

1.5.15. Экология
1.5.15. Экология
1.5.15. Ecology

ББК 43.48
УДК 630*561.24

**РЕКОНСТРУКЦИЯ РЕЧНОГО
СТОКА Р. ЯГНОБ НА ОСНОВЕ
ДРЕВЕСНО КОЛЬЦЕВОЙ
ХРОНОЛОГИИ**

Бахтиёров Зулфиёр Бахтиёрович^{1,2,3} - Магистр по экологии, старший научный сотрудник, e-mail: zulfiyor@mail.ru,

¹Худжандский Научный Центр Национальной Академии Наук Таджикистана;

²Институт международных рек и экологической безопасности, Юньнаньский университет, Китайская Народная Республика,

³Центр инновационного развития науки и новых технологий Национальной Академии Наук Таджикистана.

**АЗНАВБАРҚАРОРКУНИИ
ЧАРАЁНИ ДАРЁИ ЯҒНОБ ДАР
АСОСИ ХРОНОЛОГИЯИ
ҲАЛҚАҲОИ СОЛОНАИ ДАРАХТ**

Бахтиёров Зулфиёр Бахтиёрович^{1,2,3} - Магистр дар соҳаи экология, ҳодими калони илми, e-mail: zulfiyor@mail.ru,

¹Маркази илмии Хучанди Академияи Миллии Илмҳои Тоҷикистон;

²Институти дарёҳои байналмилалӣ ва ҳифзи экологӣ, Донишгоҳи Юннан, Чумхурии Мардуми Чин,

³Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нави Академияи Миллии Илмҳои Тоҷикистон.

**RECONSTRUCTION OF THE
RIVER FLOW OF THE YAGNOB
RIVER ON THE BASIS OF THE
TREE RING CHRONOLOGY**

Bakhtiyorov Zulfiyor Bakhtiyorovich^{1,2,3} - Master of Science in Ecology, Senior Researcher, e-mail: zulfiyor@mail.ru,

¹Khujand Science Center of the National Academy of Sciences of Tajikistan.

²Institute of International Rivers and Environmental Safety, Yunnan University, People's Republic of China.

³Center for innovative development of science and new technologies of the National Academy of Sciences of Tajikistan.

Ключевые слова: реконструкция, Ягноб, дендроклиматология, речной сток, озеро Искандеркуль

В работе сделана реконструкция речного стока на основе древесно-кольцевой хронологии длиной 379 лет с 1637 по 2016 г. Реконструкция имеет тесную связь с гидрологическими данными и имеет географическую значимость. Также исторические факты, пространственная корреляция и результаты анализа указывают на достоверность данной модели. Калибровочная регрессия в 41,4% в период с 1940 по 1994, где ожидаемое значение достигает 99% уровня достоверности. Также тренд речного стока показывает нарастание после 1940 г., что доказывает глобальное потепление и реконструкция еще раз это подтверждает. Так как при повышении температуры увеличивается таяние снежного покрова и ледников и увеличивается расход воды в реке. В статье также описан характер влияния циклонов и колебаний на климат Средней Азии.

Вожаҳои калидӣ: азнавбарқароркуни, Ягноб, дендроклиматология, чараёни дарё, Искандаркул

Дар ин кор тадқиқот чараёни дарёҳо аз рӯи хронологияи ҳалқаи дарахти 379 сол аз соли 1637 то соли 2016 анҷом дода шудааст, ки азнавбарқароркуни бо маълумоти гидрологӣ зич алоқаманд буда, аҳамияти ҷуғрофӣ дорад. Инчунин, далелҳои таърихӣ, таносуби фазой ва натиҷаҳои таҳлил эътимоднокии ин

моделро нишон медиҳанд. Регрессияи ченкунӣ 41,4% дар байни солҳои 1940 ва 1994, ки арзиши интизорӣ ба 99% эътимод мерасад. Инчунин, тамоюли ҷараёни дарёҳо пас аз соли 1940 афзоиши нишон медиҳад, ки аз гармиавии глобалӣ гувоҳӣ медиҳад ва исбот мекунад азнавбарқароркоршуда бори дигар инро тасдиқ мекунад. Аз он вақте ки ҳарорат баланд мешавад, обшавии қабатҳои барф ва пираҳоро зиёд карда, ҷараёни оби дарёро зиёд мекунад. Дар мақола инчунин хусусияти таъсири циклонҳо ва тағйирот ба иқлими Осиёи Миёна тавсиф карда шудааст.

Key words: reconstruction, Yagnob, dendroclimatology, streamflow, Iskandarkul lake

In this work, was made a reconstruction of river flow based on a tree-ring chronology of 379 years from 1637 to 2016. The reconstruction has a close relationship with hydrological data and have geographical representation. Also, historical facts, spatial correlation and analysis results indicate the reliability of this model. A calibration of regression is 41.4% between 1940 and 1994 where the expected value reaches 99% confidence level. Also, the trend of river flow shows an increase after 1940, which proves global warming and the reconstruction once again confirms this. Since when the temperature rises, it increases the melting of snow cover and glaciers and increases the flow of water in the river. The article also describes the nature of the influence of cyclones and fluctuations on the climate of Central Asia.

В последние десятилетия дендрохронологический метод все более набирает популярность и уже несколько десятков работ было выполнено в Таджикистане. Например [1], в этой работе представлено сравнение сигналов засухи в учете ширины годичных колец можжевельника из Центральной и Западной Азии за последние четыре века. Эти авторы [2] изучили дендрохронологический потенциал *Ephedra equisetina* из Зарафшанских гор (Таджикистан) в исследованиях изменения климата. В [3, 4] к совершенствованию дендрохронологической сети представили для составления летоподъемности тысячелетнюю древесину. Вековую историю землетрясений тоже можно получить основываясь на годичных кольцах [5]. Несколько работ представили исследователи в разных частях Таджикистана [6-9]. Однако не было работ, которые были бы связаны с гидрологией, очень важно понимать движение реки и ее характер на протяжении нескольких веков. Цель этой работы реконструировать речной сток реки Ягноб на основе древесной кольцевой хронологии, чтобы понять ее историю и далее спрогнозировать ее возможные сценарии развития.

В результате сбора образцов и предварительных анализов предыдущей работы [8] был реконструирован речной сток реки Ягноб по древесно-кольцевым данным в периоде сентябрь-август. Модель линейной регрессии [10] между остаточной хронологией и исходно реконструированным речным стоком с сентября по август в период проверки был с (доверительным интервалом 95%, $r=0,644$). Окончательная калибровочная регрессия ($Y=406,4*X+0,994$) прояснила 41,4% дисперсии общего расхода прибора за период 1940-1993 гг. (рис. 1) и 40,0% при перекрестной проверке с одним исключением.

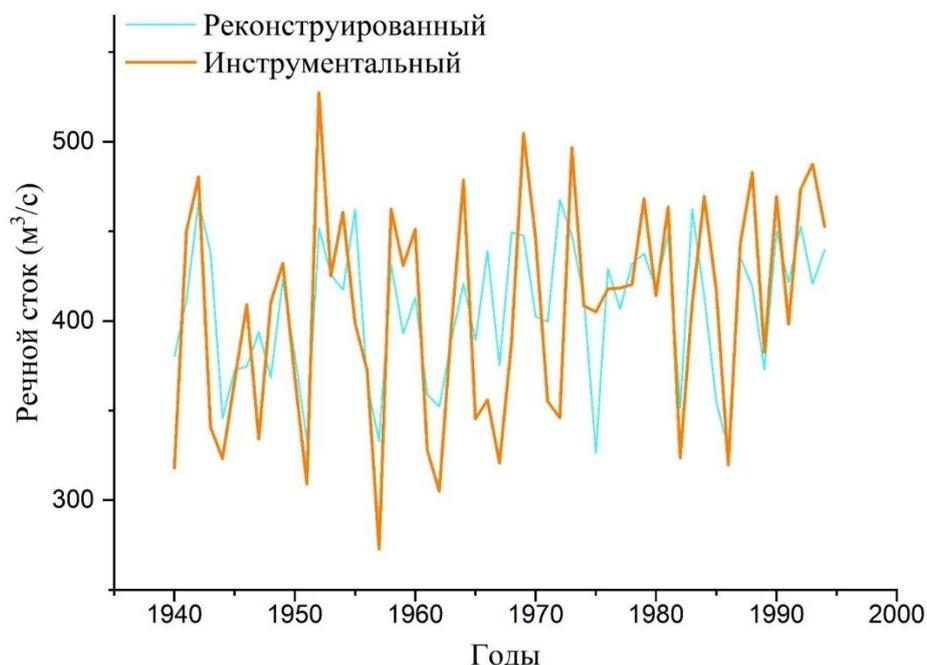


Рисунок 1. Сравнение инструментального и реконструированного стока с участка Искандаркуль в сентябре-августе с рекой Ягноб (1940–1994 гг.).

Сравнение инструментального и реконструированного стока с сентября по август показано на рис. 1. Также была определена перекрестная проверка статистики исключений. Погрешность уменьшения (RE) составляет 0,25, зависящая от соответствующих измерений, была положительным, что указывает на то, что модель обладает значительными возможностями [11]. В целом, результаты теста в достаточной степени подтверждают правильность данной регрессионной модели (табл. 1).

Таблица 1. Статистика перекрестной проверки для реконструкции речного стока за сентябрь-август.

| Хронология | R | r ² | RE | Sign test | First-order sign test | Durbin-Watson | STD |
|------------|-------|----------------|------|----------------------------------|----------------------------------|---------------|-------|
| ISK | 0,644 | 0,415 | 0,25 | 43 ⁺ /10 ⁻ | 42 ⁺ /10 ⁻ | 2,013 | 60,82 |

Коэффициент корреляции реконструкции с исходными результатами инструментального потока за период 1940-1994 гг. составляет 0,644 ($p < 0,001$), что является статистически значимым. Результаты этого теста указывают на достоверность этой регрессионной модели. Результаты знакового теста важны на этапе достоверности 99%, что объясняет, насколько точно ожидаемое значение следует за ходом фактических данных. На основе этой модели реконструирован речной сток в районе исследования с сентября по август за период с 1637 по 2016 гг. (серий >4 , $EPS \geq 0,85$) [12].

На рис. 2 показан нефльтрованный и 11-летний речной сток с фильтрацией нижних частот с сентября по август с 1637 г. Среднее значение речного стока с сентября по август за период (1637–2016 гг.) составляет 403,89 м³/сек. Годы 1777 (502,69 м³/сек) и 1917 (289,60 м³/сек) реконструированы как наиболее экстремальные годы. Глобальное потепление увеличивает температуру, что приводит к постоянному таянию снежного покрова и ледников, которые связаны этой реконструкцией. Тренд речного стока увеличился после 1940 г. ($y = 0,4757 * X - 529,38$).

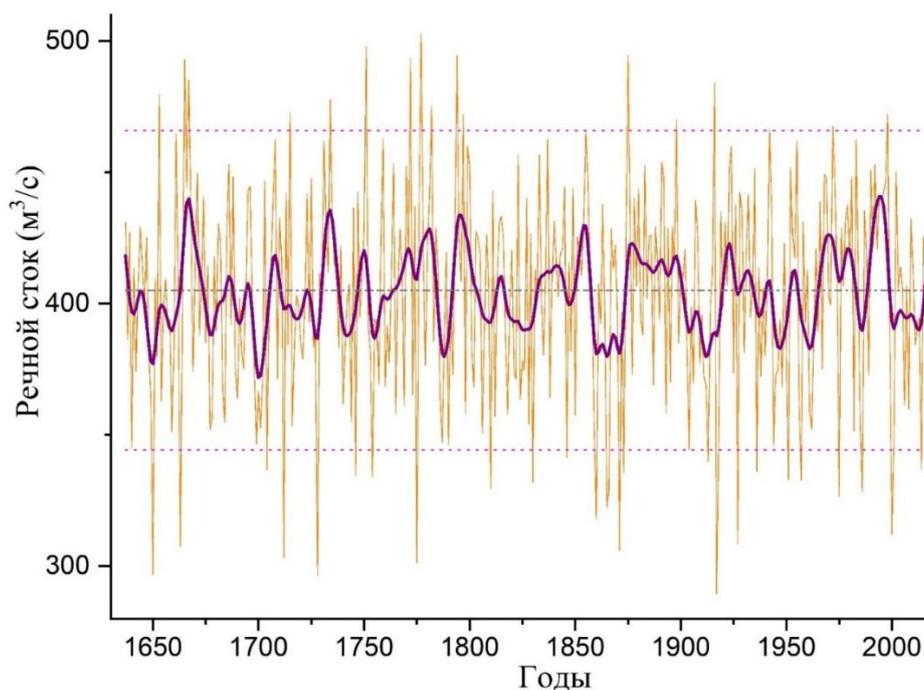


Рисунок 2. Реконструкция речного стока с 1637 года. Реконструкция (тонкая оранжевая линия) и значения 11-летнего фильтра нижних частот (толстая синяя линия). Центральная горизонтальная линия показывает среднее значение реконструированных значений; горизонтальные линии внутренней точки квадрата показывают границу $\pm 1SD$.

Значения внутренних горизонтальных линий ($\pm 1 SD$) показывают полноводность и мелководность. Реконструкция показывает, что средний расход воды за сентябрь-август в этот период 1637-1736 гг. $401,97 \text{ м}^3/\text{сек}$, ниже среднего значения чем за 1916-2016гг. $405,29 \text{ м}^3/\text{сек}$.

В табл. 2 показаны 11-летние фильтрованные экстремальные значения нижних частот и реконструкция нефильтованного речного стока с восемью периодами паводков (1639-1662, 1674-1684, 1711-1722, 1753-1763, 1817-1832, 1858-1873, 1901-1919 и 1999-2015) и шестью половодьями (1663-1673, 1764-1784, 1792-1803, 1833-1845, 1874-1900 и 1966-1982).

Таблица 2. Сглаженные 11-летним фильтром экстремальные показатели

| 10 самых экстремальных лет | | | | 10 сухих и влажных периода | | | | Долгосрочные периоды | |
|----------------------------|---------------------------------|------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------|-----------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| Годы | Сухие ($\text{м}^3/\text{с}$) | Годы | Влажные ($\text{м}^3/\text{с}$) | Период (годы) | Сухие ($\text{м}^3/\text{с}$) | Период (годы) | Влажные ($\text{м}^3/\text{с}$) | Период (годы) | Значение ($\text{м}^3/\text{с}$) |
| 1917 | 289,6 | 1777 | 502,7 | 1857-1866 | 377,3 | 1987-1996 | 429,4 | 1637-1686 | 402,7 |
| 1728 | 296,4 | 1751 | 497,9 | 1697-1706 | 381,2 | 1777-1786 | 423,0 | 1687-1736 | 401,2 |
| 1650 | 296,8 | 1875 | 494,6 | 1817-1826 | 388,2 | 1847-1856 | 420,0 | 1737-1786 | 406,6 |
| 1775 | 301,5 | 1794 | 494,4 | 1737-1746 | 390,4 | 1667-1676 | 419,5 | 1787-1836 | 402,0 |
| 1712 | 303,2 | 1772 | 493,5 | 1647-1656 | 390,9 | 1967-1976 | 415,8 | 1837-1886 | 405,8 |
| 1871 | 306,1 | 1665 | 492,8 | 1957-1966 | 391,9 | 1877-1886 | 415,2 | 1887-1936 | 403,2 |

| | | | | | | | | | |
|------|-------|------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| 1663 | 307,6 | 1667 | 485,1 | 2007-2016 | 396,5 | 1727-1736 | 412,5 | 1937-1986 | 402,7 |
| 1927 | 308,5 | 1916 | 484,0 | 1677-1686 | 397,4 | 1797-1806 | 411,6 | 1637-1736 | 402,0 |
| 2000 | 312,2 | 1653 | 479,6 | 1937-1946 | 398,1 | 1837-1846 | 411,1 | 1916-2016 | 405,3 |
| 1860 | 318,1 | 1734 | 477,7 | 1897-1906 | 400,4 | 1767-1776 | 410,1 | 1637-2016 | 403,9 |

Значимые половодья зафиксированные в гидрологической истории, как 1942 г. (466,26 м³/с), 1952 г. (451,78 м³/с) когда значительно выпали зимние осадки и дожди вплоть до июня, 1954 г. (417,32 м³/с) были подтверждены этой реконструкцией. В 1957 г. в ноябре-месяце началось накопление осадков, особенно их много выпало в марте и апреле, привели к половодью в 1958 г. (431,15 м³/с). Также половодье было зафиксировано и в 1964 г. (420,84 м³/с), весной, в марте-апреле выпало больше осадков.

Половодье 1969 г. было выдающимся почти по всей территории Средней Азии, что было вызвано особыми предшествующими метеорологическими условиями. Зима 1968-69 г. была очень многоснежная. Почти повсеместно выпало 2-3 нормы осадков. Следует, однако, отметить, что на реках ледниково-снегового типа питания максимальные расходы 1969 г. (447,61 м³/с) незначительно превышали норму, объясняется это тем, что в том году летние температуры воздуха в высокогорной зоне были ниже нормы, поэтому таяние ледников было малоинтенсивным.

В холодное время года над территорией исследуемой области располагается юго-западная периферия сибирского антициклона и наблюдаются прорывы циклонов с территории Ирана и Афганистана. Они приносят повышение температуры воздуха и увеличение количества осадков. В тылу циклонов обычно приходят холодные вторжения из умеренных широт с запада и севера, принося похолодания и осадки на равнинную территорию, но зачастую из-за небольшой мощности, не влияя на температурный фон в верховьях горных долин, но понижением температуры в горах [13].

Таджикистан зимой находится в сфере влияния азиатского антициклона, летом – в сфере влияния восточной периферии азорского антициклона и северной окраины переднеазиатской термической депрессии. Антициклональные типы погоды способствуют развитию в верхней и средней тропосфере нисходящих течений, препятствующих образованию облачности и выпадению осадков. Термическая депрессия с циклонической системой циркуляции благодаря повышению уровня конденсации также создает неблагоприятные условия для облакообразования и осадков

Синоптические положения, обуславливающие возникновение воздушной засухи в Средней Азии, в основном сводятся к термической депрессии и процессам вызывающим фёновые явления. Это происходит, потому что над районами Средней Азии сохраняется область слегка пониженного давления при отсутствии притока свежих воздушных масс. Сильно прогретый воздух в теплый период года создается в течении нескольких дней и приводит к высушиванию [14, 15].

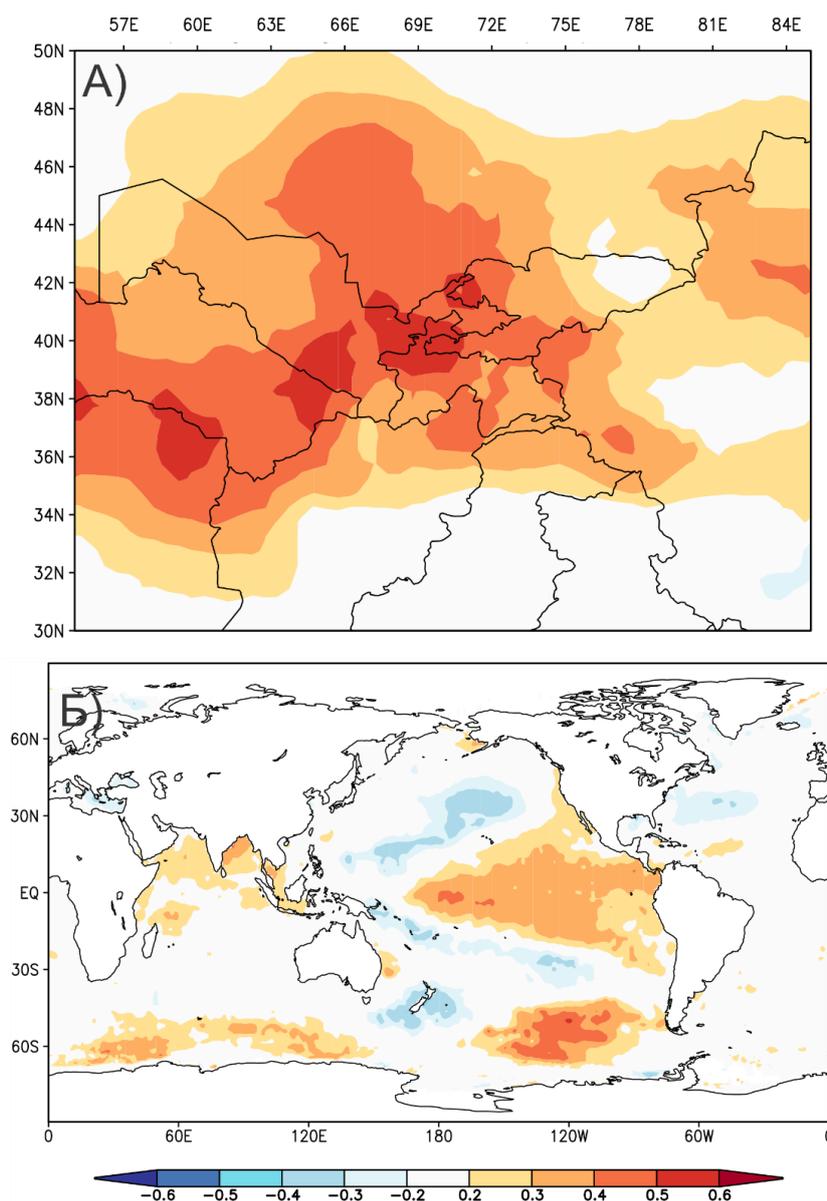


Рисунок 3. Пространственная корреляция между реконструированным речным стоком (1940-2016) и а) среднее сентябрь-август HadISST1 SST, б) CRU TS 4.04 осадками в сетке N 33-50° северной широты и E 55-85° восточной долготы.

Воздушные засухи, которые происходили в XX веке, которая зафиксировала история [14] и была подтверждена моей реконструкцией 1936 (336,13 м³/с), 1944 г. (345,78 м³/с) и 1951 г. (333,05 м³/с) были крайне низкими также в 1938 (372,34 м³/с), 1940 (380,24 м³/с), 1945-1946 (373,65 м³/с) и 1950 (380 м³/с)

Как показано на рис. 3А, пространственная корреляция между реконструированным речным стоком и температурой поверхности моря (SST) создана для понимания вековой изменчивости и улучшения возможности прогнозирования климата. Реконструированный речной сток имеет значительную корреляцию с SST в Тихом и Индийском океанах. Эти морские связи управляются моделью SST, связанной с Эль-Ниньо (Эль-Ниньо), южным колебанием (ЭНЮК) и диполем Индийского океана (ИОД) (также известным как Индо-Ниньо). Атмосферные отношения ЭНЮК являются очень важным фактором изменчивости восточноазиатских муссонов, которые оказывают широкое и сильное влияние на климат и погодные явления в Центральной Азии, такие как осадки и изменчивость речного стока.

Данная реконструкция соответствует ячейкам сети полей осадков за сентябрь-август 33-50° северной широты и 55-85° восточной долготы и показывает значительные положительные корреляции по Центральной Азии и некоторым частям приграничных регионов, таких как Китай, Афганистан и Пакистан с самой высокой корреляцией > 0,6 в Центральной Азии. Несмотря на горный рельеф и пространственные различия в местных осадках и росте деревьев, по результатам вышеприведенного

анализа осадки с сентября по август были определены как важнейший фактор роста можжевельника на юго-западном Памиро-Алае. Пространственный корреляционный анализ показывает, что эта реконструкция объясняет значительную часть географического разнообразия осадков в странах Центральной Азии (рис 3Б). На климат Центральной Азии в основном влияют азиатские летние муссонные ветры, на которые влияет разница температур между азиатским континентом и западной частью Тихого океана [16]. Результаты подтверждают, что реконструкция течения реки улавливает климатические сигналы больших территорий.

Верхнеамударьинский циклон обычно дает существенные осадки, также для выпадения осадков в холодный период года следует указать на группу южных циклонических прорывов с юга Каспийского моря, через долины Мургаба, с верховьев Аму-Дарьи и с юга Туркмении [14, 17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье была реконструирована хронология речного стока за период с 1637 года по 216 год. В реконструкции найдены восемь долгосрочных периодов, которые более 10 лет подряд были ниже среднего расхода воды (1639-1662, 1674-1684, 1711-1722, 1753-1763, 1817-1832, 1858-1873, 1901-1919 и 1999-2015) и шесть выше (1663-1673, 1764-1784, 1792-1803, 1833-1845, 1874-1900 и 1966-1982). Наиболее экстремальные годы/периоды, паводков 1936, 1938, 1940, 1944-46, 1950-51, которые зафиксированы гидрологическими наблюдениями и половодьев 1942, 1952, 1954, 1957-58, 1964 и 1968-69 с которыми история переключается. На область исследования в разный период времени влияют разные циклоны, так в холодное время года, т.е. зимой влияет азиатский антициклон и юго-западная периферия сибирского антициклона, которые приносят повышение температуры воздуха и увеличение количества осадков. Летом территория находится под влиянием восточной периферии азорского антициклона и северной окраины преднеазиатской термической депрессии. Оно приводит к тому, что отсутствие притока свежих воздушных масс приводит к прогреванию воздуха и к его высушиванию. Пространственная корреляция выполненная между реконструированным речным стоком и температурой поверхности моря показывает связь с Тихим и Индийским океанами, которые управляется под воздействием Эль-Ниньо, южным колебанием (ЭНЮК) и Индо-Ниньо. Эти колебания сказываются на изменчивости климата на территории Центральной Азии. Наблюдаются также и прорывы циклонов с территорий Средней Азии, Центральной Азии, Ирана, Афганистана, Пакистана и приграничных частей Китая.

Благодарности:

Автор выражает глубокую признательность за помощь в сборе образцов коллег и друзей и в частности профессора Чен Фенга. Также он благодарен своей семье за постоянную поддержку и помощь.

ЛИТЕРАТУРА. REFERENCES.

1. Chen F., Yu S., He Q., Zhang R., Kobuliev Z. V., Mamadjonov Y. M. Comparison of drought signals in tree-ring width records of juniper trees from Central and West Asia during the last four centuries // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2016. – V. 9, № 4. – P. 1-10.
2. Opała M., Niedźwiedz T., Rahmonov O. Dendrochronological potential of *Ephedra equisetina* from Zaravshan Mountains (Tajikistan) in climate change studies // *Contemporary Trends in Geoscience*. – 2013. – V. 2, № 1. – P. 48-52.
3. Opała M., Niedźwiedz T., Rahmonov O., Owczarek P., Małarzewski Ł. Towards improving the Central Asian dendrochronological network—New data from Tajikistan, Pamir-Alay // *Dendrochronologia*. – 2017. – V. 41. – P. 10-23.
4. Opała-Owczarek M., Owczarek P., Rahmonov O., Niedźwiedz T. The First Dendrochronological Dating of Timber from Tajikistan—Potential for Developing a Millennial Tree-Ring Record // *Tree-Ring Research*. – 2018. – V. 74, № 1. – P. 50-62.
5. Owczarek P., Opała-Owczarek M., Rahmonov O., Mendecki M. 100Years of earthquakes in the Pamir region as recorded in juniper wood: A case study of Tajikistan // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2017. – V. 138. – P. 173-185.
6. Zulfiyor B., Ruide Y., Akylai M., Javhar A., Gulkaibr O., Merim P. k. Tree-Ring-Based Early-Summer Precipitation Reconstruction For Shahrstan, Sogd Province, Tajikistan, Since AD 1760-2015 // *East European Scientific Journal*. – 2017. – V. 28, № 12. – P. 4-9.

7. Sabitova S., Yu R., Bakhtiyorov Z., Massakbayeva A., Issina B. Tree ring based summer precipitation reconstructed for South Western Tian Shan Mountain in Tajikistan since 1790-2016 // – 2019. – V. 2, № 42. – P. 5.
8. Зулфиёр Б., Юлдош Ю., Анвар К., Фенг Ч. Древесно-кольцевая хронология для местности «Искандаркуль», Согдийская область, Таджикистан // Ученые записки Худжандского государственного университета им. академика Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки. – 2021. – Т. 2, № 57. – С. 63-69.
8. Zulfiyor B., Yuldosh Yu., Anvar K., Feng Ch. Tree-ring chronology for the locality "Iskandarkul", Sughd region, Tajikistan // Uchenye zapiski Khujand State University. Academician B. Gafurov. Series: Natural and economic sciences. – 2021. – V. 2, No. 57. – P. 63-69.
9. Bakhtiyorov Z., Yu R., Monoldorova A., Ta Z., Aminov J. Tree-Ring-Based Summer Temperature Minimum Reconstruction for Taboshar, Sogd Province, Tajikistan, Since AD 1840: Linkages to the Oceans // – 2018. – P. 24.
10. Methods of dendrochronology. / Cook E. R., Kairiukstis L. A. – Kluwer, Dordrecht, 1990. – 394 p.
11. Tree rings and climate., Academic, London, New-York, San-Francisco. / Fritts H., 1976. Academic, London, New-York, San-Francisco. – 567 p.
12. Wigley T. M., Briffa K. R., Jones P. D. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology // Journal of climate and Applied Meteorology. – 1984. – V. 23, № 2. – P. 201-213.
13. Каталог Ледников СССР. Ресурсы поверхностных вод СССР. / Коновалова Г. И., Насыров М. А., А. Г. Шурупов, Щетинников А. С. – 3 изд. – Ленинград: Гидрометеорологическое Издательство, 1982. – Т. 14 В. 3: Ресурсы поверхностных вод СССР. – 120 с.
13. Catalog of Glaciers of the USSR. Resources of Surface Waters of the USSR. / Konovalova G. I., Nasyrov M. A., A. G. Shurupov, Shchetinnikov A. S. – 3rd ed. – Leningrad: Hydrometeorological Publishing House, 1982. – V. 14 I. 3: Surface Water Resources of the USSR. – 120p.
14. Климатическое описание республик Средней Азии. / Балашова Е. Н., Житомирская О. М., Семенова О. А. – Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1960. – 242 с.
14. Climatic description of the republics of Central Asia. / Balashova E. N., Zhitomirskaya O. M., Semenova O. A. - Leningrad: Hydrometeorological Publishing House, 1960. - 242 p.
15. Температурные характеристики сезонов Средней Азии по данным метеостанции Ташкент, обсерватория. / Картеникова К. А. – Ташкент: Труды ИММ АН УзССР, 1953.
15. Temperature characteristics of the seasons of Central Asia according to the Tashkent weather station, observatory. / Kartenikova K. A. – Tashkent: Proceedings of IMM AS UzUSSR, 1953.
16. Wu R., Hu Z.-Z., Kirtman B. P. Evolution of ENSO-related rainfall anomalies in East Asia // Journal of Climate. – 2003. – V. 16, № 22. – P. 3742-3758.
17. Статистическая характеристика синоптических положений над Средней Азией для теплого полугодия. / Сарымсаков Т. А., Джорджио В. А., Бугаев В. А. – Ташкент: Труды ИММ АН УзССР, 1947. – Т. 3 – 5-25 с.
17. Statistical characteristics of synoptic positions over Central Asia for the warm half of the year. / Sarymsakov T. A., Giorgio V. A., Bugaev V. A. – Tashkent: Proceedings of IMM AN UzSSR, 1947. – V. 3 – 5-25 p.