

УДК 551.583

Доктор техн. наук  
Доктор техн. наук

Ж.С. Мустафаев<sup>1</sup>  
А.Т. Козыкеева<sup>1</sup>  
А.М. Камалиев<sup>1</sup>

### КЛИМАТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА РЕКИ ШУ

**Ключевые слова:** климат, водосбор, река, бассейн, изменение, анализ, оценка, температура воздуха, атмосферные осадки, тренд

*На основе многолетних информационно-аналитических материалов «Кыргызгидромет» (Кыргызской Республики) и «Казгидромет» (Республики Казахстан) о среднегодовых температурах воздуха и осадках, охватывающих период 1930...2017 гг., выполнена оценка изменения климата, характеризующая климатический профиль территории водосборного речного бассейна р. Шу. Выявлено повышение среднегодовых температур воздуха и уменьшение атмосферных осадков.*

**Актуальность.** Обеспечение водной безопасности в Центральной Азии, где возобновляемые водные ресурсы региона формируются в горных экосистемах Тянь-Шаня и Памира за счет таяния сезонного снежного покрова и ледников, относится к глобальной проблеме изменения климата, рассмотренной в Рамочной конвенции ООН об изменении климата и принятой на «Саммите Земли» в Рио-де-Жанейро в 1992 г. Изменение средообразующих или экологических функций снежно-ледового покрова в зоне формирования стока, обусловленное глобальным потеплением климата и оказывающее влияние на гидрологический режим речных бассейнов и водных ресурсов Центральной Азии, приводит резкому обострению проблемы обеспечения водой населения и отраслей экономики региона [1, 3, 8].

Среди огромного количества задач, связанных с исследованием климатического профиля водосборных речных бассейнов, центральной является проблема предсказания будущего состояния климатической системы.

---

<sup>1</sup>КазНАУ, г. Алматы, Казахстан.

**Цель исследований** – анализ уровня наблюдаемых и ожидаемых климатических изменений в водосборном бассейне р. Шу для принятия эффективного решения необходимых действий по адаптации.

**Объект исследований.** Река Шу – главная река северного Кыргызстана, берущая начало в ледниках Тескей-Ала-Тоо и Кыргызского хребта, образуется при слиянии рек Кочкор и Джуванарык. Общая площадь бассейна 68 тыс. км<sup>2</sup>, 57 % этой территории приходится на Кыргызстан и 43 % – на Казахстан. Главными притоками р. Шу являются р. Чон-Кемин и р. Курагаты. На равнинной территории русло реки разделяется на несколько рукавов – Гуляевские (Фурмановские) разливы, Уланбельские разливы, аккумулярующие зимний сток, и Камкалинские разливы, аккумулярующие весенний сток [6, 9].

**Материалы и методы исследований.** Для описания поведения и изменчивости метеорологических параметров, оценки линейных взаимосвязей, определения экстремальных состояний климата использованы традиционные методы математической статистики.

Таблица 1  
Геоморфологическая схематизация ландшафтных катен водосбора бассейна р. Шу [2].

Природно-климатические зоны			Метеостанция	Абсолютная высота поверхности земли, м	Административные районы
класс ландшафтов	фация	зоны увлажнения			
Горная	Элювиальная	Влажная горная	Тео-Ашуу	3090	Кеменский, Чуй-Токмаский (КР)
Предгорная	Трансэлювиальная	Засушливая горная	Байтик	1590	Чуй-Токмаский, Иссык-Атинский (КР)
Предгорная	Трансаккумулятивная	Сухая предгорная	Кордай	1145	Чуй-Токмаский, Аламудунский, Сокулукский, Московский, Жайылский, Панфиловский (КР)
равнинная			Бишкек	756	
Равнинная	Супераквальная Субаквальная	Очень сухая	Толе би	456	Мойынкумский, Сарыусуский (РК)
			Мойынкум	351	
			Уланбель	266	

Основными исходными данными являются ряды среднемесячной температуры воздуха и атмосферных осадков с 1931 по 2017 гг. по метеорологическим станциям, расположенным на территории водосборного бассейна трансграничной р. Шу [4, 7].

Для оценки изменения климата использован катенарный подход, который предполагает геоморфологическую схематизацию ландшафтных катен водосборных речных бассейнов: в зоне горного класса ландшафтов (элювиальная фация), предгорного подкласса ландшафтов (трансэлювиальная фация), предгорного равнинного подкласса ландшафтов (трансаккумулятивная фация) и равнинного класса ландшафтов (супераккумулятивная и субаккумулятивная фация) (табл. 1) [2, 5, 10].

Таким образом, применение геоморфологической схематизации водосбора р. Шу, базирующейся на положениях стокообразования речных бассейнов, как термодинамической системы, границы которой совпадают с высотной поясностью, позволило оценить изменения климата с учетом природно-территориальных различий, выполняющих важные средообразующие или экологические функции.

**Результаты исследований.** По характеру рельефа и морфоструктурным особенностям в бассейне р. Шу можно выделить два класса ландшафтов: горный и равнинный. По особенностям дифференциации рельефа внутри горных и равнинных морфоструктур водосбора выделены природно-территориальные комплексы [2, 5]:

- горный (элювиальный) – в зоне формирования стока;
- предгорный (трансэлювиальный) – в зоне трансформации стока;
- предгорная равнина (трансаккумулятивная) – в зоне ослабления скорости трансформации и появления признаков аккумуляции стока;
- равнинный (супераккумулятивный и субаккумулятивный) – в зоне аккумуляции стока.

Изменение климата для заданной области, или для Земного шара в целом, характеризуется разностью между некоторыми климатическими переменными для двух заданных интервалов времени. Это изменение может считаться реальным, если оно превосходит вероятную ошибку расчета соответствующих климатических переменных, и статистически значимым, в рамках принятой стохастической модели климата (гипотезы), если оно выходит за пределы доверительного интервала, соответствующего этой гипотезе и заданному уровню значимости [11, 12].

Для оценки изменения климата, то есть климатического профиля горной (элювиальной) зоны формирования стока водосборного бассейна р. Шу использованы данные, представленные Кыргызгидрометом, по метеорологической станции Тео-Ашуу за период 1953...2017 гг., расположенной в зоне формирования ледников Тескей-Ала-Тоо и Кыргызского хребта, на высоте 3090 м (рис. 1-2).

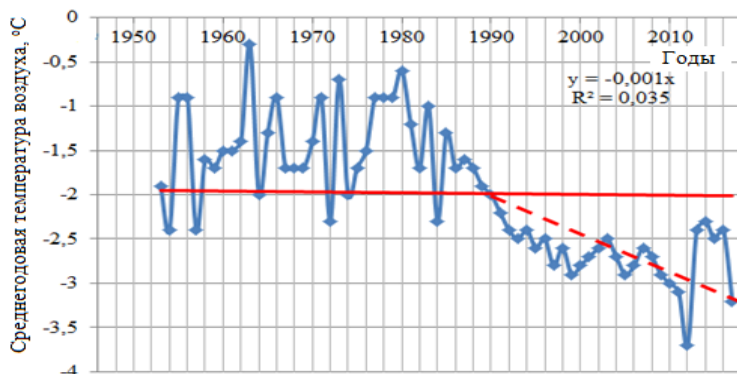


Рис. 1. Тенденция изменения среднегодовой температуры воздуха горной (элювиальной) зоны формирования стока водосбора р. Шу.

Как видно из рис. 1, в ходе среднегодовой температуры воздуха можно выделить два периода: первый период с 1953 по 1990 гг., где амплитуда колебания среднегодовой температуры повторяется через 5...6 лет; второй период с 1991 по 2017 гг., где наблюдается постоянное снижение ее величины.

Тенденция изменения годовых атмосферных осадков горной (элювиальной) зоны формирования стока бассейна р. Шу положительная (рис. 2), годовые суммы атмосферных осадков увеличивались в среднем на 0,35 мм/год. В 1970...1992 гг. рост несколько уменьшился (0,32 мм/год), а в последние 16 лет опять увеличился (0,37 мм/год), то есть можно сказать, что сохраняется субаридный климат и неопределенность практически совпадает со среднегодовой температурой воздуха. Климатический профиль предгорной (трансэлювиальной) зоны трансформации стока бассейна р. Шу характеризуется данными метеорологической станции Байтик, являющейся частью стационарной сети Кыргызгидромета, и расположенной в предгорной зоне Тескей-Ала-Тоо и Кыргызского хребта, на высоте 1590 м (рис. 3-4).

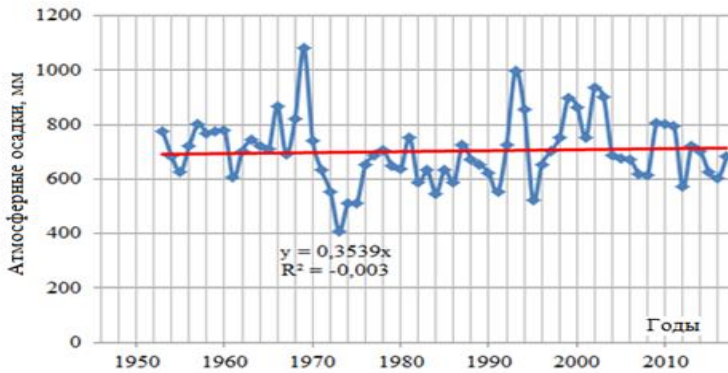


Рис. 2. Тенденция изменения годовых атмосферных осадков горной (элювиальной) зоны формирования стока бассейна р. Шу.

Анализ изменения среднегодовой температуры воздуха предгорной зоны (рис. 3) показывает, что в период с 1914 по 2017 гг. скорость повышения среднегодовой температуры воздуха составляла  $0,0033\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$ , температура воздуха находилась в пределах  $4,9\dots 7,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а последние 17 лет темп роста среднегодовой температуры воздуха составлял  $0,0034\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$ , а температура воздуха находилась  $6,2\dots 7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

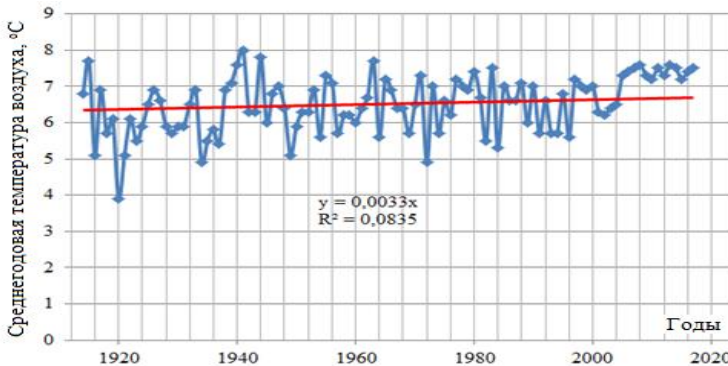


Рис. 3. Тенденция изменения среднегодовой температуры воздуха предгорной (трансэлювиальной) зоны формирования стока водосборного бассейна р. Шу.

Темп роста годовых атмосферных осадков предгорной зоны составляет  $0,26\text{ мм}/\text{год}$  (рис. 4), однако в последние десять лет (2007...2017 гг.) атмосферные осадки снизились с 501 до 363 мм, то есть наблюдается аридизация климата и неопределенность практически совпадает со среднегодовой температурой воздуха.

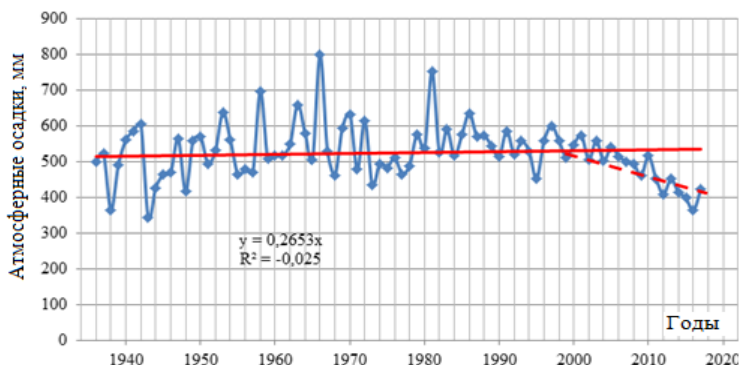


Рис. 4. Тенденция изменения годовых атмосферных осадков предгорной (трансэлювиальной) зоны формирования стока водосборного бассейна реки Шу.

Климатический профиль предгорной равнины (трансаккумулятивной) в зоне замедления трансформации стока водосборного бассейна р. Шу, которая включает Кочкарскую и Ортогайскую впадины, входящие в Шуйскую впадину через Боомское ущелье, характеризуется данными метеорологической станции Бишкек, расположенной на высоте 756 м (рис. 5-6).

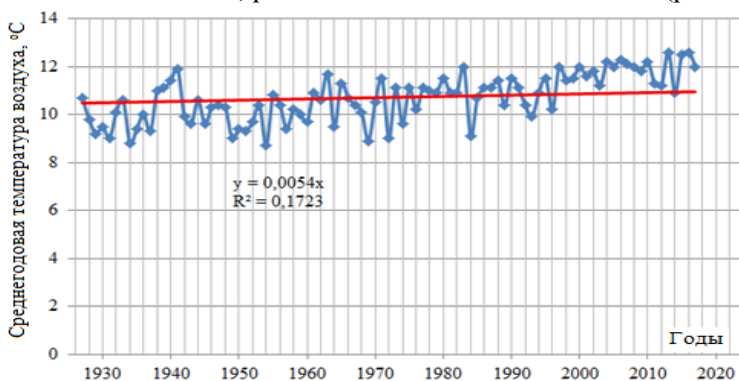
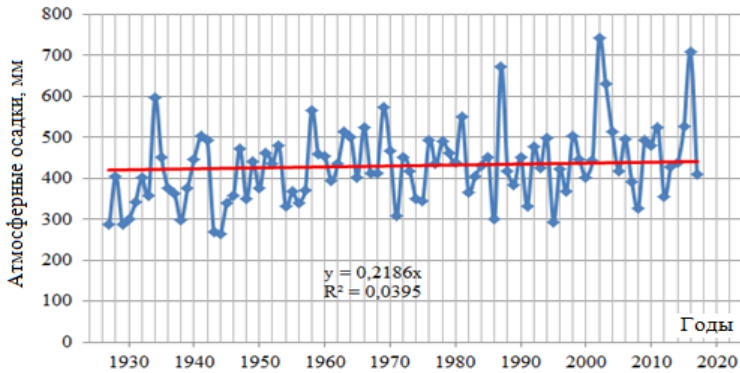


Рис. 5. Тенденция изменения среднегодовой температуры воздуха предгорной равнины (трансаккумулятивной) в зоне формирования стока водосборного бассейна р. Шу.

Как видно из рис. 5, в период с 1927 по 2017 гг. скорость повышения среднегодовой температуры воздуха в сравнении с предгорной (трансэлювиальной) зоной, достаточно высокая и составляет 0,0054 °С/год. При этом, среднегодовая температура воздуха в период наблюдений изменяется от 8,8 до 12,6 °С, а за последние десять лет (2007...2017 гг.) составляет 10,9...12,6 °С (рис. 5).



*Рис. 6. Тенденция изменения годовых атмосферных осадков предгорной равнины (трансаккумулятивной) в зоне формирования стока водосборного бассейна р. Шу.*

Изменение годовых атмосферных осадков за период с 1927 по 2017 гг. составляет 0,22 мм/год и они колеблются в пределах от 287 до 740 мм. Однако, суммы атмосферных осадков выше 700 мм встречается только два раза, а 600...700 мм один раз и 500...600 мм девять раз, то есть в основном атмосферные осадки колеблются в пределах от 287 до 400 мм, что показывают аридизацию климата предгорной равнины (трансаккумулятивной) зоны формирования стока в водосборном бассейне р. Шу и неопределенность практически совпадает со среднегодовой температурой воздуха.

Климатический профиль равнинной (супераквальной) зоны пониженной трансформации стока бассейна р. Шу охватывающей Шуйскую впадину и входящей в пески Мойынкума, характеризуется данными метеорологической станции Тобе би, расположенной на высоте 456 м Шуйской долины (рис. 7-8).

Диапазон изменения среднегодовой температуры воздуха в период наблюдений с 1950 по 2017 гг. составил 6,7...11,6 °С, а в последние 37 лет, то есть с 1980 по 2017 гг. – 9,3...11,6 °С (рис. 7).

Как видно из рис. 7, скорость повышения среднегодовой температуры воздуха в сравнении с предгорной (трансэлювиальной) зоной, достаточно высокая и составляет 0,0054 °С/год, а предгорной равнине составляет 0,0049 °С/год (рис. 7).

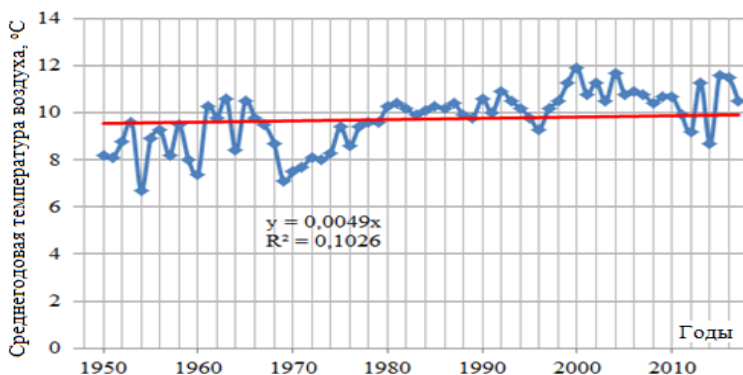


Рис. 7. Тенденция изменения среднегодовой температуры воздуха равнинной (супераквальной) зоны формирования стока водосборного бассейна р. Шу.

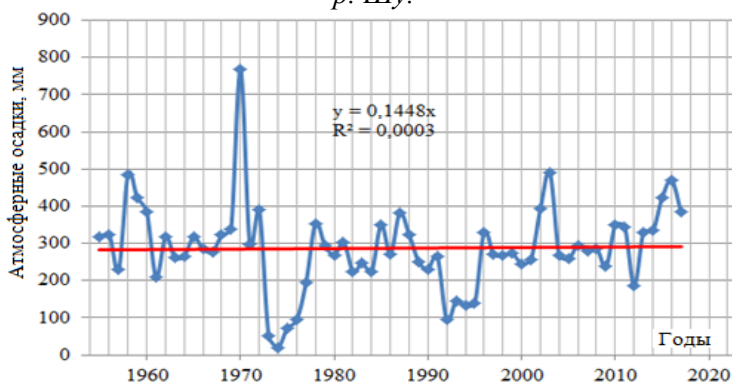


Рис. 8. Тенденция изменения годовых атмосферных осадков равнинной (супераквальной) зоны формирования стока водосборного бассейна р. Шу.

Изменение сумм годовых атмосферных осадков равнинной (супераквальной) зоны составляет 0,14 мм/год и, в сравнении с предгорной (трансэлювиальной) и предгорной равнинной (трансаккумулятивной) зонами, достаточно низкая, т.е. проявляется сильная аридизация климата и неопределенность практически совпадает со среднегодовой температурой воздуха (рис. 8).

В климатическом профиле равнинной (субаквальной) зоны аккумуляция стока водосборного бассейна р. Шу, представляющей собой внутриконтинентальную дельту, то есть Гуляевские (общей протяженностью около 140...150 км и шириной до 50...60 км), Уланбелские (протяженностью 100 км и шириной до 6...8 км) и Камкалинские (протяженностью около 150 км и шириной до 3...25 км) разливы, которые характеризуются данными метеорологической станции Уланбель за период 1951...2017 гг. (рис. 9-10).



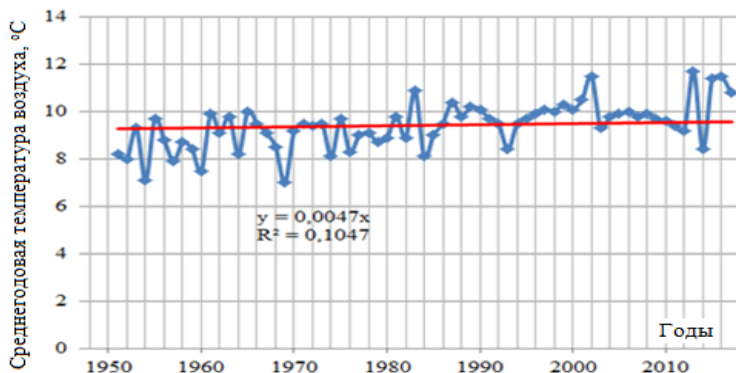


Рис. 9. Тенденция изменения среднегодовой температуры воздуха равнинной (субаквальной) зоны формирования стока бассейна р. Шу.

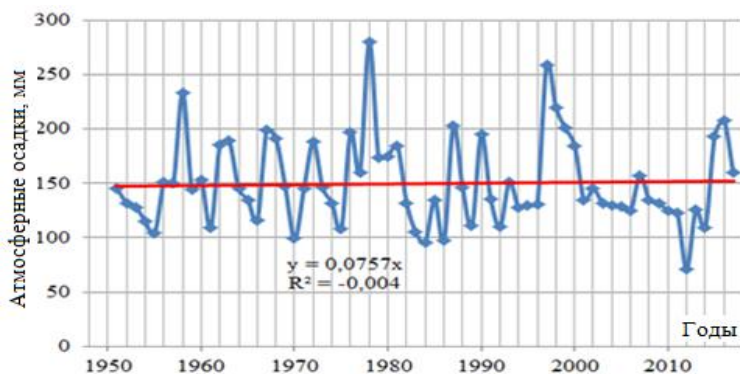


Рис. 10. Тенденция изменения годовых атмосферных осадков равнинной (субаквальной) зоны формирования стока бассейна р. Шу.

Сравнительный анализ среднегодовых температурных трендов в равнинной (супераквальной) зоне формирования стока, приведенный на рис. 9 показывает, что температура за период с 1951 по 2017 гг. значительно изменилась, причем скорость изменения в последние шестнадцать лет существенно возросла. Если за весь период наблюдений она составляла плюс 0,0047 °С/год, а температура колебалась в пределах от 7,0 до 11,5 °С, то в последние 30 лет – пределах от 9,2 до 11,5 °С, что говорит о повышении температура воздуха равнинной (субаквальной) зоны (рис. 9).

Результаты прогнозных расчетов годовых атмосферных осадков данной зоны показывают, что скорость их изменения составляет 0,076 мм/год, то есть наблюдается сильная аридизация климата и неопределенность практически совпадает со среднегодовой температурой воздуха.

Таким образом, скорость роста среднегодовой температуры воздуха в равнинной (субаквальной) зоне несколько выше, чем предгорной (трансэлювиальной) зоне, предгорной равнине (трансаккумулятивной) и равнинной (супераквальной) зоне.

Из представленных графоаналитических материалов (рис. 2, 4, 6, 8 и 10), можно сделать вывод, что годовые атмосферные осадки значительно изменялись, и в последние двадцать лет произошли довольно резкие изменения в природных зонах водосборного бассейна р. Шу. Атмосферные осадки увеличились в горной (элювиальной) зоне и уменьшились в предгорной (трансэлювиальной) зоне, предгорной равнине (трансаккумулятивной) и равнинной (супераквальной и субаквальной) зонах. Причем общая тенденция в последние годы направлена именно в сторону уменьшения годовых атмосферных осадков от горной (элювиальной) зоны до равнинной (супераквальной) зоны, что необходимо в перспективе учитывать при планировании хозяйственной деятельности в этих зонах.

Таким образом, современная тенденция изменения климата водосборного бассейна р. Шу показывает, что среднегодовая температура воздуха постепенно повышается, а годовые атмосферные осадки уменьшаются, что, в ближайшее время, может привести к усилению аридизации климата региона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильясов Ш., Забенко О., Гайдамак Н., Кириленко А., Мырсалиев Н., Шевченко В., Пенкина Л. Климатический профиль Кыргызской Республики. – Бишкек, 2013. – 99 с.
2. Кирейчева Л.В., Козыкеева А.Т., Даулетбай С.Д. Комплексное обустройство реки Шу.– Saarbrucken. Deutschland, 2016.–140 с.
3. Коптюг В.А. Конференция ООН по окружающей среды и развитию (Рио-де-Жанейро, июнь 1992 г.): Информационный обзор.– Новосибирск: Российская Академия наук Сибирское отделение, 1992.– 62 с.
4. Мустафаев Ж.С. Адильбектеги Г.А., Сейдуалиев М.А. Экологическая оценка продуктивности ландшафтов бассейна реки Шу (Аналитический обзор). – Тараз, 2004. – 81 с.
5. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Мустафаев К.Ж., Даулетбай С.Д. Моделирование функционирования водосборов бассейна реки Шу при комплексном обустройстве // Гидрометеорология и экология, 2014.– № 2.– С.111-122.

6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 13: Многолетние данные. Ч. 1-6, Вып. 32: Киргизская ССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1989.– 589 с.
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 13: Многолетние данные. Ч.1-6, Вып.18: КазССР.– Л.: Гидрометеоздат, 1989. – Кн. 2. – 656 с.
8. Развитие сотрудничества по адаптации к изменению климата в трансграничных бассейнах рек Чу и Талас Казахстан и Кыргызстан (Краткое изложение).– Zoï Environment Network, 2014.– 40 с.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Серии: Средняя Азия, Бассейн оз. Иссык-Куль, рек Чу, Талас, Тарим. – Л.: Гидрометеоздат, 1973. – Т.14, Вып. 2. – 566 с.
10. Хафизов А. Р., Кутлияров Д. Н., Кутлияров А. Н. Комплексное обустройство степных водосборов Республики Башкортостан. – Уфа: Изд. БГАУ, 2009. – 94 с. – ISBN 978-5-86477-110-5.
11. Хохлов В.Н. Количественное описание изменения климата Европы во второй половине XX века // Український гідрометеорологічний журнал. – 2007.– № 2.– С. 35-42.
12. Чередниченко В.С., Чередниченко А.В., Чередниченко А.В. О цикличности в рядах температуры. Начало цикла похолодания // Гидрометеорология и экология. – 2014. –№ 2. – С.7-15

Поступила 22.02.2019

Техн. ғылымд. докторы  
Техн. ғылымд. докторы

Ж.С. Мұстафаев  
Ә.Т. Қозыкеева  
А.М. Камалиев

## ШУ ӨЗЕНІНІҢ СУЖИНАУ АЛАБЫНЫҢ КЛИМАТТЫҚ ПШІНІ

**Түйін сөздер:** климат, сужинау, өзен, алқап, өзгеріс, талдау, бағалау, ауа температурасы, атмосфералық жауын-шашын, тренд, ландшафт

*«Қырғызгидромет» (Қырғыз Республикасы) және «Қазгидромет» (Республика Қазақстан) мекемелерінің көпжылдық ақпараттық-талдау, яғни шекара аралық Шу өзенінің сужинау алабына орналасқан метеорологиялық бекеттердің 1930...2017 жылдарды қамтитын мәліметтерінің негізінде табиғи-географиялық аймақтар: таулы (элювиалдық), тау етегі (трансэлювиалдық), тау етегіндегі жазықтық*

*(трансаккумулятивтік) және жазықтық (супераквалдық және субаквалдық) бойынша, өзеннің сужинау алабының аймағының климаттық пішінін бейнелеу үшін, орташа жылдық ауаның температурасы және атмосфералық жауын-шашынның сандық мөндерін пайдалану арқылы аймақтағы климаттық өзгеру дәрежесі бағаланған және ол көрсеткендей орташа жылдық ауаның температурасы аймақта жоғарлайтыны, ал атмосфералық жауын-шашынның төмендейтіні байқалады.*

Zh.S. Mustafayev, A.T. Kozykeyeva, A.M. Kamaliev

## **CLIMATIC PROFILE OF WATER PUMP OF THE SHU RIVER BASIN**

**Keywords:** climate, catchment, river, basin, change, analysis, assessment, air temperature, precipitation, trend, landscape

*Based on multi-year informational and analytical materials «Kyrgyzhydromet» (Kyrgyz Republic) and «Kazhydromet» (Republic of Kazakhstan), that is, meteorological stations located in the catchment area of the transboundary Shu River, covering the years 1930...2017, in terms of natural and geographical zones: mountainous (eluvial), piedmont (transeluvial), piedmont plain (transaccumulative) and flat (superaqual and subaqual) using average annual air temperatures and precipitation, estimated to be changed I climate that characterizes the climate profile of the catchment area of river basins, which showed that the average temperature increase and precipitation decrease.*