

УДК 523.98–17:338.001.36

СИНХРОННОСТЬ ИНДЕКСОВ СОЛНЕЧНОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

© 2026 Д. Р. Джапаридзе^{1,2} , Т. Пааташвили¹ ,
Т. Г. Мндзинаришвили¹, Б. Б. Чаргейшвили^{1*} 

¹Грузинская национальная астрофизическая обсерватория им. Евгения Харадзе,
Абастумани, 0301 Грузия

²Центр вычислительных геоисследований, Государственный университет Ильи, Тбилиси, 0162 Грузия
Поступила в редакцию 14 октября 2022 года; после доработки 31 июля 2024 года; принята к публикации 15 августа 2024 года

Прогнозирование экономических индексов важно для снижения рисков неожиданных потрясений в глобальной или региональной экономике. Однако многочисленные факторы, влияющие на итоговый экономический индекс, создают сложную картину, которая затрудняет определение циклического поведения. Мы изучили взаимосвязь между солнечной активностью и промышленным индексом Доу Джонса (DJIA) с 1896 по 2021 г. Для анализа данных были использованы методы корреляции и кросс-корреляции со скользящим временным окном, а также вейвлет-когерентный подход. Исследование показало, что взаимосвязь между событиями непростая и эволюционирует с течением времени. Выявлены различные периоды синхронности и изменения в когерентности этой синхронизации с течением времени. Нами было показано, что корреляция с 11-летней периодичностью превышает 0.5 в 1906–1936 и 1964–2000 гг. и видна с 95%-ной степенью достоверности в 1910–1930 и 1990–1994 гг. Эта корреляция подтверждается обнаруженной 95%-ной достоверностью когерентности между данными о космических лучах и индексом Доу Джонса в те же периоды времени (1964–2000 гг.), когда корреляция между количеством солнечных пятен и этим индексом была высокой, хотя и с другими разностями фаз. Кроме того, корреляция между данными о космических лучах и индексом Доу Джонса более сильная. Это может означать, что влияние солнечной активности на колебания мировой экономики опосредовано модуляцией космических лучей Солнцем.

Ключевые слова: *солнечная активность — число солнечных пятен — солнечно-земные связи — методы: статистические*

1. ВВЕДЕНИЕ

Влияние естественных условий окружающей среды на жизнь человека неоспоримо. Эти условия меняются и характеризуются циклическостью, к которой люди за тысячелетия привыкли. С другой стороны, какие-то неожиданные катаклизмы могут оказаться фатальными. Солнечная активность, геомагнитные явления, космические лучи, климат и глобальная температура на Земле — все это примеры глобальных природных переменных, которые могут оказывать значительное влияние на жизненно важные процессы на планете. Несмотря на многочисленные промежуточные звенья в солнечно-земных связях, предшествующий характер активности солнечных пятен указывает на то, что солнечная активность является основной движущей силой этого процесса.

Впервые предположение о периодичности солнечных пятен выдвинул Кристиан Хорребуо в

1776 г. (Nathaway, 2015), хотя существование цикла солнечной активности было обнаружено позже благодаря работе Schwabe (1844). Международное число Вольфа для количества солнечных пятен используется как показатель солнечной активности с 1849 г. (Usoskin, 2017).

Солнечная активность растет и падает с интервалом 11 лет. Многие ученые показали, что ее влияние на жизнь значительно и что существуют корреляции между циклическостью солнечной активности и различными процессами на Земле. Подтверждена связь между солнечной активностью и геомагнитными явлениями (Chapman and Bartels, 1962), а также между солнечной активностью и космическими лучами (Bhattachaya and Roy, 2014; Caballero-Lopez et al., 2019). Немало исследований выявило корреляцию между солнечной активностью и изменением климата (Marsh and Svensmark, 2000; Gupta et al., 2015; Li et al., 2018). Однако есть и те, кто выступает против такого вывода (Love et al., 2011).

*E-mail: bchargeishvili@abao.ge

Экономическая и политическая ситуация так же важна для жизни, как и окружающие природные условия. Сама политика находится под сильным влиянием экономики и обусловлена ею. Экономическая ситуация, как и природные условия, изменчива и циклична. В своей статье Jevons (1879) упоминает сэра Уильяма Гершеля, который в самом начале 1800-х годов пытался «найти связь между ценой на кукурузу и мощностью солнечных лучей, отмечаемой по десятилетним колебаниям числа солнечных пятен», но потерпел неудачу. Jevons обнаружил свидетельства периодичности околодесятилетних циклов и отметил поразительное соответствие между их средним периодом 10.45 лет и периодом цикла солнечных пятен, подсчитав ретроспективно количество кризисов в сельском хозяйстве и бизнесе между обвалами экономики с 1867 по 1701 г. Дальнейшие исследования García-Mata and Shaffner (1934) не увенчались успехом в доказательстве случайного совпадения поразительного сходства солнечного цикла и деловой активности. Более того, они обнаружили, что пики промышленного производства периодически предшествуют пикам появления солнечных пятен и что существует сильная корреляция между деловой активностью и числом пятен. С тех пор многие авторы исследовали связь между цикличностью солнечных пятен и различными видами мировой экономической деятельности. Используя корреляционный и регрессионный анализ, Žmuk and Jošić (2023) изучили взаимосвязь между валовым внутренним продуктом и солнечными пятнами для 11 балканских стран за период 1960–2021 г. — для восьми из них корреляция была отрицательной. Аналогичные результаты были получены с использованием линейного регрессионного анализа. Согласно межстрановым моделям панельной регрессии, солнечная активность вредит экономике всех государств мира. Особенно негативно она влияет на страны, расположенные в высоких широтах (Žmuk and Jošić, 2023).

Известно, что солнечные циклы и цены на кукурузу и зерно взаимосвязаны. Некоторые авторы связывают неурожай и рост цен на сельскохозяйственную продукцию с максимальной солнечной активностью (Chizhevsky, 1924)¹⁾, другие (Jevons, 1878; 1879), наоборот, с минимальной. Это несоответствие можно объяснить тем, что взаимосвязь между ценами на сельскохозяйственную продукцию и солнечной активностью является более сложной, чем считалось ранее, и зависит от регионального климата и чувствительности сельскохозяйственных культур к погодным аномалиям; следует также иметь в виду закрытый характер

сельскохозяйственного рынка. В этом случае возможны четыре вероятных сценария: в одних регионах неурожайные годы приходится на максимум солнечной активности, в других — на минимум, в некоторых — как на максимум, так и на минимум, а где-то они вообще не проявляются (Pustil'nik and Yom Din, 2013).

Обнаружены корреляции между циклами солнечной активности и периодами рецессии в Соединенных Штатах и других странах. Рецессии в Соединенных Штатах совпадают с пиками солнечной активности, и почти три пятых всех рецессий в странах G7 начались в пределах трех лет от максимума солнечной активности (Gorbanev, 2012). Стоит отметить, что Gorbanev (2012) выявил тесную взаимосвязь между рецессиями и максимальной солнечной активностью, а позднее — минимальной (Gorbanev, 2020). Кроме того, была обнаружена связь между геомагнитной активностью и различными экономическими характеристиками (Walsh, 1993). Согласно исследованиям, геомагнитная активность влияет на инвестиционные решения, настроение и поведение. Она оказывает негативное влияние на доходность фондового рынка в Соединенных Штатах (Krivelyova and Robotti, 2003; Peng et al., 2019a). Полученные результаты помогают расширить использование геомагнитных индексов в финансовых и экономических исследованиях (Peng et al., 2019a).

В экономике, как и в статистике, индекс — это статистическая мера изменения репрезентативной группы отдельных показателей. Поскольку прогнозирование экономической ситуации имеет решающее значение для стран и населения, которое в них проживает, изучение экономических индексов приобрело особое значение. Еще в 1937 году Mitchell and Burns (1938) разработали список опережающих, совпадающих и запаздывающих показателей экономической активности для изучения бизнес-циклов. С тех пор эти показатели играют важную роль в обобщении и прогнозировании состояния экономики (Stock and Watson, 1989). Промышленный индекс Доу Джонса (Dow Jones Industrial Average, DJIA) является одним из старейших и наиболее популярных фондовых индексов и охватывает 30 крупнейших компаний, котирующихся на фондовых биржах США. Несмотря на то что индекс Доу Джонса включает данные всего по 30 американским компаниям, его можно считать не только ведущим показателем состояния экономики США (Stock and Watson, 1989), но и показателем эффективности мирового бизнеса из-за его сильного влияния на другие фондовые рынки (Zheng and Chen, 2013). Резкое падение DJIA может свидетельствовать о наступлении крупномасштабного кризиса. Поэтому его изменение тщательно отслеживается с целью оценки будущих экономических

¹⁾<https://s.esrae.ru/noocivil/pdf/2015/3/1358.pdf>

показателей (Hester and Gibson, 2003; Goidel et al., 2010).

Анализировать, влияют ли на DJIA такие факторы, как солнечная активность или космические лучи, сложно, поскольку индекс зависит от цен на акции компаний, включенных в индекс, а также от мировой экономики и политики.

Существует корреляция между валовым внутренним продуктом (ВВП) США на душу населения, DJIA и числом солнечных пятен, что позволяет использовать прогнозирование солнечных пятен для предсказания DJIA и ВВП (Modis, 2007). Существует также корреляция между геомагнитной активностью и различными экономическими характеристиками (Walsh, 1993).

Даже среди сторонников взаимосвязи между солнечной активностью и экономическими характеристиками в настоящее время имеются взаимоисключающие и противоречивые результаты. Поэтому вопрос о том, существует ли взаимосвязь между солнечной активностью и мировыми финансовыми индексами и какова эта взаимосвязь, остается актуальным.

Экономические события обусловлены взаимодействием экономических, политических, климатических, экологических и технологических систем. Выявление глобальных экзогенных факторов требует использования новых методов, позволяющих выявить картину меняющихся взаимосвязей.

В этой статье мы не стремимся установить причинно-следственную связь между солнечной активностью и экономическими показателями. Мы признаем, что если такая связь и существует, она многоступенчатая и чрезвычайно сложная. Изучение даже беглого перечня причинно-следственных связей, включая научно доказанные, между солнечным ветром и климатом, климатом и урожаями, погодой и настроением, настроением и производительностью, продуктами и ценами часто приводит к противоположным результатам, в зависимости от географии, региональной или мировой политики и множества других начальных или граничных условий рассматриваемой экономики. С другой стороны, статистический анализ синхронности солнечной активности и индекса Доу Джонса способен выявить некоторые общие закономерности, которые могут быть использованы для прогнозирования глобальных экономических тенденций. Цель этой статьи — использовать статистические методы для количественной оценки взаимосвязи между солнечной активностью и промышленным индексом Доу Джонса, чтобы в будущем ее можно было учитывать в финансовых моделях.

Статья состоит из четырех разделов. Во введении кратко изложены результаты исследований

взаимосвязи между солнечной активностью и экономическими характеристиками. Данные, использованные в настоящей статье, представлены в разделе 2. В разделе 3 описаны методы исследования, а в разделе 4 обсуждаются результаты.

2. МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ И АНАЛИЗ ДАННЫХ

В качестве индикаторов солнечной активности мы используем сведения о солнечных пятнах Всемирного центра данных SILSO²⁾ (Clette and Lefèvre, 2015) за 1818–2021 гг. и данные о космических лучах Станции космических лучей университета Оулу³⁾ (Соданкюльская геофизическая обсерватория, Финляндия) за 1964–2021 гг. Мы сравниваем эти величины с историческими данными по DJIA⁴⁾ за период с 1896 по 2021 г.

Первым шагом в сопоставлении временных рядов DJIA с данными о солнечных пятнах или космических лучах является устранение быстро поднимающегося тренда у DJIA. Чтобы это сделать, мы сглаживаем DJIA скользящим средним с окном 11 лет, которое отражает наиболее заметную периодичность солнечной активности. После вычитания сглаженных значений из исходных данных и умножения результата на 100 мы получаем сезонные колебания вокруг тренда DJIA в процентах (далее DJ-индекс). Результаты представлены на рис. 1.

Если посмотреть на линейную корреляцию между ежемесячными данными о солнечных пятнах и DJIA за 125 лет (1896–2021), видно, что она невелика, $r = 0.1492$ ($0.0996–0.1980$), но мы можем отклонить нулевую гипотезу («статистическая взаимосвязь отсутствует») с высокой степенью достоверности, поскольку $p < 0.001$, что указывает на почти гарантированную корреляцию. Интересно посмотреть, как изменится эта корреляция, если сопоставить меньшие, но все еще репрезентативные временные интервалы (несколько солнечных 11-летних циклов). Для этой цели мы использовали метод скользящего окна. Для выбранного окна определялась линейная корреляция r и p -значение. Затем окно увеличивалось на относительно небольшой временной интервал (чтобы не пропустить какие-либо существенные изменения) и те же значения определялись еще раз. Оптимальный размер временного окна был выбран равным 22 годам (что в два раза превышает 11-летний цикл солнечной активности) с временным шагом один год. Результаты представлены на рис. 2.

²⁾Solar Influences Data Analysis Center: <https://www.sidc.be/SILSO/home>

³⁾<https://cosmicrays.oulu.fi/>

⁴⁾<https://stooq.com/q/i/?s=%5Edji>

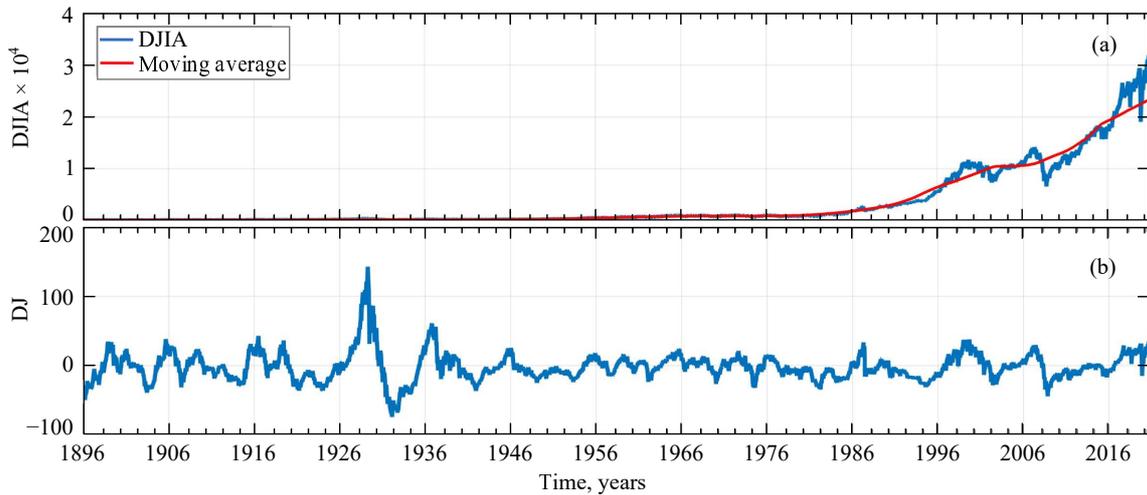


Рис. 1. Разложение DJIA. Панель (a): DJIA (синяя кривая) и его скользящее среднее с 11-летним окном (красная кривая); панель (b): DJIA с вычтенным трендом, выраженный в процентах.

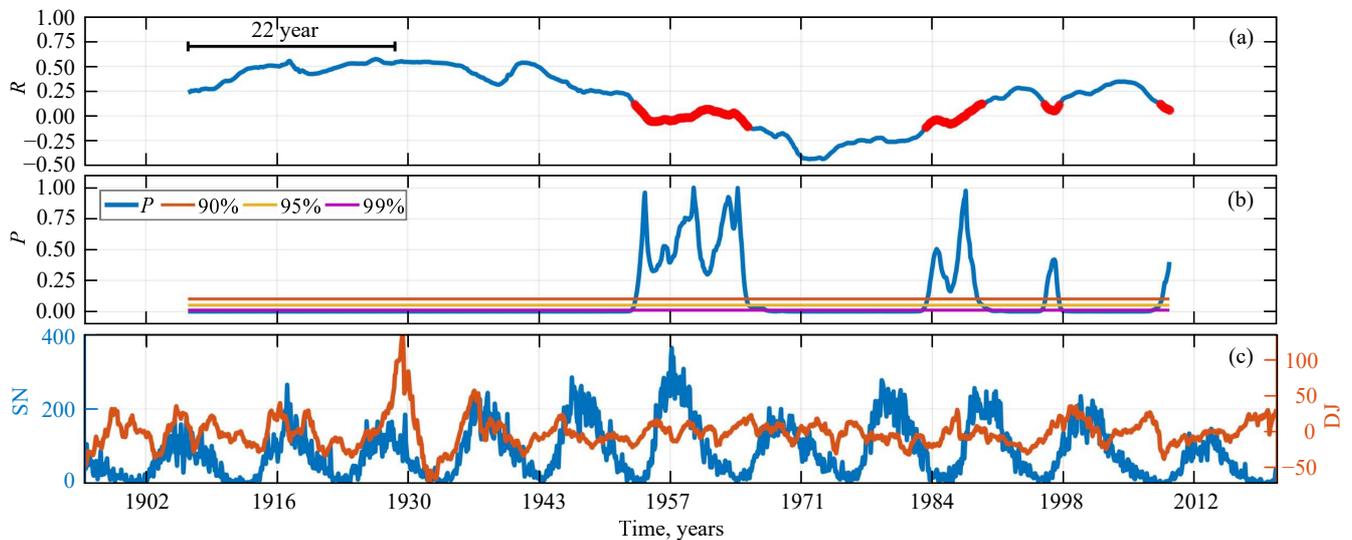


Рис. 2. Корреляция между числом солнечных пятен и DJIA с вычтенным трендом (DJ-индекс); размер скользящего окна составляет 22 года, шаг — один год. На панели (a) показана кривая коэффициентов корреляции; красными точками отмечены области, где нулевая гипотеза не может быть отвергнута. На панели (b) приведены p -значение и соответствующие уровни значимости. На панели (c) синяя кривая показывает число пятен (SN), красная — DJ-индекс.

Корреляция между двумя индексами меняется с течением времени от -0.5 до 0.5 , и если в начале XX века она была положительной, то в 1970-х и 1980-х годах стала отрицательной и вернулась к положительным значениям в конце XX века и начале XXI века. Поскольку процесс является нелинейным и нестационарным, со множеством промежуточных звеньев, трудно объяснить, от чего зависит это изменение. Модуль корреляции достигает 0.5 , что является довольно большим значением, в то время как диапазоны незначительной корреляции (выделенные жирным красным участки кривой на рис. 2a) относительно короткие и в основном совпадают с интервалами, в которых меняется ее знак.

Это требует дальнейшего изучения с использованием многомерного анализа.

Чтобы узнать больше о рассматриваемой взаимосвязи, нами была проведена кросс-корреляция между числом солнечных пятен и DJ-индексом. Здесь мы снова использовали 22-годичное скользящее окно с шагом в один год, вычислив кривую взаимной корреляции внутри окна для каждого шага. Полученная тепловая карта с контурным графиком показана на рис. 3, она наглядно демонстрирует, что связь между исследуемыми данными нестационарна и меняется с течением времени. Задержки при максимальных значениях кросс-корреляции варьируются от -1 года до 3 лет.

Для выявления потенциальных взаимосвязей

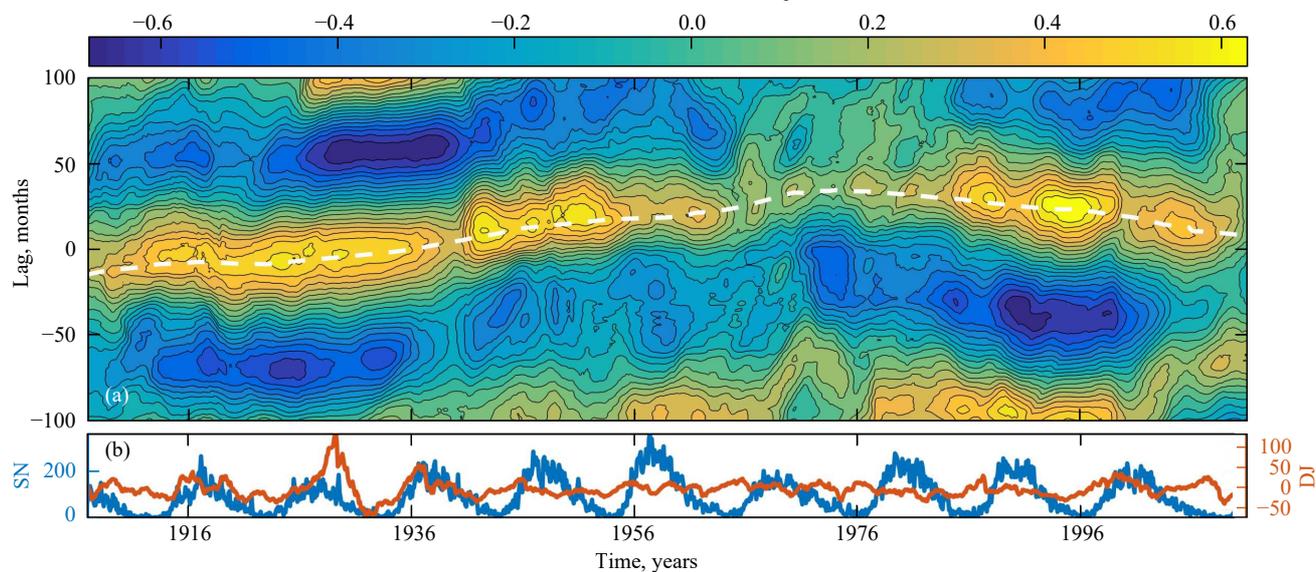


Рис. 3. На панели (a) показана кросс-коррелограмма между числом солнечных пятен и DJ-индексом, горизонтальная ось соответствует дате, вертикальная — фазовой задержке; белая пунктирная кривая показывает изменение задержки, соответствующее максимальной взаимной корреляции. На панели (b) представлено изменение активности для числа пятен (SN) и DJ-индекса (синяя и красная кривые соответственно).

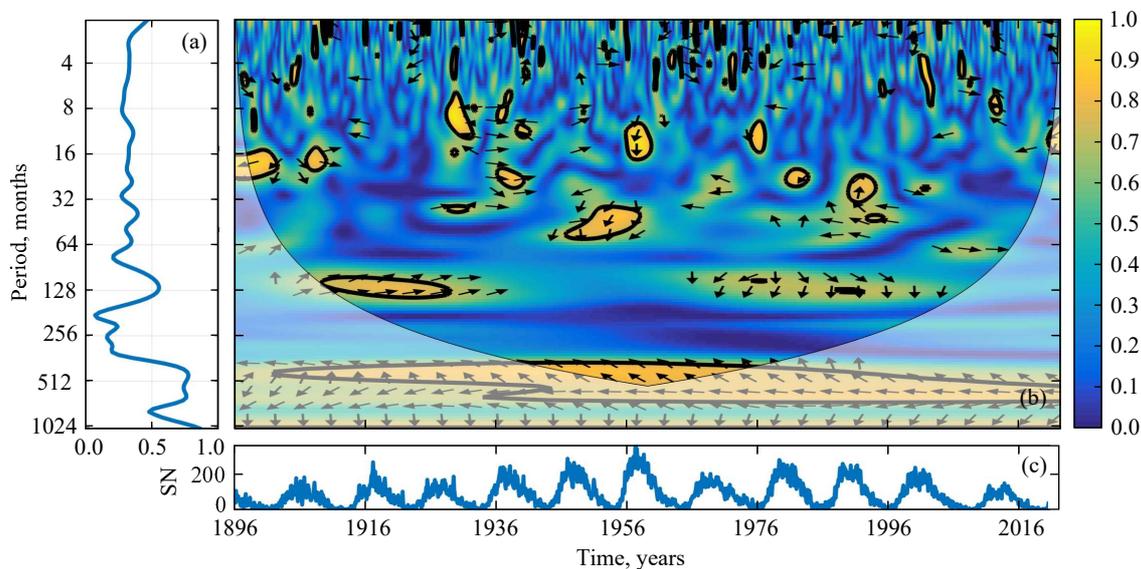


Рис. 4. Панель (a): глобальный вейвлет-спектр. Панель (b): квадрат вейвлет-когерентности между временными рядами числа солнечных пятен и DJ-индекса; цветовая шкала показывает мощность вейвлета. Стрелки указывают разность фаз. Жирные черные линии обозначают 5%-ный уровень значимости, рассчитанный по случайному фоновому шуму с использованием метода Монте-Карло, а тонкая линия — конус влияния. Панель (c): число солнечных пятен (SN) в зависимости от времени.

между двумя временными рядами недавно начали широко применяться методы вейвлетной кросс-корреляции и вейвлет-когерентности (Addison, 2017). Эти методы особенно полезны, когда временные ряды нестационарны. Вейвлет-когерентность более убедительна и эффективна при обнаружении частот и временных интервалов сильных корреляций, чем вейвлетная кросс-корреляция (Maraun and Kurths, 2004; Chakrabarty

et al., 2015). Метод вейвлет-когерентности был первыми применили Torrence and Compo (1998) и Torrence and Webster (1999). Он широко используется в различных областях: астрофизике (Kelly et al., 2003; Donner and Thiel, 2007; Li et al., 2009), геофизике (Grinsted et al., 2004; Labat, 2005; Liu et al., 2005; Zamani et al., 2013) и экономике (Aguilar-Conraria et al., 2008; Nunes and Rua, 2009; Vacha and Barunik, 2012).

В целом величина вейвлет-когерентности меняется в диапазоне от 0 до 1 и, как и коэффициент корреляции, позволяет количественно оценить корреляцию между временными рядами.

Для расчета вейвлет-когерентности между среднемесячными данными о числе солнечных пятен и DJ-индексе мы использовали программные пакеты, разработанные Torrence and Compo (1998) и Grinsted et al. (2004). На рис. 4 показан результат вычислений. Уровень статистической значимости 5% был оценен методом Монте-Карло с красным шумом (300 вычислений, Torrence and Webster, 1999; Grinsted et al., 2004). Области значительной когерентности обозначены черными контурными линиями. Видно, что сходство между двумя индексами является наибольшим при периоде примерно 11 лет (около 128 месяцев). Когерентность возрастает до 0.8 в 1920-х и до 0.72 в 1990-х и превышает 0.5 в 1906–1936 и 1964–2000 гг. Индексы синхронизированы с 11-летним периодом в 1910–1930 и 1990–1994 гг.

В дополнение к вейвлет-когерентности мы вычислили разность фаз, которая показывает, насколько далеко друг от друга расположены исследуемые колебания для заданной частоты и времени. На рис. 4 стрелки показывают относительные фазы двух временных рядов в пределах областей, где когерентность и корреляция превышают 0.5. Стрелка, направленная вправо, указывает на синфазную когерентность между двумя сигналами; стрелка влево соответствует противофазной когерентности; стрелка вниз означает, что первый временной ряд опережает следующий на 90° по фазе; стрелка вверх — что он на 90° позади. Когда стрелки строго горизонтальны (0° или 180°), это указывает на линейную взаимосвязь между двумя изучаемыми явлениями; негоризонтальные стрелки означают несоответствие фаз и более сложную нелинейную взаимосвязь (Velasco Herrera et al., 2018).

Как можно видеть, вейвлет-когерентность в частотной области позволяет исследовать взаимосвязь между двумя временными рядами на разных временных масштабах более гибким и прямым способом, чем традиционная линейная корреляция или анализ методом скользящего окна.

Число солнечных пятен и DJIA были выбраны для исследования из-за наличия длинных рядов данных (1896–2021). Кроме этого, мы исследовали вейвлет-когерентность между космическими лучами и DJ-индексом. К сожалению, данные о космических лучах менее обширны, чем данные о солнечных пятнах, и охватывают период с 1964 по 2021 г. Однако 11-летняя синхронность, обнаруженная между пятнами и DJ-индексом, также видна в вейвлет-когерентности между космическими лучами и DJ-индексом. Как показано на рис. 5, когда когерентность между пятнами и DJ-индексом

возрастает в 1964–2000 гг., есть 95%-ная уверенность в когерентности между космическими лучами и DJ-индексом, но с другим сдвигом фаз. По причине хорошо известной антикорреляции между солнечной активностью и космическими лучами такое поведение ожидаемо (Bhattachaya and Roy, 2014; Caballero-Lopez et al., 2019). Также стоит отметить, что корреляция между космическими лучами и DJ-индексом более сильная и убедительная, чем корреляция между солнечными пятнами и этим индексом.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разные авторы изучали влияние солнечной и космической погоды на индексы фондового рынка, такие как Financial Select Sector SPDR ETF и S&P 500. Причинно-следственная связь между Ар-индексом геомагнитной активности и индексом S&P 500 изучается на протяжении более 20 лет. Общеизвестно, что геомагнитная активность негативно сказывается на доходности фондового рынка США (Peng et al., 2019b). В отличие от других подобных работ, где солнечные пятна рассматриваются как индикатор солнечной активности, в работе Daglis et al. (2020) показателем активности является скорость солнечного ветра, а показателем космической погоды — киотский Dst-индекс. Авторы изучали влияние солнечной активности и космической погоды на индекс Financial Select Sector SPDR ETF (XLF) в 1998–2018 гг. и обнаружили, что их изменение может быть использовано для прогнозирования волатильности XLF.

В нашей работе мы взяли за основу промышленный индекс Доу Джонса, учитывая, что он является одним из самых важных и старых показателей эффективности мировой экономики, и исследовали взаимосвязь между солнечной активностью и DJIA с 1896 по 2021 г. Используя новый подход, называемый вейвлет-когерентностью, мы выявили, что эта взаимосвязь неоднозначна и меняется с течением времени. Были обнаружены временные интервалы синхронизации с разными периодами, а также изменение когерентности этих синхронизаций со временем.

Связь между солнечной активностью и DJ-индексом нестационарна (рис. 4), причем довольно сильные корреляции наблюдаются на разных временных масштабах. В начале XX века отмечена высокая (0.7–0.8) когерентность в диапазоне 11-летней периодичности. Обнаружено, что максимумы DJ-индекса на несколько месяцев опережают максимумы солнечной активности. Ранее разные авторы (например, Collins, 1965; Modis, 2007) показывали аналогичную зависимость. Это опережение может быть вызвано влиянием космических лучей. В середине XX века 11-летняя

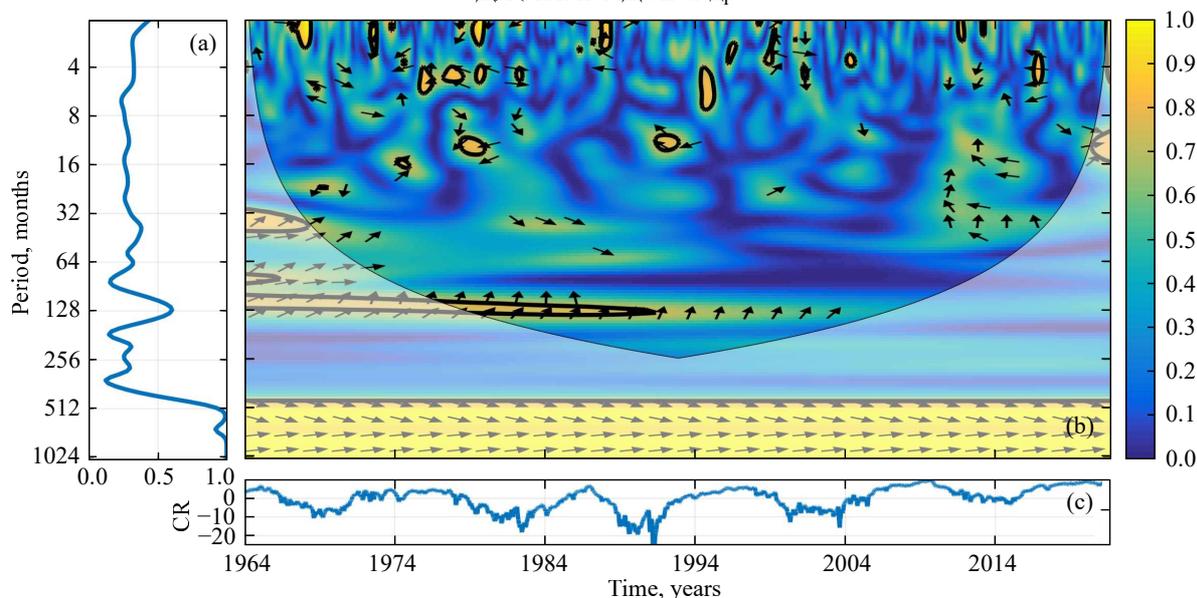


Рис. 5. Панель (а): глобальный вейвлет-спектр. Панель (b): квадрат вейвлет-когерентности между временными рядами космических лучей и DJ-индекса, стрелки обозначают разности фаз. Жирные черные линии обозначают 5%-ный уровень значимости, рассчитанный по случайному фоновому шуму с использованием метода Монте-Карло, а тонкая линия показывает конус влияния. Панель (с): временной ряд для космических лучей.

периодичность ослабевает и исчезает и возникает 3–4-летняя (32–48 месяцев) с величиной корреляции 0.85 и разницей фаз примерно один год. Однако к 1957 году, на пике солнечной активности, появляется годичная синхронизация (корреляция 0.93) с трехмесячной разницей фаз. К концу XX века вновь появляется 11-летняя периодичность с коэффициентом корреляции 0.72 и разницей фаз приблизительно 3–4 года, а также четырехлетняя периодичность (корреляция 0.72) в противофазе и 2–3-летняя периодичность (корреляция 0.83) с опережением на шесть месяцев. В начале XXI века наблюдается 6-летняя периодичность (корреляция 0.67) практически без разницы фаз.

На рис. 4 также показаны 32-летние и 50–60-летние корреляции с величиной 0.83. Они могут быть связаны с длинными волнами Кондратьева, которые хорошо известны в экономике (Kondratieff and Stolper, 1935; Korotayev and Tsirel, 2010; Korotayev et al., 2011; Gallegati, 2016⁵⁾; Modis, 2017). Периодичность в 50–60 лет также известна для солнечной активности (Lomb and Andersen, 1980; Ogurtsov et al., 2002; Lomb, 2013) и вариаций интенсивности космических лучей, определяемых по космогенным радионуклидам (McCracken et al., 2013). Эта периодичность хорошо видна на рис. 4 и 5, хотя длина ряда в 120 лет не позволяет нам убедительно ее доказать, поскольку она расположена в основном за пределами конуса

влияния. Этот период предположительно является модуляцией 11-летней когерентности между числом солнечных пятен и DJ-индексом, но явное рассмотрение невозможно опять же из-за небольшой продолжительности наблюдений DJ-индекса. Следует отметить, что, хотя космические лучи демонстрируют в основном 22-летнюю цикличность, мы наблюдаем сильную 11-летнюю корреляцию между ними и DJ-индексом, как показано на рис. 5. Эта корреляция также нестабильна: сначала она сильная, а затем исчезает.

Поиск корреляций между солнечной активностью, космическими лучами и DJIA осложняется тем, что на финансовый индекс влияют одновременно многие факторы. На самом деле, экономическая динамика является результатом сложных взаимодействий между экономическими, политическими, социальными, экологическими и технологическими системами. Основной целью данной статьи было количественное определение значимости корреляции между такими, казалось бы, различными явлениями, как солнечная активность и экономические колебания. Исследование показало, что корреляция между данными о космических лучах и DJ-индексе сильнее, чем корреляция между числом солнечных пятен и DJ-индексом. Не углубляясь в механизм этого явления, можно предположить, что статистически значимая корреляция между числом солнечных пятен и DJ-индексом обусловлена модуляцией космических лучей солнечной активностью. Космические лучи воздействуют на земную магнитосферу, биосферу, климат

⁵⁾https://www.sociostudies.org/upload/sociostudies.org/almanac/k_waves_3/099-120.pdf

и другие системы, и все это оказывает комплексное воздействие на экономику.

Взаимосвязь между солнечной активностью и экономическими показателями требует дальнейшего изучения с целью выявления промежуточных звеньев и механизмов воздействия, она должна учитываться при разработке адекватных предсказательных финансовых моделей, в частности для прогнозирования DJIA.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Представленное исследование выполнено в рамках государственного финансирования Грузинской национальной астрофизической обсерватории им. Евгения Харадзе. Работа ДРД также поддержана грантом FR-24-14835 Национального научного фонда Грузии им. Шота Руставели.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. P. S. Addison, *The Illustrated Wavelet Transform Handbook: Introductory Theory and Applications in Science, Engineering, Medicine and Finance*, 2nd ed. (CRC Press, 2017). DOI:10.1201/9781315372556
2. L. Aguiar-Conraria, N. Azevedo, and M. J. Soares, *Physica A Statistical Mechanics and its Applications* **387** (12), 2863 (2008). DOI:10.1016/j.physa.2008.01.063
3. R. Bhattachaya and M. Roy, *International Journal of Engineering Science and Technology* **6** (2), 24 (2014).
4. R. A. Caballero-Lopez, N. E. Engelbrecht, and J. D. Richardson, *Astrophys. J.* **883** (1), article id. 73 (2019). DOI:10.3847/1538-4357/ab3c57
5. A. Chakrabarty, A. De, A. Gunasekaran, and R. Dubey, *Physica A Statistical Mechanics and its Applications* **429**, 45 (2015). DOI:10.1016/j.physa.2014.10.097
6. S. Chapman and J. Bartels, *Geomagnetism*, Vol. I: *Geomagnetic and Related Phenomena* (Clarendon Press, Oxford, 1962).
7. A. L. Chizhevsky, *Physical Factors of the Historical Process* (I-ya Gostipolitographija, Kaluga, 1924).
8. F. Clette and L. Lefèvre, *SILSO Sunspot Number V2.0* (2015).
9. C. J. Collins, *Financial Analysts Journal* **21** (6), 45 (1965).
10. T. Daglis, K. N. Konstantakis, P. G. Michaelides, and T. E. Papadakis, *Research in International Business and Finance* **52**, 101147 (2020). DOI:10.1016/j.ribaf.2019.101147
11. R. Donner and M. Thiel, *Astron. and Astrophys.* **475** (3), L33 (2007). DOI:10.1051/0004-6361:20078672
12. M. Gallegati, "Wavelet Estimation of Kondratieff Waves: An Application to Long Cycles in Prices and World GDP", in *Kondratieff Waves: Cycles, Crises, and Forecasts*, Ed. by L. E. Grinin et al. (Uchitel', Volgograd, 2016), pp. 99–120.
13. C. Garcia-Mata and F. I. Shaffner, *The Quarterly Journal of Economics* **49** (1), 1 (1934). DOI:10.2307/1883875
14. K. Goidel, S. Procopio, D. Terrell, and H. Wu, *American Politics Research* **38** (4), 759 (2010). DOI:10.1177/1532673X09355671
15. M. Gorbaney, Munich Personal RePEc Archive, id. 40271 (2012).
16. M. Gorbaney, Munich Personal RePEc Archive, id. 102163 (2020).
17. A. Grinsted, J. Moore, and S. Jevrejeva, *Nonlinear Processes in Geophysics* **11**, 561 (2004a). DOI:10.5194/npg-11-561-2004
18. R. Gupta, L. A. Gil-Alana, and O. S. Yaya, *Applied Economics* **47** (8), 798 (2015). DOI:10.1080/00036846.2014.980575
19. D. H. Hathaway, *Living Reviews in Solar Physics* **12** (1), id. 4 (2015). DOI:10.1007/lrsp-2015-4
20. J. Hester and R. Gibson, *Journalism & Mass Communication Quarterly* **80**, 73 (2003). DOI:10.1177/107769900308000106
21. W. S. Jevons, *Nature* **19** (472), 33 (1878). DOI:10.1038/019033d0
22. W. S. Jevons, *Nature* **19** (495), 588 (1879). DOI:10.1038/019588a0
23. B. C. Kelly, P. A. Hughes, H. D. Aller, and M. F. Aller, *Astrophys. J.* **591** (2), 695 (2003). DOI:10.1086/375511
24. N. D. Kondratieff and W. F. Stolper, *The Review of Economics and Statistics* **17** (6), 105 (1935). DOI:10.2307/1928486
25. A. Korotayev and S. Tsirel, *Structure & Dynamics* **4**, 1 (2010).
26. A. Korotayev, J. Zinkina, and J. Bogevolnov, *Technological Forecasting and Social Change* **78** (7), 1280 (2011). DOI:10.1016/j.techfore.2011.02.011
27. A. Krivelyova and C. Robotti, *Playing the Field: Geomagnetic Storms and the Stock Market*, Working Paper Series (Federal Reserve Bank of Atlanta, 2003), online at: https://www.timingsolution.com/TS/Links/geomagnetic_storm_study.pdf
28. D. Labat, *Journal of Hydrology* **314** (1-4), 275 (2005). DOI:10.1016/j.jhydrol.2005.04.003
29. K. J. Li, P. X. Gao, and L. S. Zhan, *Astrophys. J.* **691** (1), 537 (2009). DOI:10.1088/0004-637X/691/1/537
30. Z. Li, J. Yue, Y. Xiang, et al., *Advances in Meteorology* **2018** (1), id. 2078057 (2018). DOI:10.1155/2018/2078057

31. L. T. Liu, H. T. Hsu, and E. W. Grafarend, *Journal of Geodynamics* **39** (3), 267 (2005). DOI:10.1016/j.jog.2004.11.003
32. N. R. Lomb, *Journal of Physics: Conference Series* **440**, id. 012042 (2013). DOI:10.1088/1742-6596/440/1/012042
33. N. R. Lomb and A. P. Andersen, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **190**, 723 (1980). DOI:10.1093/mnras/190.4.723
34. J. J. Love, K. Mursula, V. C. Tsai, and D. M. Perkins, *Geophysical Research Letters* **38** (21), id. L21703 (2011). DOI:10.1029/2011GL049380
35. D. Maraun and J. Kurths, *Nonlinear Processes in Geophysics* **11** (4), 505 (2004). DOI:10.5194/npg-11-505-2004
36. N. D. Marsh and H. Svensmark, *Phys. Rev. Lett.* **85** (23), 5004 (2000). DOI:10.1103/PhysRevLett.85.5004
37. K. G. McCracken, J. Beer, F. Steinhilber, and J. Abreu, *Sol. Phys.* **286**(2), 609 (2013). DOI:10.1007/s11207-013-0265-0
38. W. C. Mitchell and A. F. Burns, *National Bureau of Economic Research Bulletins* **69** (5), 1 (1938).
39. T. Modis, *Technological Forecasting and Social Change* **74** (8), 1508 (2007). DOI:10.1016/j.techfore.2007.07.001
40. T. Modis, *Technological Forecasting and Social Change* **122**, 63 (2017). DOI:10.1016/j.techfore.2017.04.015
41. L. Nunes and A. Rua, *Journal of Empirical Finance* **16**, 632 (2009). DOI:10.1016/j.jempfin.2009.02.002
42. M. G. Ogurtsov, Y. A. Nagovitsyn, G. E. Kocharov, and H. Jungner, *Sol. Phys.* **211** (1), 371 (2002). DOI:10.1023/A:1022411209257
43. L. Peng, N. Li, and J. Pan, *Advances in Astronomy* **2019**, id. 2748062 (2019a). DOI:10.1155/2019/2748062
44. L. Peng, N. Li, and J. Pan, *Advances in Astronomy* **2019**, id. 2748062 (2019b). DOI:10.1155/2019/2748062
45. L. Pustil'nik and G. Yom Din, *Astrophysical Bulletin* **68** (1), 107 (2013). DOI:10.1134/S1990341313010100
46. H. Schwabe, *Astronomische Nachrichten* **21** (15), 233 (1844). DOI:10.1002/asna.18440211505
47. J. H. Stock and M. W. Watson, "New Indexes of Coincident and Leading Economic Indicators", in *NBER Macroeconomics Annual*, vol. 4, Ed. by O. J. Blanchard and S. Fisher (MIT Press, Cambridge, 1989), pp. 351–409.
48. C. Torrence and G. P. Compo, *Bulletin of the American Meteorological Society* **79** (1), 61 (1998). DOI:10.1175/1520-0477(1998)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2
49. C. Torrence and P. J. Webster, *Journal of Climate* **12** (8), 2679 (1999). DOI:10.1175/1520-0442(1999)012<2679:ICITEM>2.0.CO;2
50. I. G. Usoskin, *Living Reviews in Solar Physics* **14** (1), id. 3 (2017). DOI:10.1007/s41116-017-0006-9
51. L. Vacha and J. Barunik, *Energy Economics* **34** (1), 241 (2012). DOI:10.1016/j.eneco.2011.10.007
52. V. M. Velasco Herrera, J. Pérez-Peraza, W. Soon, and J. C. Márquez-Adame, *Nature* **60**, 7 (2018). DOI:10.1016/j.newast.2017.09.007
53. B. Walsh, *Cycles Magazine* **44**, 76 (1993).
54. A. Zamani, J. Samiee, and J. F. Kirby, *Tectonophysics* **601**, 139 (2013). DOI:10.1016/j.tecto.2013.05.005
55. X. Zheng and B. M. Chen, *Stock Market Modeling and Forecasting. A System Adaptation Approach* (Springer, London, 2013), pp. 43–51. DOI:10.1007/978-1-4471-5155-5_4
56. B. Žmuk and H. Jošić, *Economic Annals* **68** (237), 69 (2023). DOI:10.2298/EKA2337069Z

Synchronization of Solar and Economic Activity Indices

D. R. Japaridze^{1,2}, T. Paatashvili¹, T. G. Mdzinarishvili¹, and B. B. Chargeishvili¹

¹Evgeni Kharadze Georgian National Astrophysical Observatory, Abastumani, 0301 Georgia

²Center for Computational Helio Studies, Ilia State University, Tbilisi, 0162 Georgia

Forecasting economic indices is important for mitigating the risks of unexpected stresses in the global or local economy. However, the numerous factors that influence the resulting economic index create a complex picture that complicates determining a cyclical pattern. We studied the relationship between solar activity and the Dow Jones Industrial Average from 1896 to 2021. We used correlation and cross-correlation methods with a sliding time window and a wavelet coherency approach to analyze the data. The study revealed that the relationship between the events is not simple and evolves over time. Various synchronization periods, as well as variation in the coherence of these synchronizations over time, are revealed. We discovered that the correlation with the 11-year periodicity is greater than 0.5 during the 1906–1936 and 1964–2000 time periods and is visible with a 95% confidence level during the 1910–1930 and 1990–1994 time periods. This correlation is supported by the found 95% confidence in the coherence between the cosmic ray data and the Dow Jones index during the same time periods (1964–2000) when the correlation between the sunspot number and this index is high, albeit with other phase differences. Furthermore, the correlation between the cosmic ray data and the Dow Jones is stronger. This could imply that the influence of solar activity on global economy fluctuations is mediated by the Sun's modulation of cosmic rays.

Keywords: *Sun: activity; sunspot number; solar-terrestrial relations; methods: statistical*