

Староватов А.А., Ахмедова Т.А., Сулаймонова Н.Н.

Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Ташкент, Узбекистан.

К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА НА ЕВРАЗИЙСКОМ КОНТИНЕНТЕ

Аннотация. В статье выполнен анализ изменения средних летних температур воздуха в различных областях Евразийского материка, а именно: ряды средних летних температур по Ямалу и Фенноскандии за последнее тысячелетие, вариации среднегодовых температур в Ташкенте и вариации солнечной активности. Температурные ряды воздуха за несколько тысячелетий рассмотрены на основе дендрологических исследований. Для каждого ряда температур воздуха вычислена спектральная модель. Дан прогноз возможных изменений климата на ближайшие пятьдесят лет по городу Ташкенту. По результатам данного исследования сделан вывод о том, что многолетние вариации температуры воздуха на Земле связаны с циклами солнечной активности. Это показывает зависимость климата на региональном уровне от Солнца. Учёт данных обстоятельств даст учёным больше возможностей прогнозировать климатические условия в определенных областях планеты.

Ключевые слова: Евразия, реконструкция температур, дендрология, спектральная модель, климатический прогноз, числа Вольфа, солнечная активность.

Starovatov A.A., Akhmedova T.A., Sulaymanova N.N.

Hydrometeorological Research Institute, Tashkent, Uzbekistan.

ON THE QUESTION OF CLIMATE CHANGE IN THE EURASIAN CONTINENT

Abstract. This article examines the analysis of changes in average summer air temperatures in various regions of the Eurasian space: series of average summer temperatures in Yamal and Fennoscandia over the past millennium, variations in average annual temperatures in Tashkent and variations in solar activity. Air temperature series over several millennia are considered on the basis of dendrological measurements. For each air temperature series, a spectral model was calculated and a forecast of possible climate changes for the next fifty years was given for the city of Tashkent. Based on the results of this study, we found that long-term variations in Earth's air temperatures are associated with solar activity. This suggests that regional climate is influenced by the Sun; with their help, scientists will be better able to predict climate conditions in certain areas.

Key words: Eurasia, temperature reconstruction, dendrology, spectral model, climate forecast, Wolf numbers, forecast, solar activity.

Введение и постановка проблемы. Климат определенной местности является её важной физико-географической характеристикой, поскольку он отражает многолетний режим погоды. Изучение изменения климатических элементов на протяжении длительных временных интервалов продолжает оставаться одной из важных задач климатологов.

Исторические источники дают представление о климате Средней Азии в последние тысячелетия. В источниках содержатся многочисленные сообщения об аномально суровых зимах с обильными снегопадами, которые ярко характеризуют изменчивость среднеазиатской погоды. Так, в исторической хронике XI века содержится наиболее раннее и весьма интересное описание необычной для Самарканда зимы 635-636 гг.: «Это было в 14 году по календарю Хиджры. В том году выпал в Самарканде великий снег, и с того времени никто не помнит другого такого снега. Тот снег был в таком количестве, что целый год оставался и не могли от него очиститься. Не осталось никакой культуры. Табуны и стада в степях погибли и погребены были под снегом» [9,

с. 14]. Историк В.Л. Вяткин, приводящий эту цитату, относит эту зиму не к 14 г. Хиджры (635-636 гг.), а к 114 г. (732-733 гг.), когда из-за неурожая в Самарканде наступил сильный голод.

В 921-922 гг. наблюдалась холодная зима в Самарканде и Хорезме. Амударья промерзла кое-где до дна, а в нижнем течении толщина льда достигала 17 четвертей (3-3,5 м). Река оставалась скованной льдом с конца ноября до середины февраля. От морозов трескалась земля, в пути гибли караваны верблюдов. Снег в северных районах держался еще в марте [9].

Также холодная и снежная зима наблюдалась в 1034 и 1038 годах. В южных районах Средней Азии минимальная температура опускалась до -17°C [8].

В XIV-XV веках в Средней Азии часто наблюдались снежные и холодные зимы. Это 1316, 1333, 1338-1339, 1343, 1388-1389, 1402-1404, 1496 годы. Они, в свою очередь, совпадают с периодом сильнейшего похолодания в Европе. Испанский посол Кастильского короля Генриха III Рюи Гонзалес де Клавихо в своем дневнике сделал небольшое замечание о погоде во время посещения ставки Амира Тимура. «Зима 1404-1405 годов была одна из самых холодных, какие вообще бывают в Туркестане. С декабря до февраля все переправы на Амударье и Сырдарье оставались покрыты льдом» [9, с. 16]. Далее по пути следования Клавихо отмечает многоснежье в Хорасане, Мидии и Персии. Из изложенного явствует, что холодная зима 1404-1405 гг. охватила огромный регион от Средней Азии до Персии, Кавказа и Турции.

Известно, что климат планеты претерпевает периодические изменения. Ледниковые периоды через тысячи лет сменяют друг друга. Наряду с глобальными вариациями возможны изменения продолжительностью в несколько столетий. Согласно геологическим исследованиям, средняя температура на нашей планете колебалась между 7°C и $+27^{\circ}\text{C}$ в разные геологические периоды. В настоящее время средняя температура планеты земля чуть больше $+14^{\circ}\text{C}$.

Влияние Солнца на климат в настоящее время является очень актуальной проблемой, особенно в связи с глобальным потеплением, темпы которого за последние 15 лет оказались ниже, чем ожидалось. Все еще остается много вопросов о том, как именно Солнце влияет на климат. Поэтому анализ корреляции динамики климатических элементов и циклов солнечной активности является актуальной и востребованной темой исследований.

Изученность вопроса. В 60-х годах прошлого столетия Л.С. Говоруха и В.М. Макеев проводили исследования на Земле Франца-Иосифа и Северной Земле, в антарктическом оазисе Ширмахера, отбирая и анализируя донные осадки озер для выявления изменений климата, уровня моря и оледенения [5].

В дальнейшем, благодаря усилиям В.М. Макеева, палеоклиматические исследования приобрели статус одного из наиболее важных аспектов деятельности в Отделе географии полярных стран (ОГПС) Арктического и антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ). В последующие годы учеными проведены палеоклиматические исследования на архипелагах Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Северная Земля, Новосибирские острова, на полуостровах Кольском, Таймыр, Ямал, Гыданском, на побережье Северного Ледовитого океана, в устьевых областях рек Оби, Пясины, Нижней Таймыры, Хатанги, Лены, Колымы, на Чукотке [2,5]. Результаты, выполненных в этих районах работ, нашли отражение в многочисленных статьях и частично обобщены в монографиях [1,7].

В течение последних двух десятилетий усилия ученых многих стран позволили обновить сведения о послеледниковых изменениях климата в полярных районах планеты.

Цель и задачи работы. Целью настоящего исследования является разработка комплексного метода прогноза климатических изменений в XXI веке на Евразийском континенте с учетом циклов солнечной активности.

Материалы и методы. Исходные данные – ряды средних летних температур воздуха по Ямалу и Фенноскандии за последнее тысячелетие, вариации среднегодовых температур в Ташкенте и анализ вариаций солнечной активности. Использовались методы дендрохронологии и спектрального анализа на языке программы Matlab.

Предметом исследования являются качественные и количественные показатели связей солнечной радиации, различных элементов климата и явлений природы прошлого с годичным приростом дерева или сообщества деревьев.

В данной работе в качестве **объекта исследований** выбраны три точки, расположенные на Евразийском материке. 1. Северная точка представлена полуостровом Ямал. Этот полуостров находится на севере Западной Сибири, на территории Ямало-Ненецкого автономного округа Российской Федерации. Ямал входит в число самых северных территорий земного шара, где есть живые леса и мириады ископаемых деревьев, сохранившихся по берегам рек [13]. На территории Ямала климат суровый (долгая холодная зима, прохладное короткое лето, сильные ветры). На Ямале распространён субарктический и арктический климат. Средние температуры января колеблются от -23 до -27°C , июля от $+3$ до $+9^{\circ}\text{C}$. Количество осадков невелико – около 400 мм в год. Толщина снежного покрова составляет в среднем 50 см [11].

2. Второй выбранный объект исследования – Фенноскандия – находится на северо-западе континента. Фенноскандия как физико-географическая страна впервые выделена финским геологом В. Рамзаем в 1898 году в составе Норвегии, Швеции, Финляндии и западной части бывших Олонецкой и Архангельской губерний России. Названа по преобладающему на территории историческому расселению скандинавов и финно-угорских народов. Климат на большей части Фенноскандии умеренный с прохладным летом и значительным количеством осадков, превышающим испаряемость, что определяет обилие озёр, болот и многоводность рек. Основная часть покрыта таёжными сосновыми и еловыми лесами [15].

3. Последний выделенный район был проанализирован на примере города Ташкента (метеостанция Ташкент-Обсерватория), расположенного в центральной части материка. Климат города континентальный, с холодной зимой и жарким, сухим летом. Средняя годовая температура равна $13,4^{\circ}\text{C}$. Среднее годовое количество осадков составляет 423,4 мм [3]. Период регулярных метеорологических наблюдений на метеостанции Ташкент-Обсерватория достаточно большой. Ряды наблюдений за температурой, атмосферными осадками и другими метеоэлементами имеют длину около 150 лет.

Дендроклиматология – область исследований на стыке климатологии и дендрохронологии, изучающий изменение климата данной местности в исторический период времени путём сравнения толщины годичных колец у многолетних древесных растений [10]. Еще в древние времена люди обратили внимание на то, что кольца деревьев, видимые на поперечном спиле, образуются ежегодно, что позволяет точно определить возраст конкретного дерева. В XVI веке Леонардо да Винчи писал о том, что кольца спиленных деревьев показывают количество лет, а также, в зависимости от толщины, какой был год, когда образовалось, то или иное кольцо: влажный или засушливый [12]. Два столетия спустя на зависимость между изменчивостью ширины годичных колец и осадками обратил внимание К. Линней. Исследованиями в области дендрохронологии занимались и видные русские ученые А.Н. Бекетов, Д.И. Менделеев, Ф.Н. Шведов. Как междисциплинарное научное направление дендрохронология начала формироваться в начале XX века на стыке гелиогеофизики, климатологии и археологии. Основателем дендрохронологии считается американский астроном А.Е. Дуглас, который разработал и применил на практике методы получения и использования древесно-кольцевой информации для реконструкции климатических и гидрологических условий, выявления связей между приростом деревьев и солнечной активностью, а также для датировки археологической древесины [14]. В других странах подобные исследования

начали проводиться на 20-30 лет позднее. В первую очередь это относится к Германии, Швеции, Финляндии и Великобритании.

В России после работ Ф.Н. Шведова интерес к изучению годовичных колец проявился только в 50-ых годах прошлого века, хотя отдельные работы с использованием этого метода появлялись и раньше. В это время появились многочисленные работы, посвященные различным направлениям исследований с применением дендрохронологического метода: климатологическим, археологическим, геоморфологическим и др. В данной работе для решения поставленной цели использован метод дендрохронологии.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрим ход летних температур на Ямале за последние 7000 лет [13]. На рис. 1 (слева) показано изменение этого параметра за указанный интервал времени. На графике выведена каждая тридцатая точка. Легко заметить, что, наряду со столетними вариациями температур присутствует постоянный отрицательный тренд. Ямал неуклонно остывает. На рис. 1 (справа) показано изменение летних температур в Северной Европе (Фенноскандия) за последние 2000 лет [15]. На графике выведена каждая двадцатая точка. Фенноскандия остывает так же, как и Ямал.

Однако более существенны для нашего времени вариации температур воздуха в несколько столетий. Для прогнозирования используется спектральная модель временных рядов температур. Смысл ее в следующем. Известно, что средняя мощность процесса равна сумме мощностей спектральных составляющих [6]. Синусоидальные компоненты с периодом от 1 года до 700 лет с шагом 1 год последовательно вычитаются из исходного ряда. Каждый раз находится дисперсия разностного процесса. Если синусоида действительно существует в исходном ряде, то дисперсия разностного ряда уменьшается. В результате всех этих проб получается ряд, на котором четко выделяются отрицательные экстремумы. Взяв наиболее значимые из них, получим спектральную совокупность, описывающую исходную последовательность. Легко синтезировать спектральный ряд и продлить его на определенное количество лет. Продленную часть модели примем, как прогноз на будущее.

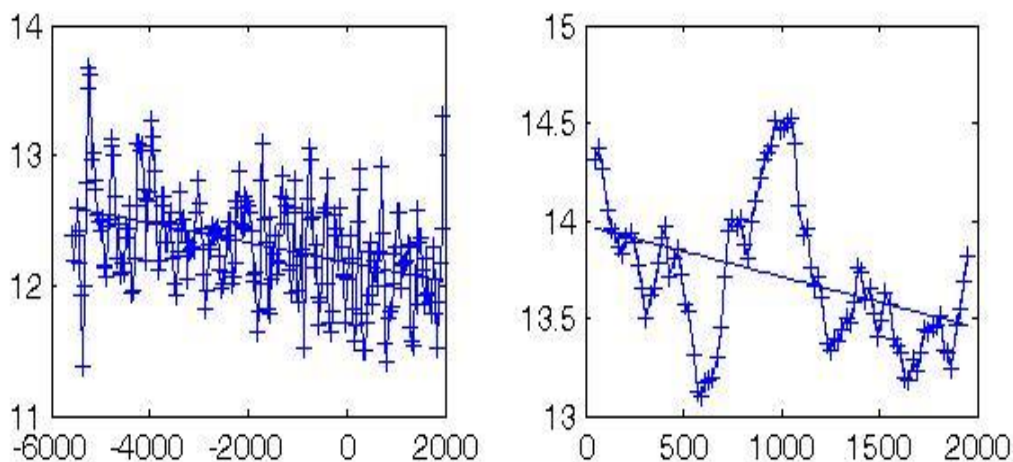


Рис. 2. Тысячелетний ход летних температур на Ямале (слева) и в Фенноскандии (справа)

Недостаток метода в большом количестве затрат машинного времени. Однако затраты окупаются хорошими результатами. Спектральная модель, как правило, содержит несколько десятков синусоидальных компонентов [6].

Корреляция между исходным рядом и спектральной моделью не ниже 0,9. Разложение исходных рядов по методу Фурье либо Бурга дает от силы пять, шесть значимых компонентов. В конечном итоге синтез их не описывает достаточно хорошо изначальную последовательность.

На рис. 2 показаны исходные ряды по Ямалу (слева) и Финноскандии (справа) $-*$ и спектральные модели $-+-$, их описывающие, в интервале с 1900 г. по 2014 г. Модели продлены до 2069 г. Спектральные ряды достаточно хорошо описывают изначальную последовательность. Падение средних летних температур начинается с 2000 г. и достигает минимума в середине 21 столетия.

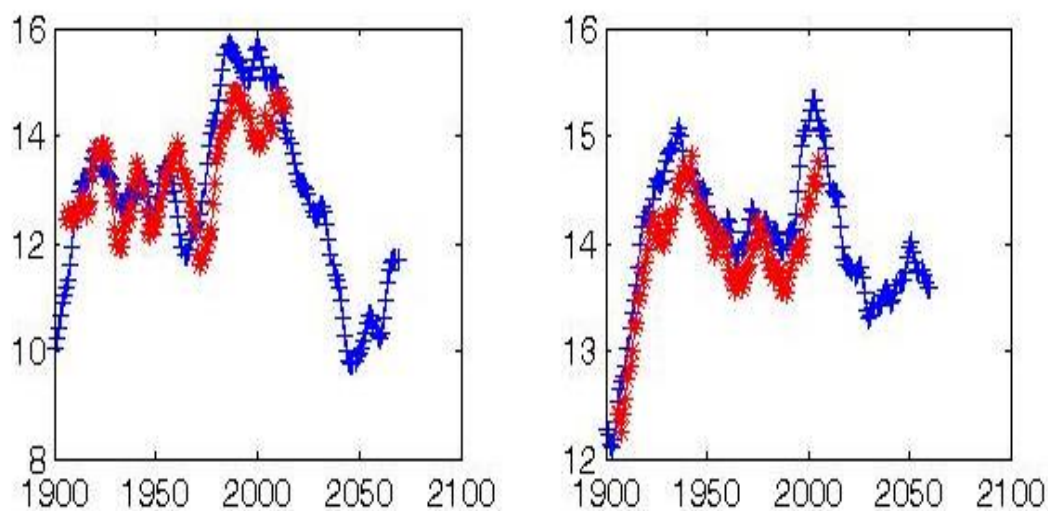
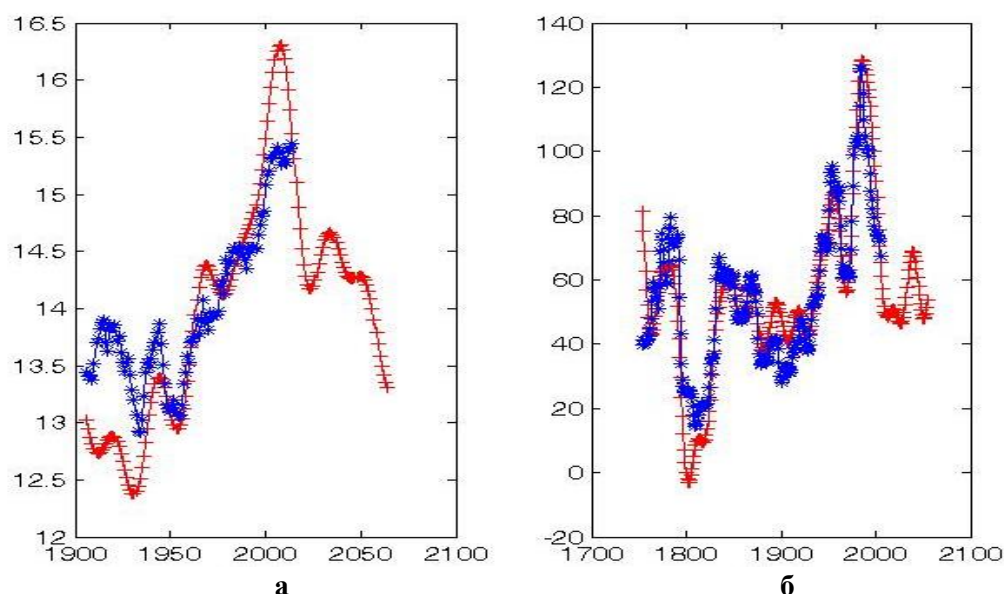


Рис. 3. Прогноз температуры воздуха спектральной модели для Ямала (слева) и Финноскандии (справа)

На рис. 3 (а) показаны фильтрованные среднегодовые температуры воздуха по г. Ташкенту $-*$ в интервале 1900-2014 гг. и спектральная модель $-+-$, описывающая исходный ряд. Модель продлена до 2065 г. Коэффициент корреляции меж рядами 0,94. Минимум среднегодовых температур достигнет в середине XXI столетия.

На рис. 4 (а) представлена многолетняя изменчивость среднегодовой температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на станции Ташкент-Обсерватория за периоды с начало наблюдений по 2020 г.



**Рис. 4. Сопоставление данных температур спектральной модели:
а – для г. Ташкента, б – Число Вольфа**

Рис. 4 (б) отображён фильтрованный ряд чисел Вольфа $-*$. Фильтрация была необходима с целью убрать 11-летний цикл. Спектральная модель $-+-$ продлена до 2065 г. Коэффициент корреляции между исходным рядом и моделью 0,91. Нетрудно увидеть сходство между лево и правой частями рис. 4. Следовательно, циклические вариации

температур на Евразийском пространстве, скорее всего, связаны с солнечной активностью.

Выводы. На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы. Если обратимся к истории, то можно четко выделить периодические изменения температур воздуха. Известно, что в 1405 г. поход Амира Тимура на Китай был прерван необычно холодной зимой. Как пишет летописец, снега выпало на три копья. Через примерно 300 лет в правление Людовика XIV каналы в Голландии покрылись льдом, а в Москве летом шел снег. Следовательно, можно предположить, что очередной минимум нас ждет в середине XXI столетия.

Многолетние вариации температуры воздуха, связаны с солнечной активностью. Согласно результатам модельного анализа, в ближайшие десятилетия температура воздуха будет постепенно снижаться.

Авторы считают, что в будущем ожидается постепенное похолодание. Готовы ли сегодня страны мира, которые “принимают меры по адаптации к глобальному потеплению”, к глобальному похолоданию? Для нашей аграрной страны изменение климата – вопрос не праздный, поскольку коснется миллионов жителей республики. Это определяет продовольственную безопасность миллионов людей.

Использованная литература:

1. Алексеев Г.В., Подгорный И.А., Священников П.Н. Климатический режим Арктики на рубеже XX и XXI вв. Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. 199 с.
2. Андреев А.А., Климанов В.В. История растительности и климата Центральной Якутии в голоцене и позднеледниковье. Магадан, 1989. С. 28-51.
3. Глазырин Г.Е., Группер С.Р. Климат Ташкента и его изменения в XX – начале XXI века. Ташкент: НИГМИ, 2008. 53 с.
4. Говоруха Л.С. Новые данные по палеогеографии позднего плейстоцена и голоцена северной земли // ДАН СССР. 1968. Том 182. № 5. С. 1149-1152.
5. Говоруха Л.С., Макеев В.М. Оледенение в западной части плато Путорана в позднем плейстоцене и голоцене // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 1971. № 2. С. 44-53.
6. Дженкинс Г., Ватс Д. Спектральный анализ и его приложения. Москва: Мир, 1971. 38 с.
7. Изменения климата полярных областей за последние 10000 лет. Санкт-Петербург: ААНИИ, 2018. 204 с.
8. Петров Ю.В. Бухара: климат и погода. Ташкент: САНИГМИ, 1999. 170 с.
9. Петров Ю.В. Самарканд: климат и погода. Ленинград: Гидрометеиздат, 1982. 100 с.
10. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепа В.С., Наурызбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Учебно-методич. пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
11. Ямал [Статья из электронной энциклопедии - Википедии] // Эл. доступ: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%BC%D0%B0%D0%BB>
12. Fritts H.C. (1976), *Tree Rings and Climate*, New York, 567 p.
13. Hantemirov R.M., Corona Ch., Guillet S., Shiytov S.G., Stoffel M., Osborn T.J., Melvin T.M., Gorlanova L.A., Kukarskih V.V., Surkov A.Y., Georg von Arx, Fonti P. (2022), Current Siberian heating is unprecedented during the past seven millennia, *Nature Communications*. Vol. 13.4968. Doi: 10.1038 s41467-022-32629-x.
14. Hughes M.K., Swetnam T.W., Diaz H.F. (2011), Dendroclimatology: progress and prospects, *Springer*, Vol. 11. 366 p.
15. Matskovsky V.V., Helama S. (2014), Testing long-term summer temperature reconstruction based on maximum density chronologies obtained by reanalysis of tree-ring data sets from northernmost Sweden and Finland, *Climate of the Past*, vol. 10, Issue. 4. P. 1473-1487. Doi: 10.5194/cp-10-1473-2014.

References:

1. Alekseev G.V., Podgorny I.A., Svyashennikov P.N. (1991), *The climatic regime of the Arctic at the turn of the 20th and 21st centuries*, Leningrad, 199 p. (In Russ.).
2. Andreev A.A., Klimanov V.V. (1989), *History of vegetation and climate Central Yakutia in the holocene and late glacial*, Magadan, pp. 28-51. (In Russ.).
3. Glazyrin G.E., Grupper S.R. (2008), *The climate of Tashkent and its changes in the XX - early XXI century*, Tashkent, 53 p. (In Russ.).
4. Govorukha L.S. (1968), New data on paleogeography of the late pleistocene and holocene of the Northern Land, *DAN SSSR*, vol. 182, No. 5, pp. 1149-1152. (In Russ.).
5. Govorukha L.S., Makeev V.M. (1971), Glaciation in the western part of the Putoran plateau in the late pleistocene and Holocene, *Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography*, vol. 2, p. 44-53. (In Russ.).
6. Jenkins G., Watts D. (1971), *Spectral analysis and its applications*, Moscow, 38 p. (In Russ.).
7. *Climate change in the polar regions over the past 10000 years (2018)*, St. Petersburg, 204 p. (In Russ.).
8. Petrov Yu.V. (1999), *Bukhara: climate and weather*. Tashkent, 170 p. (In Russ.).
9. Petrov Yu.V. (1982), *Samarkand: climate and weather*. Leningrad, 100 p. (In Russ.).
10. Shiyatov S.G., Vaganov E.A., Kirilyanov A.V., Kruglov V.B., Mazepa V.S., Naurzbaev M.M., Hantemirov R.M. (2000), *Methods of dendrochronology. Part I. Fundamentals of dendrochronology*, Krasnoyarsk, 80 p. (In Russ.).
11. Yamal // URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%BC%D0%B0%D0%BB>
12. Fritts H.C. (1976), *Tree Rings and Climate*, New York, 567 p.
13. Hantemirov R.M., Corona Ch., Guillet S., Shiytov S.G., Stoffel M., Osborn T.J., Melvin T.M., Gorlanova L.A., Kukarskih V.V., Surkov A.Y., Georg von Arx, Fonti P. (2022), Current Siberian heating is unprecedented during the past seven millennia, *Nature Communications*. Vol. 13.4968. Doi: 10.1038/s41467-022-32629-x.
14. Hughes M.K., Swetnam T.W., Diaz H.F. (2011), Dendroclimatology: progress and prospects, *Springer*, Vol. 11. 366 p.
15. Matskovsky V.V., Helama S. (2014), Testing long-term summer temperature reconstruction based on maximum density chronologies obtained by reanalysis of tree-ring data sets from northernmost Sweden and Finland, *Climate of the Past*, vol. 10, Issue. 4. P. 1473-1487. Doi: 10.5194/cp-10-1473-2014.

Сведения об авторах:

Староватов Алек Алексеевич – Научно-исследовательский гидрометеорологический институт (Ташкент, Узбекистан), кандидат физико-математических технических наук, старший научный сотрудник.

Ахмедова Тамара Абдурахимовна – Научно-исследовательский гидрометеорологический институт (Ташкент, Узбекистан), кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: t.akhmedova1962@gmail.com.

Сулаймонова Нигора Нозимжоновна – Научно-исследовательский гидрометеорологический институт (Ташкент, Узбекистан), научный сотрудник. E-mail: ufo789@mail.ru.

Information about authors:

Starovatov Alek – Hydrometeorological Research Institute (Tashkent, Uzbekistan), Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher.

Akhmedova Tamara – Hydrometeorological Research Institute (Tashkent, Uzbekistan), Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher. E-mail: t.akhmedova1962@gmail.com.

Sulaymanova Nigora – Hydrometeorological Research Institute (Tashkent, Uzbekistan), Researcher. E-mail: ufo789@mail.ru.

Для цитирования:

Староватов А.А., Ахмедова Т.А., Сулаймонова Н.Н. К вопросу об изменении климата на евразийском континенте // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2024. № 1-2. С. 86-93.

For citation:

Starovатов A.A., Akhmedova T.A., Sulaymonova N.N. (2024), On the question of climate change in the Eurasian continent, *Central Asian Journal of Geographical Sciences*, No. 1-2, pp. 86-93. (In Russ.).