



Солнечная и вулканическая активность как реперы при построении абсолютной хронологии Евразии

Станислав Аркадьевич Григорьев

Институт истории и археологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

E-mail: stgrig@mail.ru

Аннотация. Известной проблемой археологической хронологии является то, что радиоуглеродная хронология отличается от исторической. Вторым ее существенным недостатком являются чрезвычайно широкие доверительные интервалы, если использовать даты, рассчитанные с высокой вероятностью. Историческая хронология бронзового века соответствует дендрохронологии и радиоуглеродной хронологии в случае использования байесовской статистики AMS дат. Поэтому хронологию культур Северной Евразии желательно связать на основе типологического анализа с хронологией тех регионов, где есть возможность использования исторической и дендрохронологии. Но из-за удаленности выстроить надежные типологические ряды сложно, и эта процедура тоже дает слишком широкие вероятностные интервалы. Поэтому необходимо опираться на культуры, которые сформировались в результате миграций, вызванных климатическими катастрофами глобального масштаба. В этих случаях мы в состоянии синхронизировать удаленные друг от друга культурные трансформации. В первую очередь, речь идет о масштабных вулканических процессах. Наиболее четко такие события проявляются в древесных кольцах различных регионов, что позволяет получить дату с точностью до года. Вторым источником являются данные гляциохронологии, хотя не для всех периодов они достаточно точны. Наконец, третьей группой данных являются исторические хронологии. Применение этого подхода позволило предложить реперы для построения хронологии Евразии для III–II тыс. до н.э., которые позволяют построить систему с более молодыми и короткими интервалами, чем радиоуглеродный анализ. Особенно успешно применение этого метода к периоду синташтинской культуры и начала развитого алакульско-срубного этапа, где использование независимых друг от друга данных (гляциохронология, исторические хронологии Египта, Месопотамии и Китая, дендрохронологии Альп, Анатолии и США) дают согласованные результаты.

Ключевые слова: бронзовый век, Евразия, дендрохронология, историческая хронология, извержения, миграции

Цитирование. Григорьев С.А. Солнечная и вулканическая активность как реперы при построении абсолютной хронологии Евразии // Уфимский археологический вестник. 2024. Т. 24. № 4. С. 628–643. DOI: <https://doi.org/10.31833/uav/2024.24.4.041>

UDC 902/904/63.4

Submitted: 30.03.2024

Accepted: 15.10.2024

Solar and volcanic activity as benchmarks in constructing the absolute chronology of Eurasia

Stanislav A. Grigoriev

Institute of History and Archaeology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

E-mail: stgrig@mail.ru

Abstract. A well-known problem in archaeological chronology is that radiocarbon chronology differs from historical chronology. Its second major drawback is extremely long confidence intervals for dates calculated with high probability. The Bronze Age historical chronology corresponds to dendrochronology and radiocarbon chronology, when using Bayesian analysis of AMS dates. Therefore, it is desirable to use typological analysis to relate the cultures in Northern Eurasia with the chronology of the regions where it is possible to use historical chronology and dendrochronology. However, long distances prevent reliable typological series. Moreover, this procedure gives too long probability intervals. Therefore, it is necessary to rely on cultures that formed through migrations caused by climate disasters of a global nature. In such cases, we are able to synchronize cultural transformations, even if they are distant from one another. Climate fluctuations caused by cyclical changes in the solar activity are very smooth. They could not provoke migrations, since humanity adapted to them. Local droughts could be the cause, but these events are difficult to use for the global chronology. However, fluctuations in the solar activity cause volcanic processes. The largest of them caused migrations in different regions of Eurasia, which provides reasoning for their synchronization. Such events clearly impact tree rings, which makes it possible to obtain an accurate date. The second source is the glacial chronology, although it is not accurate enough for all periods. Finally, the third group of data is historical chronologies. This approach allows to assume benchmarks for constructing the chronology of Eurasia in the 3rd–2nd millennia BC. This helps build a system with later and shorter intervals than radiocarbon analysis. This method applies to the period of the

Sintashta culture and the early Alakul-Srubnaya stage particularly well, as independent data (glaciochronology, historical chronologies of Egypt, Mesopotamia and China, dendrochronologies of the Alps, Anatolia and the USA) yield consistent results.

Keywords: Bronze Age, Eurasia, dendrochronology, historical chronology, eruptions, migrations

Citation. Grigoriev, S.A. 2024, "Solar and volcanic activity as benchmarks in constructing the absolute chronology of Eurasia", *Ufa Archaeological Herald*, vol. 24, no. 4, pp. 628–643. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.31833/uav/2024.24.4.041>

Введение

Существует разница между радиоуглеродными датами и датами, полученными на основе письменных источников и годовых колец деревьев. При этом старые LSC даты дают более широкие и древние интервалы по сравнению с AMS датами. На фоне дефицита AMS дат с высоким разрешением в ряде регионов, часто при суммировании интервалов существования какой-либо культуры вместе с ними используются LSC даты, что является грубой ошибкой. Существует много проблем внутри метода: резервуарный эффект и эффект старого дерева, наличие плато в калибровочной кривой, особенности почв или геологии и т.д. Суммарно все это превращается в сложно разрешимую задачу. Часто мы забываем, что радиоуглеродный метод совершенствуется, и появляются новые калибровочные кривые, делающие даты моложе. Однако мы используем даты из старых публикаций, которые были откалиброваны до этого.

Переход на ускорительные технологии сделал даты моложе, несколько сблизив их с историческими. Однако интервалы остаются широкими, если мы воздержимся от лукавства и прекратим использовать даты с отклонением $\pm 1\sigma$, чья вероятность 68,2%, и начнем использовать даты с отклонением $\pm 2\sigma$ и вероятностью 95,4%. Но интервалы в этом случае будут чрезвычайно широки, диапазоны существования культур будут сливаться, что не позволит обсуждать процессы культурогенеза. Принимать во внимание единичные даты в этом случае вовсе рискованно. При частичном наложении интервалов дат двух комплексов, рассчитанных с вероятностью 68,2%, мы можем предположить, что один из них более ранний или они одновременны. Если мы останавливаемся на любом из этих решений, мы искусственно отсекаем части интервалов, снижая вероятность до 50%. Поэтому при ответе на альтернативный вопрос мы получаем бессмысленный результат. Но даже суммированный результат большой серии дат для какой-то культуры следует корректно оценивать. Например, интервал 1950–1660 гг. до н.э. не означает, что культура сформировалась около 1950 г. до н.э. и прекратила существование около 1660 г. до н.э. Это значит, что она существовала в пределах этого интервала. И, если использовать интервалы, рассчитанные с вероятностью 95,4%, исторические даты часто будут в них попадать. То есть проблема не в корректности метода, а в корректности

интерпретации результатов. Более того, процедура суммирования вероятностей направлена не на выявление календарных дат, а на сравнение двух интервалов и определение однородности выборки. То есть речь идет не об абсолютной, а об относительной хронологии.

Важным шагом в решении проблемы стало использование байесовской статистики при анализе AMS дат. Принцип метода очевиден: если мы имеем два последовательных интервала, то граница между ними должна лежать где-то в середине зоны перекрытия. Но метод предполагает анализ лишь тех событий, чья последовательность надежно установлена. Желательно при этом использование серий AMS дат короткоживущих растений. Используемый математический аппарат сложен, но с внедрением этой функции в калибровочные программы метод стал широко применяться. К сожалению, часто его используют в тех случаях, когда последовательность событий надежно не установлена, а лишь предполагается, используют в качестве последовательности медианные значений самих дат, а также даты разного качества вместе. А это является грубым нарушением принципов метода. В итоге, при кажущейся изощренной научной процедуре создается сомнительный продукт.

Идентичность исторических дат Восточного Средиземноморья и Китая и совпадение их с дендродатами указывает на адекватность этих методов [Grigoriev, 2023a]. Поэтому в идеале мы должны строить хронологию на их основе. Но это требует осторожности. Существуют три хронологии Месопотамии: короткая, средняя и длинная, обусловленные разрывами в царских списках. Последние проекты по дендрохронологии Анатолии и сопоставление этих данных с эпонимными списками из Кюльтепе показали справедливость Средней хронологии, однако внутри нее тоже есть вариации, а непрерывная дендрохронологическая шкала для Анатолии отсутствует, и дендрохронология построена на байесовской статистике AMS анализов древесных колец, поэтому допускается погрешность около 10 лет [Barjamovic, Hertel, Larsen, 2012. P. 29, 34. Fig. 11; Manning et al., 2016. P. 6, 7, 16, 17, 20, 21]. Расхождения там незначительные, по сравнению с радиоуглеродной хронологией, но при попытке привязать типологически наши материалы к хронологии регионов с исторической или дендрохронологией мы вновь стал-

квиваемся с проблемами широких вероятностных интервалов, так как длительность существования типа может различаться. Поэтому необходимо искать иные пути выхода на точные даты.

Орбитальные и солярные циклы

Особенностью культурогенеза в Евразии является его циклический характер, когда археологические эпохи менялись в близкое время. Сменам РБВ – СБВ – ПБВ – Финальный бронзовый век в Северной Евразии соответствуют смены Медный век – РБВ – СБВ – ПБВ в Европе, и можно найти соответствия в других регионах. Внутри этих эпох порой тоже происходили изменения, которые имеют соответствующие параллели. Часто это коррелирует с циклическими изменениями климата. Предполагается, что климатические циклы были вызваны совпадением орбитальных изменений, приводивших к колебаниям солнечной радиации [Wanner et al., 2008]. Наиболее крупными являются циклы Миланковича с квазипериодичностью около 26000, 41000 и 93000 лет, которыми объясняются фазы оледенений. Меньшую периодичность имеют циклы Бонда, описывающие колебания климата в Северной Атлантике, происходящие с периодичностью около 1470±500 лет. Это исследование было построено на анализе морских осадков, которые позволили выделить события с пиками около 11100, 10300, 9400, 8100, 5900, 4200, 2800 и 1400 cal. BP [Bond et al., 1997].¹ Для интересующего нас периода палеоклиматологи выделяют так называемые события 5,2, 4,2 и 3,2 ka BP, т.е. около 3200, 2200 и 1200 г. до н.э.² Тем самым, лишь событие 4200 BP совпадает с циклами Бонда. В этом оригинальном исследовании, впрочем, подчеркивалось, что природа и механизм этих циклов не ясны, так как они не совпадают с известными орбитальными и солнечными циклами. Тем не менее, впоследствии эти климатические изменения были связаны именно с орбитальными изменениями [Wanner et al., 2008]. Но последние имеют плавный характер, они не могли приводить к резким изменениям климата.

Кроме того, существовали иные климатические колебания, которых больше, чем этих событий, в итоге мы не видим этой периодичности в данных палеоклиматологии. Поэтому за многие из этих событий ответственно солнце. Предполагается, что несмотря на отсутствие солнечного цикла с периодичностью около 1470, этот цикл был связан с солнцем, что объясняется наложением двух более коротких солярных циклов [Braun et al., 2005.

Р.208]. В данном случае мы тоже имеем дело не с фактом, а с объяснительной гипотезой. Тем не менее, многие из событий, которые мы будем обсуждать ниже, совпадают именно с периодичностью солнечных изменений, но ее изучение имеет много проблем.

Для исследования солнечной активности в прошлом используют данные об астрономических наблюдениях солнечных пятен, а для более древних эпох – космогенные изотопы ¹⁴C и ¹⁰Be в кернах льда и древесных кольцах. Даты последних основаны не на дендрохронологии, а на калиброванных AMS датах древесных колец [Hathaway, 2015. P.28; Usoskin et al., 2016. P.1, 4; Usoskin, 2017. P.3, 24], но мы имеем дело с точно установленной последовательностью, и эти даты близки реальным, хотя не идентичны им.

Главным в солнечной активности является 11-летний цикл Швабэ, но он может варьировать в пределах 9–14 лет. В силу особенностей транспорта изотопов и взаимодействия с океаном его сложно диагностировать с помощью изотопов [Hathaway, 2015. P.37, 72; Usoskin, 2017. P.18, 23, 37, 38, 41–43]. Наиболее крупным доказанным циклом является Гальштаттский с квазипериодичностью около 2400 (в действительности 2000–2500) лет, хотя есть цикл Врие и Зюсса в 205–210 лет, и обсуждается цикл Эдди длительностью 600–700 или 1000–1200 лет, но выраженными являются первые два. Существует также Гляйсбергский цикл, состоящий из разных циклов с длительностью 90–100 или 50–60 лет [Hathaway, 2015. P.56, 57; Usoskin et al., 2016. P.6, 19, 20; Usoskin, 2017. P.66]. Эти циклы не демонстрируют строгой периодичности и процесс довольно хаотичен [Usoskin, 2017. P.64, 77].

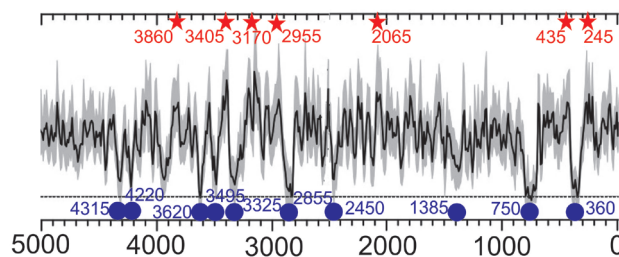


Рис. 1. Активность солнечных пятен (десятилетние данные) на протяжении голоцена, реконструированная по годичным кольцам. Синие кружки и красные звезды обозначают большие солярные минимумы и максимумы соответственно (по: [Usoskin, 2017. Fig. 20]). Даты даны в гг. до н.э.

Fig. 1. Sunspot activity (decadal data) throughout the Holocene, reconstructed from tree rings. Blue circles and red stars indicate grand solar minima and maxima, respectively (after [Usoskin, 2017. Fig. 20]). Dates are given in BC.

¹ В действительности, квазипериодичность 1470±500 лет, которую иногда используют для обсуждения событий голоцена, не точна. В этом исследовании для плейстоцена была предложена периодичность 1536±563 лет, а для голоцена – около 1374±502 лет, в то время как исследование гренландских льдов (GISP2) указывает на 1450-годовой цикл для голоцена. Поэтому для голоцена был предложен усредненный интервал 1470±532 [Bond et al., 1997. P. 1263].

² В статье используются системы дат, основанные на калиброванных значениях радиоуглеродных дат, а также на исторической и дендрохронологии. Для того, чтобы их различить, к радиоуглеродным датам применен индекс «кал.», например, «1500 кал. г. до н.э.». К так называемым «событиям 2200 и т.д.» этот индекс не применяется, хотя их датировка основана преимущественно на радиоуглеродном анализе, но использованы и иные методы. В конечном счете, речь идет не о конкретных датах, а об условных названиях периодов с существенными климатическими изменениями.

Влияние солнечной активности на климат не является решенной проблемой, но ее эффект незначителен [Hathaway, 2015. P. 7; Usoskin, 2017. P. 65]. Считается, что средняя температура и скорость ветра определяют обмен CO_2 между океаном и атмосферой, и это проявляется в 2400-летних циклах [Vasiliev, Dergachev, 2002. P. 117]. Однако это уже вторичный эффект. Инструментальные измерения показывают, что влияние 11-летних циклов на повышение температуры невелико. Оно изучено для периода 1959–2004 гг. и в среднем по планете составляло $0,2^\circ\text{K}$, но около $0,7^\circ\text{K}$ вблизи кромок сезонного морского льда в высоких широтах и около $0,3^\circ\text{K}$ в Европе. Большой нагрев наблюдается в континентальных областях и меньший у океанов, в тропиках изменения не отмечены [Camp, Tung, 2007. P. 1, 3]. Наблюдаются и изменения в ультрафиолете и предполагается, что они оказывают влияние на циркуляцию атмосферы и годовую изменчивость климата, производя стратосферный озон и обеспечивая прогрев среднего слоя атмосферы [Haigh et al., 2010; Ineson et al., 2011].

Наблюдается гетерогенность изменений в Северной Европе и в южных регионах. Объясняется это тем, что при понижении температуры в Северной Атлантике меняется режим переноса воздушных масс на восток, что приводит к ослаблению Азиатского муссона. В результате, несколько более холодный климат способствует снижению испаряемости и ведет к более влажным условиям в Европе, а в Азии и Северной Африке наблюдается рост температуры и аридизация [Weiss et al., 1993]. Но эти изменения были плавными, а человечество адаптивно, поэтому они не могли вызвать одновременные масштабные миграции, провоцировавшие смену культур на огромных пространствах. Во время так называемого «события 2200 г. до н.э.» температуры в Северной Атлантике снизились в пределах $1\text{--}2^\circ\text{C}$, что недостаточно для того, чтобы начались масштабные культурные перестройки [de Menocal, 2001. P. 670]. Наконец, при изменениях в высоких и низких широтах, изменения в умеренных широтах незначительны [Kobashi et al., 2013. P. 2299, 2304]. Особенно это касается Европы с ее мягким климатом.

Тем не менее, циклические солярные изменения создавали общий фон, который снижал возможность адаптироваться к резким изменениям. В некоторых ареалах создавались невыносимые условия, например, засухи, которые могли быть триггером миграции. Но мы не обсуждаем здесь разнообразных причин миграций и культурных трансформаций. Нашей задачей является выявление единых хронологических реперов для разных регионов. Поэтому нас интересуют лишь глобальные изменения, которые провоцировали миграции по всей Евразии.

Влияние вулканизма на климат

Стимулом к глобальным изменениям могли стать лишь резкие климатические события, спровоцированные вулканической активностью. Наблюдается корреляция вулканической деятельности с понижением температуры в Гренландии, что хорошо заметно в Малый ледниковый период (XIV–XIX вв.) [Kobashi et al., 2013. P. 2306, 2309]. Для последнего времени тоже выявлена отрицательная корреляция между солнечной активностью и вулканизмом. Существует консенсус, что вулканическая активность выше в периоды длительного солнечного минимума и ниже в периоды длительного максимума. Но надежно связываются с вулканической активностью лишь циклы в 200–215, 100–105 и 80–90 лет. Определить эту связь для более длительных циклов сложно из-за отсутствия прямых данных. 11-летние солнечные циклы либо не показывают такой корреляции, либо она очень слабая [Štřeštík, 2003. P. 393; Herdiwijaya, Arif, Nurzaman, 2014. P. 105; Casati, 2014; Hagen, Azevedo, 2023. P. 9], хотя некоторые исследования выявили связь с вулканизмом и для них [Mazzarella, Palumbo, 1989; Komitov, Kaftan, 2022], что естественно, поскольку характер процесса при коротких циклах сходен с процессами длинных циклов. Некоторые исследователи полагают, что связь здесь не столько с числом извержений и землетрясений, сколько с их энерговыделением, и при увеличении солнечной активности количество небольших извержений и землетрясений растет, но количество крупных снижается, и наоборот. При этом наиболее сильные землетрясения и извержения происходят на стыках вековых циклов [Белов, Шестопалов, Харин, 2009]. Причина этой связи не ясна, вероятно, это можно объяснить взаимодействием космических энергетических частиц с магнитосферой и ионосферой Земли и производными процессами [Herdiwijaya, Arif, Nurzaman, 2014. P. 107].

Естественно, это оказывает влияние и на климат, так как процесс снижения солнечной активности сам по себе приводит к снижению температуры, а вулканические газы и пыль создают в атмосфере экран, препятствующий прохождению солнечных лучей. Обычно этот эффект продолжается около 1–3 лет или дольше при наличии серии извержений, и сложно определить, за какую долю в снижении температуры ответственно солнце и за какую вулканизм [Štřeštík, 2003. P. 393, 395].

Для периода 1445–2005 гг. дендрохронология Кольского полуострова выявила солнечные циклы 11, 20–25, и ~ 100 лет, и извержения вулканов совпали с солярными минимумами. При этом похолодание начинается раньше крупных извержений и продолжается дольше. Например, значительное угнетение роста деревьев и похолодание с 1780 по 1830 г. совпадает с Дальтоновским минимумом

солнечной активности и извержением Тамборы в 1815 г. [Kasatkina et al., 2018. P. 67, 68, 71–73, 75].

Основным драйвером извержений и сейсмической активности являются процессы в мантии. Они могут быть связаны отчасти с солнечной активностью, но могут провоцироваться и иными причинами. При наложении разных факторов друг на друга вероятность сильных извержений может расти. Даже небольшие извержения могут понизить температуру в умеренных широтах на 1°C в течение двух лет [Scuderi, 1990. P. 67]. А последствия крупных извержений были более существенными, но относительно короткими. Предполагается, что по мере оседания вулканических аэрозолей климатическая ситуация восстанавливалась. Однако в двух случаях мы видим иное. На поселении Тель Лейлан (около 2200 кал. г. до н.э.) изменение климата в сторону аридизации наблюдается в слое, отложившемся над слоем с вулканическим пеплом, и новая климатическая ситуация сохранялась сотни лет [Weiss et al., 1993]. В слоях морских седиментов, залегающих над слоем с пеплом Санторина происходит то же самое, и эта климатическая ситуация сохраняется долго, причем не только в Восточном Средиземноморье, но и в Китае. Поэтому крупные извержения способствовали углублению циклических процессов и резкой их интенсификации, но приведенные факты, на первый взгляд, указывают на то, что они сами могли создавать долгосрочную тенденцию. Однако в действительности после минимума около 2450 г. до н.э. мы видим колебательный рост солнечной активности около 2300–2000 гг. до н.э. с максимумом около 2065 г. до н.э., после чего началось снижение активности с серией подъемов и спадов, обусловленных более короткими циклами. И это продолжалось до минимума около 1385 г. до н.э. (рис. 1) [Usoskin, 2017. P. 54. Tabl. 20].

Климатические изменения и хронология

Изменения солнечной активности провоцировали миграции и могли бы служить основой для построения хронологии. Однако они были плавными и не столь сильными, чтобы вызвать миграции. В силу того, что на климат влияют многие иные факторы, солнечная активность является далеко не главным из них, какие-то локальные засухи или заморозки могли спровоцировать локальные миграции. Но если мы видим резкие климатические и культурные изменения в разных регионах в одно время, это, скорее всего, указывает на мощную вулканическую деятельность и может служить инструментом в построении хронологии. Для последних трех тысячелетий до н.э. исследования древесных колец на юго-западе США выявили большее количество лет с минимальным ростом или сигналами заморозков в начале III тыс. до н.э., в XXII–XIX вв. до н.э., в XVII–XVI вв.

до н.э. и в XII в. до н.э. Эти периоды соответствуют известным климатическим событиям, а два из них извержениям, связанным с изменениями климата. Однако и это не является бесспорным признаком, так как степень и характер вулканического воздействия зависит не только от его интенсивности, но и от сезона извержения, химического состава извергнутой породы и от местности, где эти деревья росли. При этом локальные события, например, засухи, оказывают большее влияние на рост деревьев [Salzer, Hughes, 2006. P. 57–62. Tabl. 2]. Существует, впрочем, возможность химических анализов древесных колец, которые указывают на вулканическую деятельность [Pearson et al., 2005; 2020]. Но и вулканические сигналы могут быть результатом локальных извержений, поэтому все необходимо подкреплять альтернативными данными. Принципиальным в нашем случае является характер извержения, поскольку даже при крупном извержении его продукты могут достичь лишь тропосферы и осесть на землю в течение нескольких месяцев. При извержениях плинианского типа они достигают стратосферы и остаются там 2–3 года, что делало неизбежным синхронные миграции в некоторых регионах.

Существуют проблемы со связью этих событий с климатическими изменениями. К сожалению, короткие резкие изменения выявить сложно. Большинство этих данных получено из седиментов водоемов или из погребенных почв, события датируются радиоуглеродным методом и имеют низкое разрешение. При исследовании седиментов этим методом датируются отдельные пробы, которые часто далеки от какого-то климатического события. Детальная датировка разреза делается уже на основе моделирования. Это не позволяет получать данные, которые можно использовать в целях хронологии. Историческая хронология Ближнего Востока появляется лишь с конца IV – начала III тыс. до н.э., но лишь во второй половине III тыс. до н.э. она становится относительно точной, и постепенно ее точность нарастает. Датировки гренландских льдов с выявляемыми в них вулканическими сигналами тоже не вполне надежны и при сопоставлении их с данными дендрохронологии вероятность совпадения снижается: для последнего тысячелетия выявляется 86% извержений, для II тыс. до н.э. – 46%, а для III тыс. до н.э. – 31% [Salzer, Hughes, 2006. P. 63–65]. Лишь для XVII–XVI вв. до н.э. удалось добиться точных совпадений [Pearson et al., 2022]. Единственным точным методом является дендрохронология, поскольку она позволяет реконструировать и климатические изменения, но это может отражать локальные события.

В результате, пытаясь выявить крупные вулканические события, вызвавшие культурные трансформации в разных частях Евразии, мы имеем относительно точные данные лишь для Европы.

Слабые возможности проверки этих данных исторической хронологией Ближнего Востока появляются около 3000 г. до н.э., но постепенно увеличиваются. Тем не менее, обобщение имеющихся данных позволяет получить реперы, к которым можно привязывать прочие процессы, реконструируемые на основе археологических источников.

Есть сложности и при сопоставлении этих событий с миграциями, выявляемыми археологически, поскольку крайне редко мы можем увидеть в археологических слоях следы оседания вулканического пепла (хотя это не исключено при специальных анализах), и крайне редко мы можем получить точную дату для памятника. В некоторых случаях решению проблемы способствует соответствие последовательности климатических и археологических событий. В этом случае мы можем связать их гипотетически, но сохраняется задача проверки параллельными источниками.

Последнее время мной опубликовано несколько работ по отдельным периодам в пределах середины IV – середины II тыс. до н.э., в которых можно познакомиться более детально с обоснованием тех или иных дат [Grigoriev, 2023a; 2023b; 2024a; 2024b; Григорьев, 2024], и данная работа направлена на обобщение полученных данных в единую систему. В основе предложенных хронологических реперов лежат привязки к исторической хронологии, дендрохронологии и байесовской статистике AMS дат. Необходимо иметь в виду, что речь идет именно о хронологических реперах, которые можно использовать для построения хронологии, но не о хронологии в целом.

Культурные процессы и хронология IV–III тыс. до н.э.

Создание точной хронологии для конца энеолита – начала РБВ является наиболее сложной задачей. В IV тыс. до н.э. на восток из Европы приходит мегалитическая традиция, которая ярко выражена в Новосвободной, Усатово и на Урале. Формирование Новосвободной около первой половины XXXVI кал. в. до н.э. и урукские импульсы на Северном Кавказе [Резепкин, 2012. С. 76–78, 85, 95–97, 101, 104; 2022. С. 47] позволяют предполагать, что имели место глобальные климатические проблемы и возможно найти какой-то хронологический маркер для этого события. В это время в Африке и на Ближнем Востоке начинается резкая аридизация климата, а в Европе напротив наблюдается дрейф климата в сторону более влажных и холодных условий [Clarke et al., 2016; Amirkhiz, Islam, 2020; Dreslerová, 2012. P. 48, 50–52]. Однако, судя по всему, европейские и ближневосточные импульсы на Северном Кавказе были разновременны, и последние близки по времени европейским импульсам,

приведшим к появлению мегалитических черт в Усатово около XXXV кал. в. до н.э. [Дергачев, 2022. С. 97, 103–105, 108, 122, 134, 149]. Эти события совпадают с солярным минимумом в 3620 г. до н.э., последующим подъемом с пиком около 3560/3550 гг. до н.э. и резким спадом к минимуму в 3495 г. до н.э. В последний период наблюдается рост стратосферных аэрозолей, указывающий на вулканизм (рис. 1; 2) [Sigl et al., 2022. Fig. 9]. Два проекта бурения льдов в Гренландии выявили пики вулканической активности в 3530 и 3516 гг. до н.э. [Baldia, 2013. P. 181, 220–222. Fig. 16.7]. В силу проблем датировки льда, возможно, это одно событие, произошедшее в начале резкого снижения солнечной активности к минимуму в 3495 г. до н.э. Оно перспективно для хронологии Новосвободной и Усатово, но необходима проверка иными данными.

Дата появления уральских мегалитов не вполне ясна, но более вероятно их формирование в последней четверти IV кал. тыс. до н.э., в то же время, когда в восточноевропейской степи появляются памятники типа Животиловка-Волчанское. Этот период соответствует «событию 3200». В Египте это привело к формированию Древнего царства, в Месопотамии – к «городской революции» культуры Урук-Варка, а затем к переходу к Раннединастическому периоду [Clarke et al., 2016. P. 97, 101, 104, 106, 108, 110, 111, 114, 117]. Климатический кризис имел место и в Иране [Amirkhiz, Islam, 2020]. Но в Европе некоторое ухудшение отмечено лишь в Западной Ирландии [Caseldine et al., 2005], Северной Швеции [Vorren, Jensen, Nilssen, 2011. P. 19] и в Австрийских Альпах около кал. 3200 г. до н.э. [Pyashuk et al., 2011. P. 185, 188]. Поэтому строго утверждать, что произошла какая-то глобальная катастрофа, которая привела к появлению мегалитов Урала, невозможно. Но общая объяснительная модель для «события 3200» может быть следующей. После солярного максимума в 3170 г. до н.э. происходит резкое снижение солнечной активности. Это совпадает с заметными пиками вулканических аэрозолей в стратосфере, а между 3160 и 3092 гг. до н.э. наблюдается единый дли-

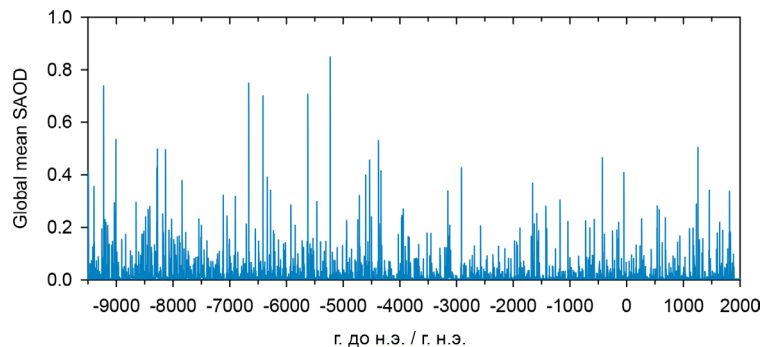


Рис. 2. Глобальная среднегодовая оптическая толщина стратосферного аэрозоля (SAOD) (по: [Sigl et al., 2022. Fig. 9])
Fig. 2. Global annual mean stratospheric aerosol optical depth (SAOD) (after: [Sigl et al., 2022. Fig. 9])

тельный период вулканической активности (рис. 1; 2) [Sigl et al., 2022. P. 3173, 3183. Tab. 3. Fig. 9]. Эта активизация вулканизма точно совпадает с началом заметного снижения солнечной активности. Поэтому данный временной промежуток объясняет «событие 3200» и культурные трансформации этого периода. Но, поскольку его длительность 68 лет, возможность получить точную дату какого-то археологического феномена этого времени отсутствует. Наверняка это сопровождалось блокировкой Азиатского муссона, поэтому события на Ближнем Востоке могли быть вызваны, в первую очередь, этим, хотя они и должны датироваться тем же временным интервалом. Но получение точных дат таким путем там тоже нереально.

Более перспективны дендродаты III тыс. до н.э. для Европы. В это время продолжаются аридизация на Ближнем Востоке и похолодание и увлажнение в Европе [Moir et al., 2010. P. 935, 937–939; Kullman, 2013. P. 555, 559, 562]. Это совпадает с резким переходом от колебаний солнечной активности с двумя максимумами около 3170 и 2955 гг. до н.э. к солярному минимуму с центром около 2855 г. до н.э. и снижению солнечной активности в XXVI в. до н.э. [Usoskin, 2017. P. 54. Fig. 20]. На фоне общего похолодания и увлажненности в Европе, 2850 и 2564 гг. до н.э. были самыми холодными в это тысячелетие, причем первое событие было связано с вулканическими процессами [Helama et al., 2013. P. 1, 4]. Оно соответствует серии лет прекращения роста деревьев в Северной Америке, но аналоги похолоданию 2564 г. до н.э. там не отмечены [Salzer, Hughes, 2006. Tabl. 2]. Однако обе даты близки резким пикам стратосферных аэрозолей (рис. 2) [Sigl et al., 2022. Fig. 9], что позволяет предполагать глобальные события. Вместе с тем, существует заметный пик вулканических аэрозолей в 2910 г. до н.э., а также сигналы заморозков в древесных кольцах разных регионов между 2910 и 2900 гг. до н.э. [Sigl et al., 2022. Tabl. 4; Grigoriev, 2024a. Fig. 2]. Они совпадают со временем резкого спада солнечной активности между максимумом в 2955 г. до н.э. и минимумом в 2855 г. до н.э. События 2910 и 2850 гг. до н.э. близки началу интервала самых ранних дендродат культуры шнуровой керамики (КШК) из Эшенунда и Эрленпробен – 2844–2737 гг. до н.э. [Włodarczak, 2012. P. 133]. Поэтому этим временем можно датировать движение ямных племен на запад, вытеснение из Карпатского бассейна потомков мигрантов первой неолитической курганной волны и формирование КШК [Grigoriev, 2022a].

Резкое похолодание в 2564 г. до н.э. соответствует дендродатам конца средней фазы КШК, 2625–2568 гг. до н.э. [Włodarczak, 2012. P. 131, 133]. Есть типологические основания для связи формирования фатьяновской культуры с этой фазой [Grigoriev, 2022a. P. 62, 63], но вероятно, все же с ее концом. Поэтому трансформация, приведшая

к формированию стандартов третьей фазы КШК и фатьяновской миграции, была связана с климатическим событием 2564 г. до н.э. Этому близок пик вулканических аэрозолей (рис. 2), но его дата ненадежна. Данные из других регионов имеют низкое разрешение. Но приведенные выше перспективы для построения глобальной хронологии.

Около середины III тыс. до н.э. по всей Евразии прокатилась волна трансформаций. В Европе из Иберии начинается распространение культуры колоколовидных кубков, из Восточного Ирана распространяются культуры с катакомбным погребальным обрядом: раннедонецкая в Восточной Европе, Заман Баба в Средней Азии, ранний уйбатский этап окуневской культуры. Несколько позже появляются донецкая культура и катакомбные погребения в Иерихоне времени РБ IV [Grigoriev, 2002. P. 168, 187–192, 381–384; Братченко, 2001; Лазаретов, 2019. С. 16, 17, 20, 24, 38]. В близкое время в результате миграции из Анатолии формируется культура Лефканди I/Кастри в Греции [Grigoriev, 2022b]. Дальнейшие влияния с Балкан стимулировали постепенное формирование культур фазы А0 в Дунайском бассейне. К первой фазе периода относится и миграция западноевропейских племен в Центральную Азию, в результате чего там появились мегалитические чемурчские памятники [Kovalev, 2022. P. 767, 768, 775–778, 781, 782, 786, 789]. Но лишь памятники Лефканди I Греции и РБ IV Леванта мы можем связать с исторической хронологией в пределах XXIV/XXIII вв. до н.э., без возможности получения точных дат [Grigoriev, 2022b. P. 9]. Первая фаза этого процесса совпадает со снижением солнечной активности до минимума около 2450 г. до н.э. (рис. 1) и с вулканическим сигналом в древесных кольцах юго-запада США в 2495 г. до н.э., а вторая фаза с некоторыми падениями в XXIII–XXII вв. до н.э. после подъема, но глобальные вулканические процессы в это время не отмечены [Salzer, Hughes, 2006. Tabl. 2; Usoskin, 2017. P. 54. Fig. 20; Sigl et al., 2022. Fig. 9]. Поэтому 2495 г. до н.э. может служить репером для некоторых процессов (но требуется проверка альтернативными источниками), а события второй фазы датировать проблематично. Кроме того, некоторые миграции середины III тыс. до н.э. могли быть спровоцированы локальными процессами, проходившими на фоне общей аридизации на Ближнем и Среднем Востоке, затронувшими и евразийскую степь. Но для Европы резкие климатические изменения в это время мне неизвестны.

Таким образом, для периода IV–III тыс. до н.э. только для формирования КШК, Фатьяново и, возможно, некоторых ранних катакомбных культур можно предложить относительно точные даты, но и их следует проверять параллельными источниками. В последующие периоды количество данных повышается.

Хронология «события 2200» и начала II тыс. до н.э.

Так называемое «событие 2200» рассматривается в качестве триггера, приведшего к формированию культур РБВ Европы, гибели Аккадского царства и Хараппской цивилизации и смене неолитических культур Китая династией Ся. Под этим «событием» понимаются крупные климатические изменения, которые привели к ослаблению Азиатского муссона и началу засушливого периода, но им предшествовало крупное извержение с отложениями пепла даже в Сирии [Weiss et al., 1993]. Это популярная тема, но в действительности, эти процессы имели плавный характер. Большинство данных, описывающих это «событие», имеет низкое разрешение и не позволяет судить ни о его дате, ни о ходе его протекания. С точки зрения длительных циклов, это время сильных колебаний солнечной активности (рис. 1) [Usoskin, 2017. Fig. 20]. При этом, именно в период XXII–XX вв. до н.э. фиксируется серия лет с резким уменьшением роста деревьев или древесных колец, фиксирующих заморозки, и некоторые из них совпадают с вулканическими сигналами (2148, 2036, 2035, 1996, 1962, 1921, 1909, 1908 и 1907 гг. до н.э.) [Salzer, Hughes, 2006. Tabl. 2]. Особенно интересен период 1909–1907 гг. до н.э., так как он может отражать крупное вулканическое событие. Это приходится на период заметного снижения солнечной активности после максимума в 2065 г. до н.э. (рис. 1). Для XX–XIX вв. до н.э. фиксируется рост отложений стратосферных аэрозолей. В противоположность этому, для XXII в. до н.э. ситуация с отложениями аэрозолей не выходит за обычные рамки [Sigl et al., 2022. Fig. 9] (рис. 2).

В целом события XXII в. до н.э. выглядят следующим образом. После крупного извержения в Восточной Анатолии или Закавказье во второй четверти XXII в. до н.э. начинается кризис на Ближнем Востоке с падением Аккада (2154 г. до н.э.) и Древнего Царства Египта (около 2160 г. до н.э.). В разных районах есть года, когда прекращался рост деревьев, но мы не видим точного совпадения, чтобы обсуждать глобальную единовременную катастрофу. Около 2150 кал. г. до н.э. из-за засухи прекращается жизнь в Трое IV и начинаются импульсы в Европу, которые приводят к формированию культур РБВ (A1a) в Подунавье в диапазоне 2150–2135 кал. г. до н.э. Лишь позднее в Италии возникает культура Полада (с 2077 г. до н.э.), а в Британии РБВ 1 (с 2050 г. до н.э.). При этом в Подунавье климатический кризис не отмечен и это больше походит на распространение традиций РБВ (см. подробнее [Grigoriev, 2023b]). Безусловно то, что в южных районах с этим связана аридизация, но для этого времени пока нет строгих дат, которые можно использовать как хронологические реперы для Евразии. Многие из климатических событий, включаемых в «кризис 2200», либо

определенно относятся к XX–XIX вв. до н.э., либо могут к этому времени относиться, поскольку это радиоуглеродные даты седиментов, сделанные с очень низким разрешением.

Показательна ситуация в Китае, поскольку начало династии Ся связывают именно с «событием 2200», но ее реальные даты более поздние. Начинается кризис в Китае при предпоследнем из «Пяти Императоров» Яо с Великой Засухи, которая сменилась Великом Потопом. Его последователь Шунь для борьбы с потопом призвал Юя, который успешно справился с этой задачей и стал основателем династии Ся. Недавно в верховьях Хуанхэ были обнаружены остатки дамбы сейсмического происхождения, которая блокировала реку почти на год в диапазоне 1976–1882 кал. г. до н.э. (95% вероятности) с медианным значением 1922±28 кал. г. до н.э., и после прорыва вода затопила огромные участки. Перед воцарением Юя источники описывают явления, характерные для вулканической зимы: «с неба дождем полилась кровь, летом был лед, земля потрескалась и забил родник, зеленый дракон родился в храме, солнце взошло ночью, днем солнце не выходило». Это было связано с извержением 1909 г. до н.э. [Григорьев, 2024]. В любом случае, это намного позже гипотетического «события 2200».

Предполагать связь «события 2200» с формированием бабинской и абашевской культур Восточной Европы [Мимоход, 2018] оснований нет, поскольку хроно-типологически они соответствуют не европейской фазе A1a, а фазе A1c (или по двучленной периодизации поздней части A1b). В это время наблюдается еще один анатолийский импульс, который привнес на Балканы колесничество и орнаменты карпато-микенского стиля. Это происходит во время ранней фазы культур Монтеору и Костиша Румынии [Grigoriev, 2019; 2021] и вскоре эта традиция проникает внутрь Карпатского бассейна (Витенберг и далее культуры СБВ Венгрии, такие как Отомани-Фюзешабонь). Таким образом, это соответствует финальной части РБВ Венгрии и началу СБВ. Эти миграции вызвали отток населения из Карпатского бассейна, в том числе в Восточную Европу и Северную Италию, где в период РБВ IV усиливаются дунайские влияния. По дендрохронологии Италии этот период датируется 1985–1916 гг. до н.э. Но в слое Кюльтпепе Ib в Анатолии, привязанном к исторической и дендрохронологии, изделия, орнаментированные в этом стиле, датируются с 1852–1843 гг. до н.э. Использование байесовской статистики к большой серии AMS дат для закрытых комплексов позволило датировать следующую фазу A2 в интервале 1865–1545 кал. г. до н.э. И есть две дендродаты фазы A2a (1942 и 1840 гг. до н.э.) из погребений унетичкой культуры в Лойбингене и Хэлмсдорфе. Эти несоответствия объясняются тем, что в унетичком ареале стереотипы A2 начали формиро-

ваться раньше, а на даты из Кюльтепе сложно опираться, как и на любую дату, основанную на одном типе артефактов. В результате, для формирования бабинской и абашевской культур можно предложить широкий интервал в пределах середины XX – середины XIX в. до н.э. [Grigoriev, 2023b. P. 34, 35, 37]. Это совпадает со снижением солнечной активности после 2065 г. до н.э., что вызвало аридизацию во многих регионах, и с пиками вулканических аэрозолей в начале II тыс. до н.э. Но предложить конкретную дату, связанную с определенным событием этого времени пока невозможно. Тем самым, идеи о связи формирования бабино и абашево и начала Ся с «событием 2200» основаны на использовании радиоуглеродных дат. Впрочем, и многие эпизоды этого «события» основаны на них же. Поэтому в данном случае речь идет не об отрицании этой связи как таковой, а об изменении даты и об отрицании факта этого «события», в которое включают процессы с XXII по XIX в. до н.э., имевшие разные причины и механизмы.

Хронологические маркеры XVII–XI вв. до н.э.

Синташтинская культура формируется позже абашевской и бабинской, но в пределах фазы A2a, так как к началу фазы A2b (около середины XVII в. до н.э.) в Карпатский бассейн проникает сейминско-турбинская традиция. Этому не противоречит дата начала синташтинской культуры около 1742/1740 г. до н.э. [Grigoriev, 2002. P. 137; 2018]. Она не может быть якорем при построении общей хронологии, так как синташтинская миграция была стимулирована, по-видимому, политическими причинами. Но после этого мы имеем серию надежных хронологических маркеров, обусловленных тем, что в этот период происходят извержения, которые хорошо датированы и по ледяным кернам, и по дендрохронологии: 1654 (неизвестный вулкан), 1628 (Аниакчак II) и 1560 (Санторин) гг. до н.э. Извержение Санторина было наиболее мощным в голоцене, но первые два отличались самым большим выбросом серы, что должно было спровоцировать длительные проблемы и миграции [Pearson et al., 2022]. Это хорошо проявляется в пиках стратосферных аэрозолей в этот период (рис. 2) [Sigl et al., 2022. Fig. 9]. С точки зрения соотношения с солнечной активностью, первые два близки началу снижения от небольшого пика, а третье – пику перед началом резкого снижения [Usoskin, 2017. Fig. 20]. Последующий тренд на снижение объясняет признаки аридизации в осадках над слоем извержения Санторина. С самим извержением она, тем самым, не связана.

В результате появилась возможность привязать ряд культурных трансформаций в Евразии к этим вулканическим событиям (см. подробнее: [Grigoriev, 2024b]). С извержением 1654 г. до н.э. совпадает проникновение сейминско-турбинской традиции в Центральную Европу и переход меж-

ду стадиями A2a/A2b, а позже начало Уэссекса II, спровоцированное, возможно, уже следующим событием. Извержение 1628 г. до н.э. спровоцировало импульсы из Карпато-Дунайского бассейна в Северную Италию (формирование культуры Террамар), в Грецию (начало Позднеэлладского I периода) и на Дон, где к этому добавились импульсы синташты и уральского абашева и сформировалась доно-волжская абашевская культура. К этому же времени отнесена федоровская миграция из Прииртышья на Урал и в Сибирь и вытеснение из последнего региона сейминско-турбинских групп вплоть до Китая, где эта традиция появляется со времени Эрлитоу III, в конце XVII – начале XVI в. до н.э. После 1630/1600 гг. до н.э., судя по микенским параллелям (датируемым по египетской хронологии), в результате культурной интеграции разных компонентов формируется покровская раннесрубная культура. В Центральной Европе этому времени соответствует поздняя часть фазы Райнеке A2, дендродаты которой укладываются в XVII – начало XVI в. до н.э. [Gerloff, 2007. P. 137].

Но вся ситуация меняется в 1560 г. до н.э. после взрыва Санторина, последствия которого на климат были весьма ощутимы. В Анатолии рост деревьев прервался на три года [Pearson et al., 2020. P. 8413]. В результате, в 1560 г. до н.э. прекращается правление Хантили I и Хеттское царство останавливает свою экспансионистскую политику, в Испании происходит коллапс культуры Эль Аргар, в Швейцарии (1550 г. до н.э.) происходит переход от РБВ к СБВ, и эта дата попадает в вероятностный интервал 1615–1530 кал. гг. до н.э. аналогичного перехода в Южной Германии. Этому близка и радиоуглеродная дата (около 1580 кал. гг. до н.э.) перехода к стадии СБВ 2 в Италии. Вероятно, с этого времени мы можем датировать развитую срубную культуру и миграцию алакульских племен из лесостепи в степь, где они ассимилируют петровскую и постсинташтинскую традиции. Даты в Европе дублируются хронологией Китая, где слой Эрлитоу IV датируется 1560–1520 кал. гг. до н.э., а начало Шанской династии с 1558 г. до н.э., при этом переход от династии Ся отмечен летними заморозками [Grigoriev, 2023a; Григорьев, 2024]. Это извержение сопровождалось длительными климатическими изменениями, хотя собственно вулканический эффект должен был быть краткосрочным. Оно совпадает с периодом длительного понижения солнечной активности, кульминацией которого был минимум около 1385 г. до н.э., после которого начался рост до следующего снижения в конце II тыс. до н.э. (рис. 1) [Usoskin, 2017. Fig. 20]. Можно допускать, что масштаб этого извержения тоже оказал свое воздействие на перестройку климатической системы. И почти наверняка к этим трем могучим событиям можно будет привязать серию иных культурных трансформаций в Евразии.

Последняя упомянутая дата идентична угнетенным годичным кольцам на юго-западе США в 1386 и 1385 гг. до н.э. [Salzer, Hughes, 2006. P. 62], что соответствует также радиоуглеродной хронологии формирования горизонта культур валиковой керамики в Северной Евразии в XIV в. до н.э. [Молодин, Епимахов, Марченко, 2014. С. 144]. В Амарнском архиве есть данные этого периода, но без точной даты, что страна Хатти «вымерзла» (иной перевод «парализована»), хотя это и принято объяснять вторжением Каска [Alparslan, 2015. P. 136]. Но нужна дополнительная проверка, так как дендрохронология Фенноскандии не предоставляет данных о резком кризисе в эти годы [Helama et al., 2013. Fig. 1].

Наконец, множество событий происходит в XII в. до н.э. с яркими красочными описаниями природных катастроф, голода и вторжений в Восточном Средиземноморье. Многие из них не имеют точных дат. Это происходит на фоне снижения солнечной активности и пика стратосферных аэрозолей (рис. 1; 2) [Usoskin, 2017. Fig. 20; Sigl et al., 2022. Fig. 9]. Но единственной датой является смена династии Шан династией Чжоу в Китае, которую датируют 1050 и 1046/1045 гг. до н.э. [Shaughnessy, 1999. P. 23; Bagley, 2018. P. 61], 1059 г. до н.э. [Pankenier, 1981/1982. P. 24] или 1027 г. до н.э. [Васильев, 1995. С. 219, 223]. Для XII и XI вв. до н.э. отмечены пики вулканических аэрозолей в стратосфере, а для 1031 г. до н.э. в древесных кольцах на юго-западе США зафиксированы сигналы заморозка [Sigl et al., 2022. Fig. 9; Salzer, Hughes, 2006. Tab. 2], что, возможно, ослабило Шан и привело ее к падению в 1027 г. до н.э. В Южной Сибири с этого времени можно датировать каменнолоожский этап карасукской культуры. Тем не менее, многие события этого времени были обусловлены политическими причинами, масштаб

многих явно преувеличен. Но, с учетом возросшего числа письменных источников и всех иных данных, датировка процессов этого времени довольно перспективна.

Для последних 2500 лет исследовательская ситуация лучше, поскольку удалось синхронизировать вулканические сигналы в ледяных кернах с сигналами резких похолоданий в древесных кольцах. В результате было показано, что мощные вулканические извержения совпадают с наиболее интенсивными миграциями периода Великого переселения народов, Юстиниановой чумой и трансформациями в Средиземноморье и Китае [Sigl et al., 2015].

Выводы

Климатические изменения III–II тыс. до н.э. приводили к изменениям условий жизни людей. Большая их часть была вызвана колебаниями солнечной активности. Продолжительность и интенсивность этих циклов различна, однако солнечное воздействие оказывает слишком малое влияние на климат, чтобы быть причиной резких социально-экономических и культурных изменений. Но оно способно снизить адаптивные возможности человеческих коллективов к резким изменениям, спровоцированным иными причинами. Таких причин может быть много, но они влияют лишь на локальные события. Для вопросов хронологии важны события, имевшие глобальный характер. Таковыми часто были крупные вулканические извержения, которые резко меняли климат на планете и вели к миграциям. Фиксация таких событий и их привязка к дендрохронологии, исторической хронологии и байесовской статистике AMS дат позволяют получить реперы для создания абсолютной хронологии Евразии с более короткими и молодыми интервалами. Наиболее важным в данном случае

Таблица 1. Хронологические реперы для построения абсолютной хронологии Евразии
Table 1. Chronological benchmarks for constructing the absolute chronology of Eurasia

Хронологические реперы (гг. до н.э.)	Исторические события с этой датой
2910/2850	Ямная миграция в Центральную Европу, формирование культуры шнуровой керамики (КШК)
2564	Фатьяновская миграция, переход к третьей фазе КШК
1909	Начало династии Ся в Китае
1742/1740	Синташтинская миграция на Урал
1654	Проникновение сейминско-турбинской традиции в Центральную Европу, переход между стадиями A2a/A2b в Европе
1628	Формирование культуры Террамар в Италии, Позднееэладского I периода Греции, доновожской абашевской культуры, начало Уэссекса II, федоровская миграция на Урал и в Сибирь. С запаздыванием: появление сейминско-турбинских групп в Китае и Эрлитоу III
около 1600	Начало покровской раннесрубной культуры
1560	Конец правления хеттского царя Хантили I, начало Шанской династии (1558 г. до н.э.), коллапс Эль Аргар в Испании, переход к СБВ 2 в Италии, переход к СБВ в Швейцарии и Южной Германии, начало срубной культуры и классической фазы алакульской культуры, конец петровской культуры
1385	Начало финального бронзового века в Северной Евразии
1031/1027	Начало династии Чжоу в Китае, каменнолоожского этапа карасукской культуры, ирменского этапа ирменской и, возможно, переход к поздним комплексам финального бронзового века степи (берсуатские)

является то, что при опоре на не связанные друг с другом данные удалось получить сбалансированную непротиворечивую систему, хорошо отражающую процессы культурогенеза Евразии (табл. 1). Это означает, что историческая хронология, дендрохронология и байесовская статистика AMS дат соответствуют друг другу, а ординарное использование радиоуглеродного анализа дает более древние и до бесполезности широкие интервалы. В данном случае важна последовательность климатических и вулканических событий, и коллеги, отстаивающие иные схемы культурогенеза Евразии, могут применить эту последовательность к собственным схемам. Вероятно, дальнейшая работа в этом направлении будет плодотворной, хотя ожидать быстрого продвижения не приходится.

Для понимания этих процессов крайне важна надежная хронология солнечной и вулканической активности, для чего требуются синхронизации дендрохронологий разных регионов с гляциохронологией, а также ряд трудоемких и системных типологических и стратиграфических исследований. Единственным точным методом является дендрохронология, которая позволяет выявить и резкие климатические колебания. Поэтому, когда к ней будут привязаны колебания солнечной и вулканической активности, мы получим не только прекрасный инструмент для изучения проблем солнца, сейсмических процессов и климата, но и для объяснения проблем культурогенеза в древности и построения надежной хронологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белов С.В., Шестопалов И.П., Харин Е.П. О взаимосвязях эндогенной активности Земли с солнечной и геомагнитной активностью // Доклады Академии Наук. 2009. Т. 428. № 1. С. 1–4.

Братченко С.Н. Донецкая катакомбная культура раннего этапа. Том I. Луганск: Шлях, 2001. 213 с.

Васильев Л.С. Древний Китай. Том 1. Предыстория, Шан-Инь, Западное Чжоу (до VIII в. до н.э.). М.: Восточная литература, 1995. 379 с.

Григорьев С.А. Природные катастрофы как маркер хронологии китайских династий и возможности для связи с абсолютной хронологией Северной Евразии в бронзовом веке // Народы и религии Евразии. 2024. № 4 (в печати)

Дергачев В.А. Позднее Триполье – Майкоп (с каталогом погребальных комплексов позднего Триполья). Кишинев: CEP USM, 2022. 676 с.

Лазаретов И.П. Хронология и периодизация окуневской культуры: современное состояние и перспективы // Теория и практика археологических исследований. 2019. Том. 28. № 4. С. 15–50. DOI: [https://doi.org/10.14258/tpai\(2019\)4\(28\).-02](https://doi.org/10.14258/tpai(2019)4(28).-02)

Мимоход Р.А. Палеоклимат и культурогенез в Восточной Европе в конце III тыс. до н.э. // Российская археология. 2018. № 2. С. 33–48. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0869606318020046>

Молодин В.И., Епимахов А.В., Марченко Ж.В. Радиоуглеродная хронология культур эпохи бронзы Урала и юга Западной Сибири: принципы и подходы, достижения и проблемы // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: История, филология. 2014. Т. 13. Вып. 3: Археология и этнография. С. 136–167.

Резепкин А.Д. Новосвободненская культура (на основе материалов могильника «Клады»). СПб.: Нестор-История, 2012. 342 с.

Резепкин А.Д. Радиоуглеродно-стратиграфический анализ комплексов курганного могильника Клады // Энеолит и бронзовый век Циркумпонтийского региона: культурные процессы и взаимодействия. Тезисы докладов конференции. М.: ИА РАН, 2022. С. 46–49.

Alparslan M. The History of the Arzawan State during the Hittite Period // NOSTOI. Indigenous culture, migration + integration in the Aegean Islands + Western Anatolia during the Late Bronze Age + Early Iron Age / Eds. N. Stampolidis, Ç. Maner, K. Kopanias. Istanbul: Koç University press, 2015. P. 131–144.

Amirkhiz A.Ch., Islam B.Sh.B. Climatic Hazards of Fourth Millennium BC and Cultural Responses of Human Societies Case Study: Tehran Plain and Qomroud-Gharachay Basin // Journal of Research on Archaeometry. 2020. № 6/1. P. 67–80. DOI: <https://doi.org/10.29252/jra.6.1.67>

Bagley R. Shang archaeology // The Cambridge History of ancient China. From the origins of civilization to 221 B.C. / Eds. M. Loewe, E. Shaughnessy. Cambridge: University press, 1999. P. 124–231.

Baldia M.O. Breaking unnatural barriers: comparative archaeology, climate, and cultural change in Central and Northern Europe (6100–2700 BC) // Comparative archaeology and paleoclimatology: Socio-cultural responses to a changing world. / Eds. M.O. Baldia, T.K. Perttula, D.S. Frink. Oxford: BAR, 2013. P. 175–240. (BAR. International Series 2456)

Barjamovic G., Hertel Th., Larsen M.T. Ups and Downs at Kanesh. Chronology, History and Society in the Old Assyrian Period. Chronology, History and Society in the Old Assyrian Period. Old Assyrian Archives Studies 5. Leiden: PIHANS, 2012. 161 p.

Bond G., Showers W., Cheseby M., Lotti R., Almasi P., deMenocal P., Priore P., Cullen H., Hajdas I., Bonani G. A Pervasive Millennial-Scale Cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates // Science. 1997. Vol. 278. P. 1257–1266.

Braun H., Christl M., Rahmstorf S., Ganopolski A., Mangini A., Kubatzki C., Roth K., Kromer B. Possible solar origin of the 1,470-year glacial climate cycle demonstrated in a coupled model // Nature. 2005. Vol. 438. P. 208–211. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature04121>

Camp Ch.D., Tung K.-K. Surface warming by the solar cycle as revealed by the composite mean difference projection // Geophysical Research

- Letters. 2007. Vol.34. L14703. DOI: <https://doi.org/10.1029/2007GL030207>
- Casati M.* Significant statistically relationship between the great volcanic eruptions and the count of sunspots from 1610 to the present // *Geophysical Research Abstracts*. 2014. Vol. 16. EGU2014-1385-2. P. 1–7.
- Caseldine C., Thompson G., Langdon C., Hendon D.* Evidence for an extreme climatic event on Achill Island, Co. Mayo, Ireland around 5200–5100 cal. yr. BP // *Journal of Quaternary Science*. 2005. №20. P. 169–178. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/jqs.901>
- Clarke J., Brooks N., Banning E.B., Bar-Matthews M., Campbell S., Clare L., Cremaschi M., diLernia S., Drake N., Gallinaro M., Manning S., Nicoll K., Philip G., Rosen S., Schoop U.-D., Tafuri M.A., Weninger B., Zerboni A.* Climatic changes and social transformations in the Near East and North Africa during the ‘long’ 4th millennium BC: A comparative study of environmental and archaeological evidence // *Quaternary Science Reviews*. 2016. № 136. P. 96–121. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.10.003>
- DeMenocal P.B.* Cultural Responses to Climate Change During the Late Holocene // *Science*. 2001. №292. P. 667–673. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1059827>
- Dreslerová D.* Human Response to Potential Robust Climate Change around 5500 calBP in the Territory of Bohemia (the Czech Republic) // *Interdisciplinaria archaeologica. Natural Sciences in Archaeology*. 2012. №III/1. P. 43–55. DOI: <http://dx.doi.org/10.24916/iansa.2012.1.3>
- Gerloff S.* Reinecke’s ABC and the chronology of the British Bronze Age // *Beyond Stonehenge essays on the Bronze Age in Honour of Colin Burgess* / Eds. Ch. Burgess, P. Topping, F. Lynch. Oxford: Oxbow Books, 2007. P. 117–161. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/14619571080110010605>
- Grigoriev S.* Ancient Indo-Europeans. Chelyabinsk: Rifei, 2002. 496 p.
- Grigoriev S.A.* Eastern influences and the transition to new types of metalworking at the end of the Early Bronze Age in Central Europe // *Musaica Archaeologica*. 2018. №2. P. 33–49.
- Grigoriev S.A.* Central European impulses in Eastern Europe in the early second millennium BC // *Slovenská Archeológia*. 2019. №2. P. 225–239. DOI: <http://dx.doi.org/10.31577/slovarch.2019.67.7>
- Grigoriev S.A.* The evolution of antler and bone cheekpieces from the Balkan-Carpathian region to Central Kazakhstan: chronology of “chariot” cultures and Mycenaean Greece // *Journal of ancient history and archaeology*. 2021. №8.2. P. 148–189. DOI: <http://dx.doi.org/10.14795/j.v8i2.633>
- Grigoriev S.* Cultural genesis and ethnic processes in Central and Eastern Europe in the 3rd millennium BC: Yamnaya, Corded Ware, Fatyanovo and Abashevo cultures // *Journal of ancient history and archaeology*. 2022a. №9.3. P. 43–84. DOI: <http://dx.doi.org/10.14795/j.v9i3.754>
- Grigoriev S.* Origins of the Greeks and Greek dialects // *Journal of ancient history and archaeology*. 2022b. №1. P. 5–46. DOI: <http://dx.doi.org/10.14795/j.v9i1>
- Grigoriev S.* Chronology of the Seima-Turbino bronzes, early Shang Dynasty and Santorini eruption // *Prähistorische Zeitschrift*. 2023a. №98(2). P. 569–588. DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/pz-2023-2028>
- Grigoriev S.A.* Absolute chronology of the Early Bronze Age in Central Europe, Middle Bronze Age in Eastern Europe, and the “2200 event” // *Journal of ancient history and archaeology*. 2023b. №10.1. P. 22–46. DOI: <http://dx.doi.org/10.14795/j.v10i1.817>
- Grigoriev S.* Climate factor in cultural transformations of Northern Eurasia in the mid-4th – mid-3rd millennia BC, and possibilities of creating an absolute chronology // *Comechingonia Revista de Arqueología*. 2024a. Vol. 28. №2. P. 251–272. DOI: <http://dx.doi.org/10.37603/2250.7728.v28.n2.41815>
- Grigoriev S.A.* Absolute chronology of the transitions to the Northern Eurasian Late Bronze Age and European Middle Bronze Age // *Kazakhstan archeology*. 2024b. №1(23). P. 79–95. DOI: <https://doi.org/10.52967/akz2024.1.23.79.95>
- Hagen M., Azevedo A.* Sun Disturbances on Earth’s Volcanism // *Natural Science*. 2023. Vol. 15. №1. P. 1–10. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2023.151001>
- Haigh J., Winning A., Toumi R. et al.* An influence of solar spectral variations on radiative forcing of climate // *Nature*. 2010. №467(7316). P. 696–699. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature09426>
- Hathaway D.* The solar cycle // *Living Reviews in Solar Physics*. 2015. №12. DOI: <https://doi.org/10.1007/lrsp-2015-4>
- Helama S., Holopainen J., Macias-Fauria M., Timonen M., Mielikäinen K.* A chronology of climatic downturns through the mid- and late-Holocene: tracing the distant effects of explosive eruptions from palaeoclimatic and historical evidence in northern Europe // *Polar Research*. 2013. №32:1. 15866. DOI: <https://doi.org/10.3402/polar.v32i0.15866>
- Herdiwijaya D., Arif J., Nurzaman M.Z.* On the Relation between Solar and Global Volcanic Activities // *Proceedings of the 2014 International Conference on Physics*. Dordrecht: Atlantis Press, 2014. P. 105–108.
- Ilyashuk E.A., Koinig K.A., Heiri O., Ilyashuk B.P., Psenner R.* Holocene temperature variations at a high-altitude site in the Eastern Alps: a chironomid record from Schwarzsee ob Sölden, Austria // *Quaternary Science Reviews*. 2011. Vol30. Iss. 1–2. P. 176–191. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.10.008>
- Ineson S., Scaife A., Knight J. et al.* Solar forcing of winter climate variability in the Northern Hemisphere // *Nature Geosciences*. 2011. №4. P. 753–757. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1282>
- Kasatkina E.A., Shumilov O.I., Timonen M., Kanatjev A.G.* Impact of powerful volcanic eruptions and solar activity on the climate above the Arctic Circle // *Geofísica Internacional*. 2018. №57–1. P. 67–77. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2018.57.1.1823>
- Kobashi T., Goto-Azuma K., Box J.E., Gao C.-C., Nakaegawa T.* Causes of Greenland temperature variability over the past 4000 yr. // *Climate of the Past*. 2013. №9. P. 2299–2317. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/cp-9-2299-2013>
- Komitov B.P., Kaftan V.I.* «Danjon-Effect», Solar Activity, and Volcanism // *Geomagnetism and*

Aeronomy. 2022. №62. P.1117–1122. DOI: <http://dx.doi.org/10.31725/0552-5829-2021-165-168>

Kovalev A. Megalithic traditions in the Early Bronze Age of the Mongolian Altai: the Chemurchek (Qie'muerqieke) cultural phenomenon // *Megaliths of the World. Vol.2* / Eds. L.Laporte et al. Oxford: Archaeopress, 2022. P.767–816.

Kullman L. Ecological tree line history and palaeoclimate – review of megafossil evidence from the Swedish Scandes // *Boreas*. 2013. №42. P.555–567. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/bor.12003>

Manning S.W., Griggs C.B., Lorentzen B., Barjamovic G., Ramsey C.B., Kromer B., et al. Integrated Tree-Ring-Radiocarbon High-Resolution Timeframe to Resolve Earlier Second Millennium BCE Mesopotamian Chronology // *PLoS ONE*. 2016. №11(7): e0157144. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157144>

Mazzarella A., Palumbo A. Does the solar cycle modulate seismic and volcanic activity? // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 1989. Vol. 39. Iss. 1. P.89–93.

Moir A.K., Leroy S.A.G., Brown D., Collins P.E.F. Dendrochronological evidence for a lower water-table on peatland around 3200–3000 BC from subfossil pine in northern Scotland // *The Holocene*. 2010. №20(6). P.931–942. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0959683610365935>

Pankenier D.W. Astronomical dates in Shang and Western Zhou // *Early China*. 1981–82. Vol. 7. P.2–37. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0362502800005599>

Pearson Ch., Manning S.W., Coleman M., Jarvis K. Can tree-ring chemistry reveal absolute dates for past volcanic eruptions? // *Journal of Archaeological Science*. 2005. №32(8). P.1265–1274. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2005.03.007>

Pearson Ch., Salzer M., Wacker L., Brewer P., Sookdeo A., Kuniholm P. Securing timelines in the ancient Mediterranean using multiproxy annual tree-ring data // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2020. Vol.117. №15. P.8410–8415. DOI: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1917445117>

Pearson Ch., Sigl M., Burke A., Davies S., Kurbatov A., Severi M., Cole-Dai J., Innes H., Albert P.G., Helmick M. Geochemical ice-core constraints on the timing and climatic impact of Aniakchak II (1628 BCE) and Thera (Minoan) volcanic eruptions // *PNAS Nexus*. 2022. №1(2), pgac048. DOI: <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgac048>

Salzer M.W., Hughes M.K. Bristlecone pine tree rings and volcanic eruptions over the last 5000 yr. // *Quaternary Research*. 2006. №67(1). P.57–68. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.yqres.2006.07.004>

Scuderi L.A. Tree-Ring Evidence for Climatically Effective Volcanic Eruptions // *Quaternary Research*. 1990. №34. P.67–85.

Shaughnessy E.D. Calendar and chronology // *The Cambridge History of ancient China. From the origins of civilization to 221 B.C.* / Eds. M.Loewe, E.D.Shaughnessy. Cambridge: University press, 1999. P.19–29.

Sigl M., Winstrup M., McConnell J.R., Welten K.C., Plunkett G., Ludlow F., Büntgen U., Caffee M., Chellman N., Dahl-Jensen D., Fischer H., Kipfstuhl S., Kostick C., Maselli O.J., Mekhaldi F., Mulvaney R., Muscheler R., Pasteris D.R., Pilcher J.R., Salzer M., Schüpbach S., Steffensen J.P., Vinther B.M., Woodruff T.E. Timing and climate forcing of volcanic eruptions for the past 2,500 years // *Nature*. 2015. №523. P.543–549. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature14565>

Sigl M., Toohey M., McConnell J.R., Cole-Dai J., Severi M. Volcanic stratospheric sulfur injections and aerosol optical depth during the Holocene (past 11,500 years) from a bipolar ice core array // *Earth System Science Data*. 2022. №14. P.3167–3196. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/essd-2021-422>

Stréštik J. Possible correlation between solar and volcanic activity in a long-term scale // *Solar variability as an input to the Earth's environment. International Solar Cycle Studies (ISCS) Symposium, 23–28 June 2003, Tatranská Lomnica, Slovak Republic*. Noordwijk: ESA Publications Division, 2003. P.393–396.

Usoskin I.G. A History of Solar Activity over Millennia // *Living Reviews in Solar Physics*. 2017. №14(3). DOI: <https://doi.org/10.1007/s41116-017-0006-9>

Usoskin I.G., Gallet Y., Lopes F., Kovaltsov G.A., Hulot G. Solar activity during the Holocene: the Hallstatt cycle and its consequence for grand minima and maxima // *Astronomy and Astrophysics*. 2016. №587(A150). DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201527295>

Vasiliev S.S., Dergachev V.A. The ~2400-year cycle in atmospheric radiocarbon concentration: bispectrum of ^{14}C data over the last 8000 years // *Annales Geophysicae*. 2002. №20(1). P.115–120. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/angeo-20-115-2002>

Vorren K.-D., Jensen Ch.E., Nilssen E. Climate changes during the last c.7500 years as recorded by the degree of peat humification in the Lofoten region, Norway // *Boreas*. 2011. №41. P.13–30. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1502-3885.2011.00220.x>

Wanner H., Beer J., Bütikofer J., Crowley T.J., Cubasch U., Flückiger J., Goosse H., Grosjean M., Joos F., Kaplan J.O., Küttel M., Müller S.A., Prentice I.C., Solomina O., Stocker T.F., Tarasov P., Wagner M., Widmann M. Mid- to Late Holocene climate change: an overview // *Quaternary Science Reviews*. 2008. №27(19–20). P.1791–1828. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.06.013>

Weiss H., Courty M.-A., Wetterstrom W., Guichard F., Senior L., Meadow R., Curnow A. The Genesis and Collapse of Third Millennium North Mesopotamian Civilization // *Science, New Series*. 1993. Vol.261. №5124. P.995–1004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.261.5124.995>

Włodarczak P. Die Gliederung der Schnurkeramik im Zürcher Raum und in Mitteleuropa – Probleme der Synchronisation // *Antiqua*. 2012. Vol. 50. P.127–138.

REFERENCES

- Belov, S.V., Shestopalov, I.P., Kharin, E.P. 2009, "On the Interrelations between the Earth Endogenous Activity and Solar and Geomagnetic Activity", *Doklady Akademii Nauk*, vol. 428, no. 1, P. 1–4. (In Russ.)
- Bratchenko, S.N. 2001, *Donetsk catacomb culture of the early stage. Vol. I*. Shlyakh, Lugansk, 213 p. (In Russ.)
- Vasiliev, L.S. 1995, *Ancient China. Vol. I. Prehistory, Shang-Yin, Western Zhou (before the VIII century BC)*. Vostochnaya literatura, Moscow, 379 p. (In Russ.)
- Grigoriev, S.A. 2024, "Natural disasters as benchmarks of the Chinese dynasties chronology and opportunities for connection with the absolute chronology of Northern Eurasia in the Bronze Age", *Nations and Religions of Eurasia*, no. 4. (In print) (In Russ.)
- Dergachev, V.A. 2022, *Late Tripolye – Maykop (with the Catalogue of burial assemblages of the Late Tripolye communities)*. CEP USM, Kishinev, 676 p. (In Russ.)
- Lazaretov, I.P. 2019, "Chronology and periodization of the Okunevo culture: current state and prospects", *Theory and practice of archaeological research*, vol. 28, no. 4, pp. 15–50. (In Russ.) DOI: [https://doi.org/10.14258/tpai\(2019\)4\(28\).-02](https://doi.org/10.14258/tpai(2019)4(28).-02)
- Mimokhod, R.A. 2018, "Paleoclimate and cultural genesis in Eastern Europe at the end of the 3rd millennium BC", *Russian Archeology*, no. 2, pp. 33–48. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.7868/S0869606318020046>
- Molodin, V.I., Epimakhov, A.V., Marchenko, J.V. 2014, "Radiocarbon chronology of the South Urals and the South of the Western Siberia cultures (2000–2013-years investigations): principles and approaches, achievements and problems", *Vestnik Novosibirskogo Gosudarstvennogo Universiteta, Seriya: Istoriya, Filologiya*, vol. 13, iss. 3, pp. 136–167. (In Russ.)
- Rezepkin, A.D. 2012, *Novosvobodnenskaya culture (on the basis of the materials from the burial "Klady")*. Nestor-Istoriya, St. Petersburg, 342 p. (In Russ.)
- Rezepkin, A.D. 2022, "Radiocarbon stratigraphic analysis of the complexes of the burial mound of the Treasure", *Eneolit i bronzovyy vek Cirkumpontijskogo regiona: kul'turnye processy i vzaimodejstviya Tezisy dokladov konferencii* "(The Eneolithic and the Bronze Age of the Circumpont region: cultural processes and interactions. Abstracts of the conference)", IA RAN, Moscow, pp. 46–49. (In Russ.)
- Alparslan, M. 2015, "The History of the Arzawan State during the Hittite Period", *NOSTOI. Indigenous culture, migration + integration in the Aegean Islands + Western Anatolia during the Late Bronze Age + Early Iron Age*, Koç University press, Istanbul, pp. 131–144.
- Amirkhiz, A.Ch., Islam, B.Sh.B. 2020, "Climatic Hazards of Fourth Millennium BC and Cultural Responses of Human Societies Case Study: Tehran Plain and Qomroud-Gharachay Basin", *Journal of Research on Archaeometry*, no. 6/1, pp. 67–80. DOI: <https://doi.org/10.29252/jra.6.1.67>
- Bagley, R. 1999, "Shang archaeology", *The Cambridge History of ancient China. From the origins of civilization to 221 B.C.*, University press, Cambridge, pp. 124–231.
- Baldia, M.O. 2013, "Breaking unnatural barriers: comparative archaeology, climate, and cultural change in Central and Northern Europe (6100–2700 BC)", *Comparative archaeology and paleoclimatology*, BAR, Oxford, pp. 175–240. (BAR. International Series 2456)
- Barjamovic, G., Hertel, Th., Larsen, M.T. 2012, "Ups and Downs at Kanesh. Chronology, History and Society in the Old Assyrian Period. Chronology, History and Society in the Old Assyrian Period. Old Assyrian Archives Studies 5", PIHANS, Leiden, 161 p.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., deMenocal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I., Bonani, G. 1997, "A Pervasive Millennial-Scale Cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates", *Science*, vol. 278, pp. 1257–1266.
- Braun, H., Christl, M., Rahmstorf, S., Ganopolski, A., Mangini, A., Kubatzki, C., Roth, K., Kromer, B. 2005, "Possible solar origin of the 1,470-year glacial climate cycle demonstrated in a coupled model", *Nature*, vol. 438, pp. 208–211. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature04121>
- Camp, Ch.D., Tung, K.-K. 2007, "Surface warming by the solar cycle as revealed by the composite mean difference projection", *Geophysical Research Letters*, vol. 34, L14703. DOI: <https://doi.org/10.1029/2007GL030207>
- Casati, M. 2014, "Significant statistically relationship between the great volcanic eruptions and the count of sunspots from 1610 to the present", *Geophysical Research Abstracts*, vol. 16, EGU2014-1385-2, pp. 1–7.
- Caseldine, C., Thompson, G., Langdon, C., Hendon, D. 2005, "Evidence for an extreme climatic event on Achill Island, Co. Mayo, Ireland around 5200–5100 cal. yr. BP", *Journal of Quaternary Science*, no. 20, pp. 169–178. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/jqs.901>
- Clarke, J., Brooks, N., Banning, E.B., Bar-Matthews, M., Campbell, S., Clare, L., Cremaschi, M., di Lernia S., Drake, N., Gallinaro, M., Manning, S., Nicoll, K., Philip, G., Rosen, S., Schoop, U.-D., Tafari, M.A., Weninger, B., Zerboni, A. 2016, "Climatic changes and social transformations in the Near East and North Africa during the 'long' 4th millennium BC: A comparative study of environmental and archaeological evidence", *Quaternary Science Reviews*, no. 136, pp. 96–121. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.10.003>
- DeMenocal, P.B. 2001, "Cultural Responses to Climate Change During the Late Holocene", *Science*, no. 292, pp. 667–673. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1059827>
- Dreslerová, D. 2012, "Human Response to Potential Robust Climate Change around 5500 cal BP in the Territory of Bohemia (the Czech Republic)", *Interdisciplinaria archaeologica. Natural Sciences in Archaeology*, no. III/1, pp. 43–55. DOI: <http://dx.doi.org/10.24916/iansa.2012.1.3>

- Gerloff, S. 2007, "Reinecke's ABC and the chronology of the British Bronze Age", *Beyond Stonehenge essays on the Bronze Age in honour of Colin Burgess*, Oxbow Books, Oxford, pp. 117–161. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/14619571080110010605>
- Grigoriev, S. 2002, *Ancient Indo-Europeans*. Rifei, Chelyabinsk, 496 p.
- Grigoriev, S.A. 2018, "Eastern influences and the transition to new types of metalworking at the end of the Early Bronze Age in Central Europe", *Musaica Archaeologica*, no. 2, pp. 33–49.
- Grigoriev, S.A. 2019, "Central European impulses in Eastern Europe in the early second millennium BC", *Slovenská Archeológia*, no. 2, pp. 225–239. DOI: <http://dx.doi.org/10.31577/slovarch.2019.67.7>
- Grigoriev, S.A. 2021, "The evolution of antler and bone cheekpieces from the Balkan-Carpathian region to Central Kazakhstan: chronology of "chariot" cultures and Mycenaean Greece", *Journal of ancient history and archaeology*, no. 8.2, pp. 148–189. Pp. 148–189. DOI: <http://dx.doi.org/10.14795/j.v8i2.633>
- Grigoriev, S. 2022a, "Cultural genesis and ethnic processes in Central and Eastern Europe in the 3rd millennium BC: Yamnaya, Corded Ware, Fatyanovo and Abashevo cultures", *Journal of ancient history and archaeology*, no. 9.3, pp. 43–84. DOI: <http://dx.doi.org/10.14795/j.v9i3.754>
- Grigoriev, S. 2022b, "Origins of the Greeks and Greek dialects", *Journal of ancient history and archaeology*, no. 1, pp. 5–46. DOI: <http://dx.doi.org/10.14795/j.v9i1>
- Grigoriev, S. 2023a, "Chronology of the Seima-Turbino bronzes, early Shang Dynasty and Santorini eruption", *Prähistorische Zeitschrift*, no. 98 (2), pp. 569–588. DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/pz-2023-2028>
- Grigoriev, S.A. 2023b, "Absolute chronology of the Early Bronze Age in Central Europe, Middle Bronze Age in Eastern Europe, and the "2200 event", *Journal of ancient history and archaeology*, no. 10.1, pp. 22–46. DOI: <http://dx.doi.org/10.14795/j.v10i1.817>
- Grigoriev, S. 2024a, "Climate factor in cultural transformations of Northern Eurasia in the mid-4th – mid-3rd millennia BC, and possibilities of creating an absolute chronology, *Comechingonia Revista de Arqueología*, vol. 28, no. 2, pp. 251–272. DOI: <http://dx.doi.org/10.37603/2250.7728.v28.n2.41815>
- Grigoriev, S.A. 2024b, "Absolute chronology of the transitions to the Northern Eurasian Late Bronze Age and European Middle Bronze Age", *Kazakhstan archeology*, no. 1 (23), pp. 79–95. DOI: <https://doi.org/10.52967/akz2024.1.23.79.95>
- Hagen, M., Azevedo, A. 2023, "Sun Disturbances on Earth's Volcanism", *Natural Science*, vol. 15, no. 1, pp. 1–10. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2023.151001>
- Haigh, J., Winning, A., Toumi, R. et al. 2010, "An influence of solar spectral variations on radiative forcing of climate", *Nature*, no. 467 (7316), pp. 696–699. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature09426>
- Hathaway, D. 2015, "The solar cycle", *Living Reviews in Solar Physics*, no. 12. DOI: <https://doi.org/10.1007/lrsp-2015-4>
- Helama, S., Holopainen, J., Macias-Fauria, M., Timonen, M., Mielikäinen, K. 2013, "A chronology of climatic downturns through the mid- and late-Holocene: tracing the distant effects of explosive eruptions from palaeoclimatic and historical evidence in northern Europe", *Polar Research*, no. 32:1, 15866. DOI: <https://doi.org/10.3402/polar.v32i0.15866>
- Herdiwijaya, D., Arif, J., Nurzaman, M.Z. 2014, "On the Relation between Solar and Global Volcanic Activities", *Proceedings of the 2014 International Conference on Physics*, Atlantis Press, Dordrecht, pp. 105–108.
- Ilyashuk, E.A., Koinig, K.A., Heiri, O., Ilyashuk, B.P., Psenner, R. 2011, "Holocene temperature variations at a high-altitude site in the Eastern Alps: a chironomid record from Schwarzsee ob Sölden, Austria", *Quaternary Science Reviews*, vol. 30, iss. 1–2, pp. 176–191. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.10.008>
- Ineson, S., Scaife, A., Knight, J. et al. 2011, "Solar forcing of winter climate variability in the Northern Hemisphere", *Nature Geosciences*, no. 4, pp. 753–757. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1282>
- Kasatkina, E.A., Shumilov, O.I., Timonen, M., Kanatjev, A.G. 2018, "Impact of powerful volcanic eruptions and solar activity on the climate above the Arctic Circle", *Geofisica Internacional*, no. 57–1, pp. 67–77. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/ig-eof.00167169p.2018.57.1.1823>
- Kobashi, T., Goto-Azuma, K., Box, J.E., Gao, C.-C., Nakaegawa, T. 2013, "Causes of Greenland temperature variability over the past 4000 yr.", *Climate of the Past*, np. 9, pp. 2299–2317. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/cp-9-2299-2013>
- Komitov, B.P., Kaftan, V.I. 2022, "Danjon-Effect, Solar Activity, and Volcanism", *Geomagnetism and Aeronomy*, no. 62, pp. 1117–1122. DOI: <http://dx.doi.org/10.31725/0552-5829-2021-165-168>
- Kovalev, A. 2022, "Megalithic traditions in the Early Bronze Age of the Mongolian Altai: the Chemurchek (Qie'muerqieke) cultural phenomenon", *Megaliths of the World. Vol. 2*, Archaeopress, Oxford, pp. 767–816.
- Kullman, L. 2013, "Ecological tree line history and palaeoclimate – review of megafossil evidence from the Swedish Scandes", *Boreas*, no. 42, pp. 555–567. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/bor.12003>
- Manning, S.W., Griggs, C.B., Lorentzen, B., Barjamovic, G., Ramsey, C.B., Kromer, B., et al. 2016, "Integrated Tree-Ring-Radiocarbon High-Resolution Timeframe to Resolve Earlier Second Millennium BCE Mesopotamian Chronology", *PLoS ONE*, no. 11 (7): e0157144. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157144>
- Mazzarella, A., Palumbo, A. 1989, "Does the solar cycle modulate seismic and volcanic activity?", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 39, iss. 1, pp. 89–93.
- Moir, A.K., Leroy, S.A.G., Brown, D., Collins, P.E.F. 2010, "Dendrochronological evidence for a lower water-table on peatland around 3200–3000 BC from subfossil pine in northern Scotland", *The Holocene*, no. 20 (6), pp. 931–942. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0959683610365935>

- Pankenier, D.W. 1981–82, “Astronomical dates in Shang and Western Zhou”, *Early China*, vol. 7, pp. 2–37. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0362502800005599>
- Pearson, Ch., Manning, S.W., Coleman, M., Jarvis, K. 2005, “Can tree-ring chemistry reveal absolute dates for past volcanic eruptions?”, *Journal of Archaeological Science*, no. 32 (8), pp. 1265–1274. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2005.03.007>
- Pearson, Ch., Salzer, M., Wacker, L., Brewer, P., Sookdeo, A., Kuniholm, P. 2020, “Securing timelines in the ancient Mediterranean using multiproxy annual tree-ring data”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 117, no. 15, pp. 8410–8415. DOI: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1917445117>
- Pearson, Ch., Sigl, M., Burke, A., Davies, S., Kurbatov, A., Severi, M., Cole-Dai, J., Innes, H., Albert, P.G., Helmick, M. 2022, “Geochemical ice-core constraints on the timing and climatic impact of Aniakchak II (1628 BCE) and Thera (Minoan) volcanic eruptions”, *PNAS Nexus*, no. 1 (2), pgac048. DOI: <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgac048>
- Salzer, M.W., Hughes, M.K. 2006, “Bristlecone pine tree rings and volcanic eruptions over the last 5000 yr.”, *Quaternary Research*, no. 67 (1), pp. 57–68. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.yqres.2006.07.004>
- Scuderi, L.A. 1990, “Tree-Ring Evidence for Climatically Effective Volcanic Eruptions”, *Quaternary Research*, no. 34, pp. 67–85.
- Shaughnessy, E.D. 1999, “Calendar and chronology”, *The Cambridge History of ancient China. From the origins of civilization to 221 B.C.*, University press, Cambridge, pp. 19–29.
- Sigl, M., Winstrup, M., McConnell, J.R., Welten, K.C., Plunkett, G., Ludlow, F., Büntgen, U., Caffee, M., Chellman, N., Dahl-Jensen, D., Fischer, H., Kipfstuhl, S., Kostick, C., Maselli, O.J., Mekhaldi, F., Mulvaney, R., Muscheler, R., Pasteris, D.R., Pilcher, J.R., Salzer, M., Schüpbach, S., Steffensen, J.P., Vinther, B.M., Woodruff, T.E. 2015, “Timing and climate forcing of volcanic eruptions for the past 2,500 years”, *Nature*, no. 523, pp. 543–549. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature14565>
- Sigl, M., Toohey, M., McConnell, J.R., Cole-Dai, J., Severi, M. 2022, “Volcanic stratospheric sulfur injections and aerosol optical depth during the Holocene (past 11,500 years) from a bipolar ice core array”, *Earth System Science Data*, no. 14, pp. 3167–3196. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/essd-2021-422>
- Štřešník, J. 2003, “Possible correlation between solar and volcanic activity in a long-term scale”, *Solar variability as an input to the Earth's environment. International Solar Cycle Studies (ISCS) Symposium, 23–28 June 2003, Tatranská Lomnica, Slovak Republic*, ESA Publications Division, Noordwijk, pp. 393–396.
- Usoskin, I.G. 2017, “A History of Solar Activity over Millennia”, *Living Reviews in Solar Physics*, no. 14 (3). DOI: <https://doi.org/10.1007/s41116-017-0006-9>
- Usoskin, I.G., Gallet, Y., Lopes, F., Kovaltsov, G.A., Hulot, G. 2016, “Solar activity during the Holocene: the Hallstatt cycle and its consequence for grand minima and maxima”, *Astronomy and Astrophysics*, no. 587 (A150). DOI: [10.1051/0004-6361/201527295](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201527295)
- Vasiliev, S.S., Dergachev, V.A. 2002, “The ~2400-year cycle in atmospheric radiocarbon concentration: bispectrum of ¹⁴C data over the last 8000 years”, *Annales Geophysicae*, no. 20 (1), pp. 115–120. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/angeo-20-115-2002>
- Vorren, K.-D., Jensen, Ch.E., Nilssen, E. 2011, “Climate changes during the last c. 7500 years as recorded by the degree of peat humification in the Lofoten region, Norway”, *Boreas*, no. 41, pp. 13–30. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1502-3885.2011.00220.x>
- Wanner, H., Beer, J., Bütikofer, J., Crowley, T.J., Cubasch, U., Flückiger, J., Goosse, H., Grosjean, M., Joos, F., Kaplan, J.O., Küttel, M., Müller, S.A., Prentice, I.C., Solomina, O., Stocker, T.F., Tarasov, P., Wagner, M., Widmann, M. 2008, “Mid- to Late Holocene climate change: an overview”, *Quaternary Science Reviews*, no. 27 (19–20), pp. 1791–1828. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.06.013>
- Weiss, H., Courty, M.-A., Wetterstrom, W., Guichard, F., Senior, L., Meadow, R., Curnow, A. 1993, “Genesis and Collapse of Third Millennium North Mesopotamian Civilization”, *Science, New Series*, vol. 261, no. 5124, pp. 995–1004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.261.5124.995>
- Włodarczak, P. 2012, “Die Gliederung der Schnurkeramik im Zürcher Raum und in Mitteleuropa – Probleme der Synchronisation”, *Antiqua*, vol. 50, pp. 127–138. (In German)

Сведения об авторе

Станислав Аркадьевич Григорьев, кандидат исторических наук, Институт истории и археологии УрО РАН, Российская Федерация, г. Екатеринбург. E-mail: stgrig@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6633-8686

Information About the Author

Stanislav A. Grigoriev, Ph.D., Institute of History and Archaeology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Ekaterinburg. E-mail: stgrig@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6633-8686