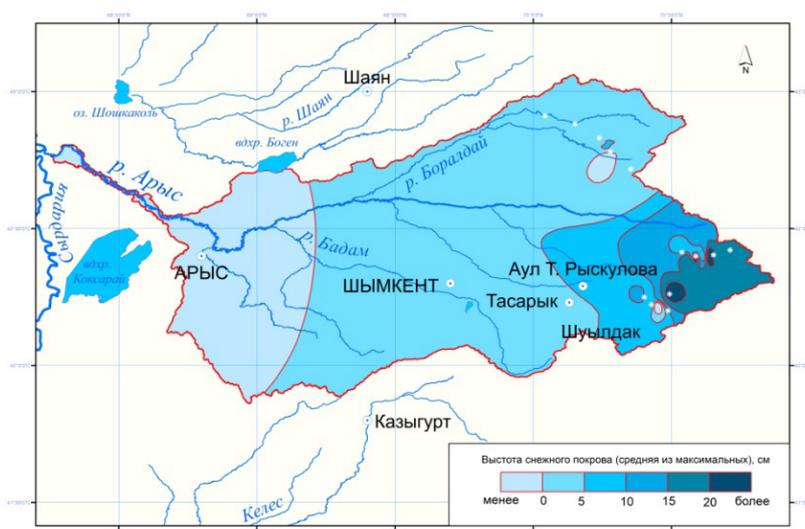


Рисунок 4 – Обобщенная схематическая карта разницы наибольшей за зиму высоты снежного покрова (см) за 1960-1990 и 1991-2018 гг. в бассейне р. Арыс

Как видно из рисунке 4, наибольшее увеличение высоты снега приурочено к горной части бассейна.

Запасы воды в снежном покрове вычисляются по данным наблюдений высоты и плотности снега в ходе снегомерных съемок. Обобщенный анализ расчетов снеготпасов по данным маршрутных снегосъемок в бассейне р. Боралдай показал, что на 86% пунктов в феврале (месяце максимума снеготпасов) отмечается увеличение величины среднего из максимальных запасы воды в снежном покрове. Разница между средними величинами снеготпасов за 1960-1990 и 1991-2018 гг. колеблется от 2 до 17%, что в основном находится в пределах точности измере-

ний. В бассейне р. Балдырбек в феврале почти на 100% снегопунктов отмечается увеличение величины снеготпасов по сравнению с периодом 1960-1990 гг., в марте – на 75% СП. Средние из максимальных величин снеготпасов за последние 28 лет наблюдений увеличились по сравнению с периодом 1960-1990 гг. на 20-50 мм водного эквивалента и более, или на 25-30% и более.

При большой межгодовой изменчивости запасы воды в снежном покрове (от 50 до 450 мм) наблюдается слабая положительная тенденция увеличения снеготпасов. В качестве примера на рис. 5 представлены изменения величины снеготпасов на двух пунктах измерений в бассейне р.

Балдырбек. Угловой коэффициент (т.е. скорость изменения) составляет на указанных снегопунктах 8-19 мм/10 лет. При этом в многоснежном 2010 г. измеренная величина снегозапасов до-

стигала 570 мм, наименьшая величина 121 мм – в 1961 г. Оценить причины значительных изменений (климатические или технические) в настоящее время не представляется возможным.

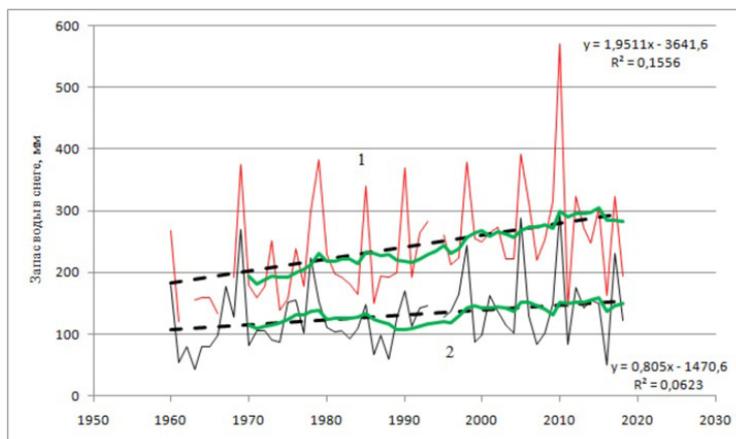


Рисунок 5 – Многолетний ход запаса воды в снежном покрове в феврале на отдельных снегопунктах в бассейне р. Балдырбек (1-СП № 3, Н=2110 м; 2- СП № 9, Н=1740 м) за период 1960-2018 гг. Черная пунктирная линия – линейный тренд, зеленая линия – кривая 11-летних скользящих средних.

В 2000-е годы на ряде снегопунктов отмечались наибольшие за период наблюдений величины высоты и водности снежного покрова. Зависимости характеристик снежности от зимних температур установить не удалось. Коэффициент корреляции между наибольшей за зиму высотой снежного покрова, измеренной по снегомерной рейке на площадках МС Аул Т. Рыскулова и Шуылдак, и средней температурой воздуха за ноябрь-март не превышает минус 0,54.

Заключение

В горном обрамлении р. Арыс наблюдается значительная контрастность в распределении сумм осадков, высоты и водности снежного покрова в зависимости от орографии и топографии местности. В конце XX – начале XXI века в бассейне р. Арыс отмечено увеличение температуры воздуха и сумм осадков холодного периода. Повышение средней летней температуры воздуха означает продолжение таяния ледников, а повышение температуры воздуха холодного периода может означать увеличение выпадения осадков зимой в жидкой фазе (дождь на снег).

Межгодовая изменчивость сумм осадков, высоты и водности снежного покрова имеет общую пространственную связь. Согласно измерениям на площадках метеостанций и пунктах маршрутных снегосъемок, наблюдаются в основном положительные тенденции изменений.

При сравнении периодов 1960-1990 и 1991-2023 гг. обнаружено, что средние величины наибольшей высоты снежного покрова в феврале (месяце наибольшей аккумуляции снега в низко- и среднегорье) увеличились на 5-30%. Величины высоты и водности снежного покрова в горах стали больше на более чем 80% пунктов маршрутных снегосъемок. Последние 10-20 лет были достаточно многоснежными. Связь между наибольшей высотой снега и зимней температурой воздуха обратная и невысокая.

Тенденции многолетних изменений сроков залегания устойчивого снежного покрова указывают на несколько более раннее установление и разрушение УСП.

Выраженных закономерностей распределения величин наблюдаемых изменений в зависимости от высоты и экспозиции склонов не выявлено, что является предметом дальнейшего анализа.

ГИС-карта пространственного распределения изменений наибольшей за зиму высоты снежного покрова по территории бассейна р. Арыс показала, что в средне- и высокогорной части отмечается увеличение данного показателя.

Необходимы дополнительные усилия для гляцио-климатического мониторинга и оценки возможных негативных социально-экономических эффектов потепления климата.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по теме «Ледниковые системы трансграничных бассейнов Центральной Азии: состояние, современные и прогнозные изменения, роль в обеспечении водной безопасности стран региона», ИРН BR 18574176.

Литература

- Aizen, V. B., Aizen, E. M., Melack, J. M., and Dozier, J. (1997). Climatic and hydrologic changes in the Tien Shan, Central Asia: *Journal of Climate*, v. 10, pp. 1393–1404. Print ISSN: 0894-8755 Online ISSN: 1520-0442
- Bodin X., Schoeneich P., Deline P., Raveland L., Magnin F., Krysielki J.-M., Echelard T. (2015). Mountain permafrost and associated geomorphological processes: recent changes in the French Alps. // *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine*, 103-2 |, pp.1-16. URL : <http://rga.revues.org/2885> ; DOI : 10.4000/rga.2885
- Chen Y., Li W., Deng H., Fang G., Li Z. (2016). Changes in Central Asia's Water Tower: Past, Present and Future. // *Sci. Rep.* – # 6, 35458. doi: 10.1038/srep35458
- Dietz J., C. Conrad, C. Kuenzer, G. Gesell and S. Dech. (2014). Identifying Changing Snow Cover Characteristics in Central Asia between 1986 and 2014 from Remote Sensing Data. – *Remote Sensing.*, 6, 12752-12775. DOI: 10.3390/rs61212752.
- Finaev A. (2009). Review of hydrometeorological observations in Tadjikistan for the period of 1990-2005.– in: *Assessment of Snow, Glacier and Water Resources in Asia. elected papers from the Workshop in Almaty, Kazakhstan, 2006.* – IHP/HWRP-Berichte. – Koblenz., – pp. 55-64. ISSN 1614-1180. <http://ihp.bafg.de>
- Gafurov A., Kriegel D., Vorogushyn S., Merz B. (2013). Evaluation of remotely sensed snow cover product in Central Asia // *Hydrology Research.*- № 44. – P. 506-522. <https://doi.org/10.2166/nh.2012.094>
- Glazirin G.E. (2009). Hydrometeorological monitoring system in Uzbekistan. – in: *Assessment of Snow, Glacier and Water Resources in Asia. Selected papers from the Workshop in Almaty, Kazakhstan, 2006.* – IHP/HWRP-Berichte. – Koblenz., – p.p. 65-83. ISSN 1614-1180. <http://ihp.bafg.de>
- Hoelzle M., Barandun M., Bolch T., Shahgedanova M., Fiddes J., Gafurov A., Saks T. (2020). The Aral sea basin. Water for Sustainable Development in Central Asia . — 252 p. ISBN: 978-1-138-34888-2 (hbk) ISBN: 978-0-429-43647-5 (ebk).- Chapter 8. The status and role of the alpine cryosphere in Central Asia. –pp. 100-121.
- Huang, W., Duan, W., and Chen, Y. (2021). Rapidly declining surface and terrestrial water resources in Central Asia driven by socio-economic and climatic changes. *Sci. Total Environ.* 784, 147193 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147193
- IPCC (2014): Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария, 163 стр. – Available from <http://www.ipcc.ch/report>, www.climatechange2013.org. Дата обращения 05.05.2021.
- Khan V., Holko L. (2009). Snow cover characteristics in the Aral Sea Basin from different data sources and their relation with river runoff // *Journal of Marine Systems.* -v. 76, no. 3. – pp. 254–262. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.03.012>
- Li X., Wang L., Hu B., Chen D. and Liu R. (2023). Contribution of vanishing mountain glaciers to global and regional terrestrial water storage changes. *Front. Earth Sci.* 11:1134910. doi: 10.3389/feart.2023.1134910
- Li Z., Chen Y., Li Y., Wang Y. (2020). Declining snowfall fraction in the alpine regions, Central Asia *Sci Rep.* Feb 26;10(1):3476. doi: 10.1038/s41598-020-60303-z.
- Marcer M., Cicoira A., Cusicanqui D., Bodin X., Echelard T., Obregon R., Schoeneich P. (2021). Rock glaciers throughout the French Alps accelerated and destabilised since 1990 as air temperatures increased // *Communications Earth & Environment* | 2:81 | <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00150-6>
- Williams M., Eggleston S. (2017). Using indicators to explain our changing climate to policymakers and the public // *Bulletin WMO*, vol.66(2).- . – pp.33-40. <https://public.wmo.int/ru/resources>, https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3997
- Zhou H., E. Aizen, V. Aizen (2017). Seasonal snow cover regime and historical change in Central Asia from 1986 to 2008. – *Global and Planetary Change.*- vol. 148- pp. 192-216. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818116301412#>
- 8-е национальное сообщение и 5-й двухгодичный доклад Республики Казахстан Рамочной Конвенции ООН об Изменении Климата (2022). – Астана – 491 с. ISBN 978-601-269-214-3. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/8NC_Kazakhstan_2022v1.0.pdf

- Архив погоды в Турар Рыскулове, 2005-2023 гг. Электронный ресурс <http://www.rp5.ru> Дата обращения 01.06.2023.
- База знаний CAWater.info (2023). Электронный ресурс. // <http://www.cawater-info.net/bk/1-1-1-1-3-kz.htm>
- Воеводина В. А., Турулина Г. К., Полякова С. Е. (2022). Циркуляционные особенности формирования многоснежных и малоснежных зим на юге Казахстана // Гидрометеорология и Экология.- №. 1. – С. 31-39. DOI: 10.54668/2789-6323-2022-104-1-31-39
- Государственный климатический кадастр РК. Электронный ресурс https://meteo.kazhydromet.kz/climate_kadastr Дата обращения 01.06. 2023 г..
- Казангапов Т. (2023). Паводки в Казахстане: угроза сохраняется в 7 областях. Электронный ресурс <https://tengrinews.kz> 13 марта 2023 г. Дата обращения – 20 марта 2023 г.
- Калашникова О.Ю., Гафуров А.А. (2017). Использование наземных и спутниковых данных о снежном покрове для прогноза стока реки Нарын//Лед и Снег,-Т. 57, № 4.- С. 507-517. ISBN 2412-3765 doi: 10.15356/2076-6734-2017-4-507-517
- Каримсаков К. (2012). Причина похолодания в ЮКО – новое водохранилище – Интервью телекомпании «Седьмой канал». 12.03.2012. Электронный ресурс <https://online.zakon.kz/m/amp/document/31139316>
- Каталог ледников СССР. Т. 14. Вып. 1. Ч. 11. Бассейн р. Арыс (1976). – Л. изд. Гидрометеиздат. -40 с.
- Кауазов А.М., Тиллякарим Т.А., Сальников В.Г., Полякова С.Е. (2023). Оценка изменений площади снежного покрова в Казахстане с 2000 по 2022 год //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – Т. 20. №1. – С. 298–305. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-298-305
- Климатические данные. Архивы погоды с 1929 г. Электронный ресурс. <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php> Дата обращения 01.06.2023 г..
- Косенов А. (2012). В Южном Казахстане паводки затопили 428 домов. Электронный ресурс <https://Tengrinews.kz>. 2 марта 2012. Дата обращения 1 октября 2022 г.
- Материалы наблюдений над снежным покровом и осадками в горах (Маршрутные снегомерные съемки и наблюдения по суммарным осадкомерам). (1953-2000). – Алма-Ата, Казгидромет. – 135 с.
- Национальный доклад о состоянии окружающей среды Кыргызской Республики за 2011–2014 гг. (2016). –Бишкек (электронный ресурс). -196 с. http://aarhus.kg/wp-content/uploads/2017/01/NDSOS_1114_sait.pdf
- Никифорова Л. (2014). Изменение климата в бассейне р. Сырдарья на примере Южно-Казахстанской и Кызылординской областей Казахстана // Семинар Нексус_Вода_Энергия_Продовольствие_Экосистемы.- Алматы, 2-4 декабря, 2014. Электронный ресурс https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/NEXUS_Wat_En_Food_Ecos_ALMATY/Session_6_Nikiforova_Climate_change_in_the_Syr_Darya_River_basin_examples_of_Kazakhstan_RUS.pdf Workshop on the Water-Food-Energy-Ecosystems Nexus Assessment in the Syrdarya River Basin Almaty.
- Первый двухгодичный доклад Республики Таджикистан по инвентаризации парниковых газов по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата (2018). – Душанбе (электронный ресурс). – 115 с. <https://www.unfccc.int/sites/default/files/resource>
- Предупреждение чрезвычайных ситуаций в весенний паводковый период: Методическое пособие (2012). – Кокшетау, МЧС РК. – 68 с.
- Справочник по климату СССР. Вып. 18, ч. IV. (1969). – ГИМИЗ. -500 с.
- Терехов А.Г., Абаев Н.Н., Юничева Н.Р. (2019). Аномальный режим снежности 2019 г. и многолетние тренды в изменениях высоты снежного покрова Казахстана // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – Vol. 16, No. 5. – pp. 351–355. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-351-355.
- Терехов А.Г., Макаренко Н.Г. (2020). Морфологический анализ аномалий пространственного распределения весенних запасов снега в горных территориях Евразии в период 2001–2019 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – Т. 17. №5. – С. 243–254. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-243-254
- Третье Национальное Сообщение Республики Узбекистан по РКИК ООН (2016).– Ташкент (электронный ресурс). -220 с. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/TNC_Uzbekistan_under_UNFCCC_rus.pdf
- Халдарова Д. (2023). МЧС о паводках в Туркестанской области: Прогнозы синоптиков неутешительные. Электронный ресурс <https://zakon.kz>. 3 февраля 2023 г. -Дата обращения – 11 апреля 2023 г.

References

- Aizen, V. B., Aizen, E. M., Melack, J. M., and Dozier, J. (1997). Climatic and hydrologic changes in the Tien Shan, Central Asia// Journal of Climate, v. 10,- pp. 1393–1404. Print ISSN: 0894-8755 Online ISSN: 1520-0442
- Base of knowledge. CAWater.info // <http://www.cawater-info.net/bk/1-1-1-1-3-kz.htm>
- Bodin X., Schoeneich P., Deline P., Ravanel L., Magnin F., Krysiecki J.-M. , Echelard T. (2015). Mountain permafrost and associated geomorphological processes: recent changes in the French Alps.// Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine, 103-2 | pp.1-16. URL : <http://rga.revues.org/2885> ; DOI : 10.4000/rga.2885
- Chen Y., Li W.,Deng H., Fang G., Li Z. (2016). Changes in Central Asia’s Water Tower: Past, Present and Future. //Sci. Rep. – # 6, 35458. doi: 10.1038/srep35458.
- Climate data. Weather archives since 1929. <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php> Date of access 01.07.2023.

- Dietz J., C. Conrad, C. Kuenzer, G. Gesell and S. Dech. (2014). Identifying Changing Snow Cover Characteristics in Central Asia between 1986 and 2014 from Remote Sensing Data. –Remote Sensing. № 6. – pp. 12752-12775. DOI: 10.3390/rs61212752.
- Finaev A. (2006). Review of hydrometeorological observations in Tadjikistan for the period of 1990-2005.– in: Assessment of Snow, Glacier and Water Resources in Asia. Selected papers from the Workshop in Almaty, Kazakhstan, 2006. – IHP/HWRP-Berichte. – Koblenz, 2009. – pp. 55-64. ISSN 1614-1180. <http://ihp.bafg.de>
- Gafurov A., Kriegel D., Vorogushyn S., Merz B. (2013). Evaluation of remotely sensed snow cover product in Central Asia // Hydrology Research. 2013. № 44. P. 506-522. <https://doi.org/10.2166/nh.2012.094>
- Glazirin G.E. (2006). Hydrometeorological monitoring system in Uzbekistan. – in: Assessment of Snow, Glacier and Water Resources in Asia. Selected papers from the Workshop in Almaty, Kazakhstan, – IHP/HWRP-Berichte. – Koblenz, 2009. – p.p. 65-83. ISSN 1614-1180. <http://ihp.bafg.de>
- Hoelzle M., Barandun M., Bolch T., Shahgedanova M., Fiddes J., Gafurov A., Saks T. (2020). The Aral sea basin. Water for Sustainable Development in Central Asia . – 252 p. ISBN: 978-1-138-34888-2 (hbk) ISBN: 978-0-429-43647-5 (ebk).- Chapter 8. The status and role of the alpine cryosphere in Central Asia. –pp. 100-121.
- Huang, W., Duan, W., and Chen, Y. (2021). Rapidly declining surface and terrestrial water resources in Central Asia driven by socio-economic and climatic changes. *Sci. Total Environ.* 784, 147193 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147193.
- Inventory of glaciers of the USSR. Vol. 14. Issue 1. Part 11. Arys River basin (1976). – Leningrad, Hydrometeoizdat publ. – 40 p.
- IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [core group of authors, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (ed.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 163 pages. – Available from www.climatechange2013.org and <http://www.ipcc.ch/report> . Data of access 05.05.2021.
- Kalashnikova O.Yu., Gafurov A.A. (2017). Use of ground-based and satellite data on snow cover for forecasting the runoff of the Naryn River//Ice and Snow, 2017.-Vol. 57, № 4.- Pp. 507-517. ISBN 2412-3765 doi: 10.15356/2076-6734-2017-4-507-517
- Karimsakov K. (2012). The reason for the cold winters in the South Kazakhstan is a new reservoir. – Interview with the “Channel-7” TV company. 12.03.2012. <https://online.zakon.kz/m/amp/document/31139316>
- Kauazov A.M., Tillakarim T.A., Salnikov V.G., Polyakova S.E. (2023). Assessment of changes in the area of snow cover in Kazakhstan from 2000 to 2022 // Modern problems of remote sensing of the Earth from space.- V. 20. No. 1. –pp. 298–305. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-298-305
- Kazangapov T. (2023). Floods in Kazakhstan: the threat remains in 7 areas. <https://tengrinews.kz> [March 13, 2023]. Data of access March 20, 2023
- Khaldarova D. (2023). Ministry of Emergency Situations about floods in the Turkestan region: Weather forecasts are disappointing. <https://zakon.kz>. February 3, 2023 – Retrieved April 11, 2023.
- Khan V., Holko L. (2009). Snow cover characteristics in the Aral Sea Basin from different data sources and their relation with river runoff// *Journal of Marine Systems*, -v. 76, no. 3. – pp. 254–262. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.03.012>
- Kosenov A. (2012). In South Kazakhstan, 428 houses were flooded. <https://Tengrynews.kz>. March 2, 2012. Data of access October 1, 2022.
- Li X., Wang L., Hu B., Chen D. and Liu R. (2023). Contribution of vanishing mountain glaciers to global and regional terrestrial water storage changes. *Front. Earth Sci.* 11:1134910. doi: 10.3389/feart.2023.1134910
- Li Z., Chen Y., Li Y., Wang Y. (2020). Declining snowfall fraction in the alpine regions, Central Asia. *Sci Rep.* Feb 26;10(1):3476. doi: 10.1038/s41598-020-60303-z.
- Marcet M., Cicoira A., Cusicanqui D., Bodin X., Echelard T., Obregon R., Schoeneich P. (2021). Rock glaciers throughout the French Alps accelerated and destabilised since 1990 as air temperatures increased// *Communications Earth & Environment* 2:81 | <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00150-6>
- Materials of observations over snow cover and precipitation in the mountains (field snow surveys and observations by total precipitation gauges). – Alma-Ata, Kazhydromet. -1953-2000.- 135 p.
- National Report on the state of environment in the Kyrgyz Republic for 2011–2014 (2016). -Bishkek -196 p. http://aarhus.kg/wp-content/uploads/2017/01/NDSOS_1114_sait.pdf
- Nikiforova L. (2014). Climate change in the basin of the Syrdarya river: case study of the South Kazakhstan and Kyzylorda regions of Kazakhstan // *Nexus_Water_Energy_Food_Ecosystems*.- Almaty, Dec 2-4, 2014. https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/NEXUS_Wat_En_Food_Ecos_ALMATY/SessionNikiforova__Climate_change_in_the_Syr_Darya_River_basin__examples_of_Kazakhstan_RUS.pdf Workshop on the Water-Food-Energy-Ecosystems Nexus Assessment in the Syrdarya River Basin Almaty, Kazakhstan 2-4 December 2014
- Prevention of emergencies in the spring flood period: Methodological guide. (2012). Kokshetau, Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan. – 2012. – 68 p.
- Reference Book on the climate of the USSR. Issue. 18, part. IY (1969). – GIMIZ publ., 1969. – 500 p.
- State climate cadastre of the Republic of Kazakhstan. https://meteo.kazhydromet.kz/climate_kadastr Date of access 01.06. 2023.
- Terekhov A.G., Abayev N.N., Yunicheva N.R. (2019). Anomalous snowfall regime in 2019 and long-term trends in changes in the snow depth in Kazakhstan // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – Vol. 16, no. 5.-pp. 351–355. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-351-355.

Terekhov A.G., Makarenko N.G. (2020). Morphological analysis of anomalies in the spatial distribution of spring snow reserves in the mountainous territories of Eurasia in the period 2001–2019. // *Contemporary problems of remote sensing of the Earth from space*. 2020. – Vol. 17. No. 5. – pp. 243–254. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-243-254.

The first biennial report of the Republic of Tajikistan on the inventory of greenhouse gases under the UN Framework Convention on Climate Change. (2018). – Dushanbe,. – 115 p. <https://www.unfccc.int/sites/default/files/resource>

Third National Communication of the Republic of Uzbekistan under the UNFCCC (2016). –Tashkent,,-220p. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/TNC_Uzbekistan_under_UNFCCC_rus.pdf

Voevodina V. A., Turulina G. K., Polyakova S. E. (2022). Circulation features of the formation of snowy and little snowy winters in the south of Kazakhstan // *Hydrometeorology and Ecology*.- No. 1. – pp. 31-39. DOI: 10.54668/2789-6323-2022-104-1-31-39

Weather archive in Turar Ryskulov Aul, 2005-2023 гг. <http://www.rp5.ru> Data of access 01.06.2023.

Williams M., Eggleston S. (2017). Using indicators to explain our changing climate to policymakers and the public. // *Bulletin WMO*, vol.66(2).- – pp.33-40. <https://public.wmo.int/ru/resources>, https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3997

Zhou H., E. Aizen, V. Aizen. (2017). Seasonal snow cover regime and historical change in Central Asia from 1986 to 2008. – *Global and Planetary Change*. – Vol. 148. – pp. 192-216. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818116301412#!>

8th National Communication and 5th Biennial Report of the Republic of Kazakhstan to the UN Framework Convention on Climate Change (2022). – Astana – 491 p. ISBN 978-601-269-214-3. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/8NC_Kazakhstan_2022v1.0.pdf